



UNIVERSITÀ  
degli STUDI  
di CATANIA

Dipartimento di Scienze  
Biologiche, Geologiche e Ambientali

DOTTORATO DI RICERCA IN “SCIENZE DELLA TERRA E  
DELL’AMBIENTE”

DOTTORATI INNOVATIVI CON CARATTERIZZAZIONE INDUSTRIALE –  
A.A. 2017-2018 - XXXIII CICLO

---

**SECUREGEOSTREET: SVILUPPO DI UNA CYBERINFRASTRUCTURE  
PER IL MONITORAGGIO DELLA SICUREZZA GEOLOGICA NELLE  
RETI VIARIE COMUNALI**

**Mario Pagano**

Tutor:  
Prof. Gaetano Ortolano

Co-tutor:  
Prof. Stefano Catalano

Coordinatore:  
Prof.ssa Agata Di Stefano

---

A N N O   A C C A D E M I C O   2 0 1 9 / 2 0 2 0



## Sommario

Introduzione.....	1
1 Inquadramento geologico dell'area studio .....	6
2 Pericolosità idraulica .....	20
2.1 Reticolo e bacini idrografici.....	20
2.2 L'indice TWI (Topographic Wetness Index) .....	24
2.2.1 Permeabilità dei terreni.....	28
2.2.2 Indice TWI e permeabilità dei terreni.....	31
2.3 Intersezioni tra reticolo idrografico e rete viaria .....	34
2.3.1 Nodi della Protezione Civile .....	36
2.3.2 Calcolo delle intersezioni tra idrografia e rete viaria con procedura automatizzata .....	40
2.3.3 Confronto tra nodi idraulici della Protezione Civile e intersezioni calcolate tramite procedura automatizzata .....	44
2.3.4 Unione tra i nodi della Protezione Civile e le intersezioni derivanti dal tool 45	
2.4 Il P.A.I.....	46
2.5 Eventi alluvionali documentati e fenomeni di esondazione.....	48
2.6 Calcolo della pericolosità idraulica totale .....	50
3 Pericolosità tettonica.....	53
3.1 Caratteristiche delle faglie .....	55
3.1.1 Faglia delle Timpe di Miscarello.....	57
3.1.2 Faglia di San Leonardello .....	58
3.1.3 Faglia di San Giovanni Montebello – Codavolpe .....	60
3.1.4 Faglia di Trepunti – Stazzo .....	60
3.2 Perimetrazione della pericolosità .....	61
3.3 Perimetrazione speditiva delle aree di fratturazione al suolo.....	68
4 Pericolosità geomorfologica .....	72
4.1 Fattori di pericolosità .....	72
4.1.1 Scarpate tettoniche e d'erosione .....	72
4.1.2 Il P.A.I. ....	77
4.1.3 Il progetto IFFI.....	78
4.1.4 Calcolo della mappa finale della pericolosità geomorfologica.....	81

5	Telerilevamento.....	85
5.1	Descrizione e obiettivi dell'attività all'estero .....	85
5.2	Il telerilevamento RADAR.....	86
5.2.1	Il telerilevamento RADAR ad apertura sintetica (SAR) .....	88
5.3	L'interferometria satellitare SAR (InSAR) e i Persistent Scatterers (PS) .....	90
5.4	Analisi dei dati PS a disposizione.....	98
5.4.1	Formato dei dati e struttura del database .....	99
5.4.2	Valutazione dei parametri di qualità e filtraggio dei dati.....	101
5.4.3	Visualizzazione dei dati in funzione della velocità media di spostamento 104	
5.4.4	Tools per la realizzazione di mappe derivate preliminari: Heatmaps e distribuzione della deviazione standard della VLos .....	110
5.4.5	Interpolazioni IDW della VLos.....	117
5.4.6	Sovrapposizione dei dati puntuali con i dati ancillari e con i fenomeni franosì già cartografati .....	125
5.4.7	Interazione tra PS e infrastrutture.....	133
5.4.8	Pericolosità dovuta ad eventuale crollo di edifici.....	153
5.4.9	Scomposizione del moto.....	159
5.5	Mappe finali della pericolosità a partire dai dati interferometrici .....	170
5.6	Il graben di San Leonardello.....	173
5.6.1	Interpolazioni IDW .....	176
5.6.2	Analisi delle serie temporali .....	181
5.6.3	Mappe 3D della deformazione in funzione del tempo.....	193
5.6.4	Profili della VLos e dello spostamento.....	199
6	Pericolosità totale.....	218
7	Esposizione .....	222
7.1	La cartografia stradale vettoriale.....	223
7.1.1	Il progetto OpenStreetMap .....	223
7.1.2	Creazione del file vettoriale della rete viaria.....	225
7.2	Elaborazione della mappa demografica e sviluppo del tool dedicato.....	230
7.3	Modelli per il calcolo dell'esposizione .....	235
7.3.1	Modello Origine – Destinazione (modello O/D) .....	235
7.3.2	Modello di variabilità tramite Google Traffic .....	246
7.3.3	Confronto tra i due modelli .....	253

7.3.4	Modello di esposizione definitivo per la rete viaria .....	253
7.3.5	Modello di esposizione per gli edifici .....	255
8	Rischio.....	262
8.1	Il concetto di rischio .....	262
8.2	Calcolo delle mappe di rischio singole .....	265
8.2.1	Mappa del rischio idraulico .....	268
8.2.2	Mappa del rischio tettonico.....	282
8.2.3	Mappa del rischio geomorfologico .....	289
8.2.4	Mappa del rischio da dati interferometrici.....	292
8.3	Calcolo della mappa di rischio totale per la rete viaria .....	294
8.4	Calcolo della mappa di rischio totale per gli edifici .....	303
8.5	Calcolo del rischio totale con integrazione della vulnerabilità .....	304
9	WebGIS.....	307
9.1	WebGIS e Web Mapping .....	307
9.2	OGC (Open Spatial Consortium).....	311
9.3	La piattaforma GeoServer .....	313
9.3.1	Infrastruttura di rete per l'accesso ai file da remoto .....	316
9.4	Sistemi client per la visualizzazione dei layers caricati su GeoServer.....	327
9.4.1	OpenLayers .....	328
9.4.2	Sviluppo di mappe con Leaflet.JS in linguaggio HTML.....	346
9.4.3	File KML per la visualizzazione su Google Earth .....	352
9.4.4	Servizi OGC (WMS e WFS) su software GIS .....	356
9.4.5	Sviluppo di un'app Android con il software Android Studio .....	358
9.5	Sistemi "standalone" per la visualizzazione dei layers senza GeoServer .....	370
9.5.1	Sviluppo di un sito web personale con Leaflet.JS, formato GEOJSON e protocollo FTP (www.securegeostreet.it) .....	371
9.5.2	Sviluppo di un Geoportale su ArcGIS Online .....	379
9.5.3	App Android per la visualizzazione di pagine HTML.....	383
10	Conclusioni.....	386
	Bibliografia .....	391
	Sitografia .....	406
	Ringraziamenti .....	409

## Indice delle figure

Fig. 1.1 - Localizzazione dell'area comunale (contorno in rosso) su vista satellitare.....	6
Fig. 1.2 – Modello 3D con la posizione del comune di Giarre rispetto al vulcano Etna. ..	6
Fig. 1.3 - Principali domini tettonici del fianco orientale dell'Etna con indicazione della direzione di movimento (Bonforte et al., 2011). .....	9
Fig. 1.4 - Valori di deformazione (mm/a) nella componente E – W (a sinistra) e nella componente verticale (a destra) lungo il fianco orientale dell'Etna (Bonforte et al., 2011). .....	10
Fig. 1.5 - Carta geologica del comune di Giarre digitalizzata a partire dal Piano Regolatore Generale del Comune di Giarre (Approvato con Decreto Dir. 19/DRU del 18/1/2005, variante del 2008). .....	12
Fig. 1.6 - Modello TIN (Triangulated Irregular Network) del territorio comunale con intervallo delle fasce altimetriche di 100 m. Si nota un andamento leggermente digradante verso est. ....	15
Fig. 1.7 - Carta delle pendenze (o clivometrica) del territorio comunale espressa in gradi, generata a partire da un DTM a 2 m di risoluzione. ....	17
Fig. 1.8 - Reticolo idrografico digitalizzato manualmente a partire dai dati disponibili nel P.R.G. del comune di Giarre. ....	18
Fig. 2.1 - Reticolo idrografico e bacini idrografici del comune di Giarre (Fonte: P.R.G.), in trasparenza su hillshade generato a partire da un DTM a 2 m di risoluzione. ....	20
Fig. 2.2 - Schermata iniziale del tool per la generazione del reticolo idrografico. ....	21
Fig. 2.3 - Reticolo idrografico calcolato tramite tool (gerarchizzazione con metodo Strahler). ....	23
Fig. 2.4 - Workflow del tool per la creazione del reticolo idrografico. ....	24
Fig. 2.5 - Raster dell'indice TWI ottenuto a partire dal tool. ....	26
Fig. 2.6 - Schermata di avvio del tool per il calcolo dell'indice TWI (parte 1). ....	27
Fig. 2.7 - Workflow del tool per il calcolo dell'indice TWI (parte 1). ....	27
Fig. 2.8 - Schermata di avvio del tool per il calcolo dell'indice TWI (parte 2). ....	28
Fig. 2.9 - Workflow del tool per il calcolo dell'indice TWI (parte 2). ....	28
Fig. 2.10 - Carta della permeabilità generica dei litotipi affioranti. ....	30
Fig. 2.11 - Prodotto tra indice TWI e valore di impermeabilità dei litotipi (indice TWI modificato). ....	31
Fig. 2.12 – Mappa di densità (heatmap) basata sul valore dell'indice TWI modificato. ....	32
Fig. 2.13 - Schermata di avvio del tool per il calcolo dell'indice TWI modificato. ....	33
Fig. 2.14 - Workflow del tool per il calcolo dell'indice TWI modificato. ....	34
Fig. 2.15 - Numero di nodi a potenziale rischio idraulico per provincia (Fonte: Protezione Civile). ....	38
Fig. 2.16 - Numero di nodi a potenziale rischio idraulico nelle principali città (A-M) della provincia di Catania (Fonte: Protezione Civile). ....	38
Fig. 2.17 Densità dei nodi a potenziale rischio idraulico per Km <sup>2</sup> nelle principali città (A-M) della provincia di Catania (Fonte: Protezione Civile). ....	39
Fig. 2.18 – Mappa di distribuzione dei nodi a potenziale rischio idraulico indicati nel “Rapporto preliminare sul rischio idraulico in Sicilia e ricadute nel sistema di protezione civile” .....	40

Fig. 2.19 - Carta delle intersezioni tra idrografia e rete viaria realizzata tramite procedura automatizzata.....	41
Fig. 2.20 - Schermata di avvio del tool per il calcolo automatico delle intersezioni tra idrografia e rete viaria. ....	42
Fig. 2.21 – Workflow del tool per il calcolo automatico delle intersezioni tra idrografia e rete viaria. ....	42
Fig. 2.22 – Esempi di intersezioni calcolate tramite procedura automatizzata, che evidenziano problematiche idrologiche note e brevemente descritte nella parte iniziale del par. 2.4 (basemap utilizzata: Google Earth). ....	43
Fig. 2.23 - Confronto su carta tra i nodi censiti dalla Protezione Civile e quelli generati dal tool. ....	44
Fig. 2.24 – Carta finale ottenuta dall’unione dei nodi a potenziale rischio idraulico censiti dalla Protezione Civile e i nodi calcolati attraverso l’utilizzo del tool dedicato..	46
Fig. 2.25 - Ubicazione dei siti d'attenzione idraulici censiti dal P.A.I.....	47
Fig. 2.26 - Ubicazione dei siti d'attenzione e delle zone a pericolosità elevata a causa di potenziali fenomeni di esondazione (Fonte: Piano Regolatore Generale). ....	49
Fig. 2.27 - Mappa finale della pericolosità idraulica suddivisa in 4 gradi. ....	50
Fig. 2.28 - Schermata di avvio del tool per il calcolo della pericolosità idraulica totale.	51
Fig. 2.29 - Workflow del tool per il calcolo della pericolosità idraulica totale. ....	52
Fig. 3.1 - Elaborazione Hillshade a partire da un DTM a 2 m di risoluzione. ....	53
Fig. 3.2- Ubicazione delle strutture tettoniche nella zona nord-ovest del comune di Giarre. ....	56
Fig. 3.3 - Ubicazione delle strutture tettoniche nella zona sud del comune di Giarre...	57
Fig. 3.4 – Tabella attributi dello shapefile lineare con le caratteristiche principali delle faglie (Campi booleani con valori possibili “Si” o “No”; “Sismogenet”: Sismogenetica, Creep_Asis: Presenza di fenomeni di creep asismico, “Eff_second”: presenza di effetti secondari in risposta a eventi lungo la faglia principale, “Sepolta”: faglia sepolta). ....	62
Fig. 3.5 – Mappa della pericolosità tettonica basata sulle fasce di rispetto attorno alle faglie calcolate tramite toolbox automatica con suddivisione in 3 gradi di pericolosità (scala colore dal giallo al rosso). ....	64
Fig. 3.6 – Schermata di avvio del tool per il calcolo delle fasce di rispetto in funzione delle caratteristiche di ogni faglia.....	65
Fig. 3.7 – Attributi necessari per il corretto funzionamento del tool per la creazione delle fasce di rispetto (per il significato dei campi vedi Fig. 3.4). ....	65
Fig. 3.8 - Struttura del tool “Buffer faglie”.....	66
Fig. 3.9 – Esempio dei valori di buffer calcolati con l’utilizzo del tool “Buffer_faglie”...	67
Fig. 3.10 - Digitalizzazione delle zone di fratturazione al suolo (Fonte: Protezione Civile). ....	68
Fig. 3.11 – Mappa finale della pericolosità tettonica. ....	69
Fig. 3.12 – Struttura del tool per l’unione tra i dati di fratturazione al suolo e le fasce di rispetto calcolate in precedenza.....	70
Fig. 3.13 – Schermata d’avvio del tool “Union buffer – fratturazione”.....	71
Fig. 4.1 – Esempio di digitalizzazione degli orli di scarpata con l’ausilio di ortofoto (a), elaborazione Hillshade (b) e carta delle pendenze (c). ....	73

Fig. 4.2 – Struttura del tool per la creazione delle fasce di rispetto in funzione degli orli di scarpata digitalizzati.....	74
Fig. 4.3 – Schermata d’avvio del tool “Buffer_orli di scarpata” . ....	75
Fig. 4.4 – Risultato della creazione dei buffer (in giallo) a partire dagli orli di scarpata (in nero) su base ortofoto. ....	76
Fig. 4.5 – Aree a pericolosità geomorfologica secondo il P.A.I. (P1 = pericolosità bassa, in verde; P3 = pericolosità elevata, in arancione; P4 = pericolosità molto elevata, in rosso.....	77
Fig. 4.6 – Confronto tra le zone a pericolosità geomorfologica del P.A.I. (in verde, arancione e rosso) e quelle identificate tramite l’utilizzo del tool “Buffer_orli di scarpata”; in fig. 4.8a la zona delle Timpe di Miscarello, in fig. 4.8b la scarpata dovuta alla faglia di San Leonardello, in fig. 4.8c scarpate di minore entità nella zona nord del comune. ....	78
Fig. 4.7 – Frane censite dal progetto IFFI nel comune di Giarre, visualizzabili sul portale <a href="https://idrogeo.isprambiente.it/">https://idrogeo.isprambiente.it/</a> . ....	79
Fig. 4.8 – Confronto tra le perimetrazioni proposte da P.A.I. e progetto IFFI e le aree ottenute tramite l’utilizzo del tool “Buffer_orli di scarpata”. Le linee nere in grassetto rappresentano gli orli di scarpata digitalizzati; il contorno nero rappresenta le aree censite dal P.A.I.; le aree in rosso corrispondono alle aree identificate dal progetto IFFI. ....	80
Fig. 4.9 – Unione tra le perimetrazioni proposte dal P.A.I. e dal progetto IFFI.....	81
Fig. 4.10 – Struttura del tool per il calcolo della mappa geomorfologica finale a partire dai dati di input (P.A.I., progetto IFFI e buffer degli orli di scarpata). ....	82
Fig. 4.11 – Schermata d’avvio del tool “Calcolo della pericolosità geomorfologica totale” . ....	83
Fig. 4.12 - Mappa finale della pericolosità geomorfologica suddivisa in 4 gradi. ....	84
Fig. 5.1 – Nomenclatura standard delle bande RADAR con relativi valori di frequenza e lunghezza d’onda (IEEE, 1984). ....	88
Fig. 5.2 - Esempio di misurazione tramite l’utilizzo di Persistent Scatterers (T.R.E., 2007). ....	91
Fig. 5.3 - Funzionamento dell’algoritmo SPINUA per l’elaborazione dei dati interferometrici.....	95
Fig. 5.4 - Le due diverse geometrie di acquisizione: orbita ascendente e orbita discendente (da Planetek Italia). ....	97
Fig. 5.5 - Esempio di misurazione della componente reale dello spostamento a partire dai dati registrati lungo la LOS (nelle due geometrie di acquisizione). ....	98
Fig. 5.6 – Tabella attributi degli shapefile originali contenenti i PS. ....	99
Fig. 5.7 – Grafico di distribuzione della frequenza dei valori di coerenza (COH) in orbita ascendente.....	101
Fig. 5.8 - Grafico di distribuzione della frequenza dei valori di coerenza (COH) in orbita discendente.....	102
Fig. 5.9 - Valori di deviazione standard della VLos in orbita ascendente. ....	103
Fig. 5.10 – La scala colore di “tipo semaforico” utilizzata per la categorizzazione dei PS in funzione della VLos nei vari tematismi. ....	104



Fig. 5.11 - Istogramma di distribuzione della frequenza dei valori di VLos in orbita ascendente.....	105
Fig. 5.12 - Istogramma di distribuzione della frequenza dei valori di VLos in orbita discendente.....	105
Fig. 5.13 - Distribuzione dei PS acquisiti in orbita ascendente nell'area comunale, categorizzati secondo una "scala colore standard di tipo semaforico". .....	106
Fig. 5.14 - Distribuzione dei PS acquisiti in orbita discendente nell'area comunale, categorizzati secondo una "scala colore standard di tipo semaforico". .....	108
Fig. 5.15 - Schermata di avvio del tool per il filtraggio e la categorizzazione automatica dei PS.....	109
Fig. 5.16 - Struttura del tool per il filtraggio e la categorizzazione automatica dei PS.	109
Fig. 5.17 - Heatmaps delle zone critiche (VLos < -7 mm/a e VLos > +7 mm/a).....	111
Fig. 5.18 - Struttura del tool per la creazione automatizzata delle Heatmaps.....	112
Fig. 5.19 - Schermata di avvio del tool per la creazione automatizzata delle Heatmaps. ....	112
Fig. 5.20 - Mappa di distribuzione della deviazione standard della VLos in orbita ascendente.....	114
Fig. 5.21 - Mappa di distribuzione della deviazione standard della VLos in orbita discendente.....	115
Fig. 5.22 - Struttura del tool per la creazione delle mappe di distribuzione della deviazione standard.....	116
Fig. 5.23 - Schermata di avvio del tool per la creazione delle mappe di distribuzione della deviazione standard.....	116
Fig. 5.24 - Funzionamento dell' algoritmo di interpolazione IDW.....	118
Fig. 5.25 - Interpolazione IDW dei valori di VLos in orbita ascendente.....	119
Fig. 5.26 - Interpolazione IDW dei valori di VLos in orbita discendente.....	120
Fig. 5.27 - Mappa riassuntiva del comportamento dei PS (interpolati tramite IDW) in entrambe le geometrie di acquisizione. Il primo termine in legenda si riferisce al movimento in orbita ascendente; il secondo a quello dell'orbita discendente. Ogni colore rappresenta quindi una combinazione unica tra i movimenti registrati nelle singole orbite. ....	122
Fig. 5.28 - Transizione dal movimento in orbita ascendente a quello in orbita discendente all'interno del campo testuale "Comparing". .....	123
Fig. 5.29 - Zona in subsidenza (colore rosso) tra la faglia di S. Leonardello a ovest e la faglia di Trepunti – Stazzo a est. ....	124
Fig. 5.30 - Dissesti segnalati dal progetto IFFI su vista satellitare (Google earth): in rosso le frane da crollo e/o ribaltamenti e in giallo le frane da scivolamento rotazionale/traslatoivo. ....	129
Fig. 5.31 – Carta delle pendenze in gradi. Dettaglio della zona delle Timpe di Miscarello e della parte nord della faglia di San Leonardello. ....	130
Fig. 5.32 - Sovrapposizione tra i PS misurati in orbita ascendente e le frane da scivolamento rotazionale/traslatoivo delle cartografie IFFI.....	131
Fig. 5.33 - Sovrapposizione tra i PS misurati in orbita discendente e le frane da scivolamento rotazionale/traslatoivo delle cartografie IFFI.....	132

Fig. 5.34 - Suddivisione dello shapefile della rete viaria in celle di dimensioni 50 m x 50 m. ....	136
Fig. 5.35 - Parametri statistici calcolati per ogni cella della rete viaria. ....	137
Fig. 5.36 - Buffer di 20 m attorno ai poligoni con range < 5 mm/a nelle prime fasi del calcolo delle differenze di velocità tra zona interna ed esterna all'edificio. ....	139
Fig. 5.37 - Tabella attributi con informazioni su: velocità all'interno del poligono (Vlos_strade); velocità all'interno del buffer corrispondente (Vlos_Buffer); differenza di velocità in valore assoluto tra la zona interna ed esterna. ....	140
Fig. 5.38 - Calcolo delle distanze planimetriche tra le coppie di PS che presentano le maggiori differenze in termini di spostamento. ....	141
Fig. 5.39 - Formula per il calcolo della distorsione angolare per i vari sub - poligoni della rete viaria. ....	142
Fig. 5.40 - Mappa finale della pericolosità basata sulle analisi interferometriche - Orbita ascendente. ....	144
Fig. 5.41 - Mappa finale della pericolosità basata sulle analisi interferometriche - Orbita discendente. ....	145
Fig. 5.42 - Struttura del tool per la scomposizione del poligono iniziale della rete viaria secondo una maglia regolare di 50 m x 50 m e per il calcolo di alcuni parametri statistici. ....	146
Fig. 5.43 - Schermata di avvio del tool "Analisi PS – Strade" ....	146
Fig. 5.44 - Struttura del tool per la categorizzazione preliminare della pericolosità in funzione della VLos e del range. ....	147
Fig. 5.45 - Schermata di avvio del tool per la categorizzazione preliminare della pericolosità. ....	148
Fig. 5.46 - Tabella attributi dell'output finale dopo l'esecuzione del tool per la categorizzazione preliminare della pericolosità. ....	148
Fig. 5.47 - Struttura del tool per la categorizzazione preliminare della pericolosità in funzione della VLos e del range. ....	149
Fig. 5.48 - Tabella attributi dell'output finale dopo l'esecuzione del tool per la differenziazione tra categoria medio-bassa e bassa. ....	149
Fig. 5.49 – Layer poligonale degli edifici del comune di Giarre. ....	150
Fig. 5.50 - Mappa di pericolosità per gli edifici a partire dai dati interferometrici – Orbita ascendente. ....	152
Fig. 5.51 - Mappa di pericolosità per gli edifici a partire dai dati interferometrici – Orbita discendente. ....	153
Fig. 5.52 - Sovrapposizioni tra fasce di rispetto di edifici limitrofi. ....	154
Fig. 5.53 - Sovrapposizioni complesse tra buffer di edifici all'interno del centro abitato. ....	155
Fig. 5.54 - Struttura del tool "Pericolosità da crollo" ....	156
Fig. 5.55 - Schermata di avvio del tool "Pericolosità di crollo" ....	157
Fig. 5.56 - Tabella attributi dell'output finale il grado di pericolosità numerica sulla base del quale effettuare la categorizzazione. ....	157
Fig. 5.57 – Mappa della pericolosità da crollo – Orbita discendente. ....	158
Fig. 5.58 - Mappa della pericolosità da crollo – Orbita ascendente. ....	159

Fig. 5.59 – Workflow della procedura per l’ottenimento degli pseudo PS per la combinazione delle informazioni derivanti dalle due geometrie di acquisizione di partenza (ascendente e discendente). .....	161
Fig. 5.60 - Tabella attributi dei PS sintetici con i campi necessari per il calcolo delle componenti Vv e Vew. ....	162
Fig. 5.61 - Utilizzo degli script Python per il calcolo delle componenti Vv e Vew tramite il Field Calculator di ArcGIS. ....	163
Fig. 5.62 - Componenti Vv e Vew calcolate con l’utilizzo degli script Python. ....	164
Fig. 5.63 - Interpolazione IDW della componente Vv. ....	165
Fig. 5.64 - Interpolazione IDW della componente Vew. ....	166
Fig. 5.65 - Valori di velocità orizzontale disponibili nell’area etnea dal 1992 al 2010 (INGV Catania). ....	168
Fig. 5.66 - Struttura del tool per l’ottenimento dei PS sintetici e il calcolo delle componenti Vv e Vew. ....	169
Fig. 5.67 - Schermata di avvio del tool per l’ottenimento dei PS sintetici e il calcolo delle componenti Vv e Vew. ....	170
Fig. 5.68 - Mappa finale della pericolosità ottenuta a partire dalle analisi interferometriche. ....	172
Fig. 5.69 - Schermata di avvio del tool per l’unione di tutte le informazioni di pericolosità da dati interferometrici. ....	173
Fig. 5.70 - Struttura del tool del tool “Pericolosità da dati interferometrici – Unione”. .....	173
Fig. 5.71 - Volo UAV del 23 febbraio 2021 (Prof. Eugenio Fazio, Università degli Studi di Catania). ....	175
Fig. 5.72 – PS ricadenti all’interno dell’area del graben di San Leonardello. ....	176
Fig. 5.73 – Interpolazione IDW della VLos all’interno del graben di San Leonardello – Orbita ascendente. ....	177
Fig. 5.74 - Interpolazione IDW della VLos all’interno del graben di San Leonardello – Orbita discendente. ....	178
Fig. 5.75 – Suddivisione in celle di 20 m x 20 m dell’area in subsidenza per il calcolo della VLos media. ....	179
Fig. 5.76 – Errore % nel valore dei punti estratti dalle interpolazioni IDW rispetto a quelli ottenuti calcolando la media della VLos all’interno delle celle. ....	180
Fig. 5.77 – Andamento dell’errore in funzione della distribuzione spaziale e della densità dei PS all’interno delle celle. ....	181
Fig. 5.78 – Ubicazione dei PS presi in considerazione per l’elaborazione delle serie temporali. ....	183
Fig. 5.79 - Serie temporali dei PS ubicati in prossimità della faglia di San Leonardello – Orbita ascendente. ....	184
Fig. 5.80 – Variazioni di velocità nelle serie temporali del PS 43141 e del PS 43147, ubicati nella zona centrale in prossimità della faglia di San Leonardello – Orbita ascendente. ....	186
Fig. 5.81 - Variazione di velocità nella serie temporali del PS 42496 - Orbita ascendente. ....	186

Fig. 5.82 - Serie temporali relative ai PS 1383, PS 1384 e PS 3190, ubicati nella zona centrale in prossimità della faglia di San Leonardello – Orbita discendente. ....	187
Fig. 5.83 - Serie temporali dei PS ubicati in prossimità della faglia di San Leonardello – Orbita discendente. ....	189
Fig. 5.84 - Serie temporali dei PS ubicati nella fascia centrale del graben di San Leonardello – Orbita ascendente. ....	191
Fig. 5.85 - Serie temporali dei PS ubicati nella fascia centrale del graben di San Leonardello – Orbita discendente. ....	192
Fig. 5.86 – Calcolo del valore di deformazione raggiunto alla fine di ogni semestre...	193
Fig. 5.87 – Schermata d’avvio del tool “IDW semestri” .....	193
Fig. 5.88 – Mappe 3D degli spostamenti da Ottobre 2014 a Dicembre 2015 – Orbita ascendente (Graben di S. Leonardello). ....	194
Fig. 5.89 - Mappe 3D degli spostamenti da Gennaio 2016 a Giugno 2017 – Orbita ascendente (Graben di S. Leonardello). ....	195
Fig. 5.90 - Mappe 3D degli spostamenti da Luglio 2017 a Giugno 2018 – Orbita ascendente (Graben di S. Leonardello). ....	196
Fig. 5.91 - Mappe 3D degli spostamenti da Ottobre 2014 a Dicembre 2015 – Orbita discendente (Graben di S. Leonardello). ....	197
Fig. 5.92 - Mappe 3D degli spostamenti da Gennaio 2016 a Giugno 2017 – Orbita discendente (Graben di S. Leonardello). ....	198
Fig. 5.93 - Mappe 3D degli spostamenti da Luglio 2017 a Giugno 2018 – Orbita discendente (Graben di S. Leonardello). ....	198
Fig. 5.94 – Ubicazione delle tre tracce dei profili di velocità e spostamento.....	200
Fig. 5.95 – Struttura del tool per la creazione dei file Excel con i dati necessari alla generazione dei profili. ....	201
Fig. 5.96 – Schermata d’avvio del tool “Profili VLos – D” . ....	202
Fig. 5.97 – Andamento della VLos lungo la traccia A - A’ . ....	203
Fig. 5.98 - Andamento della VLos lungo la traccia B - B’.....	205
Fig. 5.99 - Andamento della VLos lungo la traccia C - C’.....	206
Fig. 5.100 – Andamento dello spostamento in funzione del tempo lungo la traccia A - A’ – Orbita ascendente.....	208
Fig. 5.101 - Andamento dello spostamento in funzione del tempo lungo la traccia A - A’ – Orbita discendente. ....	209
Fig. 5.102 - Andamento dello spostamento in funzione del tempo lungo la traccia B - B’ – Orbita ascendente.....	211
Fig. 5.103 - Andamento dello spostamento in funzione del tempo lungo la traccia B - B’ – Orbita discendente. ....	212
Fig. 5.104 - Andamento dello spostamento in funzione del tempo lungo la traccia C - C’ – Orbita ascendente.....	214
Fig. 5.105 - Andamento dello spostamento in funzione del tempo lungo la traccia C - C’ – Orbita discendente. ....	215
Fig. 5.106 – Struttura del tool per la realizzazione dei profili dello spostamento in funzione del tempo.....	216
Fig. 5.107 – Schermata d’avvio del tool “Profili S – D (t)” . ....	217

Fig. 6.1 - Mappa della pericolosità totale (Pericolosità idraulica + pericolosità tettonica + pericolosità idraulica + pericolosità da dati interferometrici). .....	219
Fig. 6.2 - Tabella attributi del layer della pericolosità totale. ....	220
Fig. 6.3 - Schermata di avvio del tool per il calcolo della pericolosità totale. ....	220
Fig. 6.4 - Struttura del tool per il calcolo della pericolosità totale. ....	221
Fig. 7.1 - Esempio di categorizzazione OSM dei valori presenti nella chiave "Highway". .....	226
Fig. 7.2 – Campo "buffer" con l'informazione sulla sezione media della careggiata per ogni categoria di strada. ....	228
Fig. 7.3 - Categorizzazione del layer poligonale ottenuto in funzione della macrocategoria di riferimento con una scala colore dal verde al rosso (in funzione dell'importanza crescente nella rete stradale). ....	229
Fig. 7.4 - Campo testuale e numerico in riferimento al grado di esposizione presunto in funzione del tag "Highway". ....	229
Fig. 7.5 - Elenco parziale delle variabili censuarie diffuse con il censimento del 2011.	231
Fig. 7.6 – Campi della tabella attributi adibiti al calcolo della densità abitativa. ....	232
Fig. 7.7 – Mappa demografica finale espressa in funzione della densità abitativa per Km <sup>2</sup> . ....	233
Fig. 7.8 - Schermata di avvio del tool per la creazione della mappa demografica. ....	234
Fig. 7.9 - Struttura del tool per la creazione della mappa demografica. ....	234
Fig. 7.10 - Ubicazione dei punti di origine a partire da: dati sulla densità abitativa (mappa demografica); presenza di paesi e città vicini; stazione ferroviaria e casello autostradale. ....	237
Fig. 7.11 - Ubicazione e salvataggio manuale dei punti di interesse tramite il servizio "MyMaps" di Google. ....	238
Fig. 7.12 - Distribuzione spaziale dei punti di interesse all'interno del territorio comunale, categorizzati in funzione del loro grado di attrattività. ....	240
Fig. 7.13 - Mappa di densità dei punti di interesse, ponderata in funzione del grado di attrattività. ....	241
Fig. 7.14 - Aree ad alta densità di punti di interesse e relativi centroidi. ....	242
Fig. 7.15 - Percorsi più brevi da ogni punto di origine verso ogni punto di destinazione. .....	243
Fig. 7.16 – Risultato dell'applicazione dell'algorithmo "Line density" ai diversi percorsi tra punti di origine e destinazione. ....	244
Fig. 7.17 - Mappa dell'esposizione calcolata a partire dall'applicazione del modello semplificato Origine – Destinazione. ....	245
Fig. 7.18 - Visualizzazione dei dati di "traffico tipico" per il centro di Giarre. ....	247
Fig. 7.19 - Tabella attributi relativa ai dati tipici delle ore 12 per ogni giorno della settimana. ....	248
Fig. 7.20 - Shapefile riepilogativo delle medie e degli indici di variabilità (singoli e totale) per ogni tratto di strada. ....	249
Fig. 7.21 - Rappresentazione grafica dell'indice di variabilità (scala colore dal verde al rosso). L'indice è stato normalizzato a 100 ed espresso in valori percentuali. ....	250
Fig. 7.22 - Dettaglio delle zone a più alta variabilità di traffico. ....	252

Fig. 7.23 - Tabella attributi del layer con i dati relativi ai due modelli. Confronto tra i gradi assegnati attraverso le due metodologie. ....	253
Fig. 7.24 – Mappa finale dell’esposizione della rete viaria. ....	254
Fig. 7.25 - Portale per la consultazione della banca dati OMI (Agenzia delle Entrate). ....	257
Fig. 7.26 - Tabella attributi del layer delle zone OMI. ....	257
Fig. 7.27 – Mappa con categorizzazione in funzione del valore OMI attribuito ad ogni zona. ....	258
Fig. 7.28 – Somma algebrica tra i valori ISTAT e quelli OMI. ....	259
Fig. 7.29 - Categorizzazione finale del layer degli edifici in funzione dell'esposizione calcolata sulla base dei valori OMI e ISTAT. ....	260
Fig. 7.30 - Schermata di avvio del tool per il calcolo della mappa dell'esposizione relativa agli edifici. ....	260
Fig. 7.31 – Struttura del tool “Esposizione edifici”. ....	261
Fig. 8.1 - Tabella attributi del rischio idraulico: il campo "Risc_idra" riporta il prodotto tra pericolosità idraulica (“Peric_idra”) e grado di esposizione (“OD_matrix); il campo "R_Idra_N" rappresenta il grado finale di rischio dopo la suddivisione in categorie del valore precedentemente calcolato. ....	266
Fig. 8.2 - Struttura del tool per il calcolo delle mappe di rischio singole. ....	267
Fig. 8.3 - Schermata di avvio del tool per il calcolo delle mappe di rischio singole. ....	267
Fig. 8.4 - Mappa del rischio idraulico. ....	268
Fig. 8.5 – Area a maggior rischio idraulico del centro città: a) via Luigi Orlando che riceve le acque dal ponte di Macchia dell’A18; b) Zona di confluenza tra la via Luigi Orlando (a sinistra) e la via Pirandello (a destra); c) Parte bassa della via Pirandello; d) Piazza Monsignor Alessi che riceve le acque provenienti dalla Via Pirandello e dalla Via Callipoli; e) via Calderai, che si sviluppa verso est oltre la piazza secondo una direzione quasi parallela alla via Pirandello; f) la via Callipoli, una delle maggiori arterie viarie cittadine, che convoglia le acque verso il sopracitato nodo idraulico (ubicazione foto in Fig. 8.9). ....	270
Fig. 8.6 – Area critica nei dintorni del parco Jungo: a) corso Europa all’altezza di parco Jungo, verso cui confluiscono le acque che si incanalano lungo l’ex torrente Jungo, attualmente occupato dalla via Federico II di Svevia; b) Continuazione di corso Europa verso nord-est; c) Incrocio tra corso Europa e via Trieste; d) Fine di corso Europa e incrocio con Francesco di Pino lungo il confine comunale con Riposto (ubicazione foto in Fig. 8.9). ....	271
Fig. 8.7 – Zona a rischio lungo via Martiri di via Fani (ubicazione foto in Fig. 8.9). ....	272
Fig. 8.8 – La via Luigi Settembrini nella zona di Altarello: a) Inizio della via Settembrini con pendenza verso est (manto stradale molto rovinato); b) Zona di canalizzazione delle acque in prossimità del primo viadotto; c) Secondo viadotto (ubicazione foto in Fig. 8.9). ....	273
Fig. 8.9 - Ubicazione delle foto con direzione di scatto nel centro di Giarre e nella frazione di Altarello – Rischio idraulico. ....	273
Fig. 8.10 – La via Ungaretti nella zona di Altarello, impostata sull’alveo dell’ex torrente Cozzi (ubicazione foto in Fig. 8.12). ....	274
Fig. 8.11 – La via Ugo Foscolo in zona Trepunti: a) inizio della via in prossimità della via Don Luigi Sturzo; b) Feritoie otturate (ubicazione foto in Fig. 8.12). ....	275

Fig. 8.12 - Ubicazione delle foto con direzione di scatto in via Ungaretti e via Foscolo – Rischio idraulico. ....	275
Fig. 8.13 – Zone a rischio idraulico nella frazione di S. Maria la Strada: a) Ponte sul torrente Macchia; b) via Ruggero I; c) Via Mascali – Riposto a fianco del torrente Corso d’acqua; d) Via Conticella; e) Via Cutula (ubicazione foto in Fig. 8.14). ....	276
Fig. 8.14 - Ubicazione delle foto con direzione di scatto nella frazione di Santa Maria la Strada – Rischio idraulico. ....	277
Fig. 8.15 – Deviazione del reticolo idrografico a causa degli elementi tettonici nella frazione di San Leonardello. ....	278
Fig. 8.16 – Situazione idraulica nella frazione di San Leonardello: a) la via Papa Pio XII; b) Passaggio del torrente San Leonardello nel centro della frazione omonima (ubicazione foto in Fig. 8.17). ....	278
Fig. 8.17 - Ubicazione delle foto con direzione di scatto nella frazione di San Leonardello – Rischio idraulico. ....	279
Fig. 8.18 – Passaggio del torrente Macchia presso il centro della frazione di Macchia di Giarre. ....	279
Fig. 8.19 – Situazioni di rischio idraulico nella frazione di Macchia di Giarre: a) Incrocio tra la via Principe di Piemonte e via Carlo Parisi; b) Viadotto in via Firenze; c) via Zinghirino; d) Fine di via Risorgimento e inizio di via della Regione. (Ubicazione foto in Fig. 8.21). ....	280
Fig. 8.20 – Situazioni di rischio idraulico nella frazione di San Giovanni Montebello: a) Via dei Paoli; b) Bivio tra via Roma (a destra) e via Amedeo di Savoia (a sinistra) nei pressi della piazza S. Giovanni battista; c) Via Cimitero al confine comunale con Sant’Alfio; d) Via Giacinto Carini. (Ubicazione foto in Fig. 8.21). ....	281
Fig. 8.21 - Ubicazione delle foto con direzione di scatto nella frazione di Macchia di Giarre e San Giovanni Montebello – Rischio idraulico. ....	282
Fig. 8.22 – Mappa del rischio tettonico. ....	283
Fig. 8.23 – Fratturazione dell’asfalto lungo la via Madonna della Libertà nella frazione di San Leonardello (ubicazione foto in Fig. 8.27). ....	284
Fig. 8.24 – Fratture verticali in alcuni edifici nella frazione di San Leonardello: a) facciata della chiesa di Maria SS. della Libertà; b) zona posteriore della chiesa; c) piccolo edificio limitrofo alla chiesa (ubicazione foto in Fig. 8.27). ....	285
Fig. 8.25 – Strada sconnessa con dosso lungo la via Papa Pio XII (ubicazione foto in Fig. 8.27). ....	285
Fig. 8.26 – Fratturazione al suolo lungo la strada 17 (ubicazione foto in Fig. 8.27). ....	286
Fig. 8.27 – Ubicazione delle foto con direzione di scatto nella frazione di San Leonardello – Rischio tettonico. ....	286
Fig. 8.28 – Aree di Macchia di Giarre interessate dal passaggio della faglia San Leonardello: a) Via delle Rose; b) Incrocio tra la via Pacinotti e via Palermo; c) via delle Magnolie. (Ubicazione foto in Fig. 8.30). ....	287
Fig. 8.29 – Aree di Macchia di Giarre interessate dal passaggio della faglia San Giovanni Montebello – Codavolpe: a) Incrocio tra Viale Mediterraneo e via Carlo Parisi; b) parte iniziale di via delle Acacie, caratterizzata da asfalto in pessime condizioni; sullo sfondo, verso ovest, si intravedono le Timpe di Miscarello. (Ubicazione foto in Fig. 8.30). ....	288

Fig. 8.30 - Ubicazione delle foto con direzione di scatto nella frazione di Macchia di Giarre – Rischio tettonico. ....	289
Fig. 8.31 – Mappa del rischio geomorfologico. ....	290
Fig. 8.32 – Situazioni di rischio geomorfologico: a) Aspetto delle Timpe di Miscarello; b) Via Damasco; c) Via della Regione alla base delle Timpe. (Ubicazione foto in Fig. 8.33). .....	291
Fig. 8.33 - Ubicazione delle foto con direzione di scatto nella frazione di Sciara e Macchia di Giarre – Rischio geomorfologico. ....	292
Fig. 8.34 - Mappa del rischio da dati interferometrici. ....	293
Fig. 8.35 – Dettaglio della situazione di rischio da dati interferometrici nel centro città. .....	294
Fig. 8.36 – Workflow del tool per il calcolo della mappa di rischio totale. ....	295
Fig. 8.37 - Schermata di avvio del tool per il calcolo della mappa di rischio totale. ....	295
Fig. 8.38 - Mappa del rischio totale categorizzata in funzione del campo "Risc_sum" (somma dei singoli valori di rischio). ....	296
Fig. 8.39 - Tabella attributi dello shapefile del rischio totale. ....	297
Fig. 8.40 - Mappa del rischio totale categorizzata in funzione del campo "Risc_sum" con il metodo “quantile” considerando i valori minimo e massimo relativi. ....	298
Fig. 8.41 - Workflow del tool “Mappa del rischio totale – 50%”. ....	299
Fig. 8.42 - Schermata di avvio del tool “Mappa del rischio totale – 50%”. ....	300
Fig. 8.43 - Mappa del rischio totale espressa in percentuale normalizzata rispetto ai valori minimo e massimo nella popolazione di dati (prodotta attraverso il tool “Mappa del rischio totale – 50%”). La categoria in rosso rappresenta il 50% delle porzioni della rete viaria a più alto rischio all’interno del comune di Giarre. ....	301
Fig. 8.44 – Zone a rischio elevato (>50 %). ....	302
Fig. 8.45 – Situazione del rischio totale per gli edifici nel centro città. ....	303
Fig. 8.46 - Mappa del rischio totale degli edifici espressa in percentuale normalizzata rispetto ai valori minimo e massimo nella popolazione di dati. In rosso rappresenta il 50% degli edifici a più alto rischio all’interno del comune di Giarre. ....	304
Fig. 8.47 - Workflow del tool “Calcolo del rischio totale con vulnerabilità”. ....	305
Figura 8.48 - Schermata di avvio del tool per l'integrazione della vulnerabilità nella mappa di rischio totale per la rete viaria. ....	306
Fig. 9.1 – Impostazione della porta TCP/IP durante l’installazione di GeoServer. ....	314
Fig. 9.2 - Comandi per l'avvio e l'arresto di GeoServer (se installato come applicazione). .....	315
Fig. 9.3 - Schermata del prompt dei comandi durante l’esecuzione di GeoServer. ....	316
Fig. 9.4 – Differenza tra IP pubblico e IP locale. ....	317
Fig. 9.5 - Impostazione delle porte TCP/IP per il corretto funzionamento di GeoServer nella pagina di configurazione del router. ....	318
Fig. 9.6 - Assegnazione del servizio alla porta 8080 e a un determinato indirizzo IP... ..	318
Fig. 9.7 - Homepage della pagina di amministrazione di GeoServer. ....	320
Fig. 9.8 - Creazione di un nuovo workspace. ....	321
Fig. 9.9 – Possibili fonti di dati di ogni store. ....	321
Fig. 9.10 - Creazione di uno store collegato a una “Directory of spatial files (Shapefiles)” .....	322



Fig. 9.11 - Impostazioni preliminari per la pubblicazione di un layer.....	323
Fig. 9.12 - Definizione del sistema di riferimento e delle dimensioni del layer. ....	324
Fig. 9.13 - Design dell'infrastruttura GeoServer con le modalità di immagazzinamento dei dati all'interno dei vari contenitori.....	326
Fig. 9.14 – Parametri utilizzabili per la composizione della richiesta GetCapabilities.330	
Fig. 9.15 - Informazioni di contatto nel documento XML ottenuto dalla chiamata GetCapabilities.....	331
Fig. 9.16 - Informazioni su layers e stili disponibili nel documento XML derivante dalla chiamata GetCapabilities. ....	331
Fig. 9.17 - Parametri utilizzabili per la composizione della richiesta GetMap (da <a href="https://help.arcgis.com/en/arcims/10.0/mainhelp/mergedProjects/wms_connect/wms_connector/get_map.htm">https://help.arcgis.com/en/arcims/10.0/mainhelp/mergedProjects/wms_connect/wms_connector/get_map.htm</a> ).....	332
Fig. 9.18 - Anteprima OpenLayers visualizzata su browser Google Chrome in risposta alla richiesta GetMap elencata precedentemente.....	334
Fig. 9.19 - Menu di selezione degli stili a disposizione per la visualizzazione dell'anteprima OpenLayers.....	334
Fig. 9.20 - Richiesta delle informazioni tabellari per un determinato punto della mappa. ....	335
Fig. 9.21 - Applicazione di un filtro CQL all'interno della pagina di anteprima OpenLayers. ....	336
Fig. 9.22 - Risultato della richiesta GetFeatureInfo manuale. ....	341
Fig. 9.23 - Risultato (file .png) della richiesta GetLegendGraphics.....	342
Fig. 9.24 - Risultato della richiesta wms/animate con il cambiamento dei valori della bbox (formato .GIF). ....	344
Fig. 9.25 - Risultato della richiesta wms/animate con il cambiamento degli stili di visualizzazione (formato .GIF).....	345
Fig. 9.26 – Visualizzazione del codice HTML.....	352
Fig. 9.27 - Parametri utilizzabili per la composizione della richiesta del file KML.....	353
Fig. 9.28 - Aggiunta del link al file KML nel software gratuito Google Earth.....	354
Fig. 9.29 - Esempio di visualizzazione di un file KML su Google Earth. Cliccando su ogni poligono è possibile eseguire una richiesta di tipo GetFeatureInfo ottenendo in risposta il contenuto della tabella attributi del file che risiede su GeoServer. ....	354
Fig. 9.30 - Collegamento al workspace "SecureGeoStreet" tramite protocollo WMS su ArcGIS.....	357
Fig. 9.31 - Richiesta "GetFeatureInfo" tramite la funzione "Identify" di ArcGIS.....	357
Fig. 9.32 - Collegamento al workspace "SecureGeoStreet" tramite protocollo WFS su QGIS. ....	358
Fig. 9.33 – Logo dell'app Android per la visualizzazione della mappa finale di rischio lungo la rete viaria. ....	358
Fig. 9.34 - Emulatore Android per l'anteprima del codice direttamento all'interno del software Android Studio.....	359
Fig. 9.35 - Risultato della ricerca della ricerca effettuata con comparsa di un placemark e del nome della località.....	366
Fig. 9.36 – Visualizzazione dei popup con le informazioni tabellari al tocco di ogni oggetto in mappa.....	370

Fig. 9.37 - Gestione del servizio di Hosting attraverso il Plugin “WP File Manager” di WordPress ( <a href="https://it.wordpress.org/plugins/wp-file-manager/">https://it.wordpress.org/plugins/wp-file-manager/</a> ).....	371
Fig. 9.38 - Aspetto della “NavBar” laterale per il controllo dello zoom, la geolocalizzazione e la modalità a schermo intero.....	373
Fig. 9.39 – Evidenziazione in blu (con trasparenza del 30 %) delle features selezionate. ....	374
Fig. 9.40 – Esempio di popup nella mappa di rischio finale per le strade. ....	375
Fig. 9.41 – Aspetto finale della checkbox nella mappa di rischio totale per le strade. ....	377
Fig. 9.42 – Esempio di iframe per l’integrazione della mappa all’interno di una pagina Web.....	378
Fig. 9.43 – Aggiunta di nuovi layers o basemaps alla WebApp su ArcGIS Online. ....	380
Fig. 9.44 – Aspetto del Geoportale realizzato su ArcGIS Online: 1) tabella attributi dei vari layers disponibili; 2) Widget per il disegno, il cambio di basemaps, l’aggiunta di layers e le misurazioni; 3) Visualizzatore di coordinate; 4) Popup con le informazioni dei layers visualizzato al clic del mouse; 5) Barra laterale per la gestione del pan e dello zoom; 6) Checkbox con l’elenco dei layers; 7) Legenda dei layers.....	382
Fig. 9.45 – App Android che visualizza la pagina HTML del geoportale costruito su ArcGIS Online. ....	384
Fig. 9.46 - App Android che visualizza la pagina HTML della mappa di rischio disponibile nel sito <a href="http://www.securegeostreet.it">www.securegeostreet.it</a> . ....	385
Fig. 9.47 – Loghi delle app per la visualizzazione delle pagine HTML. ....	385

## Indice delle tabelle

Tab. 3.1 - Elenco dei terremoti percepiti nell’area di Giarre a partire dal 2000 – da Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015 ( <a href="https://emidius.mi.ingv.it/CPT115-DBMI15/">https://emidius.mi.ingv.it/CPT115-DBMI15/</a> ). Termini e acronimi utilizzati in tabella: Intensity – Intensità del terremoto; Year Mo Da – Giorno Mese Anno; Epicentral area – Zona epicentrale; NMDP – Numero di dati macrosismici; Io – Intensità all’epicentro; Mw – Magnitudo Momento.....	54
Tab. 3.2 – Classificazione delle faglie attive e capaci (da Peronace et al., 2013). ....	62
Tab. 3.3 - Dimensioni raccomandate e minime (in metri) per le zone di faglia indicate negli studi di MS ( $ZS_{FAC}$ RACC = Valore raccomandato; n.d. = non definita). (da Peronace et al., 2013). ....	63
Tab. 3.4 – Valori di buffer scelti e relativo grado di pericolosità per ogni tipologia di faglia identificata sulla base delle caratteristiche indicate all’interno della tabella attributi. ....	63
Tab. 5.1 - Applicabilità del monitoraggio con tecnica PS alle diverse tipologie di frana (MINAMB, 2009). ....	127
Tab. 5.2 - Applicabilità del monitoraggio con tecnica PS in funzione della velocità dei fenomeni (MINAMB, 2009).....	128
Tab. 5.3 - Riepilogo statistico dei valori soglia e del numero di poligoni assegnati alle categorie di pericolosità bassa e medio-bassa. ....	140

Tab. 5.4 - Riepilogo statistico dei valori soglia e del numero di poligoni assegnati alle categorie di pericolosità medio-alta e alta.....	143
Tab. 5.5 - Riepilogo dei criteri e dei valori soglia per la categorizzazione di pericolosità dei sub - poligoni della rete viaria (valori di VLos e Range in mm/a).....	143
Tab. 5.6 - Riepilogo statistico dei valori soglia e del numero di poligoni assegnati alle categorie di pericolosità bassa e medio-bassa nel caso degli edifici.....	151
Tab. 5.7 - Riepilogo statistico dei valori soglia e del numero di poligoni assegnati alle categorie di pericolosità medio-alta e alta nel caso degli edifici.....	152
Tab. 5.8 – Valori di velocità alle varie date: in verde la prima misura considerata e in rosso la successiva. ....	187
Tab. 7.1 - Valori di attrattività scelti (da 1 a 4) per ogni categoria di punto individuata. ....	239
Tab. 7.2 - Range di valori minimi e massimi caratteristici di ogni categoria identificata .....	258
Tab. 9.1 - Link OpenLayers con richiesta GetMap per la visualizzazione rapida delle anteprime di tutte le mappe di pericolosità, esposizione e rischio create nell’ambito del lavoro. ....	340
Tab. 9.2 - Link ai file KML generati da GeoServer per la visualizzazione su Google Earth di tutte le mappe di pericolosità, esposizione e rischio create nell’ambito del lavoro. ....	356

## Indice dei codici

Cod. 3.1 – Esempio di script Python utilizzato per il calcolo del valore di buffer P3 in base agli attributi booleani scelti per ogni caratteristica della faglia.....	66
Cod. 3.2 - Script Python utilizzato per l’assegnazione dei valori di pericolosità dopo l’unione dei tre shapefile. ....	67
Cod. 3.3 – Script Python per il calcolo del valore finale di pericolosità da assegnare a ogni poligono dopo l’intersezione tra zone di fratturazione al suolo e fasce di rispetto delle faglie.....	70
Cod. 4.1 – Script Python per l’assegnazione del grado di pericolosità geomorfologica ai vari poligoni dopo le operazioni di “Union” e “Dissolve”.....	82
Cod. 5.1 - Script Python utilizzati per il calcolo dei campi utili all’ottenimento della mappa finale della pericolosità sulla base delle analisi interferometriche.....	171
Cod. 6.1 - Script Python per il calcolo del campo "Peric_TOT". ....	221
Cod. 8.1 - Script Python all’interno della toolbox (Calculate field 2). La variabile “campo” si riferisce alla colonna “Risc_sum”.....	299
Cod. 9.1 - Sezione <head> del file HTML con il caricamento dei file di stile .css da risorse locali e remote. ....	347
Cod. 9.2 - Costruzione del blocco <div id=map>. ....	348
Cod. 9.3 - Creazione e prime impostazioni dell’oggetto mappa. ....	348
Cod. 9.4 - Aggiunta delle mappe di base (mappa satellitare di Google e mappa OpenStreetMap con rete stradale).....	349
Cod. 9.5 - Aggiunta del layer WMS alla mappa. ....	350

Cod. 9.6 - Aggiunta della legenda del layer WMS in formato raster tramite richiesta GetLegendGraphic. ....	350
Cod. 9.7 - Aggiunta dei plugins per la visualizzazione delle coordinate e della scala grafica dinamica. ....	351
Cod. 9.8 - Raggruppamento dei layers in “baseMaps” e “overlayMaps” per la strutturazione del selettore dei layers. ....	351
Cod. 9.9 - Porzione di codice relativa alle impostazioni della mappa e dei layer visualizzati. ....	360
Cod. 9.10 - Codice del file “Options_menu.xml” per la generazione dell’interfaccia di ricerca per località. ....	361
Cod. 9.11 - Sezione <activity> del file “AndroidManifest.xml”. ....	362
Cod. 9.12 – Variabili private aggiuntive. ....	362
Cod. 9.13 - Aggiunta del widget di ricerca alla barra delle azioni dell’app. ....	363
Cod. 9.14 – Gestione della ricezione della richiesta di ricerca. ....	363
Cod. 9.15 – Metodo “queryLocator” per l’esecuzione della ricerca. ....	364
Cod. 9.16 – Codice per la visualizzazione in mappa dei risultati della ricerca per località. ....	365
Cod. 9.17 – Inizializzazione dei servizi ArcGIS per la geocodifica. ....	365
Cod. 9.18 - Permessi per la geolocalizzazione del dispositivo nel file “AndroidManifest.xml” ....	367
Cod. 9.19 - Definizione degli eventuali messaggi d’errore nel file “strings.xml”. ....	367
Cod. 9.20 - Porzione di codice utile alla generazione dei popup con le informazioni tabellari in risposta al tocco su un determinato oggetto in mappa. ....	368
Cod. 9.21 - Definizione dei messaggi di errore per mancata corrispondenza tra oggetto in carta e informazioni in tabella attributi. ....	369
Cod. 9.22 - Caricamento del layer di rischio in formato GeoJSON. ....	372
Cod. 9.23 - Utilizzo di plugin aggiuntivi per aumentare l’interattività della mappa. ...	372
Cod. 9.24 – Impostazione della funzione “highlightLayer”. ....	373
Cod. 9.25 – Codice per la generazione dei popup al clic del mouse. ....	374
Cod. 9.26 – Configurazione delle informazioni da visualizzare all’interno dei popup. ....	375
Cod. 9.27 - Definizione dello stile per il file GeoJSON della mappa del rischio totale delle strade (es. relativo alla prima categoria di rischio: Risc_perc < %). ....	376
Cod. 9.28 – Configurazione della checkbox e della legenda. ....	377
Cod. 9.29 – Classe “WebView” all’interno del metodo “OnCreate”. ....	383

## Allegati

Allegato A – Mappe di pericolosità, esposizione e rischio

Allegato B – *Workflow* del progetto

## Introduzione

Il presente progetto di ricerca nasce con l'obiettivo di sviluppare una *cyberinfrastructure*, ossia un flusso di lavoro e una serie di strumenti informatici realizzati integralmente in ambiente GIS, in grado di assegnare una determinata categoria di rischio geologico l.s. alle arterie viarie di un territorio comunale tramite una procedura di analisi semiautomatizzata, sulla base dello studio delle pericolosità incipienti e tenendo conto dell'esposizione in quanto funzione della densità veicolare lungo le arterie viarie, opportunamente suddivise per categoria di importanza.

L'intera attività di ricerca si dirama quindi a partire dal concetto di rischio, qui inteso quale rischio potenziale, in quanto derivato dall'analisi integrata di due dei tre fattori che contribuiscono alla sua definizione: la pericolosità e l'esposizione.

La pericolosità geologica viene definita come la probabilità di occorrenza di un fenomeno naturale potenzialmente dannoso in uno specifico intervallo di tempo in una data area (UNDRO – *United Nations Disaster Relief Office*, 1979); l'esposizione, nella sua definizione classica, è invece intesa come valore economico o numero delle unità degli elementi a rischio in una data area e, nel caso delle infrastrutture viarie, è stata associata alle persone (e i loro mezzi) che usufruiscono dei diversi segmenti della rete stradale.

Il caso studio scelto è il comune di Giarre (CT), di cui è stata analizzata la pericolosità relativa agli aspetti idrologici (indice TWI - *Topographic Wetness Index*, nodi a potenziale rischio idraulico, fenomeni di esondazione, ecc.), geomorfologici (scarpate tettoniche e d'erosione, frane e crolli) e tettonici (presenza di strutture tettoniche attive e capaci) attraverso: la consultazione, l'interpretazione e la digitalizzazione della cartografia esistente (P.A.I. – *Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico*, progetto IFFI - *Inventario dei fenomeni franosi in Italia*, P.R.G. - *Piano Regolatore Generale*, Protezione Civile, studi di microzonazione sismica); la fotointerpretazione mediante *Google Earth Pro* e *Google Street View* per l'identificazione e riperimetrazione delle aree critiche su base satellitare aggiornata; la realizzazione di alcuni output derivati (come ad es. la carta delle pendenze, il modello *hillshade*, il modello TIN, *output 3D*, ecc.) basati su DTM ad alta risoluzione (2 m).

Trattandosi di un "dottorato innovativo a caratterizzazione industriale", il progetto ha beneficiato della collaborazione di due aziende: la *Street Solutions S.r.l.*

(Catania, Italia), specializzata nel coadiuvare le Pubbliche Amministrazioni per la fornitura sia a noleggio che in vendita di strumenti per il controllo elettronico del territorio e la risoluzione di tutte le problematiche relative all'informatizzazione dei vari settori della pubblica amministrazione; la *Planetek Hellas E.P.E.* (Atene, Grecia), azienda leader a livello europeo nel settore del telerilevamento satellitare e nello sviluppo di infrastrutture web per la gestione integrata di dati territoriali.

Il periodo di collaborazione di sei mesi con la *Street Solutions S.r.l.* ha dato l'opportunità di approfondire il tema dell'esposizione, parametro fondamentale per il calcolo del rischio potenziale, che incide in maniera determinante nel calcolo finale. Nel caso della rete viaria, l'esposizione dipende principalmente dalla densità del flusso veicolare in una determinata rete stradale, ma anche dalla presenza di abitazioni, attività economiche/commerciali, servizi pubblici ecc. I valori di esposizione sono stati ricavati attraverso l'applicazione di un modello concettualmente simile alle matrici O/D (origini/destinazioni) utilizzate negli studi ingegneristici nell'ambito dei trasporti, confrontando poi i dati ottenuti con i valori reali messi a disposizione da *Google Traffic* per alcune tra le arterie più importanti del comune; trattandosi di un dato dinamico, soggetto a cambiamenti significativi nell'arco della settimana, è stato calcolato un apposito indice che tiene conto della sua variabilità nel tempo .

Il periodo di sei mesi trascorso nella sede greca di *Planetek Hellas E.P.E.* ha permesso invece di approfondire l'analisi del *displacement* (deformazione) della superficie terrestre attraverso l'utilizzo dei *Persistent Scatterers* (interferometria multi-temporale SAR), tramite i quali è stato possibile monitorare gli spostamenti planimetrici e altimetrici del terreno (anche millimetrici) in corrispondenza delle infrastrutture viarie e degli edifici limitrofi, monitorandoli in un intervallo di tempo di circa 4 anni (da ottobre 2014 a giugno 2018). I risultati delle analisi effettuate (profili di velocità e spostamento, interpolazioni IDW della velocità media, calcolo della distorsione angolare a cui sono soggette le infrastrutture, ecc.) sono stati aggiunti ai dati di pericolosità ricavati nella prima fase del progetto. Tramite i prodotti interferometrici è stata poi monitorata la deformazione in un'area a sud del comune, caratterizzata dalla presenza del *graben* di S. Leonardello, delimitato a ovest dalla omonima faglia attiva e a est dalla faglia di Trepunti – Stazzo.

Nel presente lavoro si è volutamente omissivo il calcolo dell'ultimo parametro che concorre alla definizione del rischio: la vulnerabilità. Tale parametro dipende, nel caso specifico, dalla qualità delle infrastrutture viarie presenti nel territorio; parametro di difficile quantificazione se non con approfondite analisi di natura ingegneristica, non oggetto della presente ricerca.

La cyberinfrastruttura qui strutturata ha infatti l'obiettivo di individuare, con relativa celerità, i segmenti viari potenzialmente sottoposti a rischio geologico l.s.; l'individuazione preventiva e semiautomatica di tali segmenti ha quindi lo scopo di facilitare le fasi di monitoraggio lungo le arterie viarie, semplificando la scelta su dove effettuare analisi continue sulla vulnerabilità o sull'evoluzione degli eventuali fenomeni geologici osservati.

Particolare attenzione è stata posta alla progettazione e alla gestione dell'intero *database*, caratterizzato da una grande mole di dati, ideato e gestito interamente su software GIS, in modo da permettere lo svolgimento di analisi spaziali e ricerche complesse tramite linguaggio SQL o sfruttando i vari strumenti messi a disposizione dal software. La costruzione della *cyberinfrastruttura* in ambiente GIS permette non solo di ordinare e gestire le varie componenti, ma ha anche lo scopo di amalgamare i dati di pericolosità ed esposizione e renderli informativi, restituendo l'informazione finale sul rischio potenziale.

Tra i principi fondamentali su cui si fonda l'intero progetto vi è il tentativo di automatizzazione dei processi che conducono all'ottenimento delle mappe finali di rischio, insieme alla loro condivisione in maniera semplice ed efficace. In quest'ottica, i numerosi passaggi svolti all'interno del progetto, sono stati in parte automatizzati grazie all'ausilio di *toolboxes* appositamente realizzate in *ArcGIS Model Builder* (<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/analyze/modelbuilder/what-is-modelbuilder.htm>), talvolta con l'ausilio di alcuni *script Python* integrati all'interno di esse, capaci di garantire una più veloce replicabilità delle operazioni anche in contesti comunali diversi da quello del caso studio e permettere allo stesso tempo l'aggiornamento dei dati di *input* ogni qualvolta si viene in possesso di dati aggiornati e/o migliori in termini di affidabilità e completezza o se si desidera integrare ulteriori parametri (ad esempio un nuovo tipo di pericolosità o il parametro vulnerabilità).

Il *database* di informazioni grafiche e tabellari risiede fisicamente all'interno di una singola e specifica directory (C:/Geodata), che contiene, oltre ai dati di *input* e *output*, anche le varie *toolboxes* sviluppate e alcuni file necessari al loro corretto funzionamento (ad esempio i file di stile .lyr per la categorizzazione degli *shapefile* di *output*).

Parte della *cyberinfrastructure* è stata resa consultabile e interrogabile anche online attraverso una serie di soluzioni *WebGIS*, come la disponibilità dei file vettoriali e *raster* via servizi OGC (WMS e WFS) e KML, la visualizzazione di anteprime delle cartografie tramite gli *script* di *OpenLayers*, lo sviluppo di un geoportale dedicato su *ArcGIS Online*, la creazione di tre app *Android* per l'interazione con le mappe di rischio via smartphone e in mobilità e l'approntamento di un sito web dedicato; ognuna di queste soluzioni è stata pensata per un tipo di fruizione e di fruitore differente, permettendo varie modalità d'accesso (via smartphone, via PC con software GIS, tramite browser Internet) a differenti tipi di utenti, che possono disporre di competenze e scopi anche molto diversificati.

Il progetto è rivolto sia alle aziende private che operano nel campo della Geomatica, sia alle pubbliche amministrazioni, che possono ricevere dalla *Cyberinfrastructure* un immediato supporto nelle fasi di monitoraggio e di pianificazione territoriale riguardo nuovi interventi, atti a limitare o eliminare, ove possibile, le condizioni di rischio potenziale connesse alla rete viaria.

La tipologia di destinatario proposta suggerisce la forte connotazione di carattere imprenditoriale alla base del progetto, che non ha e non vuole avere l'obiettivo specifico di dare risposte univoche sul rischio presente all'interno del comune analizzato, bensì quello di proporre una metodologia di lavoro semiautomatizzata, con una serie di soluzioni *WebGIS* a corollario, capace di ricavare in maniera schematica e semplificata delle indicazioni sulle probabili arterie viarie potenzialmente a rischio sulla base dei dati di *input* a disposizione. Studi approfonditi su determinate zone ed eventuali interventi di mitigazione del rischio potranno così essere calibrati dall'amministrazione comunale, insieme agli uffici preposti, in funzione della priorità d'intervento suggerita dai risultati degli *output* finali, promuovendo una virtuosa politica di prevenzione e mitigazione del rischio. L'identificazione delle aree critiche sarà d'aiuto anche per la gestione degli studi sulla vulnerabilità delle infrastrutture che potrà essere svolta con metodi ingegneristici



più completi e dettagliati soltanto nelle zone in cui insiste un certo grado di pericolosità ed esposizione, con un notevole risparmio di tempo rispetto ad analisi più estese su tutto il territorio. È anche vero che il concetto di vulnerabilità potrebbe essere inteso non come la propensione al danneggiamento di un'infrastruttura ma come funzione del grado di pericolosità che insiste nelle strade a più alto traffico, quelle che in caso di interruzione a causa di un evento pericoloso, causeranno più problemi per il corretto funzionamento dell'intera rete.

La prima fase del progetto ha previsto la scelta del territorio comunale (caso studio) e il reperimento dei dati con delle prime analisi preliminari del materiale a disposizione. I dati, in gran parte disponibili in formato *raster*, sono stati quindi digitalizzati permettendo la progettazione della struttura del *database* e la produzione delle prime carte derivate.

Durante la seconda fase ci si è dedicati all'analisi e alla perimetrazione delle pericolosità geologiche analizzate (idraulica, tettonica e geomorfologica) con la creazione dei primi *tools* di automazione con *ArcGIS Model Builder* e allo studio dell'esposizione della rete viaria tramite i due modelli sopracitati. Analisi interferometriche tramite utilizzo dei *Persistent Scatterers*.

La terza fase è stata dedicata allo studio dei prodotti interferometrici e all'approfondimento sul *graben* di San Leonardello.

La quarta fase ha previsto la somma delle pericolosità, il calcolo delle mappe di rischio suddivise per tipologia, il calcolo delle mappe di rischio complessive per strade ed edifici e i sopralluoghi diretti nelle zone ad alto rischio con la produzione della documentazione fotografica.

Nell'ultima fase ci si è concentrati sulla creazione delle soluzioni *WebGIS* per la consultazione e la condivisione delle cartografie.

## 1 Inquadramento geologico dell'area studio

Il caso studio scelto per la strutturazione dell'infrastruttura informatica è il comune di Giarre (CT), cittadina di circa 28.000 abitanti e con superficie di 27,73 Km<sup>2</sup> nella zona orientale della Sicilia (Fig. 1.1).

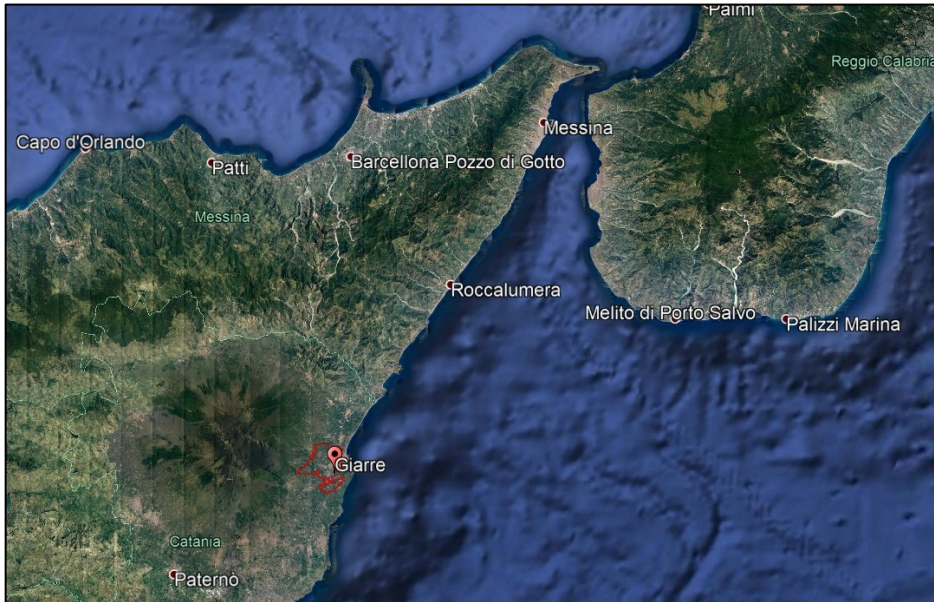


Fig. 1.1 - Localizzazione dell'area comunale (contorno in rosso) su vista satellitare.

Il suddetto comune si inserisce in un quadro geodinamico molto complesso, essendo situato lungo il fianco orientale del vulcano Etna (Fig. 1.2).

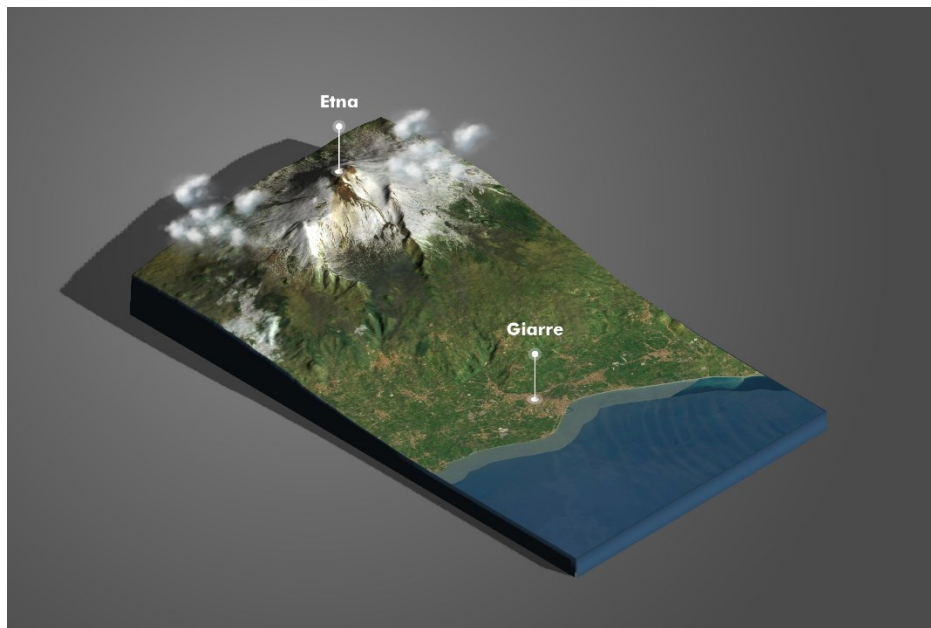


Fig. 1.2 – Modello 3D con la posizione del comune di Giarre rispetto al vulcano Etna.

L'Etna è uno strato vulcano complesso, risultante dalla sovrapposizione di diversi edifici (Gemmellaro, 1858; Lyell, 1859) poggianti su un basamento in parte alloctono, formato da rocce di età compresa tra il Cretaceo ed il Pleistocene (Romano et al., 1982; Lentini, 1982). La sua struttura e la geodinamica a scala locale sono il risultato di una complessa interazione tra processi tettonici e processi vulcanici, governati da fenomeni di instabilità del fianco orientale e movimenti indotti dal magma (Azzaro et al., 2013; Bonforte et al., 2013; Le Corvec et al., 2014).

L'assetto geodinamico dell'intera Sicilia Orientale è il risultato della collisione neogenica tra la Placca Africana e la Placca Europea (Branca et al., 2011; Polonia et al., 2016), la quale generò l'Orogene Appenninico – Maghrebide, una catena corrugata che forma la dorsale appenninica e, attraversando l'Arco Calabro, la Sicilia e il Canale di Sicilia, prosegue lungo le coste nord-africane del Maghreb.

L'edificio vulcanico etneo sorge quindi al limite tra diversi domini strutturali della Sicilia Orientale, dove la crosta oceanica ionica e la crosta continentale dell'Avampese Ibleo, costituente il margine della Placca Africana (Burolet et al., 1978), si immergono sotto il fronte dell'Orogene Appenninico-Maghrebide.

Dal punto di vista strettamente tettonico, sulla base delle informazioni geologico-strutturali, delle evidenze morfologiche e tramite le analisi di sezioni sismiche a mare, si distinguono due sistemi di faglia principali: un "Sistema Acireale – Sant'Alfio" e un "Sistema di Piedimonte", caratterizzato da faglie normali e fratture d'estensione NNE-SSO (Monaco & Tortorici, 1995; Monaco et al., 1997).

Il primo dei due sistemi è caratterizzato da faglie normali con componente trascorrente destra NNO-SSE; le faglie più importanti sono quelle di Acireale, S. Alfio, Miscarello, S. Leonardello e la faglia di S. Tecla, orientata NO-SE, che formano scarpate notevolmente estese e alte fino a 200 m. Tali faglie sono considerate appartenenti alla Scarpata Ibleo - Maltese (Lanzafame and Bousquet, 1997), un fascio strutturale a scala crostale, orientato NNO-SSE, che si estende per circa 300 km dall'isola di Malta fino a intercettare la costa ionica etnea.

Il secondo sistema è invece caratterizzato dalla presenza di faglie dirette, orientate circa NE-SO; tale fascia strutturale causa l'abbassamento generale verso lo Ionio delle unità della Catena Appenninico-Maghrebide, formando il cosiddetto "Rise di Messina" (Sartori et al., 1991).

Le strutture principali di questo sistema sono la faglia di Ripa della Naca e la faglia di Piedimonte, che a differenza delle faglie appartenenti al Sistema Acireale – Sant'Alfio, non hanno attività sismica storica documentata (Azzaro, 1999; Azzaro e Barbano, 2000).

Un'altra importante struttura sismogenetica del versante orientale etneo è la faglia della Pernicana, causa di numerosi eventi sismici verificatisi dal 1981 ad oggi (con  $2.6 \leq M \leq 4,2$ ) (Azzaro, 1997). Si tratta di una faglia normale con componente trascorrente destra, orientata circa E-O, che si sviluppa, con scarpate di diverse decine di m, per circa 6,5 km e si raccorda con la zona dei crateri sommitali attraverso il sistema di fessure eruttive del "Rift di NE" (Neri et al., 1991; Groppelli e Tibaldi, 1999), mentre il suo prolungamento verso lo Ionio è rappresentato dalla faglia di Fiumefreddo.

Il sistema di faglie Pernicana-Fiumefreddo rappresenta il binario settentrionale di svincolo di un lento e continuo processo di scivolamento verso E-SE dell'intero versante orientale dell'Etna (Borgia et al., 1992; Lo Giudice & Rasà, 1992; Rust and Neri, 1996; Rasà et al., 1996; Azzaro, 1999; Bonforte et al., 2011; Urlaub et al., 2018), in corrispondenza di una dorsale del basamento sedimentario, orientata E-O, che raggiunge una quota di circa 1000 m s.l.m. (Di Stefano e Branca, 2002).

La complicata situazione geodinamico-strutturale è stata sintetizzata in alcuni lavori con la presenza di diversi domini tettonici (Fig. 1.3), delimitati dalle faglie presenti e con movimento relativo differenziato (Bonforte et al., 2011).

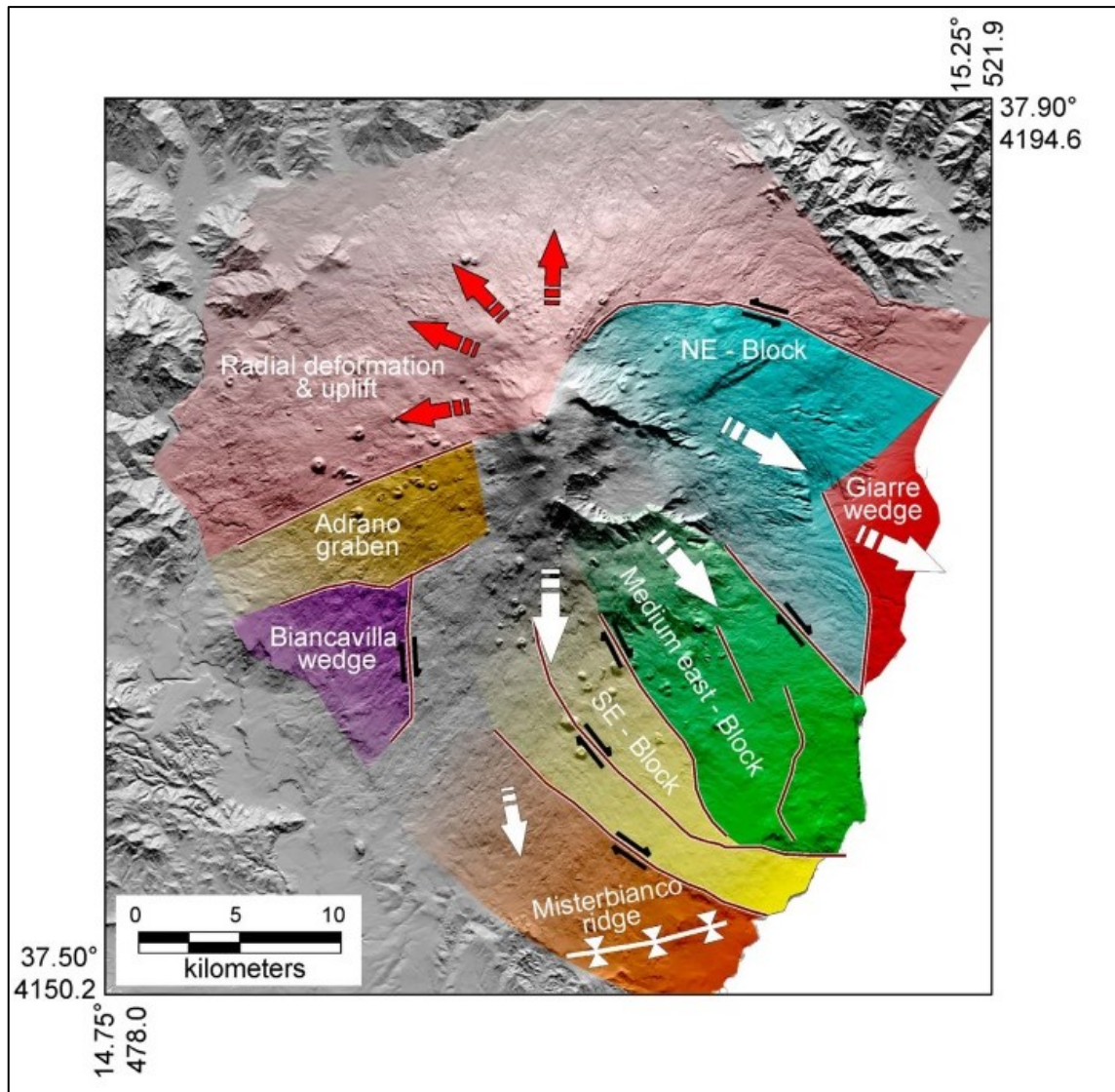


Fig. 1.3 - Principali domini tettonici del fianco orientale dell'Etna con indicazione della direzione di movimento (Bonforte et al., 2011).

Sulla base di dati GPS (Puglisi & Bonforte, 2004) e di mappe di deformazione al suolo ricavate da analisi *InSAR* (Froger et al., 2001; Lundgren et al., 2003, 2004; Bonforte et al., 2011) sembra che il processo sia vincolato dal sistema di faglie della Pernicana a Nord e da quello di Mascalucia - Trecastagni a Sud; i valori di deformazione maggiori si registrano in corrispondenza della costa dove analisi condotte tra il 1995 e il 2001 utilizzando tecniche di interferometria SAR (*Synthetic Aperture Radar*) hanno messo in evidenza (Fig. 1.4) valori di deformazione superiori a 3 cm/a per la componente orizzontale e di circa 1 cm/a per quella verticale (Bonforte et al., 2011).

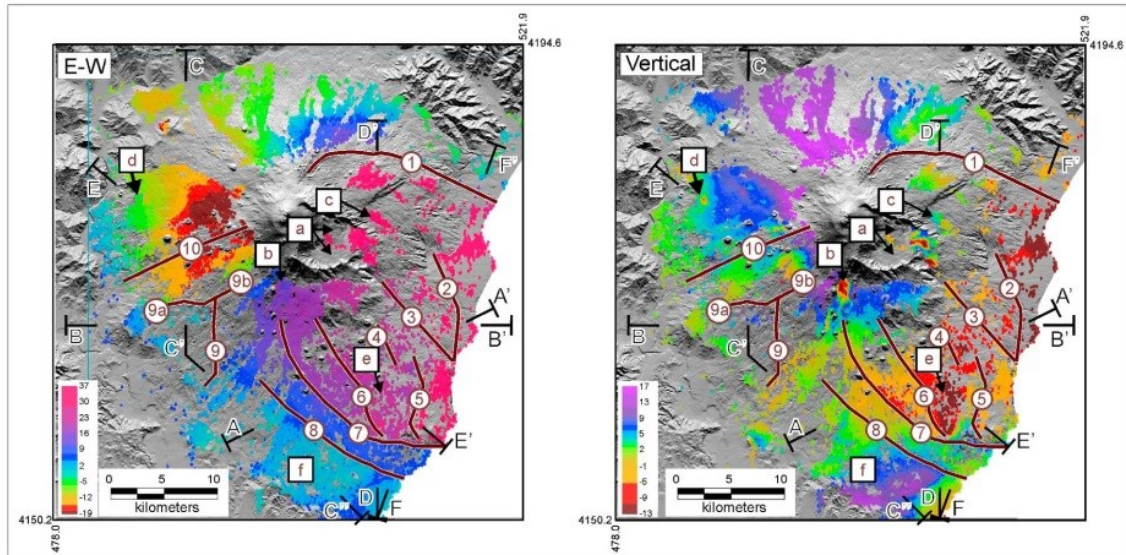


Fig. 1.4 - Valori di deformazione (mm/a) nella componente E – W (a sinistra) e nella componente verticale (a destra) lungo il fianco orientale dell'Etna (Bonforte et al., 2011).

L'attività eruttiva dell'Etna è sempre stata molto complessa e variabile; inizialmente sottomarina e fissurale, è diventata in seguito subaerea e a carattere centrale a causa di un sollevamento regionale che ha determinato una variazione nel meccanismo di risalita dei magmi, con conseguente cambiamento del chimismo, da prodotti subalcalini a prodotti più o meno differenziati della serie alcalino-sodica, emessi da numerosi apparati eruttivi.

Recenti studi stratigrafici e geocronologici hanno ricostruito l'evoluzione del vulcanismo (De Beni et al., 2011; Branca et al., 2011), inglobando tutte le litologie presenti nella regione etnea in cinque fasi principali:

- “Basal Tholeiitic volcanics” (da 500 mila a 200 mila anni fa): costituiscono la prima manifestazione vulcanica nell'area etnea, con prodotti vulcanici iniettati nei sedimenti argillosi poco profondi o posti nel fondale marino della zona di avanfossa Gela-Catania. Un esempio di questa fase è visibile ad Acitrezza (CT), con la presenza di lava *a pillow*, testimonianza di eruzioni di tipo effusivo in parte associate ad attività idromagmatica.
- “Timpe volcanics” (da 200 mila a 100 mila anni fa): magmatismo caratterizzato da una composizione sub-alcalina e fortemente influenzato dalla tettonica estensionale data dal sistema di faglie delle timpe (Branca et al., 2008). Attività prevalentemente di tipo fissurale (direzione N-S) che ha generato un vulcano a

scudo di 22 km lungo un asse con direzione NNO-SSE, da Acireale (CT) all'area di Ripa della Naca (Sant'alfio, CT).

- “Valle del Bove volcanics” (da 100 mila a 60 mila anni fa): segna un cambiamento dell'attività vulcanica, che passa da quella di tipo fissurale a una di tipo centrale (Branca et al., 2011), con vulcaniti a composizione da hawaiiica a benmoreitica.
- “Ellittico volcanics” (da 60 mila a 15 mila anni fa): fase che sancisce la strutturazione dell'edificio vulcanico principale etneo, raggiungendo un'altezza di circa 3600 m, grazie a eruzioni sia esplosive che effusive. I prodotti vulcanici sono caratterizzati da un *range* composizionale da basalti alcalini a trachiti con mugeariti (Corsaro & Pompilio, 2004).
- “Mongibello volcanics” (da 15 mila anni fa): strutturatosi dopo il collasso dell'Ellittico con presenza di prodotti vulcanici da hawaiiiti a mugeariti almeno fino al 1970, quando sono stati riconosciute lave ricche in potassio categorizzate come K-trachibasalti (Corsaro & Cristofolini, 1996). Durante questa fase, circa 10 mila anni fa, l'edificio vulcanico subì un grande crollo del fianco orientale producendo una grande depressione nota come “Valle del Bove” (Calvari et al., 2004; Guest et al., 1984). L'attività eruttiva è stata caratterizzata da fenomeni di tipo stromboliano, fontane di lava, sporadici eventi subpliniani ed eruzioni laterali.

L'aspetto del territorio giarrese è ovviamente fortemente influenzato dal punto di vista litologico dalla sua vicinanza all'apparato etneo, e risulta essere caratterizzato dalla sovrapposizione e giustapposizione di diverse unità vulcano-stratigrafiche poggianti su un basamento sedimentario prevalentemente argilloso.

Limitatamente al territorio comunale, è stata quindi digitalizzata una carta geologica a partire da quella proposta dal P.R.G. (Piano Regolatore Generale del Comune di Giarre, approvato con Decreto Dir. 19/DRU del 18/1/2005, variante del 2008), la quale mostra la distribuzione delle colate e dei depositi all'interno dei limiti comunali, spiegandone le principali caratteristiche.

La successione litologica prevede (dal più antico al più recente): lave dei centri eruttivi del *Trifoglietto*, *tufi*, *lave dei centri eruttivi del Mongibello antico*, *Lahars*,

*Chiancone, lave non databili del Mongibello recente, lave del 1689, alluvioni recenti e alluvioni attuali* (Romano, 1982; Guest et al., 1984; Cristofolini et al., 1991).

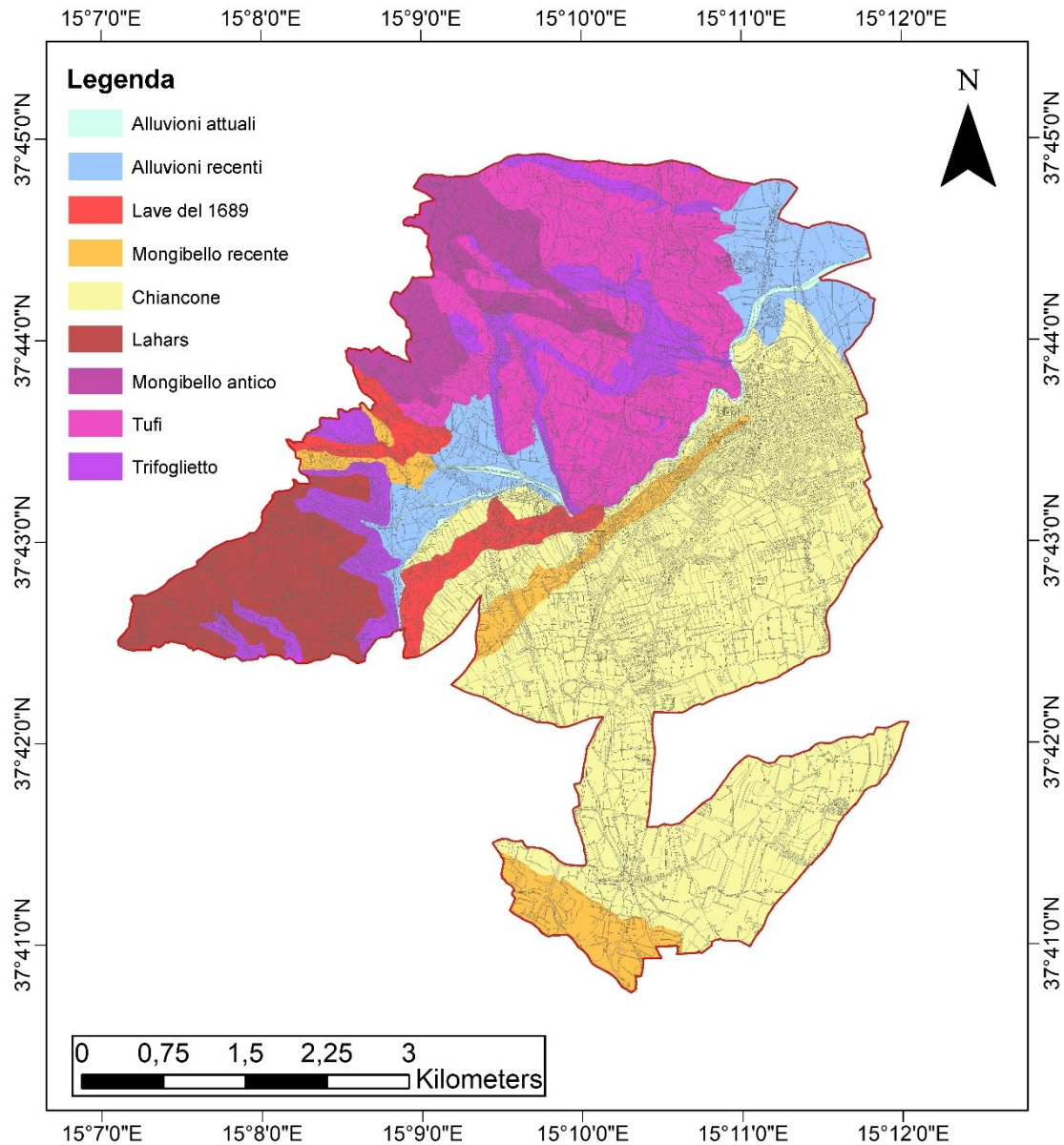


Fig. 1.5 - Carta geologica del comune di Giarre digitalizzata a partire dal Piano Regolatore Generale del Comune di Giarre (Approvato con Decreto Dir. 19/DRU del 18/1/2005, variante del 2008).

Le litologie affioranti sono:

- *Lave dei Centri Eruttivi del Trifoglietto*: in corrispondenza delle scarpate di faglia delle "Timpe di Miscarello" (tra le località di Fondo Macchia e Miscarello) e di S. Giovanni Montebello, oppure intercalate ai Tufi. Si tratta di lave discretamente alterate di colore grigio scuro, a struttura compatta, talvolta intensamente



fratturate e ricoperte localmente da livelli scoriacei e strati di alterazione superficiale.

- *Tufi*: affioranti per circa 4,5 km<sup>2</sup> in un'area compresa tra il limite amministrativo con Mascali a nord, gli abitati di S. Giovanni M. ad ovest e di Macchia di Giarre a sud, e infine tra Giarre e S. Maria La Strada a est, sulla sponda sinistra del torrente Macchia. Si tratta di un'alternanza di livelli di lapilli di colore grigio, a volte continui e a volte discontinui, e di più rari intervalli di ceneri grossolane stratificate e di strati sensibilmente più massivi.
- *Lave dei centri eruttivi del Mongibello antico*: lungo il margine nord occidentale del territorio in corrispondenza della frazione di S. Giovanni Montebello. Si tratta di lave grigie e vacuolari di tipo alcalino, generalmente alterate e degradate, affioranti sotto forma di colate spesso interessate da estese coperture di alterazione ad opera dalle acque superficiali e intercalate localmente ai Tufi.
- *Lahars*: affioranti per poco più di 2 km<sup>2</sup> lungo l'estremità occidentale del territorio comunale tra l'abitato di Miscarello e i paesi limitrofi di Milo e S. Venerina. Sono costituiti da materiale vulcanoclastico eterogranulare (blocchi lavici spigolosi, brecce e sabbia) con un'abbondante porzione cineritico-sabbiosa in cui sono dispersi blocchi lavici variamente alterati, di diversa forma, dimensione e natura petrografica, assumendo un aspetto caotico e una colorazione dal bruno all'arancione-rossiccio.
- *Chiancone*: estesa conoide costituita da depositi detritici alluvionali più o meno cementati e irregolarmente stratificati in banchi, costituiti da ciottoli e blocchi vulcanici litologicamente eterogenei immersi in una matrice sabbiosa, nonché a tufi, spessi centinaia di metri. Ricopre un'area di circa 40 km<sup>2</sup> tra Pozzillo a sud, Riposto a nord e S. Venerina a ovest, da 350 m di quota circa fino al livello del mare, con uno sviluppo massimo di 9 km in larghezza (E-O) e 10 in lunghezza (N-S), con una morfologia sub-pianeggiante digradante di 3-4° verso est (Calvari et al., 1996).
- *Lave non databili del Mongibello recente*: affioranti con due corpi lavici che ricoprono il Chiancone all'estremità meridionale, a sud della frazione di S. Leonardello e nella parte centrale del territorio comunale secondo una direzione

SO – NE. Si tratta di basalti massivi a vario grado di fratturazione per contrazione da raffreddamento, localmente a struttura vacuolare.

- *Lave del 1689*: affioranti negli alvei del torrente delle Cave e del torrente Cacocciola, in corrispondenza delle località Sciara e Croce. Si tratta di lave compatte e ben conservate con una struttura localmente scoriacea, originatesi da un'eruzione radiale iniziata il 14/3/1689 da un centro eruttivo ubicato nella Valle del Bove in prossimità di "Rocca Musarra".
- *Alluvioni recenti*: costituite da sedimenti granulari sciolti con granulometria compresa tra il limo e la ghiaia grossolana e ciottoli; gli elementi più grossolani presentano forma sub-arrotondata con prevalenza di materiale di origine vulcanica. Nella porzione affiorante a ovest sono costituite da sabbie vulcaniche e conglomerati sabbiosi legati al rimaneggiamento dei *Lahars*; nella porzione a nord presentano granulometria più fine, dovuta all'erosione dei *tufi* affioranti a monte.
- *Alluvioni recenti*: sedimenti sciolti affioranti negli alvei dei torrenti a pendenza ridotta; visibili maggiormente lungo l'alveo del torrente Macchia.

Dal punto di vista morfologico, il territorio comunale di Giarre si trova ad una quota compresa tra i 15 e i 600 m s.l.m. (Fig. 1.6) e presenta una morfologia tipica dei territori facenti parte del versante orientale dell'Etna, caratterizzata da una serie di terrazzi con andamento quasi pianeggiante e quote debolmente digradanti verso est (Fig. 1.6).

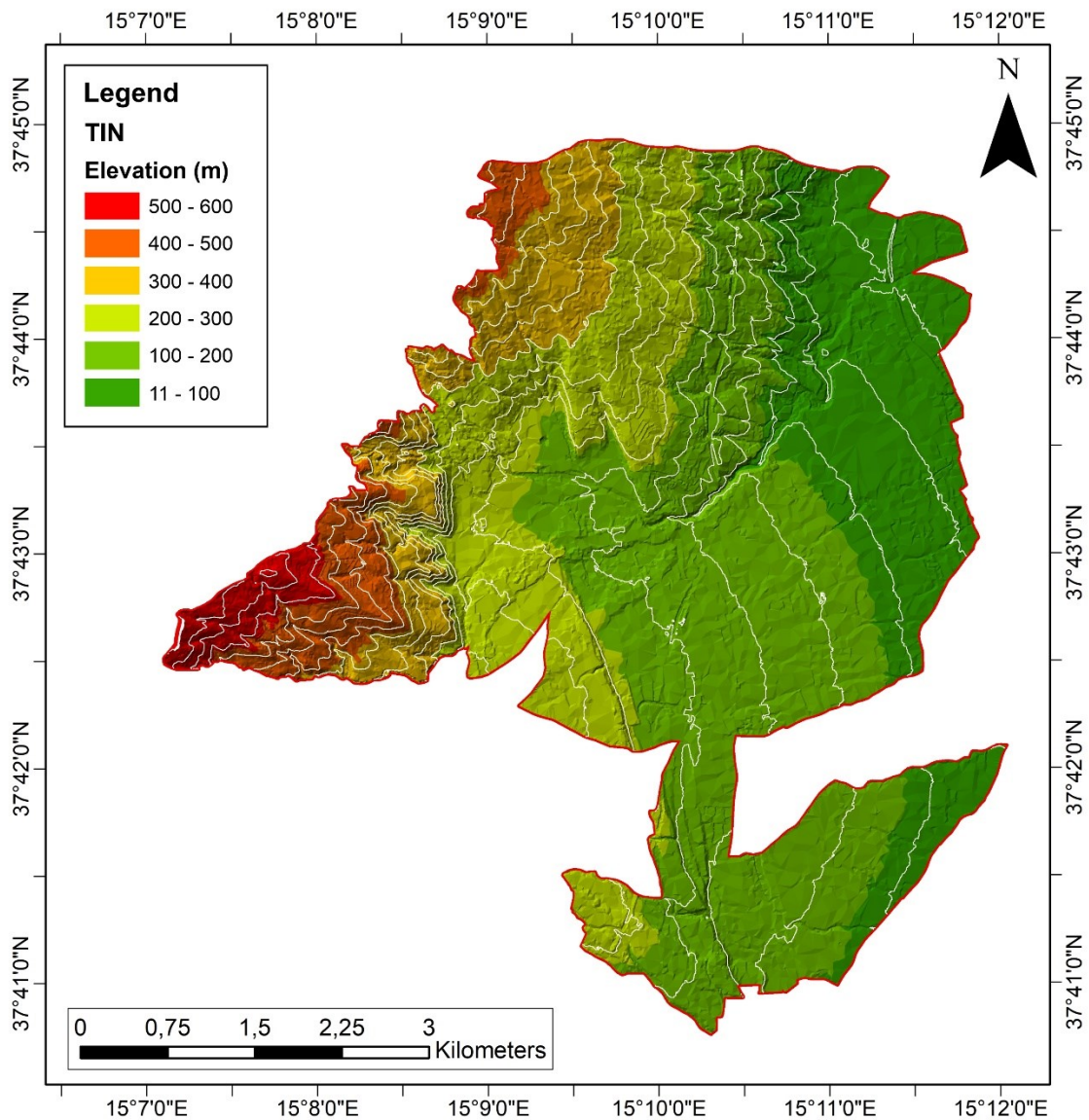


Fig. 1.6 - Modello TIN (Triangulated Irregular Network) del territorio comunale con intervallo delle fasce altimetriche di 100 m. Si nota un andamento leggermente digradante verso est.

L'aspetto morfologico è ovviamente fortemente influenzato dagli elementi litologici, tettonici e dall'attività eruttiva dell'Etna legata alla messa in posto di colate laviche.

Il pendio risulta dolce e regolare in corrispondenza del Chiancone, delle alluvioni recenti e nella zona di affioramento delle lave (Fig. 1.5) che sono localmente intervallate da rotture di pendenza, coincidenti con i fronti di avanzamento lavico o con i fianchi delle colate. Le colate tendono a scorrere lungo le varie depressioni morfologiche, incanalandosi quindi negli alvei torrentizi.

Le strutture tettoniche (Cap. 3) hanno un ruolo determinante nella modellazione del paesaggio che subisce modifiche sia al verificarsi di terremoti, con spostamenti verticali lungo le scarpate di faglia, sia a causa dei lenti movimenti di creep di cui alcune sono affette. I risultati più eclatanti di tali eventi sono le "Timpe", importanti scarpate di natura tettonica (Adorni & Carveni, 1993; Blumetti et al., 2007), che interrompono l'andamento sub-pianeggiante del paesaggio (Timpe di Miscarello, le Timpe di S. Giovanni e la Timpa di S. Leonardello). La faglia delle Timpe di Miscarello è responsabile delle scarpate più imponenti presenti nel territorio di Giarre, con dislivelli fino a 150 m e acclività molto alte, che raggiungono valori vicini alla verticale. Le scarpate dovute alle faglie di S. Giovanni e di S. Giovanni - Macchia, sebbene non siano strutture sismicamente attive, sono altresì caratterizzate da dislivelli importanti, mediamente compresi tra 30 e 60 m; anche le pendenze sono inferiori a quelle riscontrate nelle timpe di Miscarello e presentano pendenze generalmente intorno ai 30°.

Le timpe sono solcate trasversalmente da incisioni fluviali profonde e con pareti molto acclivi, in risposta alla continua azione erosiva delle acque di ruscellamento sulle diverse colate laviche che ricoprono il territorio.

Le zone sensibili di cui sopra possono facilmente essere identificate attraverso la carta delle pendenze (Fig. 1.7), generata a partire da un DTM a 2 m di risoluzione.

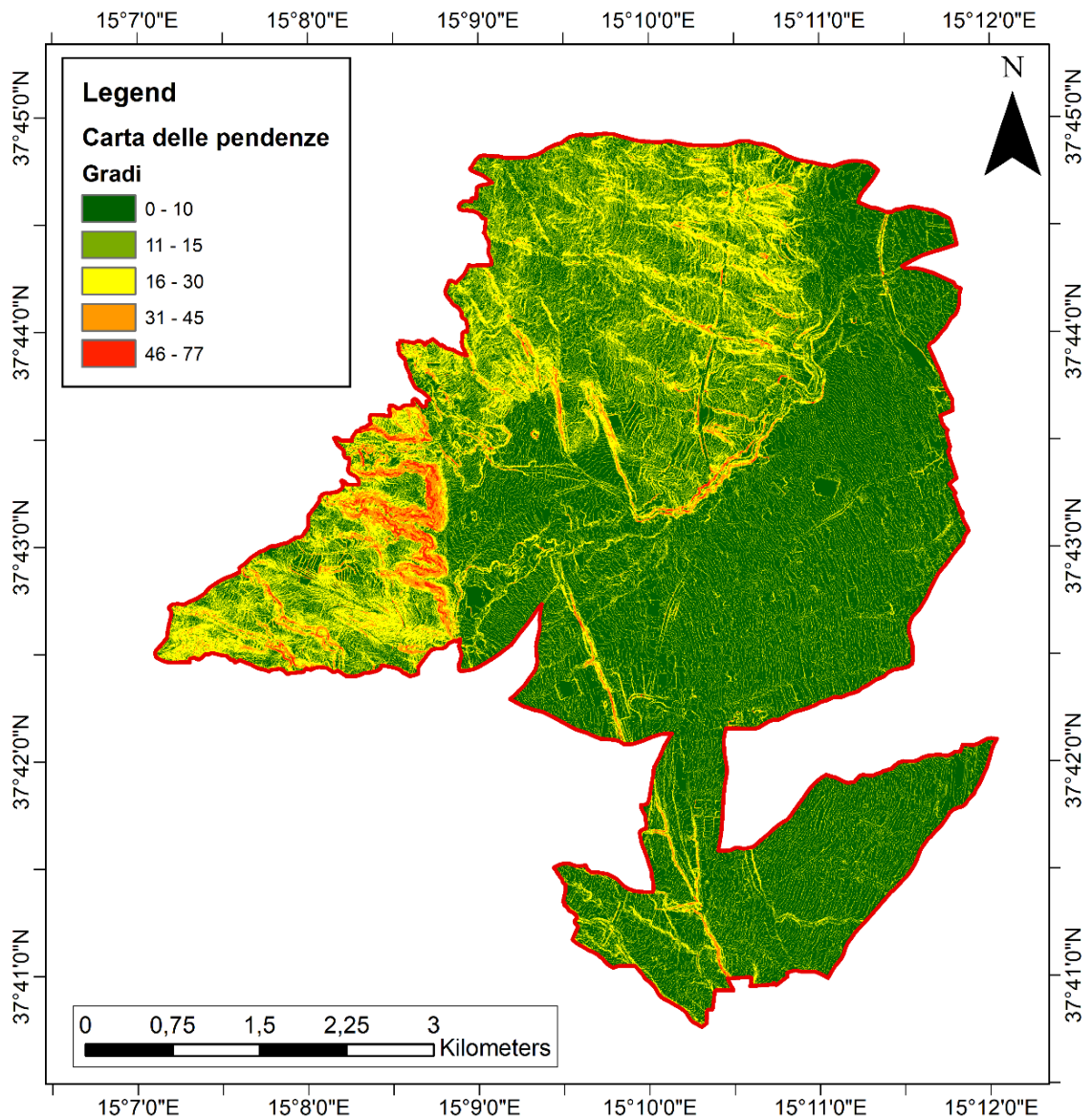


Fig. 1.7 - Carta delle pendenze (o clivometrica) del territorio comunale espressa in gradi, generata a partire da un DTM a 2 m di risoluzione.

Le pendenze maggiori si riscontrano proprio in corrispondenza delle timpe (Fig. 1.7), lungo le sponde degli alvei incassati (soprattutto quello del torrente Macchia) e in corrispondenza di cambi litologici significativi, come ad esempio al passaggio tra colate di diversa età e con caratteristiche geomeccaniche differenziate.

Procedendo da nord verso sud è possibile riconoscere: timpe di S. Giovanni Montebello, timpe di Miscarello, timpa di S. Leonardello, l'alveo incassato del Torrente Macchia, l'alveo del Torrente S. Leonardello a monte della frazione omonima.

Dal punto di vista idrologico, i corsi d'acqua presenti nel comune di Giarre sono caratterizzati da un regime prevalentemente torrentizio e con deflusso di tipo

intermittente, influenzato per larga parte dall'entità e dalla durata delle precipitazioni. Gli effetti erosivi sono in genere estremamente limitati e si evidenziano esclusivamente in occasione di eventi meteorici di grande rilevanza.

La struttura del reticolo idrografico (Fig. 1.8) è fortemente influenzata da fattori litologici e tettonici: in primo luogo la permeabilità dei terreni avviene, più che per porosità, per fratturazione della maggior parte dei terreni affioranti e per permeabilità secondaria dovuta ad elementi tettonici e alla messa in posto di colate laviche, che condizionano drasticamente il ruscellamento delle acque superficiali e quindi la formazione di spartiacque o di linee di impluvio con grado di gerarchizzazione ben definito (Bisson et al., 2018).

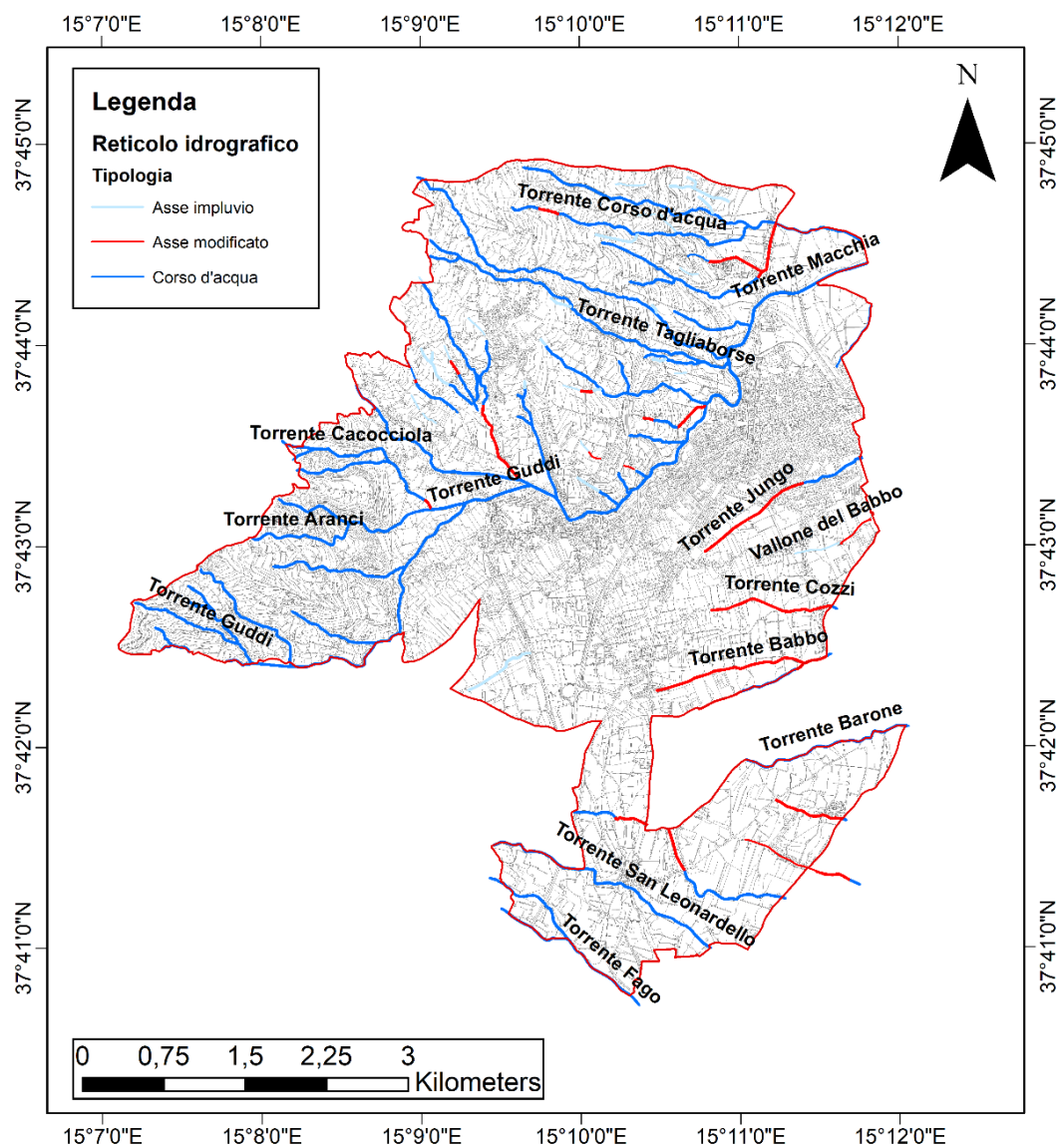


Fig. 1.8 - Reticolo idrografico digitalizzato manualmente a partire dai dati disponibili nel P.R.G. del comune di Giarre.

Tale caratteristica risulta ben evidente nelle aree di affioramento lavico recente ma anche nelle zone del Chiancone, dove le incisioni sono contraddistinte dall'assenza di un'organizzazione gerarchica articolata. Le strutture tettoniche, alcune delle quali ancora attive sia sismicamente che per movimenti di creep asismico (F. delle Timpe di Miscarello e di S. Leonardello), ricoprono un ruolo determinante nel modellare l'aspetto del paesaggio. Anche l'attività eruttiva dell'Etna determina delle profonde modifiche paesaggistiche a causa della messa in posto di colate laviche con il conseguente incanalamento negli alvei torrentizi.

## 2 Pericolosità idraulica

### 2.1 Reticolo e bacini idrografici

L'idrografia dell'intera area di Giarre può essere suddivisa in una serie di bacini, che diminuiscono di dimensione da NO verso SE; non tutti questi bacini, per caratteristiche litologiche, tettoniche e morfologiche, costituiscono criticità dal punto di vista idrologico non interferendo particolarmente nella definizione di situazioni di pericolosità in relazione alla rete viaria (Fig. 2.1).

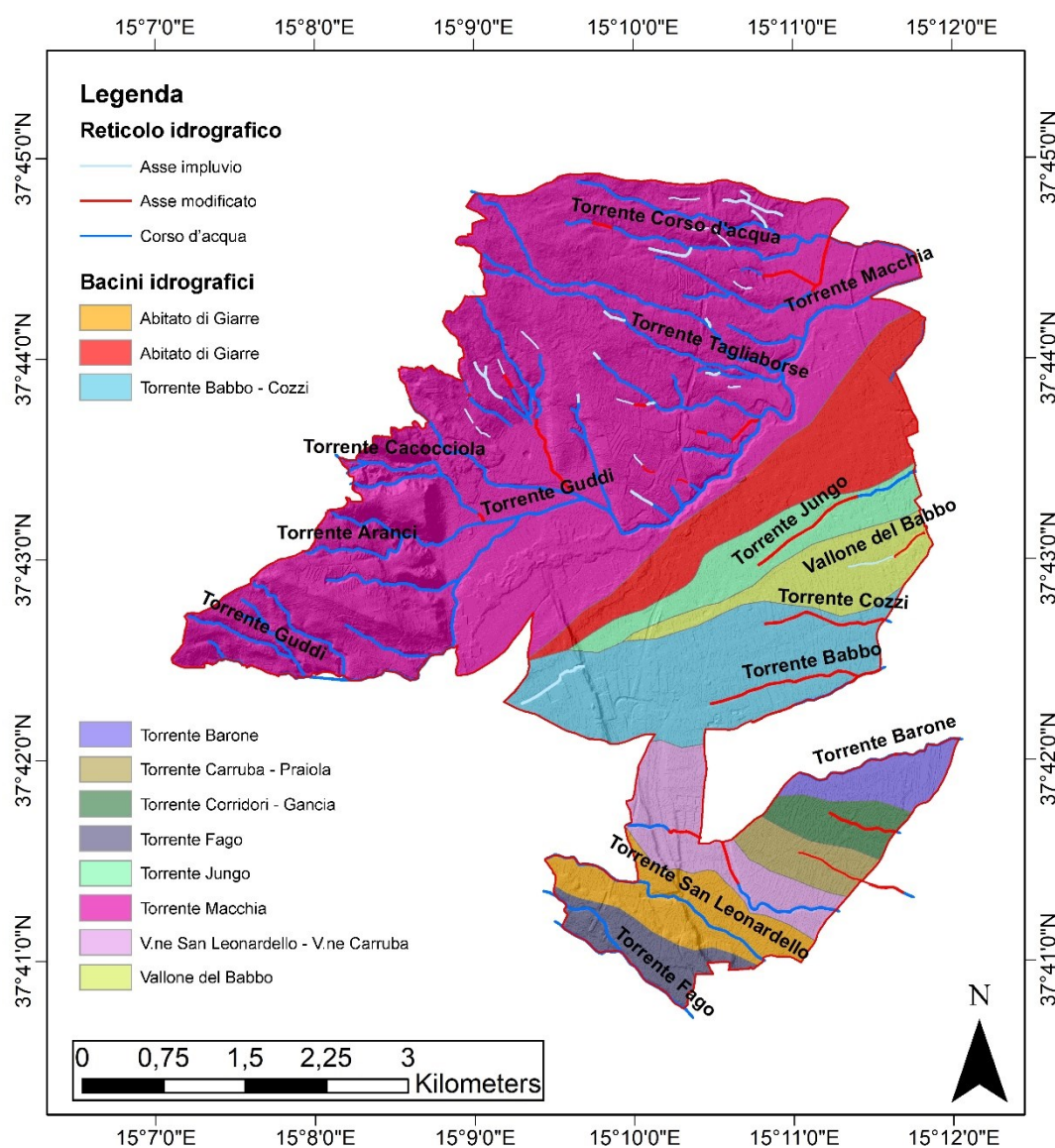


Fig. 2.1 - Reticolo idrografico e bacini idrografici del comune di Giarre (Fonte: P.R.G.), in trasparenza su hillshade generato a partire da un DTM a 2 m di risoluzione.



Il torrente con deflusso più consistente è sicuramente il Torrente Macchia, che attraversa il territorio comunale secondo una direzione circa SO-NE.

Il reticolo idrografico del Torrente Macchia si presenta ben gerarchizzato e si estende fino a quota 2.500 m sul versante nord-orientale dell'Etna con una superficie complessiva di circa 70 km<sup>2</sup>, occupando circa la metà del territorio comunale (settore centrale e settentrionale). Al suo interno moltissimi corsi d'acqua tributari convogliano in un'unica asta, rappresentata appunto dal Torrente Macchia, il cui tratto finale di circa 700 m, comprendente la foce, è ubicato in territorio di Mascali (Adorni & Carveni, 1993).

L'elemento del bacino che salta subito all'occhio dal punto di vista morfometrico è la sua profonda asimmetria rispetto all'asse idrografico principale (data dal rapporto tra l'area del bacino, di destra o di sinistra, e l'area totale del bacino stesso): dalla parte sinistra sono infatti presenti numerosi sottobacini e quindi un reticolo molto gerarchizzato, mentre questa caratteristica risulta pressoché assente per la sponda destra. Il reticolo idrografico disponibile per il Comune di Giarre, visibile in Fig. 2.3, digitalizzato a partire da cartografie esistenti, dispone di una tabella attributi completa di informazioni riguardo l'ordine gerarchico e i nomi delle varie aste.

Nell'ottica dell'automatizzazione dei processi di studio, parte centrale del progetto di dottorato in questione, è stata creata una *toolbox* capace di estrarre il reticolo idrografico in maniera automatica a partire da un unico file di *input*, ovvero un DTM dell'area di interesse. Il DTM utilizzato per il calcolo del reticolo è caratterizzato da una *pixel size* di 2 m che garantisce una buona accuratezza del risultato finale. Con file a risoluzione maggiore (ad esempio di 1 m per pixel, o più), tramite l'aiuto di un rilevamento da drone, è ovviamente possibile ottenere risultati più precisi e dettagliati.

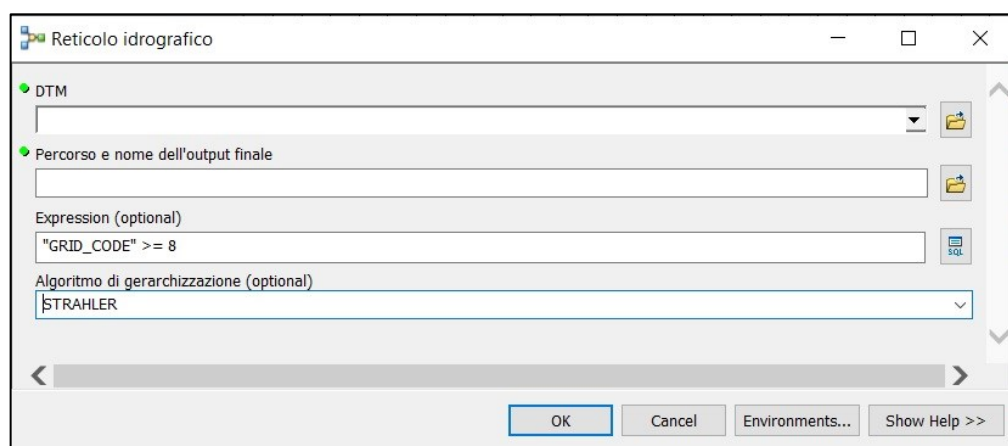


Fig. 2.2 - Schermata iniziale del tool per la generazione del reticolo idrografico.

In Fig. 2.2 si nota come l'unico *input* da immettere all'interno della *toolbox* sia il DTM dell'area di studio; la seconda opzione permette di scegliere la destinazione e il nome dello *shapefile* di output; la terza opzione rappresenta un'espressione, modificabile in via opzionale, che permette di escludere dall'output finale tutte le aste con valore gerarchico inferiore a una determinata soglia, impostata di *default* a 8. A seconda del livello di dettaglio desiderato è possibile quindi modificare tale valore per generalizzare o arricchire il reticolo finale. Nel caso di Giarre è stato appurato che, selezionando tutte le aste con ordine gerarchico maggiore o uguale a 8, si riesce ad ottenere un buon compromesso tra dettaglio della rete e facilità di gestione dello *shapefile* risultante. L'ultima scelta, anch'essa opzionale, permette di cambiare algoritmo di gerarchizzazione delle aste fluviali dal *metodo Strahler* al *metodo Shreve* a seconda delle proprie esigenze.

Nel *metodo Strahler*, detto anche sistema *top down*, i fiumi del primo ordine sono gli affluenti più esterni: quando due flussi dello stesso ordine si uniscono, al flusso risultante viene assegnato un numero maggiore di uno; se due fiumi con diversi ordini di flusso si fondono, al flusso risultante viene assegnato il più alto dei due numeri. Tale metodo è fortemente influenzato dal fattore scala: maggiore è la scala della mappa, più ordini di flusso possono essere conteggiati.

Il *metodo Shreve* (Shreve, 1967) assegna anche agli affluenti più esterni il numero "1". A differenza del *metodo Strahler*, al verificarsi di una confluenza i numeri vengono sommati in ogni caso, e risulta meno dipendente dalla scala della mappa (Jarvis, 1977; Onesti et al., 1978).

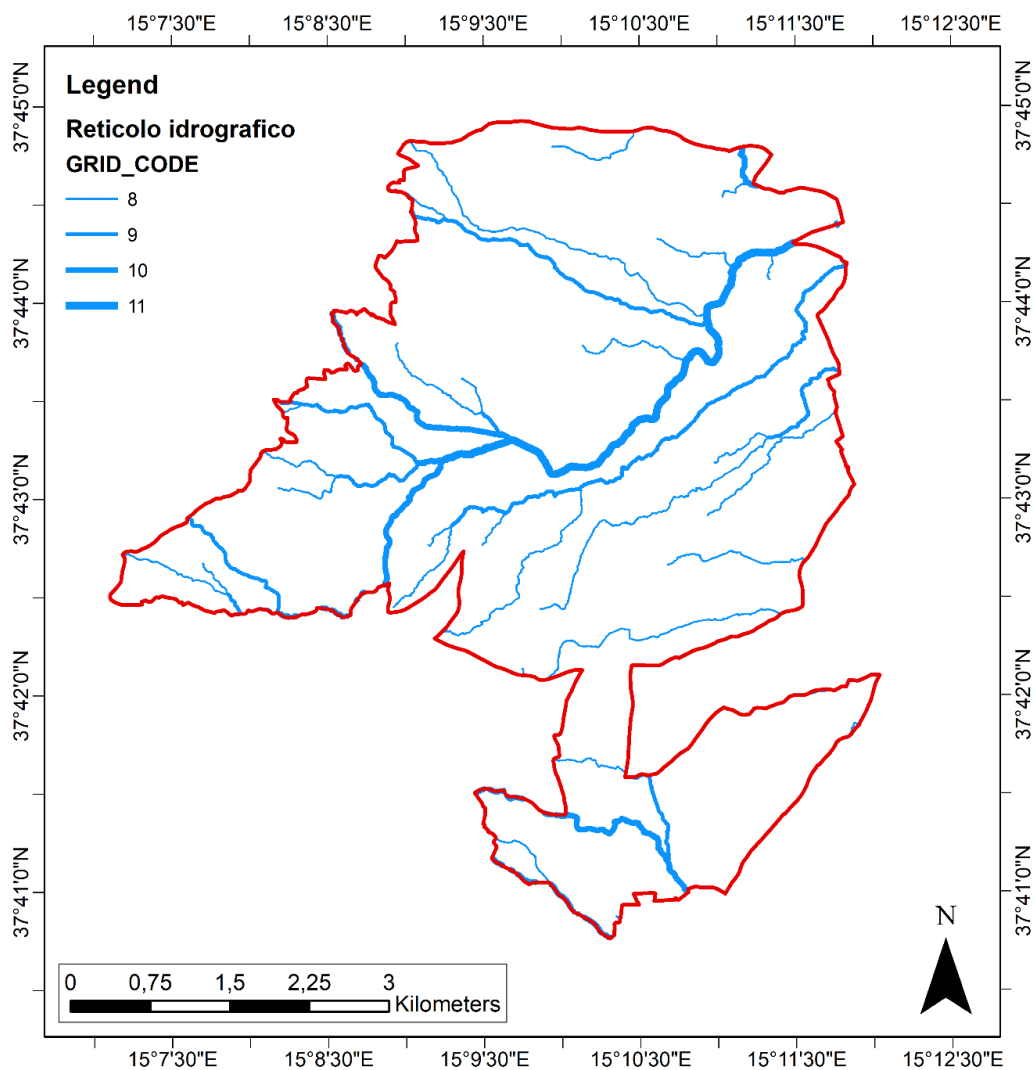


Fig. 2.3 - Reticolo idrografico calcolato tramite tool (gerarchizzazione con metodo Strahler).

Grazie al file di stile .LYR immagazzinato all'interno della *directory* "C:\Geodata\Lyr\_files", l'output finale verrà direttamente categorizzato secondo lo stile scelto, con un colore azzurro e un tratto più o meno spesso a seconda del valore gerarchico dell'asta (indicato dal campo "GRID\_CODE" all'interno della tabella attributi), permettendo una visualizzazione più immediata della situazione idrologica.

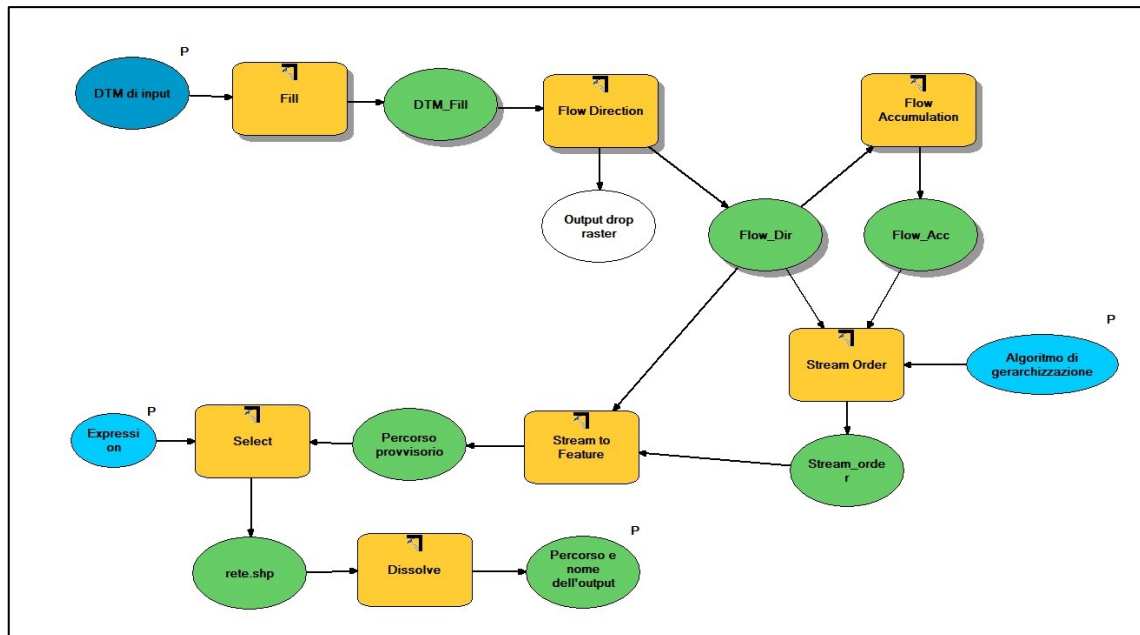


Fig. 2.4 - Workflow del tool per la creazione del reticolo idrografico.

Il tool può essere utile sia nel caso in cui non si disponga di informazioni cartografiche pregresse sull'idrologia (come quelle in Fig. 1.8), generando da zero un reticolo idrografico grazie all'ausilio del DTM.

In modalità modifica (Fig. 2.4) sono visibili tutte le operazioni svolte dal *tool* a partire dal file di *input*: *Fill* permette di riempire i buchi ed altre imperfezioni eventualmente presenti nel DTM iniziale; *Flow accumulation* e *Flow direction* creano dei *raster* in cui ogni singolo pixel possiede uno specifico valore determinato dalla direzione di deflusso e di accumulo previsto verso i pixel vicini a quota più bassa; *Stream order* calcola e assegna un valore gerarchico alle varie aste fluviali in base al metodo scelto; le operazioni successive trasformano il dato finale in formato vettoriale, uniscono le singole geometrie in funzione del loro valore di "GRID\_CODE" e le rappresentano nella maniera prestabilita, salvando l'output finale nella cartella di destinazione indicata dall'utente.

## 2.2 L'indice TWI (Topographic Wetness Index)

L'indice TWI (*Topographic Wetness Index*) è il più comune indice topografico basato sull'idrologia ed esprime, sulla base delle condizioni topografiche del pendio che controllano la geometria del ruscellamento, la quantità d'acqua che può infiltrarsi e saturare le rocce affioranti, differenziando le celle nelle quali è suddiviso il versante in

funzione del grado di umidità o saturazione potenziale (Mattivi et al., 2019; Pourali et al., 2016).

Il calcolo del TWI può essere realizzato in maniera automatizzata a partire dal DTM (Wilson & Gallant, 2000) applicando la seguente relazione:

$$TWI = \text{Ln} \frac{Ca}{\text{Tan}\phi}$$

dove  $Ca$  indica l'area tributaria (*Contributing area*) di ogni cella, e  $\phi$  indica la pendenza della cella considerata.

Il calcolo del TWI segue il concetto di bilanciamento di massa:  $Ca$  è un parametro della tendenza a ricevere l'acqua, mentre la pendenza locale e la morfologia delle linee drenanti descrivono la tendenza ad evacuare l'acqua.

Il TWI è un indice adimensionale, che non possiede cioè una specifica unità di misura o significato fisico definito. Si tratta di un valore relativo per identificare le aree che contribuiscono in misura più significativa al deflusso rispetto ad altre.

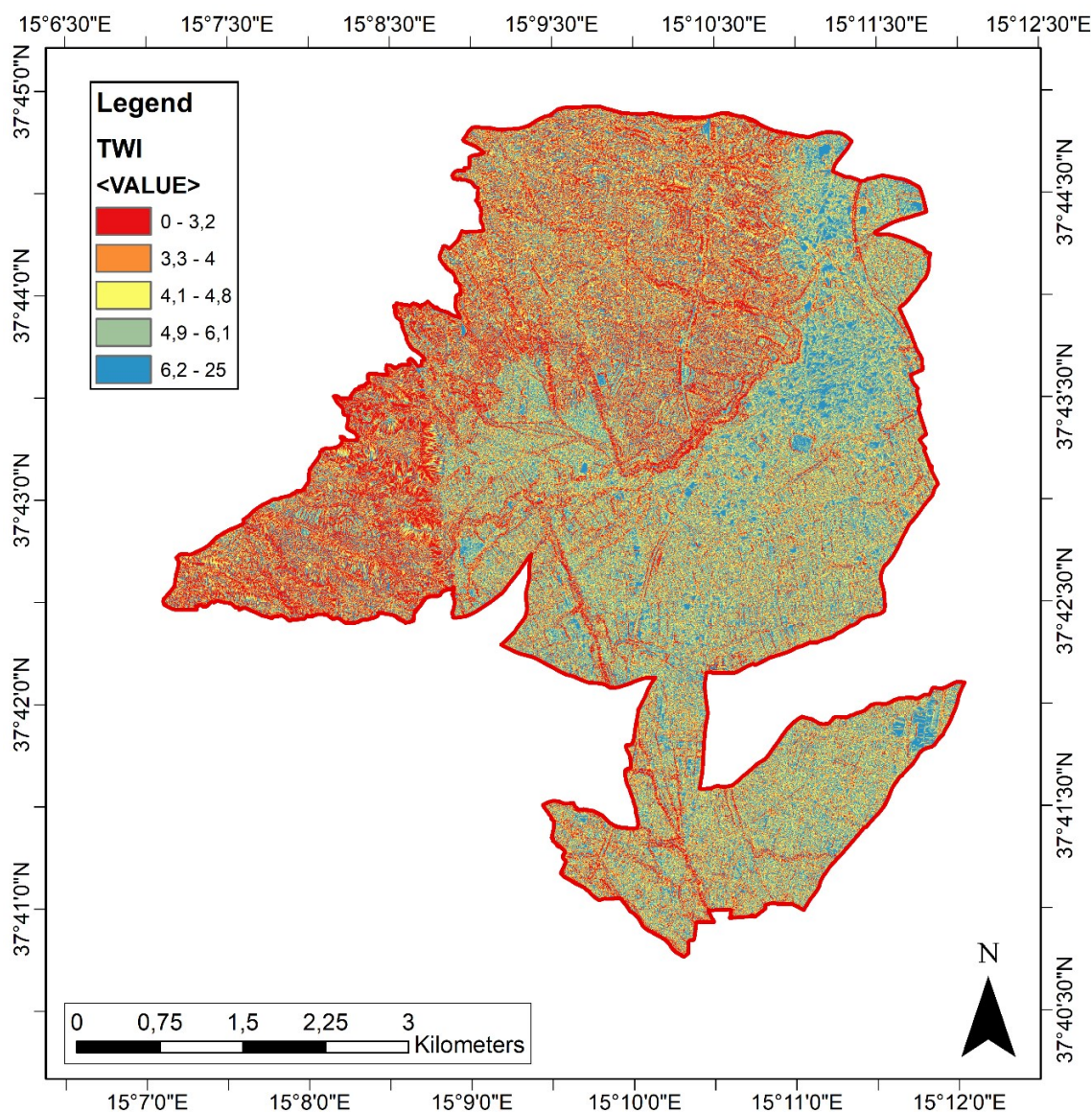


Fig. 2.5 - Raster dell'indice TWI ottenuto a partire dal tool.

Suddividendo i pixel del *raster* finale in cinque classi tramite il *metodo quantile* e applicando un'apposita scala colore, è possibile visualizzare in blu le aree soggette ad accumulo di acqua, caratterizzate quindi da bassa pendenza e di conseguenza da valori di TWI più elevati rispetto ad aree con pendenza maggiore o aree tributarie minori.

Anche in questo caso è stato creato un *tool* per automatizzare il processo di calcolo dell'indice TWI, costituito normalmente da numerosi passaggi. Si è reso però necessario suddividere il *tool* in due parti, soprattutto a causa della potenza di calcolo differente a disposizione nelle macchine dei vari potenziali utenti che decideranno di usufruirne. È necessario quindi lanciare in sequenza la parte 1 e successivamente la parte 2 del *tool* denominato "Indice TWI".

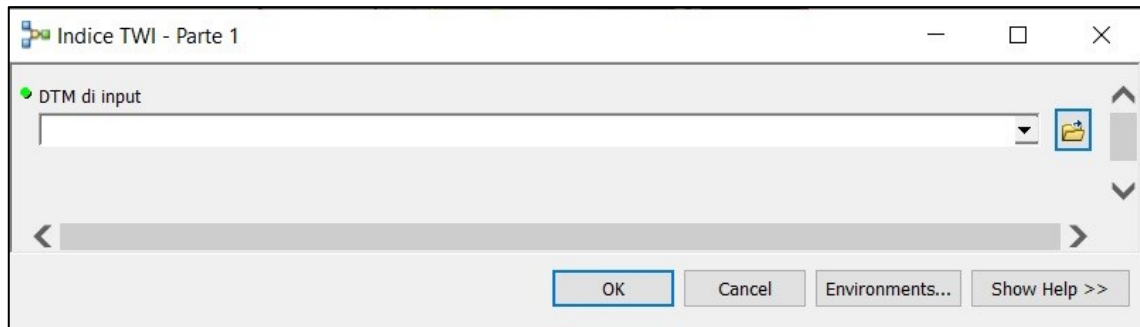


Fig. 2.6 - Schermata di avvio del tool per il calcolo dell'indice TWI (parte 1).

Nella prima parte del tool, il DTM di partenza è l'unico dato di *input* necessario.

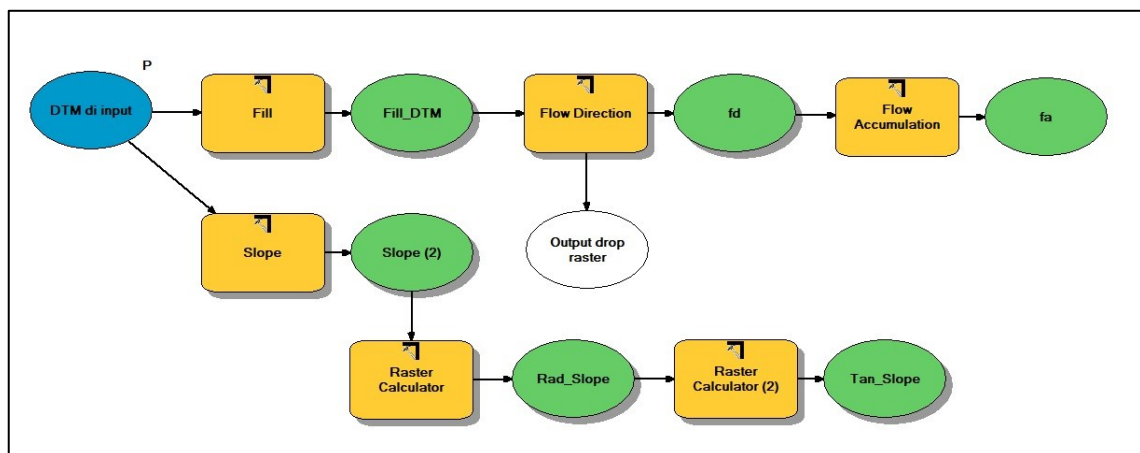


Fig. 2.7 - Workflow del tool per il calcolo dell'indice TWI (parte 1).

A partire dal dato di *input*, il tool calcola in maniera automatica una carta delle pendenze (*Slope*) con valori espressi in gradi, successivamente convertiti in radianti (*Rad\_Slope*). L'operazione seguente, tramite *field calculator*, permette di rimuovere i valori pari a zero attraverso un'espressione condizionale, prevenendo la formazione di celle dal valore non definito nell'output finale (*Tan\_slope*).

Nella parte superiore della *flow chart* vengono invece calcolate la direzione del flusso (*fd*) e la mappa con le zone di accumulo (*fa*) attraverso i tool *Flow direction* e *Flow accumulation*. A questo punto bisogna assicurarsi che i *layers fa* e *Tan\_slope* siano stati effettivamente aggiunti al progetto GIS, in quanto l'apposita funzione disponibile nel *Model Builder* per aggiungere automaticamente i *layers* creati alla TOC (*table of contents*) tende spesso a non funzionare nella maniera corretta. Fatto questo, è possibile lanciare la seconda parte del tool.

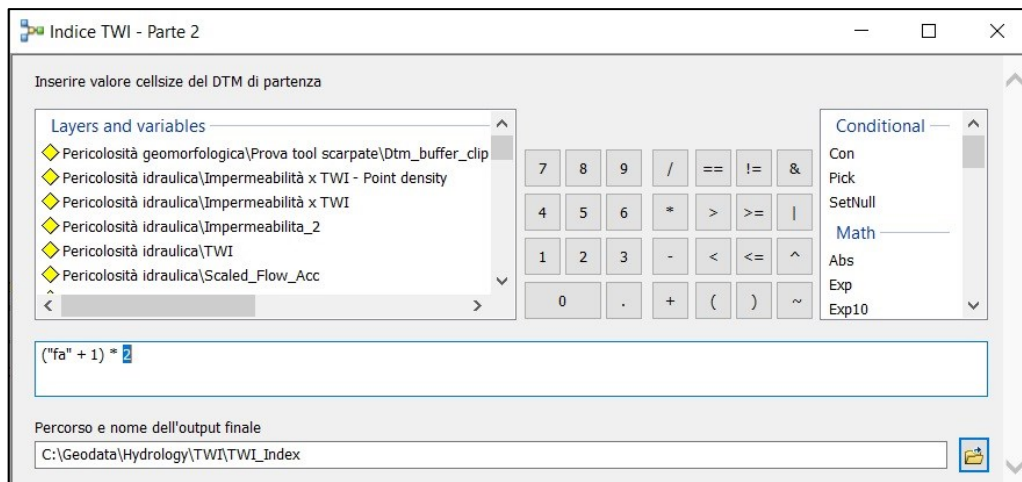


Fig. 2.8 - Schermata di avvio del tool per il calcolo dell'indice TWI (parte 2).

Si rende innanzitutto necessario sostituire il valore 2, evidenziato in Fig. 2.8, che rappresenta il valore di *cellsize* del DTM di partenza, in questo caso pari a 2 m; successivamente è possibile specificare nome e percorso per l'output finale.

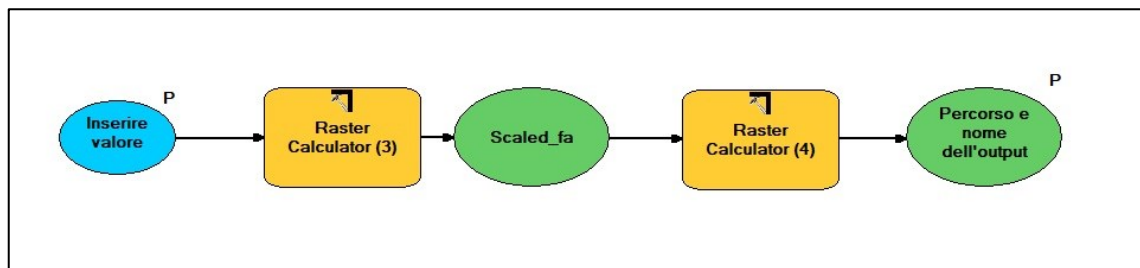


Fig. 2.9 - Workflow del tool per il calcolo dell'indice TWI (parte 2).

Insieme a quello per il calcolo del reticolo idrografico, questo *tool* può essere utile durante la fase preliminare dello studio idrologico, al fine di ottenere in maniera automatica e veloce una mappatura delle aree che potrebbero essere interessate da un maggior accumulo di acqua rispetto ad altre.

### 2.2.1 Permeabilità dei terreni

L'intero territorio giarrese è stato suddiviso all'interno della relazione geologica del P.R.G. in tre complessi dal comportamento idrogeologico differente: il complesso delle lave, il complesso dei depositi alluvionali e il complesso dei depositi vulcanoclastici.

Il complesso delle lave (permeabilità elevata) è rappresentato dai prodotti lavici del Trifoglietto, del Mongibello antico e del Mongibello recente (lave non databili del 1284-85 e del 1689) e ricoprono circa il 28% del territorio comunale; esse sono costituite



da un'alternanza irregolare di prodotti massivi e scoriacei e di depositi piroclastici e detritici.

Il grado di permeabilità (Dazzi C., 2007) dei diversi costituenti può quindi variare in base alla litologia e alla frequenza dei vuoti, alla presenza di discontinuità primarie (che si originano per fenomeni di contrazione in seguito al raffreddamento dell'ammasso lavico) e secondarie (generalmente di origine tettonica). A queste discontinuità si aggiungono vuoti di dimensioni variabili costituiti da cavità di scorrimento lavico all'interno delle colate, e le zone più scoriacee e quindi più porose presenti nelle parti inferiori e superiori delle lave.

In particolare, le lave del Mongibello recente presentano caratteri di permeabilità da elevata a molto elevata a causa delle frequenti discontinuità collegate alla fessurazione primaria durante il raffreddamento della massa lavica.

Le lave del Trifoglietto e le lave del Mongibello antico sono le più antiche e, pur possedendo le stesse caratteristiche delle precedenti, presentano solitamente valori di permeabilità media a causa di fenomeni di argillificazione che determinano in parte il riempimento delle discontinuità da parte dei prodotti di alterazione. Il tutto viene bilanciato da un aumento della permeabilità a causa della fratturazione secondaria a causa di fattori tettonici (Timpe di Miscareello e di S. Giovanni).

Il complesso dei depositi alluvionali (permeabilità da media a medio-bassa) occupa anch'esso una grande porzione del territorio comunale ed è caratterizzato essenzialmente da permeabilità per porosità; esso è costituito dal Chiancone e dalle alluvioni recenti. La permeabilità risulta estremamente variabile in funzione delle caratteristiche granulometriche e tessiturali con cui si presentano i litotipi. Nel Chiancone la variabilità dipende dal diverso grado di classazione dei livelli costituenti, fortemente influenzati dalle modalità di deposizione collegate spesso a forti piene, con trasporto rapido e tumultuoso di notevoli quantità di detriti. La permeabilità è pertanto da media a medio-bassa. Nella massa detritica sono tuttavia presenti, con una certa frequenza, delle lenti prevalentemente ghiaiose, la cui permeabilità risulta più elevata.

Le caratteristiche di permeabilità delle alluvioni recenti sono invece collegate alla differente natura dei prodotti di origine. Alcune, come quelle affioranti nella zona di Fondo Macchia sono probabilmente originate dal disfacimento dei *lahars* e delle lave e sono costituite da sabbie vulcaniche grossolane, miste a blocchi e ciottoli lavici da poco

a molto levigati; nella zona di S. Maria La Strada l'origine è invece dovuta all'erosione dei versanti, interamente costituiti da tufi, e sono caratterizzati da una maggiore uniformità granulometrica (sabbie debolmente ghiaiose con limo).

Il complesso dei depositi vulcanoclastici (permeabilità da bassa a molto bassa) comprende tufi e *lahars*. I tufi coprono parte del settore occidentale e nord occidentale del territorio comunale con spessori anche notevoli e presentano caratteristiche di permeabilità per porosità molto bassa grazie alla granulometria molto fine e ai frequenti fenomeni di argillificazione per alterazione. I *lahars* sono invece abbastanza compatti e spesso debolmente fratturati, con caratteristiche analoghe a quelle dei tufi, grazie alla presenza di deposito detritico fine che riempie le discontinuità. I valori di permeabilità sono quindi del tutto confrontabili con quelli dei tufi.

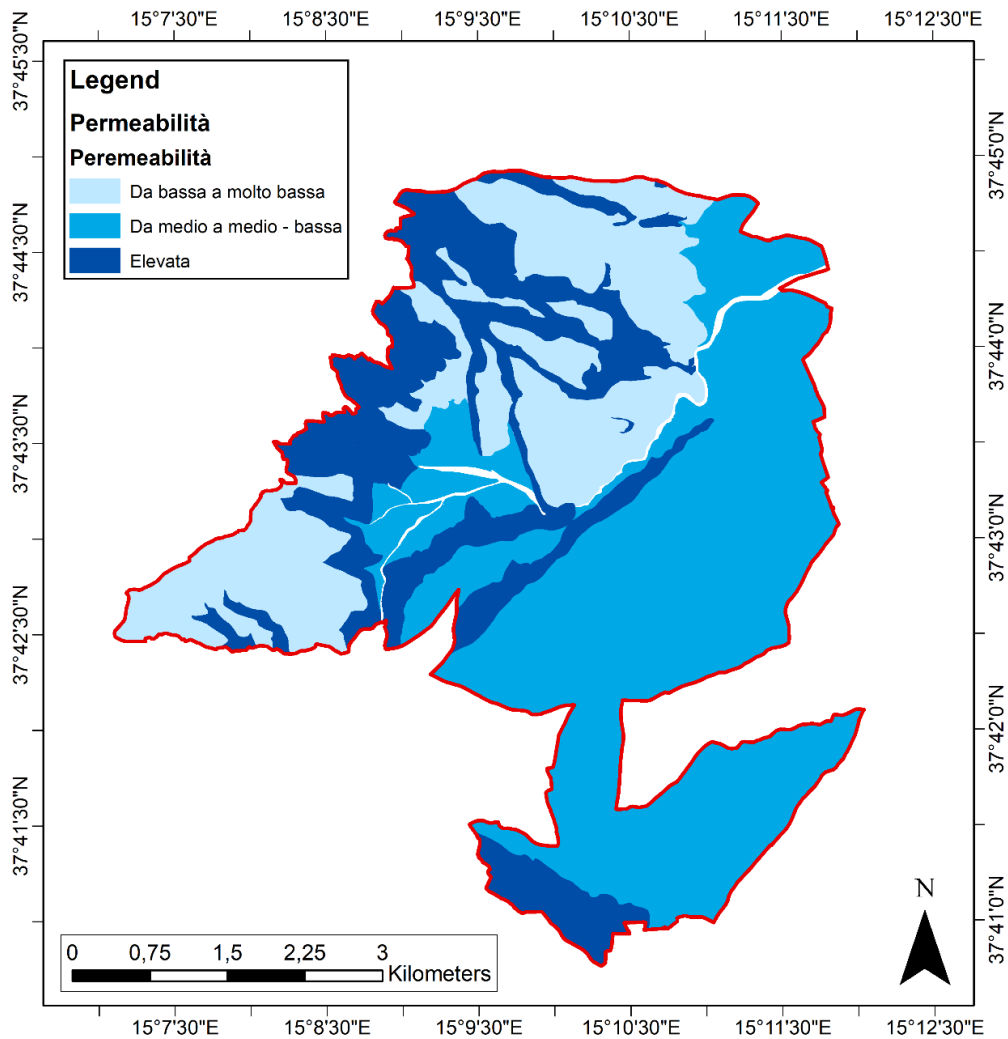


Fig. 2.10 - Carta della permeabilità generica dei litotipi affioranti.

### 2.2.2 Indice TWI e permeabilità dei terreni

Il calcolo delle zone di accumulo tramite indice TWI è stato ulteriormente affinato facendolo interagire con la carta della permeabilità dei litotipi affioranti nell'area. Assegnando un valore numerico al grado di impermeabilità di ogni categoria, partendo dal valore 1 per le alluvioni attuali (aste fluviali come il Torrente Macchia), fino ad un valore di 4 per il complesso dei depositi vulcanoclastici a permeabilità medio – bassa, è stato possibile convertire lo shapefile della permeabilità in un *raster* in cui ogni pixel possiede un determinato valore variabile da 1 a 4.

Tramite *raster calculator* è stato quindi moltiplicato il valore dell'indice TWI per il valore di impermeabilità assegnato nel *raster* della permeabilità dei terreni, ottenendo un valore di TWI modificato in funzione della permeabilità.

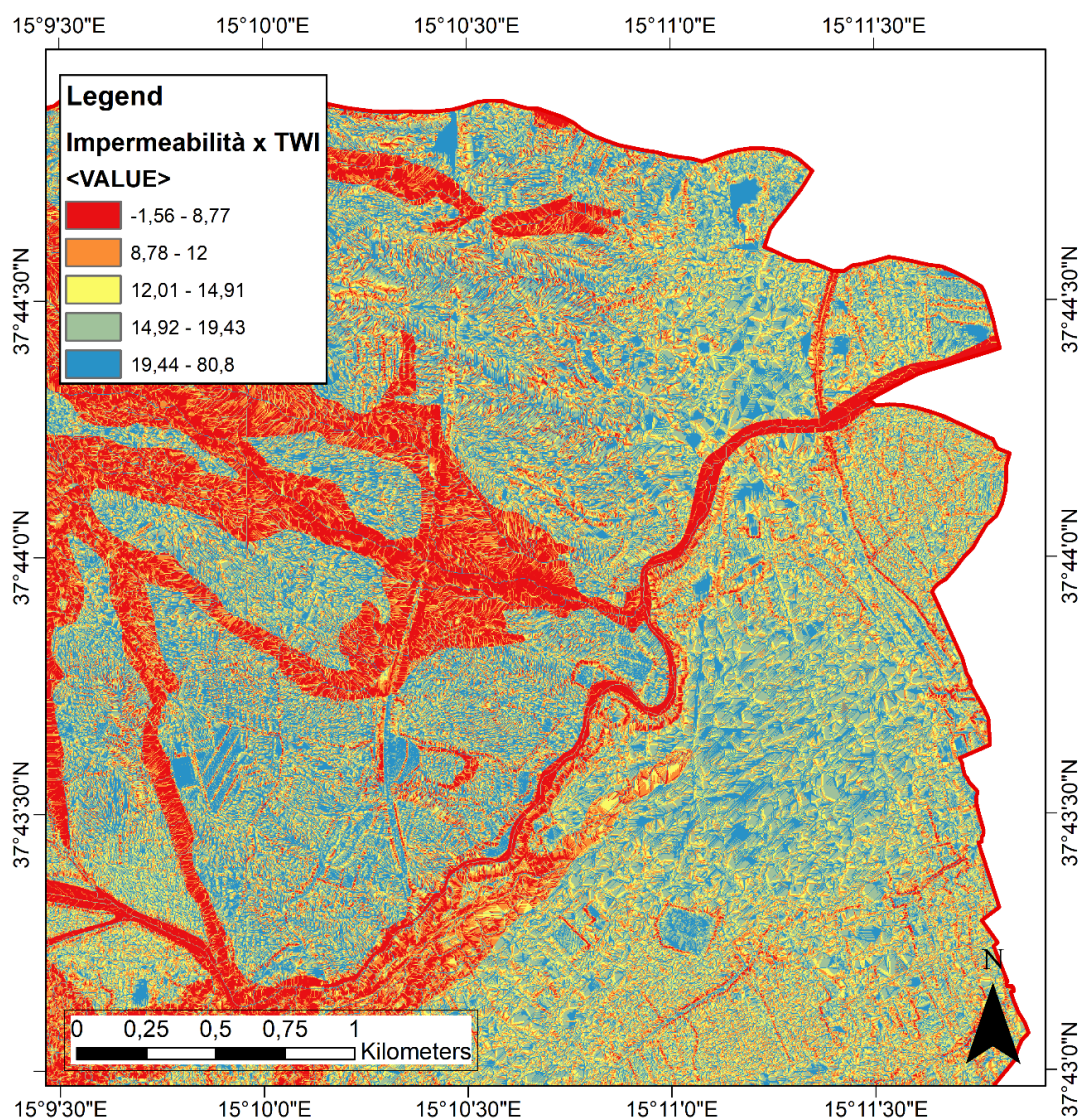


Fig. 2.11 - Prodotto tra indice TWI e valore di impermeabilità dei litotipi (indice TWI modificato).

Vengono in questo modo evidenziate in blu esclusivamente i pixel che possiedono un valore di TWI medio-alto e che insistono in aree con un buon grado di impermeabilizzazione del terreno, che contribuisce all'azione di ruscellamento superficiale delle acque.

Per ottenere un risultato graficamente più semplice da leggere e interpretare, quest'ultimo *layer* viene convertito in uno shapefile puntuale attraverso un *raster to point* per ricavarne una mappa di densità (*heatmap*) attraverso il tool *Point density tool*, utilizzando come campo di "population field" il valore dell'indice TWI modificato: lo strumento in questione calcola l'intensità dei vari punti con un dato valore rispetto all'unità di area. Il valore della somma dei punti all'interno di una determinata area di ricerca viene diviso per la dimensione dell'area per ottenere il valore di densità di ciascuna cella.

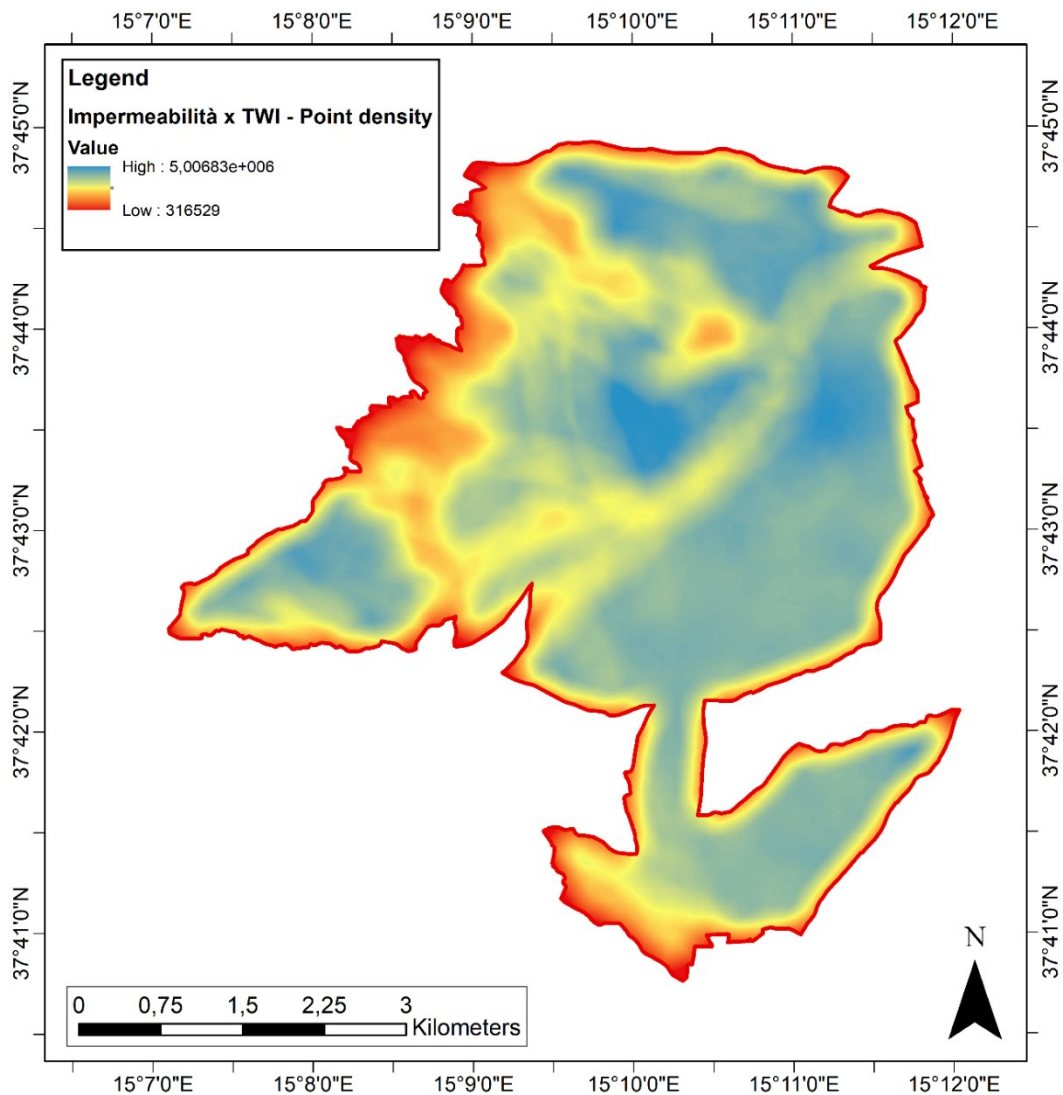


Fig. 2.12 – Mappa di densità (*heatmap*) basata sul valore dell'indice TWI modificato.

Il risultato che ne consegue va inteso e letto dal punto di vista relativo e non assoluto. La mappa permette di identificare in maniera immediata le aree a maggior concentrazione di punti con alto valore dell'indice TWI modificato, quindi maggiormente soggette a fenomeni di accumulo di acqua e di ruscellamento superficiale. È da notare come, per limiti del metodo di interpolazione utilizzato dal tool, le informazioni prossime al limite comunale non possano essere considerate attendibili a causa della mancanza di punti vicini, nello specifico oltre il limite comunale.

Tale “effetto di bordo” potrebbe essere superato qualora si fosse in possesso di dati più estesi e non limitati al singolo comune (ad es. un DTM dettagliato più esteso), includendo nell'analisi anche il territorio immediatamente esterno al perimetro comunale.

Tutti i processi precedentemente esplicitati per ottenere l'indice TWI modificato sono stati automatizzati all'interno di una *toolbox* apposita, denominata “Indice TWI modificato”.

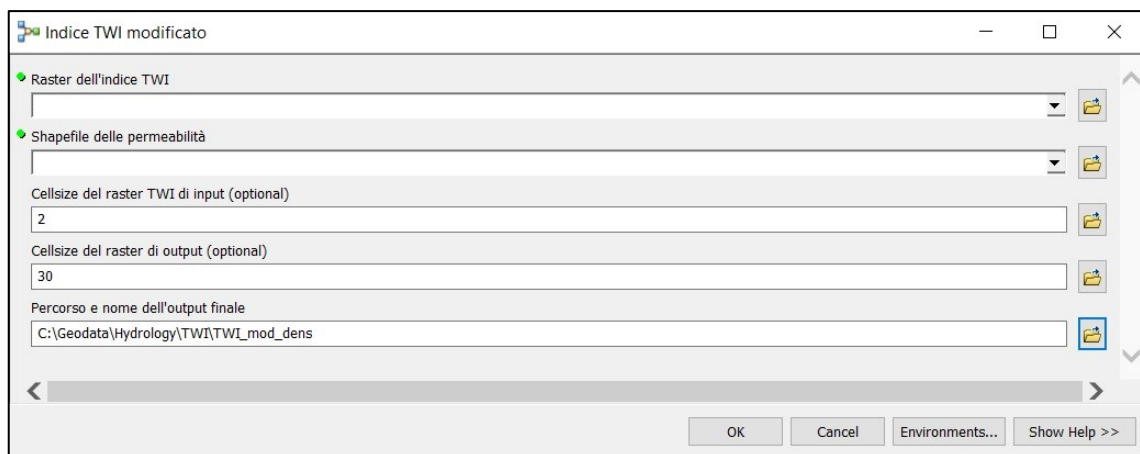


Fig. 2.13 - Schermata di avvio del tool per il calcolo dell'indice TWI modificato.

Vengono inseriti come *input*: il *raster* dell'indice TWI ottenuto tramite l'utilizzo del *tool* precedente; lo shapefile della permeabilità dei terreni, in cui dovrà essere aggiunto preventivamente un campo dal nome “Grado” in cui inserire il valore di impermeabilità del terreno (es. 1=terreni molto permeabili – 4= terreni impermeabili).

Si indica successivamente il valore di *cellsize* dell'indice TWI originario, il valore di *cellsize* desiderato per l'output finale e il percorso e il nome dell'output finale.

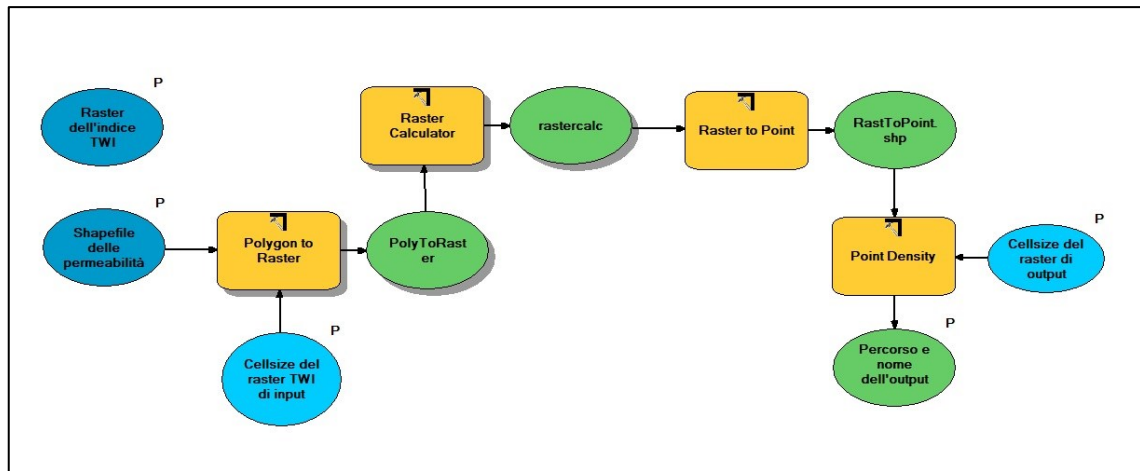


Fig. 2.14 - Workflow del tool per il calcolo dell'indice TWI modificato.

### 2.3 Intersezioni tra reticolo idrografico e rete viaria

Alcuni dei sottobacini del torrente Macchia presentano criticità idrologiche che creano situazioni di pericolosità in relazione alla rete viaria. La documentazione in possesso (relazione geologica del P.R.G. del comune di Giarre) evidenzia alcune situazioni note in varie parti del comune che possono generare, in determinati periodi dell'anno e con concentrazioni intense di precipitazioni, situazioni di pericolosità. Diverse sono le motivazioni che contribuiscono all'aumento della pericolosità, molte delle quali legate all'intensa attività antropica.

La struttura della rete idrografica è ovviamente legata alla permeabilità del suolo, alle condizioni di acclività e al regime di piovosità ed è caratterizzata da un carattere effimero del ruscellamento dipendentemente dall'intensità delle precipitazioni, che quando molto intense, riescono a saturare rapidamente l'orizzonte più superficiale del terreno. È da considerare come alcune aste fluviali vengano spesso utilizzate dalla popolazione locale come discariche di vario genere, che contribuiscono alla riduzione delle sezioni di deflusso e all'aumento del trasporto solido, con una graduale impermeabilizzazione del fondo dell'alveo. Altro fattore abbastanza comune è l'utilizzo delle incisioni fluviali come vie di accesso a terreni agricoli. Altri problemi sono determinati da impermeabilizzazioni, restringimenti o occlusioni dell'alveo, mancanza di muri d'argine, intersezioni a raso di strade, ponti ostruiti, assenza, carenza od occlusione delle caditoie stradali e degli sbocchi sui ponti, percorsi utilizzati come strade, limitata manutenzione degli alvei dei torrenti e delle opere idrauliche, insufficienza delle sezioni dei tratti intubati.

L'ambito su cui ci si è concentrati riguarda soprattutto l'insufficiente o cattiva regimazione delle acque lungo le strade, che si manifesta anche in occasione di piogge prolungate e non necessariamente di elevata intensità. In particolare, possono essere individuati dei punti sensibili che determinano, direttamente o indirettamente, situazioni di pericolosità legate alla concentrazione di notevoli quantitativi di acqua sulla rete viaria. Alcuni casi risultano particolarmente problematici e già documentati:

- il Torrente Corso d'acqua che si diparte, in corrispondenza dell'abitato di S. M. La Strada, dalla confluenza tra il torrente Continella ed il torrente S. Maria La Strada, il cui tratto finale risulta intubato all'interno dell'abitato. Il bacino, dalla superficie limitata ( $< 3 \text{ Km}^2$ ), si sviluppa da una quota di 400 m e rientra quasi interamente all'interno del territorio comunale nell'area di affioramento dei Tufi e delle Lave del Mongibello Antico, mentre il tratto finale attraversa i depositi alluvionali.
- Il bacino del Torrente delle Cave, di ampia estensione ( $> 9 \text{ Km}^2$ ), ricadente per lo più fuori dal territorio comunale, che si imposta sulle vulcaniti ed è caratterizzato da un alveo molto profondo in corrispondenza delle Timpe di Miscarello. In prossimità dell'abitato di Macchia avviene la confluenza del Torrente Nanno - Fondo Aranci, il cui bacino di piccole dimensioni ( $< 2 \text{ Km}^2$ ), ricade quasi interamente all'interno del territorio comunale ad Ovest della frazione di S. Giovanni Montebello; esso scorre alla base della scarpata della Faglia di S. Giovanni ed il suo alveo, nel tratto finale, risulta poco definito e soprattutto convertito in sede viaria.
- Il Torrente Guddi, che si sviluppa al confine con S. Venerina, seguendo il limite stratigrafico tra i depositi del Chiancone e le alluvioni recenti. Il bacino si estende anche al di fuori del territorio comunale e presenta un buon grado di gerarchizzazione. Particolarmente significative, all'interno del comune, risultano la zona a nord della frazione Macchia, dove confluisce il Torrente delle Cave dando origine al Torrente Macchia, e l'area a monte delle Timpe di Miscarello, interessata dalle profonde e strette incisioni sulle Lave del Trifoglietto percorse dal Torrente Cacocciola. In entrambi i casi si registrano pericolose intersezioni tra il reticolo idrografico e la rete viaria.

- Il Torrente Tagliaborse, e in misura minore il vicino Torrente Carbonaro – Ciapparo, dove una strada costruita ai bordi dell’incisione presenta in alcuni tratti il piano stradale quasi alla stessa altezza del letto fluviale.
- Verso la zona est del comune di Giarre si trovano i bacini propri del Torrente Jungo, Vallone del Babbo, Torrente Cozzi, Torrente Barone e Torrente Corridori – Gancia. Si tratta di incisioni vallive impostate sul Chiancone e molto interessate da interventi antropici, contraddistinti dalla quasi totale assenza di organizzazione gerarchica. All’interno del territorio comunale tali torrenti hanno subito profondi sconvolgimenti della loro funzionalità idraulica, che nella maggior parte dei casi è andata praticamente perduta, con la trasformazione degli alvei in strade e alcuni tratti più o meno correttamente intubati.
- Altre interferenze tra aste torrentizie e viabilità si verificano all’interno dei due bacini a sud del comune: i Valloni S. Leonardello - Carruba e Torrente Fago – Torrente S. Leonardello, i quali presentano caratteristiche simili nel rapporto tra aspetto idrografico e tettonico, essendo entrambi molto stretti ed allungati per circa 7 km verso ONO e sviluppati in parte nelle lave e in parte sul Chiancone. In particolare, sulla via Pio XII (strada di collegamento S. Leonardello-Carruba), in corrispondenza dell’intersezione con il Vallone S. Leonardello-Carruba, si crea spesso un passaggio a guado, concorrendo a creare una situazione di rischio a causa dell’indubbia importanza dell’asse viario.

### 2.3.1 Nodi della Protezione Civile

All’interno del “Rapporto preliminare sul rischio idraulico in Sicilia e ricadute nel sistema di protezione civile” (vers. 5/2015) viene presentato un censimento delle interferenze tra la rete idrografica e gli edifici e le strade (nodi idraulici) basato su osservazioni eseguite con *Google Earth Pro* (immagini al 2015) e di *Street View* (laddove disponibile), con confronti supportati dalla cartografia della Regione Siciliana (C.T.R., scala 1: 10.000). Altre fonti consultate sono: internet, notizie di cronaca, l’archivio del DRPC/Servizio RIA, i report dei presidi territoriali svolti a seguito della convenzione tra DRPC e Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia e alcuni studi sulla pericolosità idraulica effettuati dall’Università di Messina sui torrenti ionici.

In tutta la regione Sicilia, le situazioni più comuni vengono così schematizzate:



- Interferenze tra corsi d'acqua e viabilità:
  - ostruzioni significative degli attraversamenti a causa di vegetazione infestante e/o sedimenti e/o detriti; tali situazioni rivestono maggiore rilevanza, in termini di rischio potenziale in caso di piena, per i corsi d'acqua non incassati e/o il cui alveo si trovi a quota prossima a quella della strada;
  - trasformazioni, anche radicali, delle geometrie dei corsi d'acqua (restringimenti, deviazioni, tombinature, ecc);
  - assenza di continuità idraulica monte-valle (torrenti che sboccano su strade o si perdono nelle campagne);
  - strade che si sviluppano lungo i corsi d'acqua, più specificatamente le fiumare e spesso lungo entrambi i lati, per accesso a fondi, nuclei abitati, abitazioni isolate, impianti produttivi; in tali casi, sono frequentissimi i passaggi a guado con o senza passerella.
- Interferenze tra edificato e corsi d'acqua:
  - riduzione delle sezioni utili di deflusso in corrispondenza di contesti abitati;
  - sbarramenti dei tracciati dei corsi d'acqua a seguito di realizzazione di fabbricati;
  - obliterazione degli assi drenanti naturali per realizzazione di centri abitati, edifici isolati o impianti con varie destinazioni (produttivi, stoccaggio, ecc);
  - torrenti trasformati in strade in ambito urbano e/o extraurbano (cosiddetti alveistrada).

In Sicilia le province più colpite da questa problematica sono Messina e Palermo, con un numero di nodi idraulici che supera i 3000 nel primo e i 2000 nel secondo caso (Fig. 2.15).

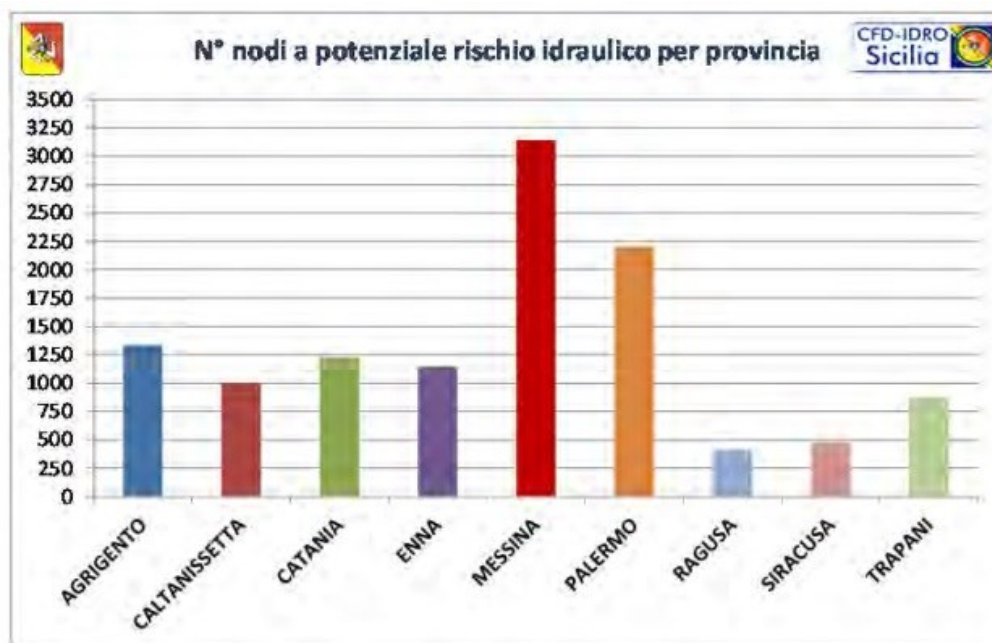


Fig. 2.15 - Numero di nodi a potenziale rischio idraulico per provincia (Fonte: Protezione Civile).

I dati specifici della provincia di Catania mostrano una situazione di media entità, con un numero vicino ai 1250 nodi idraulici.

Analizzando più nel dettaglio le principali città della provincia di Catania, Giarre mostra un numero di nodi vicino a 40, con una densità per Km<sup>2</sup> che si attesta su un valore di 1,3 (Fig. 2.17); numero, quello della densità, che denota l'assoluta importanza di questa problematica nell'ambito dello studio della pericolosità idrologica.

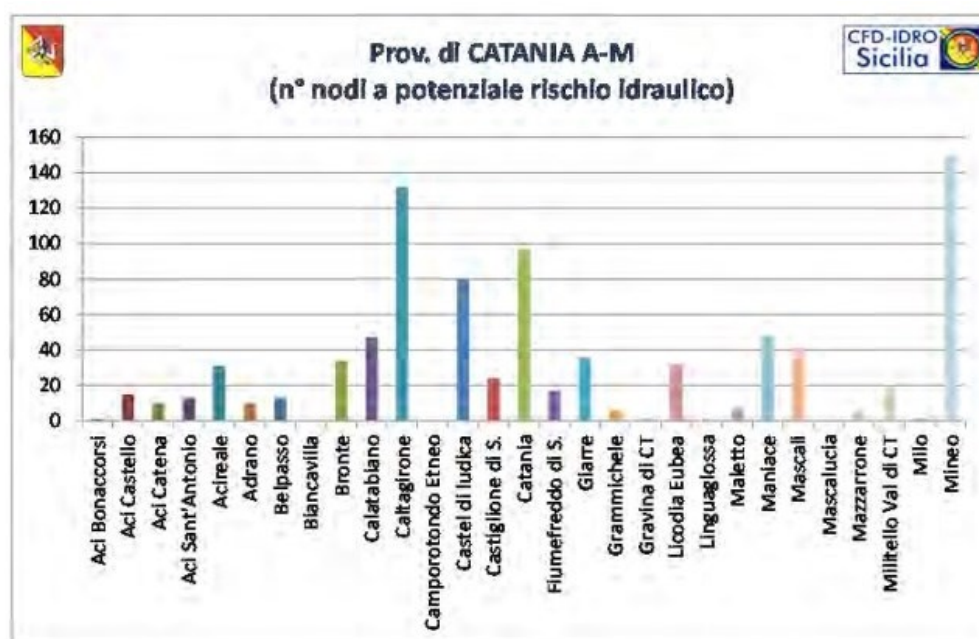


Fig. 2.16 - Numero di nodi a potenziale rischio idraulico nelle principali città (A-M) della provincia di Catania (Fonte: Protezione Civile).

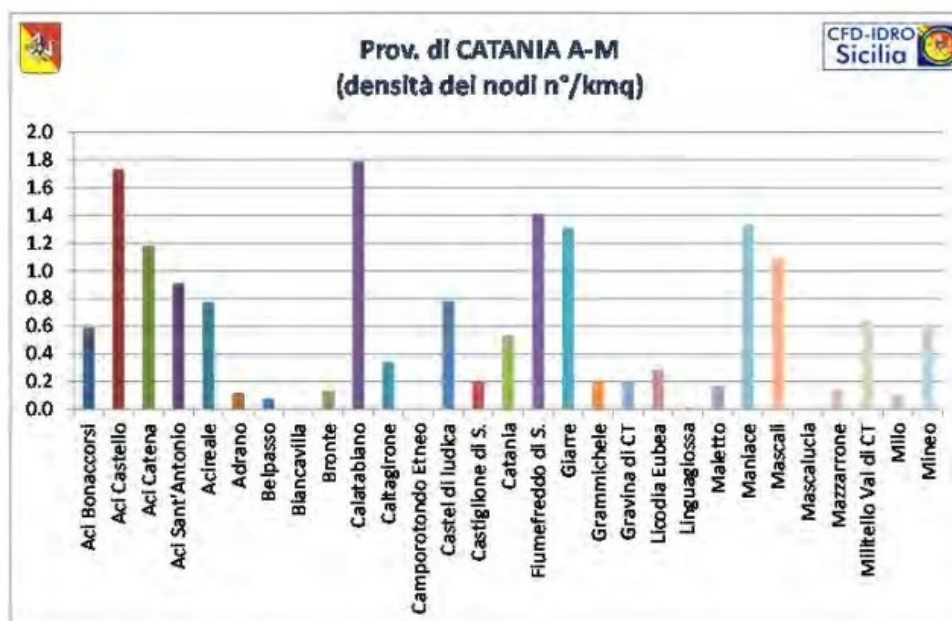


Fig. 2.17 Densità dei nodi a potenziale rischio idraulico per Km<sup>2</sup> nelle principali città (A-M) della provincia di Catania (Fonte: Protezione Civile).

I nodi della protezione civile, disponibili in formato tabellare CSV, sono stati così importati ed editati su *ArcGIS*, ottenendo una mappa di distribuzione (Fig. 2.18).

Attorno a ogni nodo sono stati creati dei *buffer* di diversa dimensione, in base al valore di pericolosità indicato nel documento sopra citato: moderato = 50 m, elevato = 75 m, molto elevato = 100 m. La scala colore, variabile dal verde al rosso, indica una pericolosità crescente delle intersezioni. I nodi non classificati, contrassegnati provvisoriamente in verde, non sono stati considerati nel calcolo della pericolosità idraulica totale.

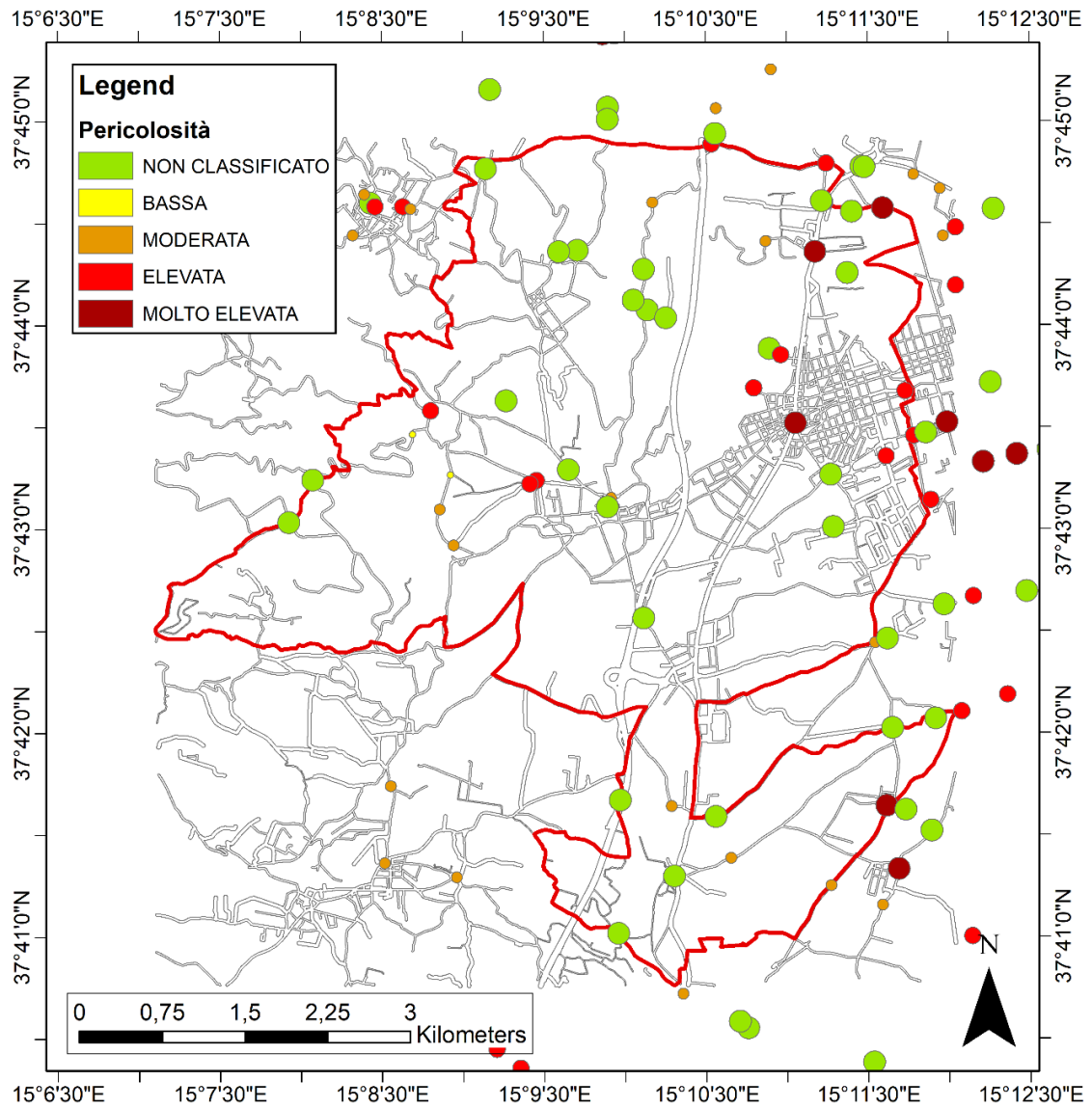


Fig. 2.18 – Mappa di distribuzione dei nodi a potenziale rischio idraulico indicati nel “Rapporto preliminare sul rischio idraulico in Sicilia e ricadute nel sistema di protezione civile”.

### 2.3.2 Calcolo delle intersezioni tra idrografia e rete viaria con procedura automatizzata

Con il reticolo idrografico calcolato a partire dal DTM (Fig. 2.3) e lo *shapefile* della rete viaria, è stato possibile realizzare una carta delle intersezioni tra rete idrografica e rete viaria.

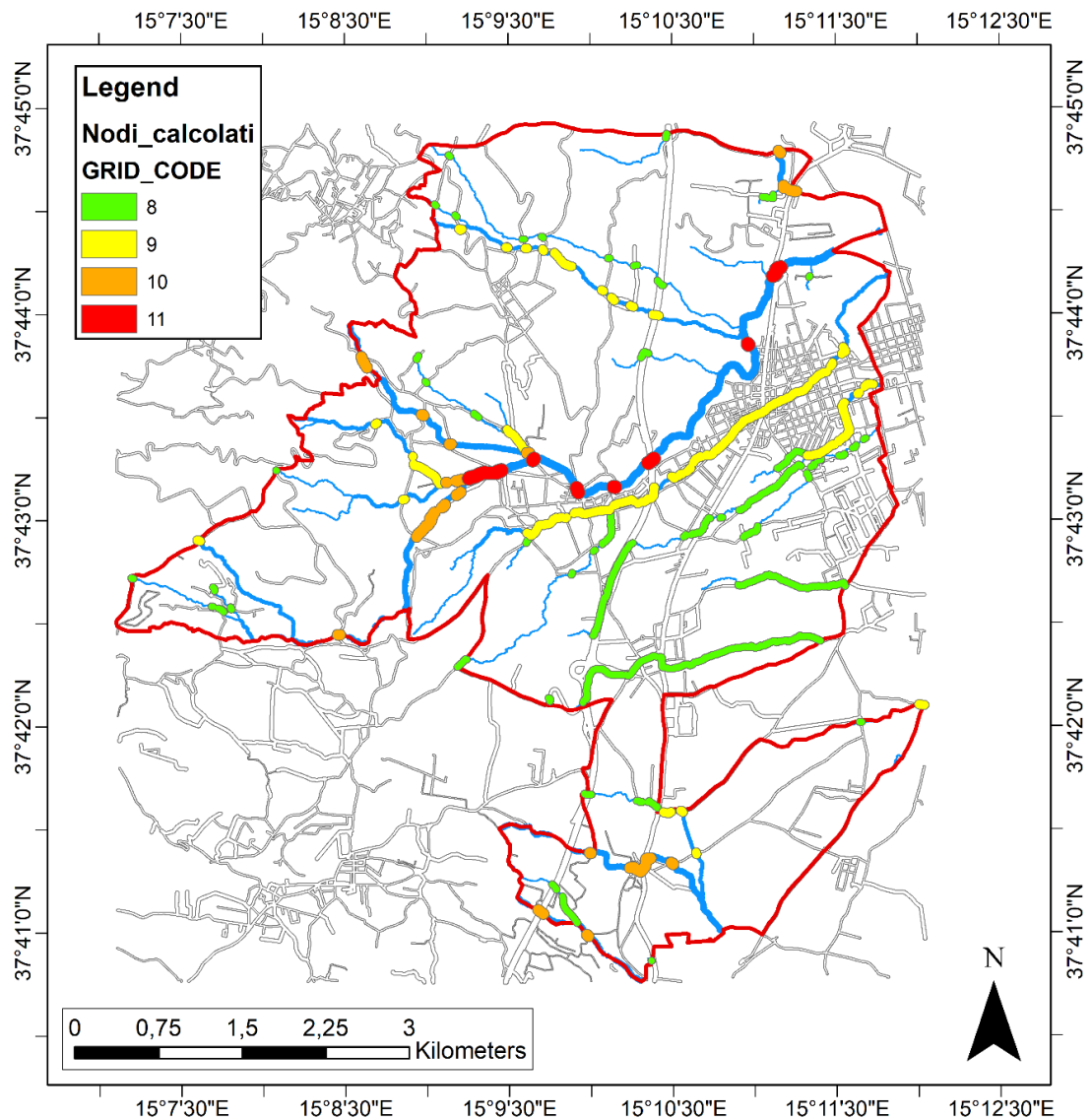


Fig. 2.19 - Carta delle intersezioni tra idrografia e rete viaria realizzata tramite procedura automatizzata.

Dimensione e colore dei *buffer* relativi alle intersezioni hanno un'intensità crescente, enfatizzata da una scala colore dal verde al rosso, in funzione del valore gerarchico dell'asta fluviale che interseca la strada. Il procedimento è stato successivamente automatizzato, come nel caso del reticolo idrografico e dell'indice TWI, grazie alla creazione di una *toolbox* dedicata.

In questo caso, i dati di *input* richiesti (Fig. 2.20) sono: uno *shapefile* poligonale della rete viaria e uno *shapefile* lineare della rete idrografica con un determinato valore di "GRID\_CODE", che è possibile ottenere con il *tool* descritto nel par. 2.2. L'ultima opzione permette di selezionare un nome per il file di output e la sua cartella di destinazione.

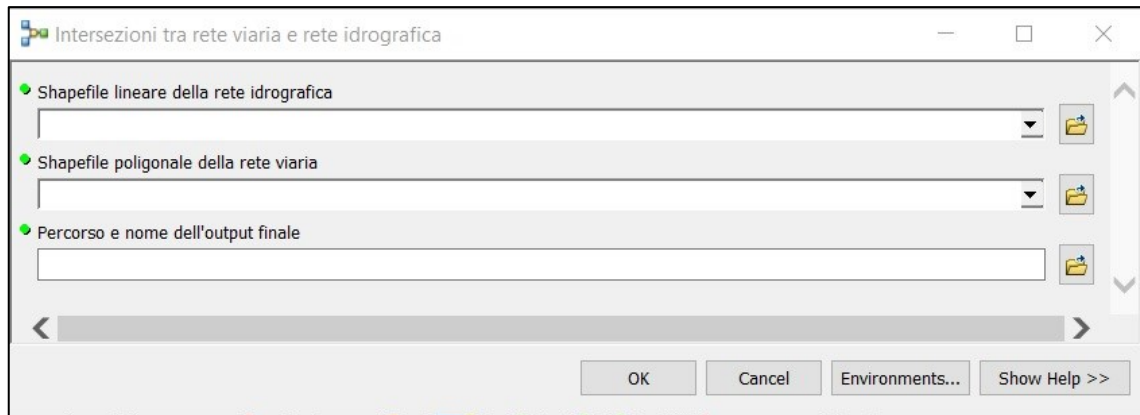


Fig. 2.20 - Schermata di avvio del tool per il calcolo automatico delle intersezioni tra idrografia e rete viaria.

La struttura della *toolbox* prevede un'intersezione tra i due file di *input* e l'aggiunta di un campo in cui viene calcolato il valore da applicare al *buffer*, proporzionale rispetto al valore di "GRID\_CODE" della rete idrografica, e quindi del grado gerarchico di ogni alveo.

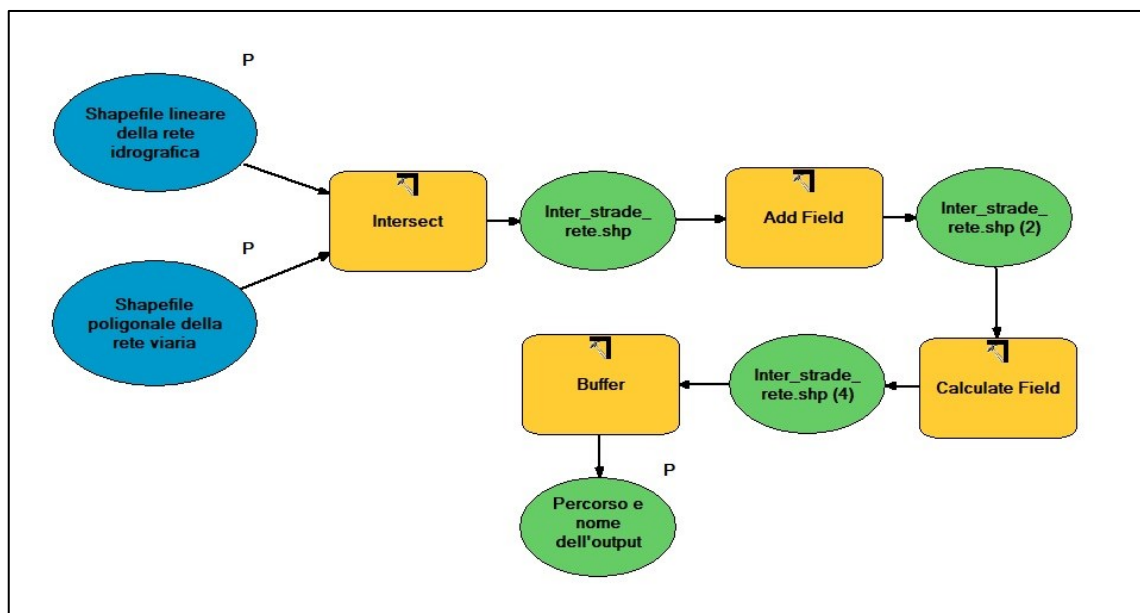
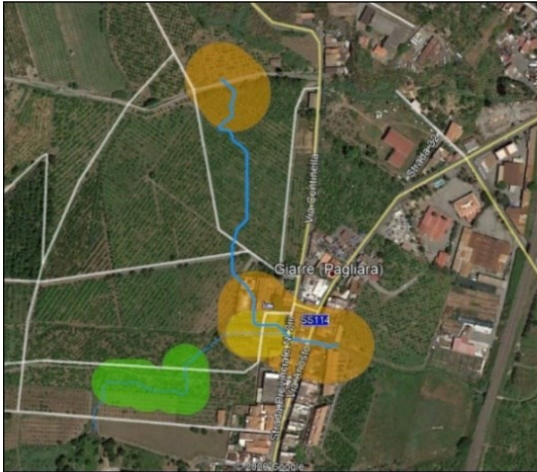
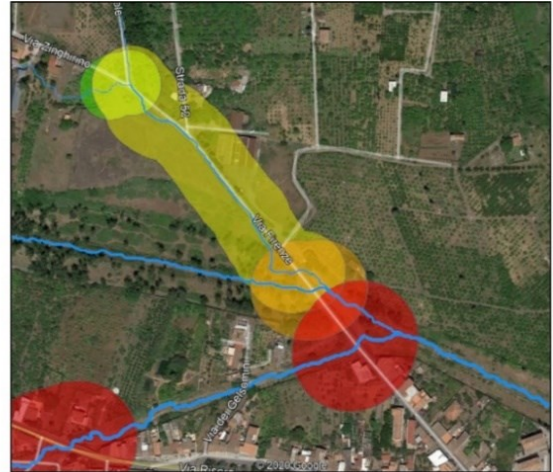


Fig. 2.21 – Workflow del tool per il calcolo automatico delle intersezioni tra idrografia e rete viaria.

Il risultato, se confrontato con i dati inizialmente a disposizione, evidenzia una buona corrispondenza attraverso la presenza di numerosi *buffer* laddove erano già note delle criticità incipienti (Fig. 2.22Fig. 2.22 –).



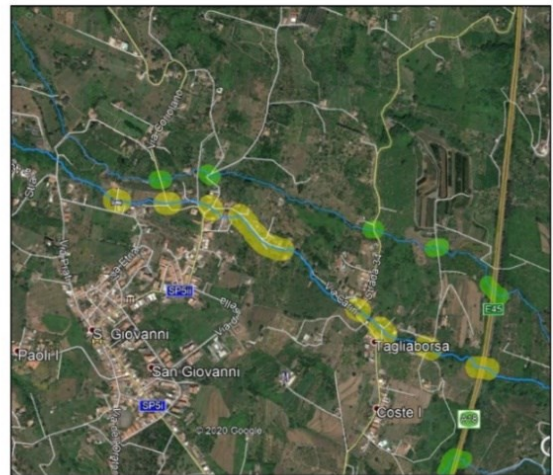
Tratto finale del Torrente Corso d'acqua intubato all'interno dell'abitato.



Confluenza tra Torrente delle cave e Torrente Nanno-Fondo Aranci in prossimità dell'abitato di Macchia. Alveo convertito in sede viaria.



Confluenza tra Torrente Guddi e Torrente Cacocciola a nord della frazione Macchia.



Torrente Tagliaborse (a sud) e Torrente Carbonaro - Ciapparo (a nord) in località Ciapparo.



Da nord verso sud: Torrente Jungo, Torrente Cozzi, Torrente Babbo. In tutti e 3 i casi gli alvei corrispondono a sedi viarie.



Intersezione tra il Torrente San Leonardello e la via Pio XII nella zona sud del comune.

Fig. 2.22 – Esempi di intersezioni calcolate tramite procedura automatizzata, che evidenziano problematiche idrologiche note e brevemente descritte nella parte iniziale del par. 2.4 (basemap utilizzata: Google Earth).

### 2.3.3 Confronto tra nodi idraulici della Protezione Civile e intersezioni calcolate tramite procedura automatizzata

Confrontando i nodi idraulici censiti dalla protezione civile (Fig. 2.18) e le intersezioni generate dal *tool* (Fig. 2.19), si nota una certa corrispondenza (Fig. 2.23) nella maggior parte dei casi, soprattutto per i nodi indicati come a più alta pericolosità.

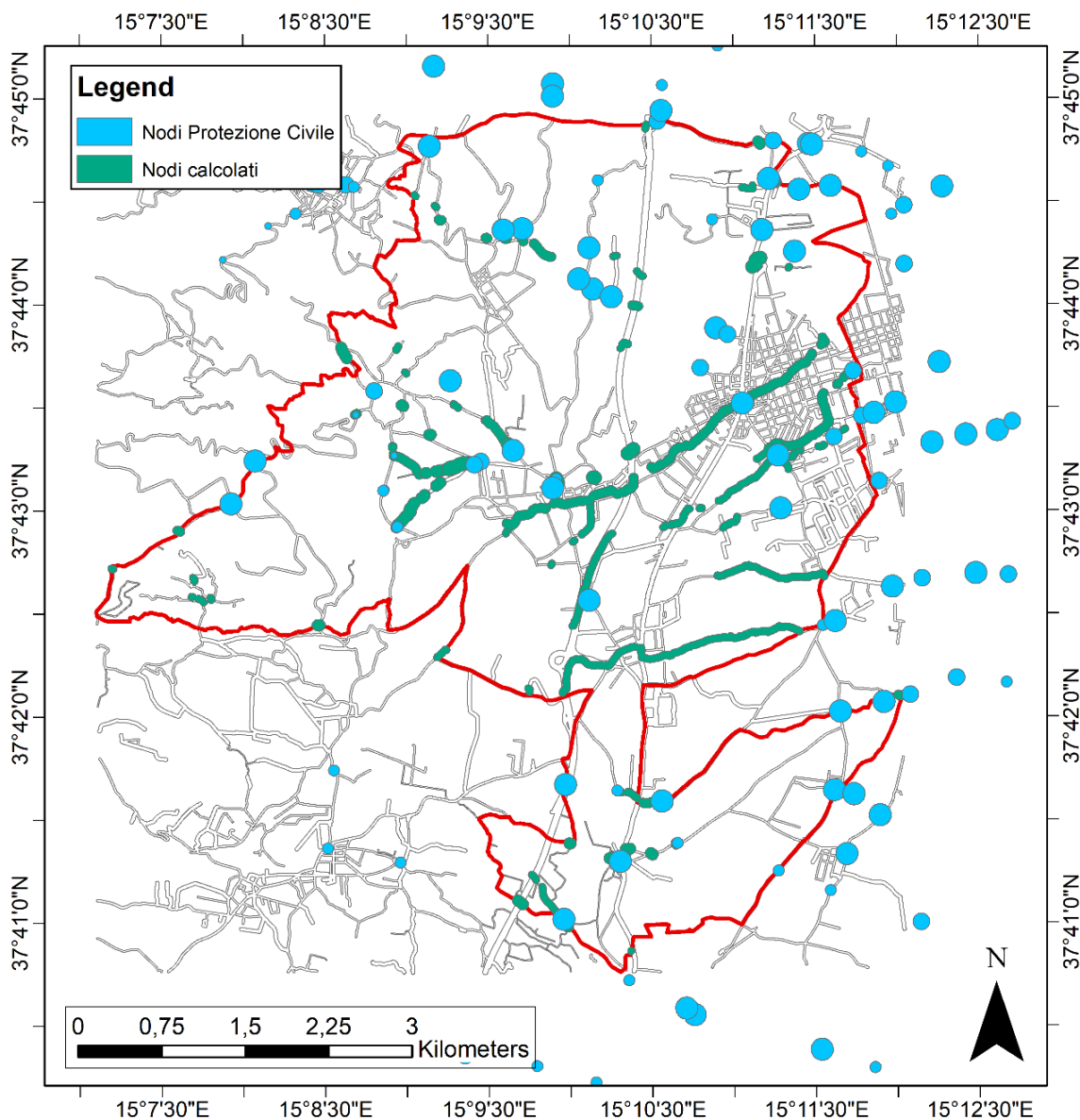


Fig. 2.23 - Confronto su carta tra i nodi censiti dalla Protezione Civile e quelli generati dal tool.

Le differenze riguardano in particolare la forma delle intersezioni, dovuta alla differente natura geometrica delle informazioni iniziali: lineare per le intersezioni derivanti dal tool e puntuale per i nodi della protezione civile.



Un altro fattore da considerare è il livello di dettaglio e, di conseguenza, la quantità delle intersezioni generate dal tool, che possono inegabilmente variare in funzione del livello di dettaglio scelto per la creazione del reticolo idrografico (Fig. 2.2), in questo caso limitato alle aste fluviali con valore di GRID\_CODE > 8.

Il calcolo dei nodi tramite tool non è altro che l'automatizzazione del censimento dei nodi idraulici, mediante individuazione automatica delle intersezioni tra reticolo idrografico e reticolo viario, che può velocizzare notevolmente le fasi preliminari dello studio idrologico.

#### 2.3.4 Unione tra i nodi della Protezione Civile e le intersezioni derivanti dal tool

Attraverso un'operazione di *Union* tra i due *shapefile*, sono state unificate le due informazioni in unico *layer* (Fig. 2.24); entrambi i *layers* di partenza sono caratterizzati da un grado di pericolosità variabile da 1 a 4: nel caso dei nodi della protezione civile era già disponibile una suddivisione di pericolosità da bassa a molto elevata che è stata convertita successivamente in valore numerico; il grado di pericolosità è stato invece stimato in base alla rilevanza e alle dimensioni dell'asta fluviale che causa l'intersezione.

Laddove coesistono situazioni di pericolosità provenienti da entrambi i *layers* di *input*, se caratterizzati da gradi di pericolosità differenti, è stato assegnato il valore massimo disponibile per quella determinata area, indifferentemente se proveniente dall'uno o dall'altro *layer*.

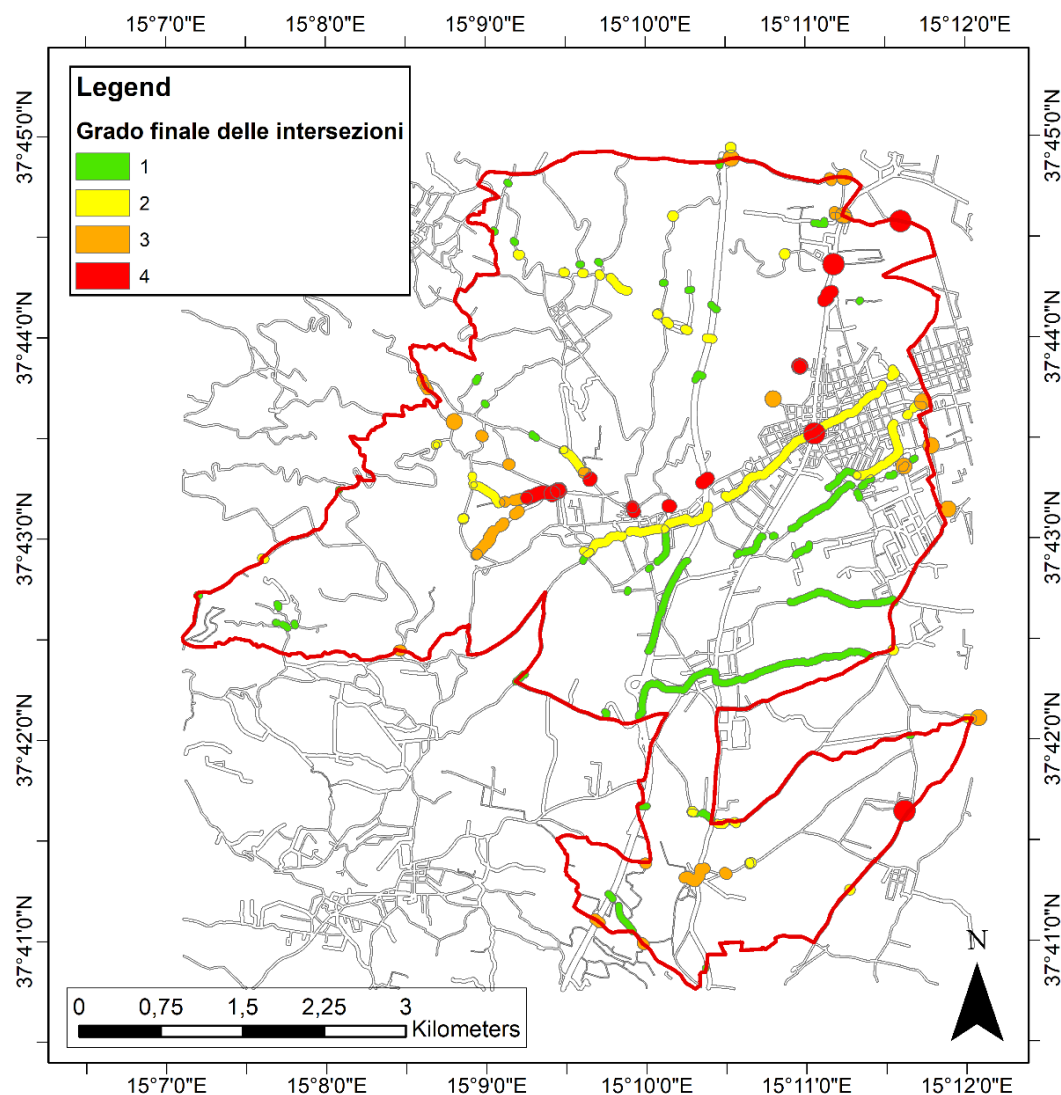


Fig. 2.24 – Carta finale ottenuta dall'unione dei nodi a potenziale rischio idraulico censiti dalla Protezione Civile e i nodi calcolati attraverso l'utilizzo del tool dedicato.

#### 2.4 Il P.A.I.

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, denominato in seguito Piano Stralcio o Piano o P.A.I., redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 ter, della L. 183/89, dell'art. 1, comma 1, del D.L. 180/98, convertito con modificazioni dalla L. 267/98, e dell'art. 1 bis del D.L. 279/2000, convertito con modificazioni dalla L. 365/2000, ha valore di Piano Territoriale di Settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni, gli interventi e le norme d'uso riguardanti la difesa dal rischio idrogeologico del territorio siciliano.

Il P.A.I. (anno 2004, con aggiornamenti fino al 2017) ha riconosciuto all'interno dell'area di Giarre, per quanto concerne il fattore idraulico, delle aree a rischio (aree R2

e R3) e delle aree a pericolosità incipiente, denominate “siti d’attenzione” (Fig. 2.25). In questo step del progetto, atto a identificare le pericolosità geologiche che affliggono il territorio, non stati presi in considerazione i livelli di rischio, che verranno calcolati successivamente in funzione dei dati sul flusso veicolare. Sono stati quindi digitalizzati solo i dati di pericolosità, e quindi i siti d’attenzione indicati nel *layer* “PAI\_IDR\_P\_SA”, disponibile e scaricabile dal sito del P.A.I. Le norme d’attuazione del P.A.I. riportano come le aree contrassegnate come siti di attenzione vadano intese come aree su cui bisogna approfondire il livello di conoscenza delle condizioni idrauliche e su cui gli eventuali interventi devono essere preceduti da adeguate e approfondite indagini. Ne consegue che queste non abbiano un vero e proprio livello di pericolosità ma costituiscano solo l’individuazione di alcune aree che potrebbero essere pericolose, ma che necessitano di uno studio approfondito per essere categorizzate.

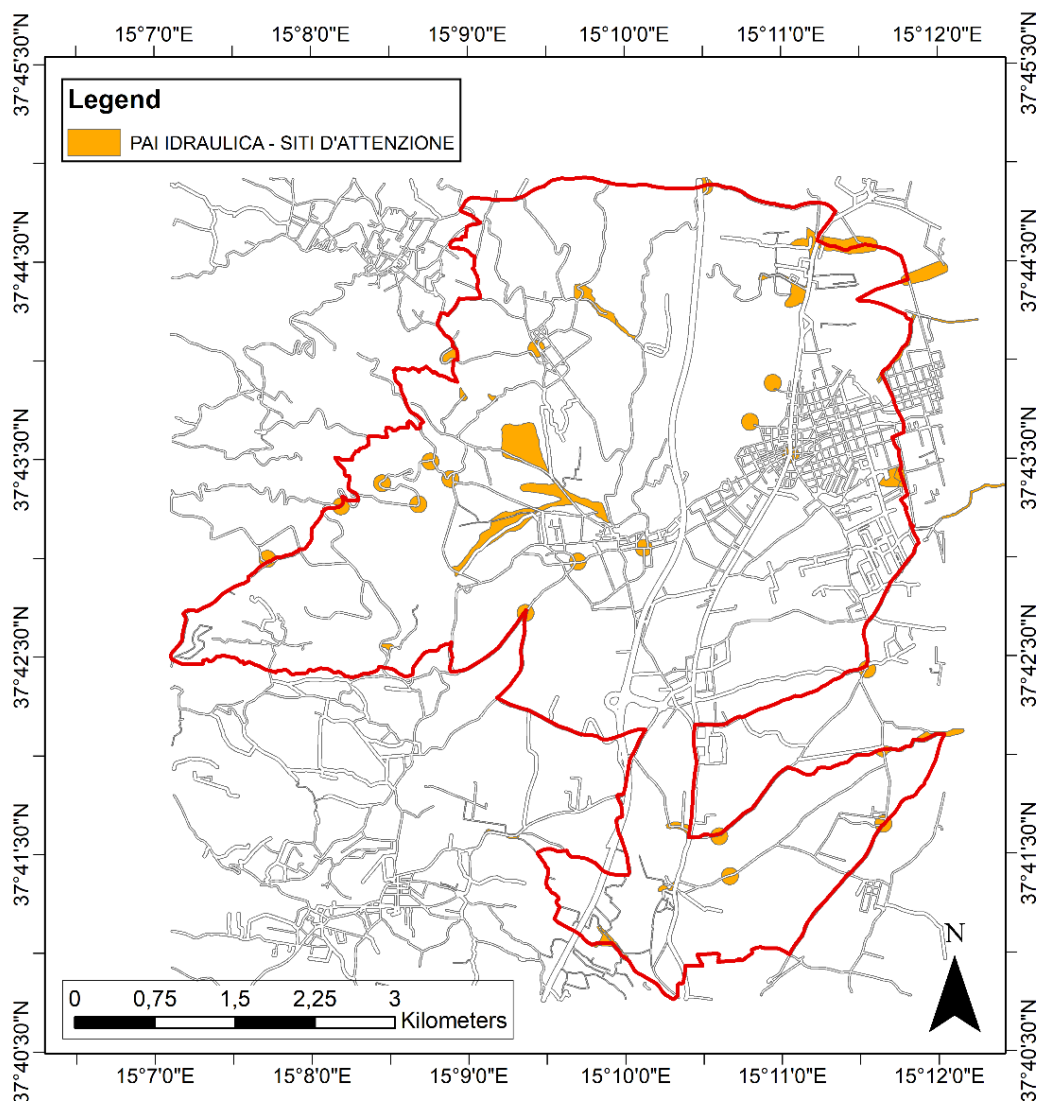


Fig. 2.25 - Ubicazione dei siti d'attenzione idraulici censiti dal P.A.I.

Non avendo a disposizione un livello di pericolosità ben definito per ogni sito d'attenzione e per mantenere un buon grado di sicurezza riguardo tali aree nel calcolo finale della pericolosità idraulica, è stato scelto di assegnare il valore 3 alla pericolosità dei siti d'attenzione (in una scala da 1 a 4).

### 2.5 *Eventi alluvionali documentati e fenomeni di esondazione*

Di seguito vengono riportati alcuni tra i più gravi eventi alluvionali storici documentati (P.R.G. - Comune di Giarre) che hanno colpito il comune di Giarre nel recente passato:

- Negli anni 1856-1858 violenti temporali danneggiarono gravemente le strade interne di S. Giovanni e resero intransitabile la strada che collega Giarre a S. Giovanni e S. Alfio. La via Callipoli si trasformò in una sorta di torrente in piena;
- Nell'ottobre del 1868 si verificarono alcune inondazioni presso case in via Pirandello e via Callipoli, mentre le strade interne furono in parte devastate;
- Nel febbraio del 1881 la strada tra Giarre e S. Giovanni divenne di nuovo intransitabile;
- Nel novembre del 1889 strade e sentieri si trasformarono in corsi d'acqua impetuosi, provocando molti danni a strade e proprietà private, con la perdita anche di alcune vite umane;
- Le alluvioni del 21 e 29 Ottobre 1901, del settembre 1902, del Novembre 1908 e del Novembre 1915, del 1920 e del 1928, hanno tutte provocato gravi danni alle sedi stradali, danneggiando anche i piani bassi degli edifici;
- Nel Dicembre del 1943, in seguito ad un violento temporale, il Torrente Macchia straripò nell'attuale Via Lisi, inondando numerose abitazioni della frazione di S. Maria La Strada;
- Nel novembre del 1985 le strade si trasformarono in grossi torrenti e l'acqua penetrò nelle abitazioni e nelle campagne che furono sommerse di fango, mentre le coperture delle case subirono notevoli danni;
- L'ultimo evento in ordine cronologico è stato quello del 13 marzo 1995, in cui sono state particolarmente colpite la via L. Sturzo e la via Callipoli (SS. 114), la via Luigi Pirandello, la via Marconi e la via Sciuti. L'evento fu particolarmente

intenso: la stazione pluviometrica Giarre-Jungo dell'Assessorato Agricoltura e Foreste, misurò addirittura 385mm di pioggia nelle prime 12 ore.

Nonostante il ruscellamento all'interno delle incisioni fluviali sia generalmente modesto, precipitazioni particolarmente intense e prolungate possono dare origine a esondazioni anche pericolose, in parte dovute all'insufficiente capacità drenante causata in parte anche da interventi antropici e dai restringimenti delle sezioni di deflusso di cui si è parlato precedentemente.

Tra i documenti disponibili all'interno del P.R.G. vengono identificate alcune aree a rischio esondazione (Fig. 2.26).

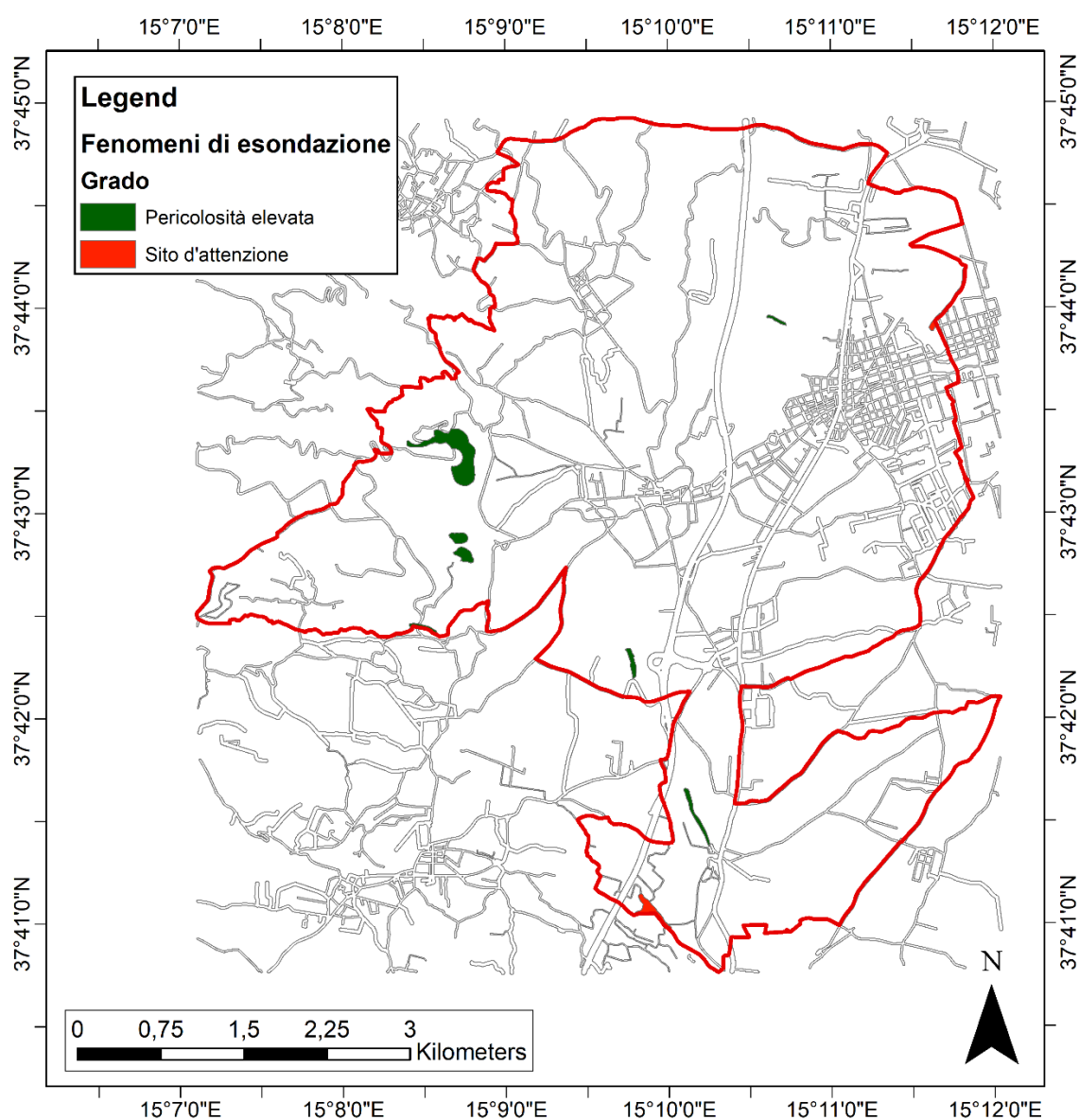


Fig. 2.26 - Ubicazione dei siti d'attenzione e delle zone a pericolosità elevata a causa di potenziali fenomeni di esondazione (Fonte: Piano Regolatore Generale).

Vengono identificate sette piccole aree a pericolosità elevata e una piccola area lungo il confine nord – est del comune indicata come sito d’attenzione. A tutte queste zone è stato assegnato quindi un valore numerico di pericolosità pari a 3 (in una scala da 1 a 4).

## 2.6 Calcolo della pericolosità idraulica totale

Per ottenere la mappa finale della pericolosità idraulica (Fig. 2.27) sono stati presi in considerazione i file relativi a: nodi idraulici della Protezione Civile, le intersezioni calcolate tramite *toolbox*, i siti d’attenzione del P.A.I. e le aree soggette a fenomeni di esondazione.

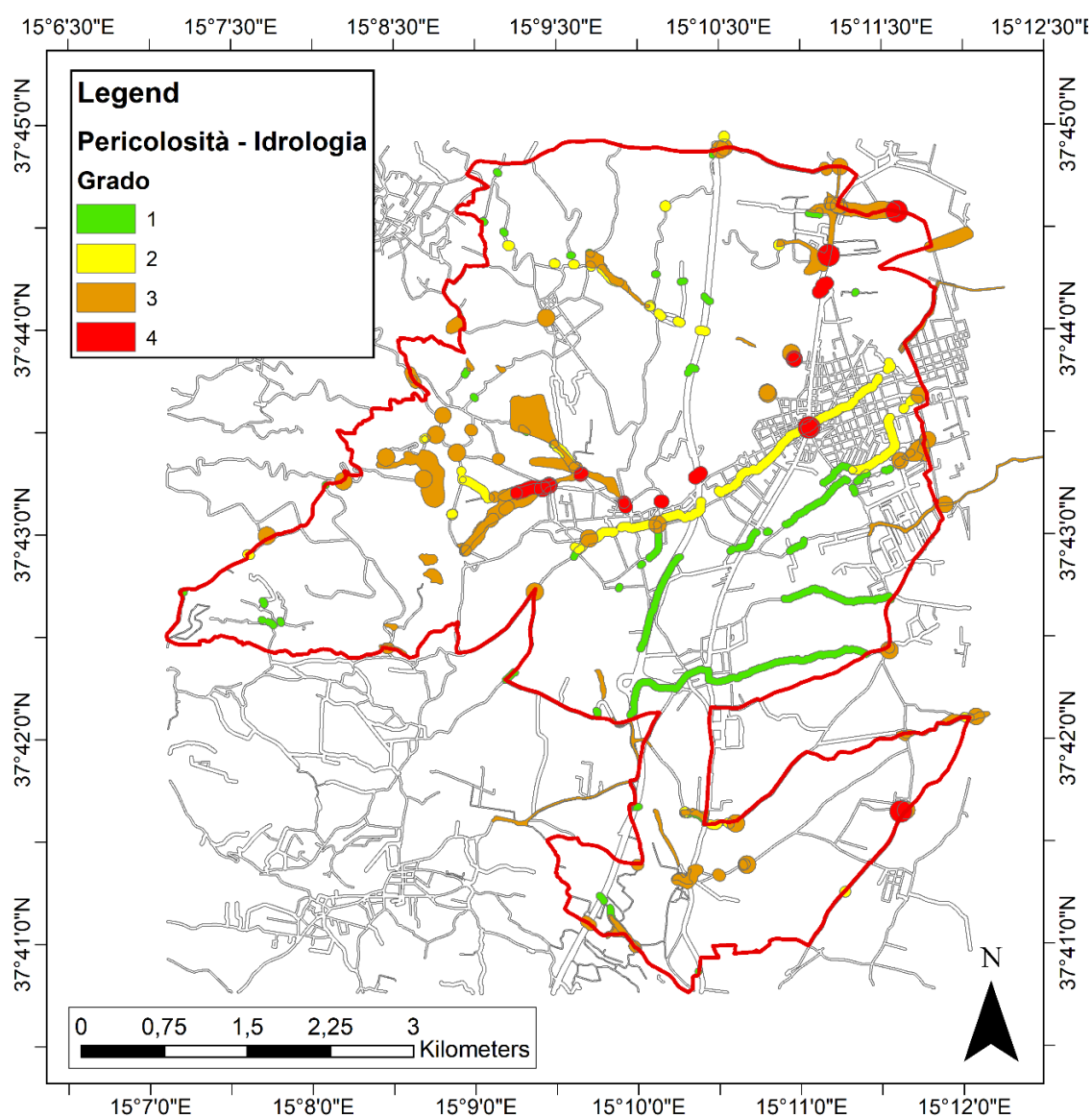


Fig. 2.27 - Mappa finale della pericolosità idraulica suddivisa in 4 gradi.

Ad ogni oggetto presente all'interno di questi *layers* è stato assegnato un valore di pericolosità variabile da 1 a 4.

Nel caso in cui una determinata area costituisca un'intersezione tra uno o più elementi provenienti dai *layers* di partenza, è stato considerato il valore più alto di pericolosità insistente sull'area; si ottiene dunque un valore totale di pericolosità, variabile da 1 a 4, rappresentato graficamente da una scala colore che varia dal verde al rosso all'aumentare della pericolosità.

Per il calcolo finale della mappa di pericolosità è stato predisposto un apposito *tool*:

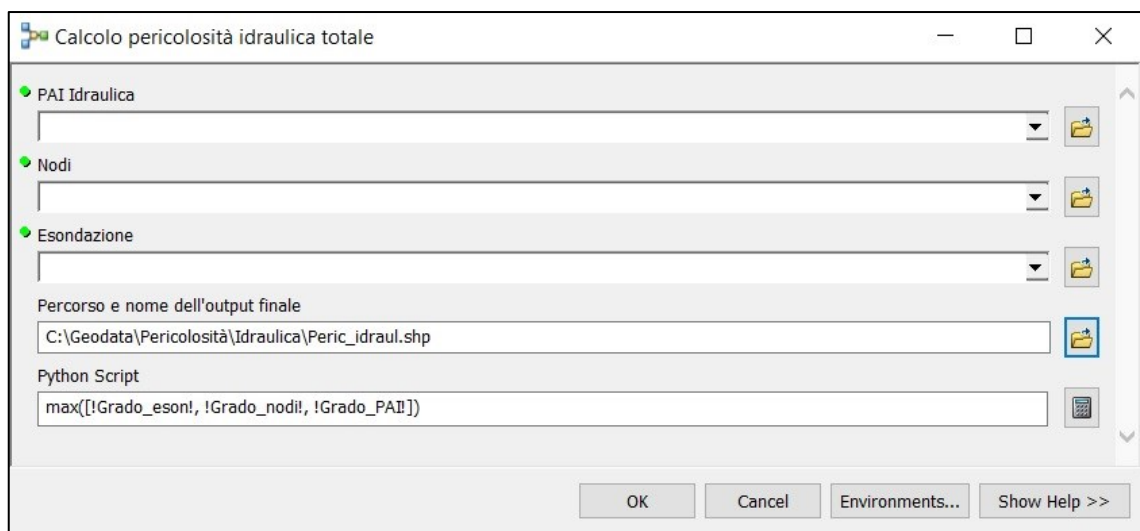


Fig. 2.28 - Schermata di avvio del tool per il calcolo della pericolosità idraulica totale.

In questo caso è necessario che siano specificati i file di *input* e il percorso e il nome dell'output finale. Gli *shapefile* vengono uniti tramite un processo di *union*, mentre in un campo creato *ad hoc* verrà copiato il valore più alto di pericolosità presente in una determinata area. La funzione che permette di leggere i valori dei diversi campi e copiarli nel campo "Peric\_idra" è scritta in linguaggio *Python* e ha la seguente sintassi:

$$Peric\_idra = max(!Grado\_eson!, !Grado\_nodi!, !Grado\_PAI!)$$

"Grado\_eson", "Grado\_nodi", "Grado\_PAI" sono i campi in cui sono stati attribuiti i valori numerici da 1 a 4 nei relativi *layers* di *input*. Mantenendo gli stessi nomi nella creazione dei singoli *layers*, l'opzione relativa al *Python script* può essere ignorata,

viceversa è possibile sostituire nell'equazione il nome dei campi con quelli realmente presenti.

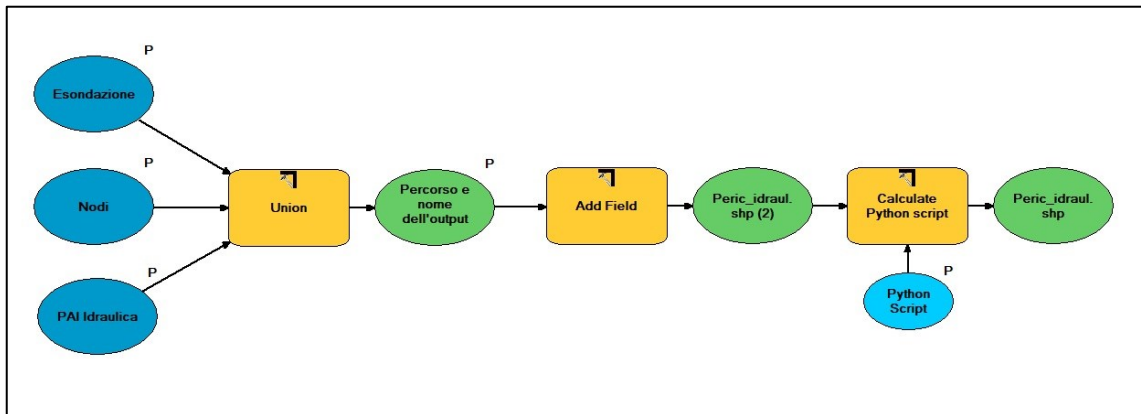


Fig. 2.29 - Workflow del tool per il calcolo della pericolosità idraulica totale.

L'output finale viene categorizzato automaticamente secondo la scala colore visibile in Fig. 2.27, grazie al file .lyr disponibile nella *directory* "C:\Geodata".



### 3 Pericolosità tettonica

Come accennato nel Cap. 1, il versante orientale dell'Etna, e nello specifico il territorio comunale di Giarre, è attraversato da una serie di strutture tettoniche con prevalente direzione NNO-SSE (Branca et al., 2004), che costituiscono la prosecuzione verso nord del gruppo di faglie originate dalla scarpata Ibleo – Maltese (Lanzafame and Bousquet, 1997). Le strutture sono ben riconoscibili nel territorio grazie alle scarpate delle Timpe (Adorni & Carveni, 1993; Blumetti et al., 2007), a volte anche molto pronunciate (fino a 150 m), visibili nella parte meridionale anche nell'elaborazione *Hillshade* (Fig. 3.1 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) ricavata a partire dal DTM (a 2 m) dell'area comunale:

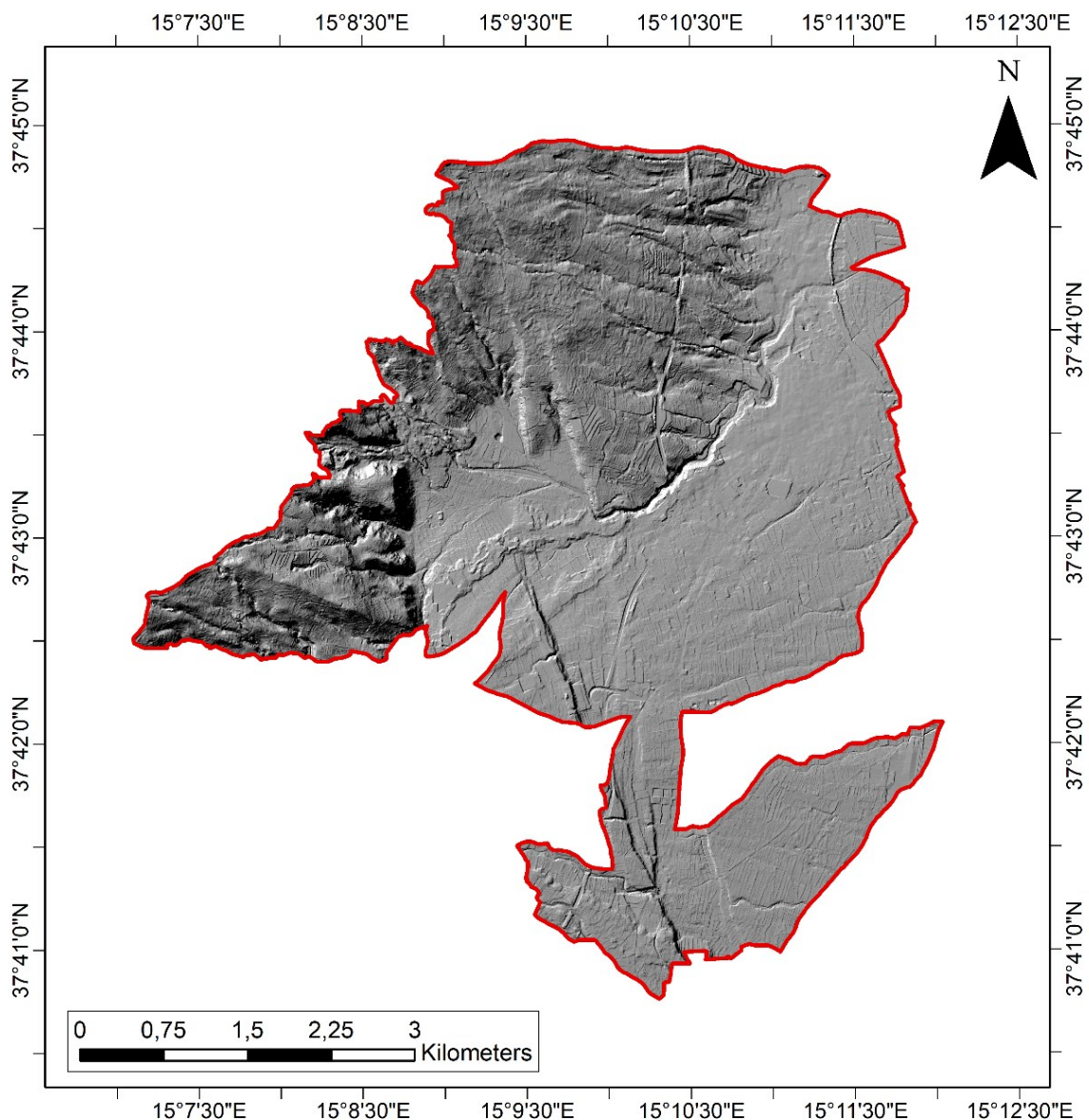


Fig. 3.1 - Elaborazione Hillshade a partire da un DTM a 2 m di risoluzione.

Il sistema di faglie associato alle Timpe è caratterizzato anche da un alto valore di sismicità (Locati et al., 2019; Rovida et al., 2020), sia in tempi storici che recenti, lungo la direzione NNO-SSE.

Intensity	Year Mo Da	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
4	2000 01 11 08 20 53.38	Etna - S. Alfio	39	6-7	3,38
NF	2000 11 05	Etna - Versante meridionale	70	5-6	3,85
4	2001 01 09	Etna - Zafferana Etnea	104	6	3,73
NF	2001 05 26	Ionio meridionale	35		4,46
4	2001 07 13	Etna - Versante meridionale	25	6-7	4
NF	2001 08 20	Etna - Versante orientale	12	5	3,5
3	2001 10 28	Etna - S. Maria Ammalati (Acireale)	67	6	3,3
3-4	2002 03 24	Etna - Versante orientale	40	6	3,27
4	2002 09 06	Tirreno meridionale	132	6	5,92
3	2002 09 22	Etna - Piano Provenzana (Linguaglossa)	35	6	3,85
5	2002 10 29	Etna - Bongiaro (S. Venerina)	38	8	4,75
4-5	2002 11 24	Etna - Versante orientale	15	6	3,7
4-5	2002 12 02	Etna - Macchia (Giarre)	30	6	3,2
3	2004 05 05	Isole Eolie	641		5,42
4	2004 07 22	Etna - Versante orientale	34	6-7	3,62
3	2005 10 31	Etna - Trecastagni	32	6-7	3,8
NF	2005 11 21	Sicilia centrale	255		4,56
NF	2006 05 20	Etna - Versante sud-occidentale	27	6	3,91
NF	2006 12 19	Etna - Versante nord-occidentale	28	6	4,19
4-5	2008 04 09	Etna - Versante orientale	25	5-6	3,5
4	2008 12 16	Etna - Versante sud-occidentale	38	6	4
4-5	2009 03 14	Etna - Versante orientale	31	6	3,5
4-5	2009 05 13	Etna - San Matteo (Giarre)	58	6	3,6
4	2009 12 19	Etna - Maletto	64	6	4,39
3	2010 04 02	Etna - Piano Pernicana (Linguaglossa)	25	6-7	4,19
3	2011 06 23	Monti Nebrodi	54	5-6	4,7
4-5	2012 06 27	Etna - Versante orientale	23	6	3,2
4	2013 05 23	Etna - Versante orientale	41	5	3,4

Tab. 3.1 - Elenco dei terremoti percepiti nell'area di Giarre a partire dal 2000 – da Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015 (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>). Termini e acronimi utilizzati in tabella: Intensity – Intensità del terremoto; Year Mo Da – Giorno Mese Anno; Epicentral area – Zona epicentrale; NMDP – Numero di dati macrosismici; Io – Intensità all'epicentro; Mw – Magnitudo Momento.

L'intero settore orientale dell'Etna, nel quale ricade anche il territorio di Giarre, è compreso quindi in una zona ad elevata pericolosità sismica.

Tutte le faglie presenti sono caratterizzate da un meccanismo di rottura prevalentemente di tipo normale. Sono presenti sia strutture sismogenetiche, capaci di generare eventi sismici di particolare intensità nel recente passato, sia strutture caratterizzate da movimenti lenti di scorrimento relativo (*creep* asismici), che avvengono senza dare origine a terremoti (Adorni & Carveni, 1993; Rasà et al., 1996; Azzaro et al., 2020). Il *creep* asismico viene definito quindi come un "movimento asismico molto lento lungo una faglia, con un tasso di spostamento compreso tra 3.5 mm/anno e 1-2 cm/anno".

In particolare, le faglie che ribassano il blocco orientale (come quella di San Leonardello o le Timpe di Miscarello) risultano essere sismogenetiche e sono caratterizzate da spostamenti "a scatti" oltre a fenomeni di *creep* asismico continuo senza terremoti.

Le faglie che abbassano invece il lato occidentale sembra non abbiano generato, in tempi storici, alcun tipo di attività macrosismica, limitandosi a lenti movimenti di *creep* asismico, rilevabili in presenza di infrastrutture e manufatti ubicati in prossimità delle strutture.

I fenomeni di *creep* possono anche risultare molto problematici per edifici e infrastrutture viarie (Imposa et al., 2015), anche perché non possono essere limitati con le comuni tecniche antisismiche. Nonostante siano movimenti molto lenti possono provocare nei manufatti dei cedimenti differenziali (Cap. 5) in fondazione con effetti sulla staticità degli stessi.

### 3.1 Caratteristiche delle faglie

Al fine di caratterizzare le zone di pericolosità sono state valutate le caratteristiche di ogni faglia presente nel territorio (Fig. 3.2 e Fig. 3.3). Definire quanto una faglia sia capace di generare attività macrosismica o eventi di *creep* più o meno intensi è indispensabile per circoscrivere al meglio le zone di *buffer* attorno ad ogni struttura tettonica.

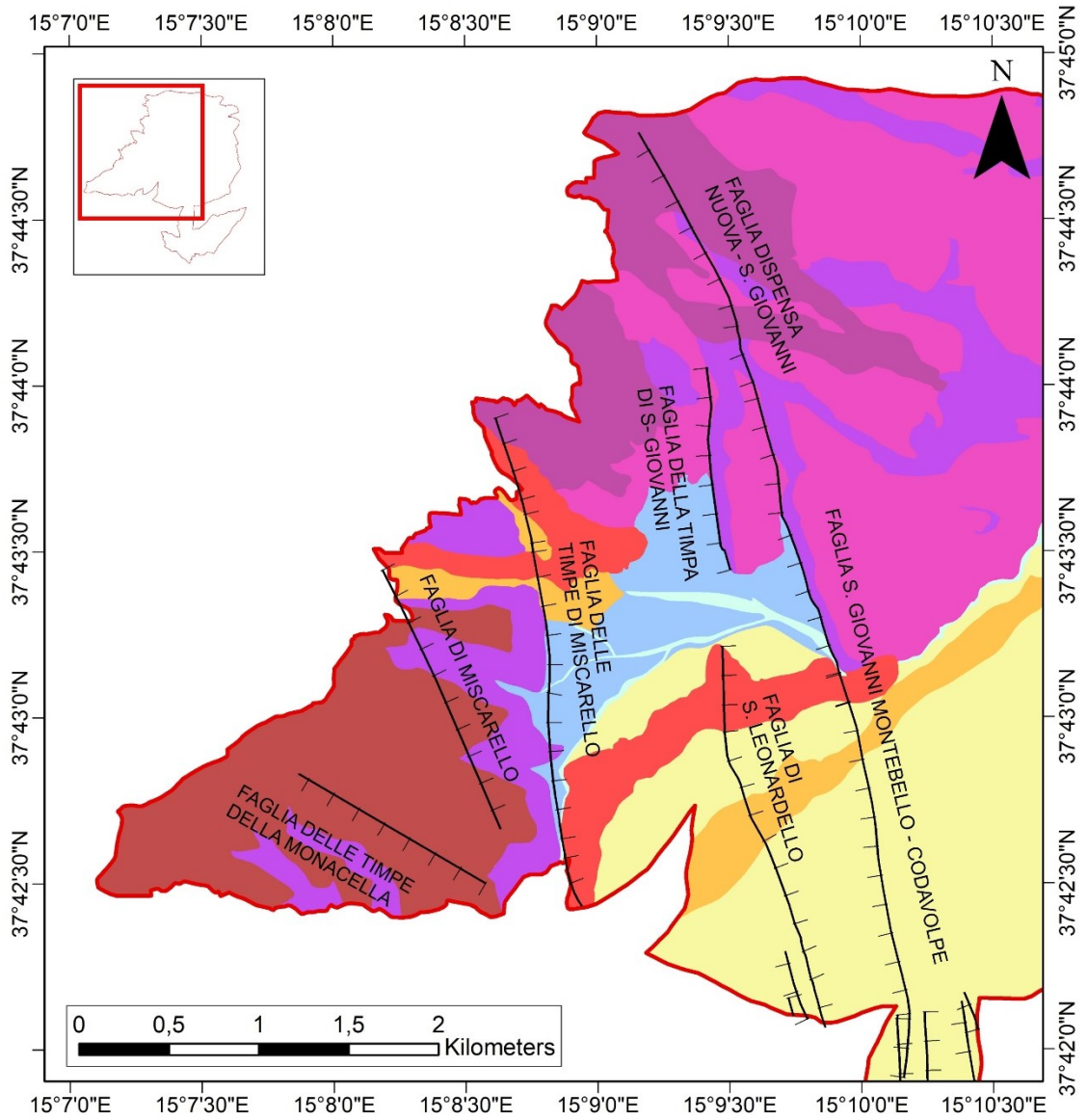


Fig. 3.2- Ubicazione delle strutture tettoniche nella zona nord-ovest del comune di Giarre.



Gli effetti della faglia sono ben visibili sul terreno nella sua parte più settentrionale grazie alla presenza di scarpate alte fino a 100 – 150 m, denominate Timpe di Miscarello, intersecate ortogonalmente da profonde incisioni vallive.

Dal punto di vista dell'evoluzione morfologica, la faglia sembra responsabile del sollevamento dell'area a monte, visibile anche dalle elaborazioni interferometriche, trattate nel Cap. 5.

L'attività macrosismica si manifesta con numerosi eventi che possono essere definiti come i più forti che hanno interessato la zona etnea negli ultimi duecento anni.

Gli effetti di fagliazione in superficie sono spesso molto gravi (danneggiamento di edifici e infrastrutture) a causa di ipocentri estremamente superficiali ( $H < 2$  km) e visibili spesso da aperture nel terreno larghe da alcuni centimetri fino ad un metro

La zona più colpita da tale faglia è senza dubbio quella dell'abitato di Fondo Macchia, ubicata ai piedi delle Timpe, che attualmente però ospita per lo più dei fabbricati isolati ed edifici rurali occupati solo di rado.

Si segnala l'esistenza di due strutture coniugate circa parallele a quella delle Timpe: la prima spostandosi verso ovest, denominata Faglia di Miscarello (orientazione N 20°O), è impostata sui lahars con pendenze massime di 25° e dislivelli compresi tra 50 e 60 m; la seconda, denominata Faglia delle Timpe di Monacella (orientazione N 60°O) che abbassa verso SSO di circa 50 m la formazione affiorante dei lahars. Entrambe le coniugate sono caratterizzate da assenza di fenomeni di *creep* asismico e di attività macrosismica documentata.

### 3.1.2 Faglia di San Leonardello

La faglia è geologicamente e sismicamente attiva (Azzaro et al., 2020), con andamento quasi parallelo alla precedente (direzione N 20° O); ha il labbro orientale ribassato e meccanismi di faglia di tipo normale, probabilmente con una piccola componente di trascorrenza destra normale. La faglia si estende dall'abitato di Macchia fino alla zona costiera nella zona di Acireale tra Stazzo e Santa Tecla, generando scarpate con dislivelli fino a 30 m e pendenze variabili in funzione dei litotipi affioranti lungo la sua estensione.

Anche questa faglia genera sia rilasci di energia istantanei (con ipocentro estremamente superficiale < 2 km), sia movimenti lenti di *creep* asismico che interessano soprattutto gli abitati di San Leonardello e Macchia.

Gli episodi di *creep* sembrano a volte legati all'attività sismica lungo la struttura e a volte indipendenti da questa. Le evidenze maggiori dei fenomeni di *creep* si hanno dove la faglia interseca manufatti e infrastrutture; alcuni esempi sono: il selciato e i muri dell'autostrada A18 ME-CT, la strada provinciale per S. Venerina, alcuni manufatti nell'abitato di S. Leonardello tra cui un evidente gradino sul manto stradale al km 71+770 della SS 114 in prossimità dell'attraversamento del torrente omonimo, che viene periodicamente (una volta all'anno circa) riasfaltato per l'eccessivo dislivello che crea rischi per la circolazione veicolare. Alla faglia di San Leonardello sono stati attribuiti forti terremoti locali, risentiti maggiormente tra le località Luminaria, Codavolpe, S. Matteo, Pesce.

Alla faglia di San Leonardello sono associate alcune strutture secondarie (Rasà et al., 1996) meno estese, con rigetti minori e labbro orientale ribassato, denominate faglia Codavolpe – San Leonardello (a ovest) e faglia Cutuli - S. Leonardello (a est). La loro genesi è dovuta probabilmente a un processo di anastomizzazione della faglia principale dovuto all'effetto di trascorrenza destra e all'interazione con le faglie di San Giovanni - Codavolpe e Trepunti-Stazzo. Sono caratterizzate da scarpate molto acclivi (8 – 10 m) ma non si registra attività macrosismica né movimenti di *creep* significativi. Alcuni locali effetti di movimento si possono interpretare come effetto passivo di risposta a eventi di particolare intensità generati innescati dalla Faglia di S. Leonardello.

Con le stesse caratteristiche si segnala un'associazione di strutture chiamata *Graben* Baglio – San Leonardello (a ovest della faglia principale): questa si estende parallelamente alla faglia di San Leonardello per circa 2 km di lunghezza, attraversando i territori di S. Venerina e Giarre. Il graben ha un'ampiezza molto ridotta (50 – 80 m) e genera dei gradini morfologici di massimo 5 m, contribuendo però alla deviazione (ad angolo retto) del Torrente S. Leonardello. Anche per queste faglie associate si registrano locali deformazioni di piccole entità solo in occasione di terremoti di elevata intensità generati dalla faglia principale di San Leonardello.

Per un approfondimento sulla faglia di San Leonardello si rimanda al Cap. 5.6, dove attraverso l'utilizzo di dati interferometrici (2014 – 2018), è stata analizzata nel

dettaglio la dinamica di deformazione dell'area del *graben* omonimo, intesa come variazione di velocità e tasso di deformazione in funzione della posizione e in funzione del tempo.

### 3.1.3 Faglia di San Giovanni Montebello – Codavolpe

La faglia in questione ha un'estensione di ca. 5.5 km con lato occidentale ribassato e anch'essa risulta visibile a occhio nudo dall'elaborazione *Hillshade* in Fig. 3.1. Lo sviluppo della faglia è meno lineare delle precedenti, cambiando direzione da nord verso sud. Parte a nord con una direzione circa N 30° O fino ad assumere negli ultimi 400 m una direzione N – S, prima di chiudere contro la faglia Codavolpe – San Leonardello.

Sono presenti scarpate (timpe), che si estendono per circa 1 km tra gli abitati di S. Giovanni e Macchia con dislivelli massimi di 40 m e deviazioni nette di corsi d'acqua (T. Carbonaro, T. Tagliaborse, T. Macchia)

I fenomeni di fagliazione superficiale sembrano essere prodotti solo in risposta al verificarsi dei terremoti generati dalla faglia di S. Leonardello, quindi può essere definita come faglia non sismogenetica e non affetta da fenomeni di *creep* asismico rilevanti.

La propaggine più settentrionale, con orientazione N 30° O, può essere distinta dalla principale come struttura associata ed è denominata faglia Dispensa Nuova – S. Giovanni. Un'altra faglia coniugata, ad ovest della principale, è la faglia delle Timpe di S. Giovanni Montebello (1,1 km) con orientazione circa N – S e labbro occidentale ribassato, che genera una scarpata di altezza pari a ca. 40 m.

Entrambe le strutture secondarie associate (Dispensa Nuova – S. Giovanni e faglia delle Timpe di S. Giovanni Montebello) non sono interessate da attività macrosismica né da movimenti di *creep* asismico.

In corrispondenza dei centri abitati di S. Giovanni Montebello e Macchia la faglia è stata cartografata come sepolta, in quanto quasi sempre obliterata da parte delle colate laviche (lave del Mongibello antico e lave del 1284 – 85).

### 3.1.4 Faglia di Trepunti – Stazzo

Con una direzione N 20° O e un'estensione di ca. 6 km, la faglia delimita la parte orientale del *Graben* di S. Leonardello con un labbro occidentale ribassato.



Le scarpate sono presenti ma poco pronunciate (massimo 6 – 7 m), e dislocate soprattutto nella parte più meridionale, esaurendosi via via verso nord, il che suggerisce l'assenza in tempi recenti di attività macrosismica; presenti invece dei movimenti lenti di *creep* asismico, seppur di minor entità rispetto alla faglia di San Leonardello che delimita ad ovest il *graben* (i tassi di deformazione nell'arco temporale 2014 - 2018 sono esplicitati nel dettaglio nel Cap. 5.6). Questi lenti movimenti provocano spesso lo sprofondamento del suolo agrario (con sviluppo molto modesto), testimoniando un'importante componente distensiva delle strutture.

A ovest della faglia vi è una struttura coniugata con labbro orientale ribassato che genera un piccolo e stretto *graben* (dai 40 ai 70 m), denominato *graben* di S. Margherita, che ha prodotto la cattura fluviale del Vallone S. Leonardello. Anche questa struttura secondaria sembra interessata da piccoli tassi di deformazione lenta per *creep* asismico ma con valori sicuramente molto bassi.

Più a nord si segnala la presenza di un'altra struttura coniugata detta faglia di Cutuli, con labbro occidentale ribassato, con limitati tassi di deformazione per *creep* asismico ed evidenze sul terreno quasi assenti, se non per la presenza di qualche frattura su alcuni manufatti.

### 3.2 Perimetrazione della pericolosità

Per caratterizzare il livello di pericolosità riconducibile all'attività delle faglie sono stati realizzati una serie di *buffer* con valori differenziati a partire dallo *shapefile* poligonale delle faglie. Le caratteristiche (che generano pericolosità) di ogni faglia sono state riassunte all'interno della tabella attributi (Fig. 3.4) in modo da tarare il valore del *buffer* in funzione di diversi parametri: presenza di attività sismogenetica, presenza di movimenti di *creep* asismico, presenza di effetti secondari in risposta a eventi lungo la faglia principale, presenza di tratti sepolti.

Nome	Moviment	Sismogenet	Creep_Asis	Eff_second	Sepolta	Buffer_ZR_P3	Buffer_ZS_P2	Buffer_ZA_P1
Faglia delle timpe di Miscareello	Diretta	Si	No	No	Si	60	300	400
Faglia delle timpe di Miscareello	Diretta	Si	No	No	Si	60	300	400
Faglia Trepunti-Stazzo	Diretta	No	Si	No	No	15	80	200
Graben di S. Margherita	Graben	No	Si	No	No	15	80	200
Faglia di Cutuli	Diretta	No	Si	No	No	15	80	200
Graben Baglio - S. Leonardello	Graben	No	No	Si	No	0	40	100
Graben Baglio - S. Leonardello	Graben	No	No	Si	No	0	40	100
Faglia Codavolpe-S. Leonardello	Diretta	No	No	Si	No	0	40	100
Faglia Cutuli-S. Leonardello	Diretta	No	No	Si	No	0	40	100
Faglia S. Giovanni Montebello-Codavolpe	Diretta	No	No	Si	No	0	40	100
Faglia Dispensa Nuova-S. Giovanni	Diretta	No	No	No	Si	0	0	60
Faglia delle timpe di S. Giovanni	Diretta	No	No	No	No	0	0	30
Faglia delle timpe della Monacella	Diretta	No	No	No	No	0	0	30
Faglia di Miscareello	Diretta	No	No	No	No	0	0	30

Fig. 3.4 – Tabella attributi dello shapefile lineare con le caratteristiche principali delle faglie (Campi booleani con valori possibili “Si” o “No”; “Sismogenet”: Sismogenetica, Creep\_Asis: Presenza di fenomeni di creep asismico, “Eff\_second”: presenza di effetti secondari in risposta a eventi lungo la faglia principale, “Sepolta”: faglia sepolta).

Per le faglie di S. Leonardello e delle Timpe di Miscareello, le uniche con attività macrosismica documentata ed evidenti movimenti di *creep* asismico, sono stati rispettati i valori di *buffer* proposti nell’ambito delle definizioni e procedure di zonazione negli studi di microzonazione sismica per le faglie attive e capaci (Peronace et Al., 2013).

In accordo con gli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” (ICMS; Gruppo di lavoro MS, 2008), una faglia è considerata “attiva” se si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore-Olocene), mentre viene considerata “capace” una faglia attiva che genera fratture lungo la superficie topografica, riferendosi al piano di rottura principale della faglia.

Le FAC (faglie attive e capaci) vengono classificate in prima istanza in funzione delle incertezze nell’identificazione del piano di rottura principale e dei fenomeni cosismici associati (Tab. 3.2).

Categoria	Definizione	Note esplicative
FAC_a	Certa e definita	Il piano di rottura principale e fenomeni cosismici ad essa collegati sono riconosciuti con certezza. In questa categoria sono comprese anche le strutture tettoniche secondarie e le zone di trasferimento tra segmenti distinti di una faglia attiva e capace.
FAC_b	Incerta	Gli elementi che compongono una faglia attiva e capace e i fenomeni cosismici collegati non sono cartografabili con certezza e/o dettaglio, per assenza di dati o perché non possono essere identificati (zone di trasferimento, gap, erosione, coperture, ecc.).

Tab. 3.2 – Classificazione delle faglie attive e capaci (da Peronace et al., 2013).

Per le FAC\_a viene proposta una zona di rispetto (ZR\_FAC), definita come l’area individuata intorno alla traccia del piano di rottura principale della faglia attiva e capace, identificata con certezza. Vengono anche definite una zona di suscettibilità (ZS\_FAC), che deve essere individuata sia nei casi di informazioni certe e definite (FAC\_a) sia nei casi di incertezza nel dato (FAC\_b), e una zona di attenzione (ZA\_FAC), che si costruisce sulla

base di elementi informativi minimi (livello 1) e con una dimensione raccomandata di 400 m (200+200 m) in modo tale da tener conto di un elevato grado di incertezza (Tab. 3.3).

Categoria	Livelli di studio di MS			
	Livello 1	Livello 3		
	$Z_{A_{FAC}}$	$Z_{S_{FAC}} RACC$	$Z_{S_{FAC}} MIN$	$Z_{R_{FAC}}$
FAC_a	400	160	0	30
FAC_b	400	300	160	n.d.

Tab. 3.3 - Dimensioni raccomandate e minime (in metri) per le zone di faglia indicate negli studi di MS ( $Z_{S_{FAC}} RACC$  = Valore raccomandato; n.d. = non definita). (da Peronace et al., 2013).

Di norma, la procedura di dimensionamento delle varie zone dovrebbe seguire di pari passo i differenti livelli di approfondimento degli studi sulle FAC così come i differenti livelli di Microzonazione sismica (Livello 1 e 3).

In questo progetto sono stati invece utilizzati i valori di *buffer* indicati in Tab. 3.3 per creare delle aree a diverso grado di pericolosità (P1, P2 E P3) attorno alle faglie attive (Timpe di Miscarello e Fagli di S. Leonardello). Sulla base di questi valori sono stati poi definiti in maniera proporzionale i valori di *buffer* anche per le faglie che non rientrano nella categoria di FAC, cioè tutte quelle che sono caratterizzate solo da movimenti di *creep* asismico o quelle associate con effetti secondari in risposta ai movimenti della faglia principale.

I valori di *buffer* per ogni singola categoria di faglia sono riportati nella Tab. 3.4:

Tipo di faglia	Pericolosità = 3	Pericolosità = 2	Pericolosità = 1
	Zona di rispetto (m)	Zona di suscettibilità (m)	Zona di attenzione (m)
Faglie attive e capaci sepolte (Fac_b)	60	300	400
Faglie attive e capaci certe (Fac_a)	30	160	400
Faglie con solo creep asismico	15	80	200
Faglie con soli effetti secondari	0	40	100
Faglie sepolte senza nessun tipo di attività	0	0	50
Faglie certe senza nessun tipo di attività	0	0	25

Tab. 3.4 – Valori di *buffer* scelti e relativo grado di pericolosità per ogni tipologia di faglia identificata sulla base delle caratteristiche indicate all'interno della tabella attribuiti.

È stato quindi assegnato un valore maggiore di pericolosità alla porzione di terreno immediatamente interessata dal passaggio della faglia (assimilabile ad una zona di rispetto), solo per le faglie sismogenetiche e per quelle che generano movimenti di

*creep* asismico, comunque molto dannosi per l'integrità strutturale delle infrastrutture. Valori minori di pericolosità sono stati assegnati ai *buffer* delle zone più distanti dalla faglia, assimilabili alle zone di suscettibilità e di attenzione.

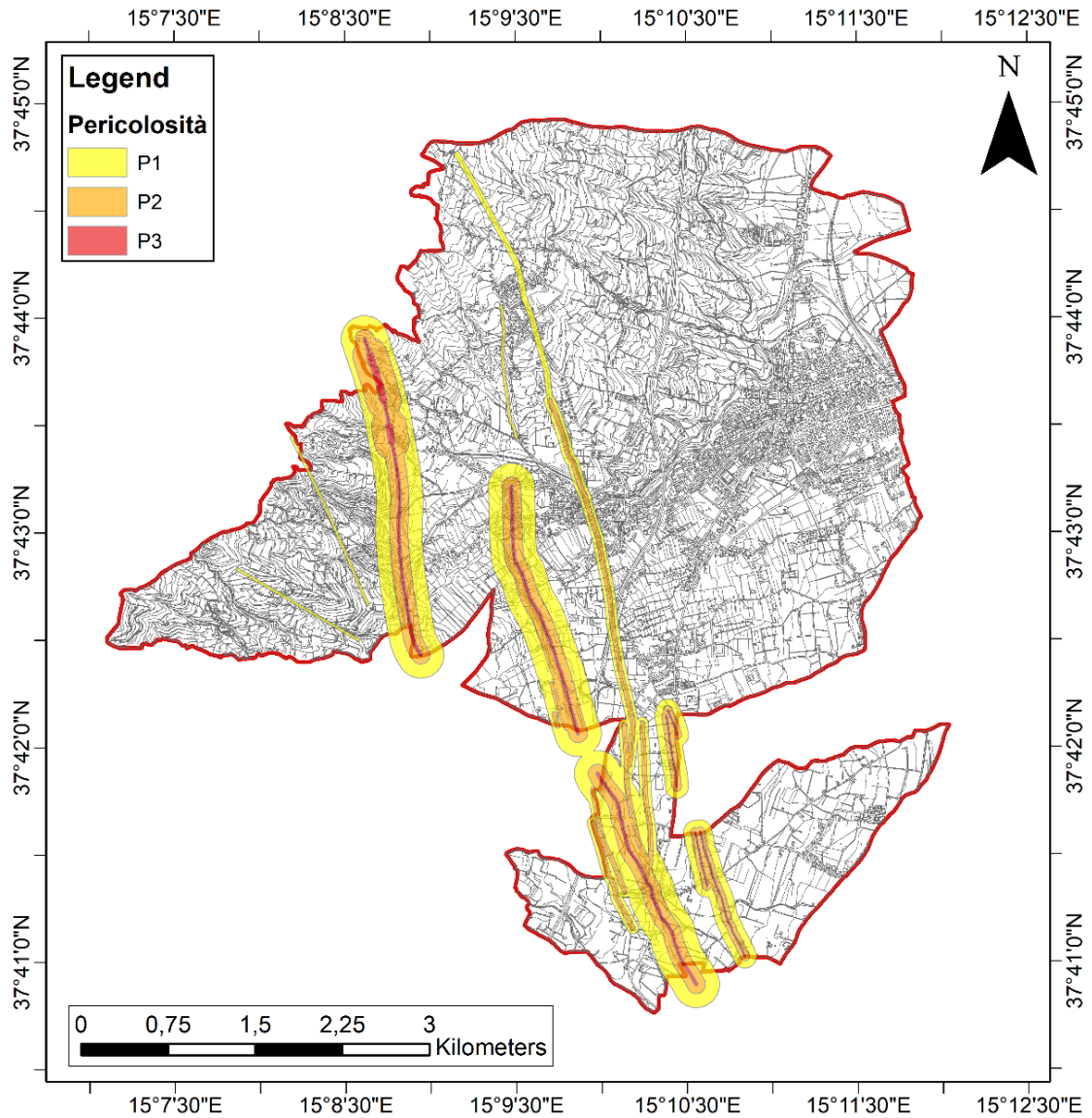


Fig. 3.5 – Mappa della pericolosità tettonica basata sulle fasce di rispetto attorno alle faglie calcolate tramite *toolbox* automatica con suddivisione in 3 gradi di pericolosità (scala colore dal giallo al rosso).

La procedura di assegnazione dei valori di *buffer*, insieme alla creazione e alla categorizzazione degli stessi è stata automatizzata attraverso il *tool* denominato “Buffer faglie”. Oltre a indicare il nome e il percorso desiderato per il file finale, deve essere indicato in *input* lo *shapefile* lineare sul quale operare (Fig. 3.6).

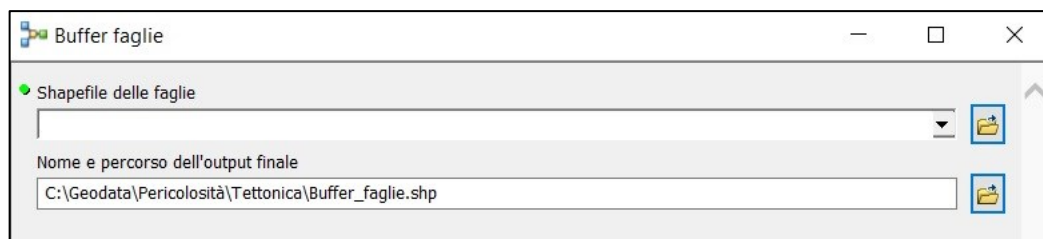


Fig. 3.6 – Schermata di avvio del tool per il calcolo delle fasce di rispetto in funzione delle caratteristiche di ogni faglia.

Lo *shapefile* delle faglie deve essere costruito in modo da avere quattro campi destinati a contenere le caratteristiche principali della faglia, al fine di stimare i valori di *buffer*. I campi, che possono essere compilati esclusivamente con i valori booleani “Si” e “No”, sono quelli evidenziati in Fig. 3.7:

FID	Shape	Nome	Movimento	Sepolta	Sismogenet	Creep Asis	Eff second	ID
0	Polyline	Faglia Trepunti-Stazzo	Diretta	No	No	Si	No	F3
1	Polyline	Graben di S.Margherita	Graben	No	No	Si	No	F4
2	Polyline	Graben Baglio - S.Leonardello	Graben	No	No	No	Si	F6
3	Polyline	Graben Baglio - S.Leonardello	Graben	No	No	No	Si	F6
4	Polyline	Faglia di S.Leonardello	Diretta	No	Si	Si	No	F1
5	Polyline	Faglia di Cutuli	Diretta	No	No	Si	No	F5
6	Polyline	Faglia Codavolpe-S.Leonardello	Diretta	No	No	No	Si	F7
7	Polyline	Faglia Cutuli-S.Leonardello	Diretta	No	No	No	Si	F8
8	Polyline	Faglia S.Giovanni Montebello-Codavolpe	Diretta	No	No	No	Si	F9
9	Polyline	Faglia Dispensa Nuova-S.Giovanni	Diretta	Si	No	No	No	F10
10	Polyline	Faglia delle timpe di S.Giovanni	Diretta	No	No	No	No	F11
11	Polyline	Faglia delle timpe della Monacella	Diretta	No	No	No	No	F12
12	Polyline	Faglia di Miscareello	Diretta	No	No	No	No	F13
13	Polyline	Faglia delle timpe di Miscareello	Diretta	No	Si	No	No	F2
14	Polyline	Faglia delle timpe di Miscareello	Diretta	No	Si	No	No	F2
15	Polyline	Faglia delle timpe di Miscareello	Diretta	No	Si	No	No	F2
16	Polyline	Faglia delle timpe di Miscareello	Diretta	Si	Si	No	No	F2
17	Polyline	Faglia delle timpe di Miscareello	Diretta	Si	Si	No	No	F2

Fig. 3.7 – Attributi necessari per il corretto funzionamento del tool per la creazione delle fasce di rispetto (per il significato dei campi vedi Fig. 3.4).

La compilazione di questi campi fornisce al *tool* le indicazioni necessarie riguardo la struttura tettonica: se è esposta o sepolta, se è sismogenetica, se è protagonista di fenomeni di *creep* asismico o se causa solo effetti secondari in risposta ai movimenti di faglie principali limitrofe.

All'interno della *directory* “C:/Geodata/Pericolosità/Tettonica” è stato predisposto uno *shapefile* vuoto con i campi già formattati e quindi pronto da utilizzare per cartografare le faglie in altre aree di studio.

Il *tool* (Fig. 3.8) aggiunge in prima istanza tre campi numerici (ZA\_P1, ZS\_P2, ZR\_P3), che servono alla creazione di tre differenti *buffer* attorno alle faglie, ognuno dei quali corrisponde ad un preciso grado di pericolosità (P1= pericolosità bassa, P2= pericolosità media, P3 = pericolosità alta).

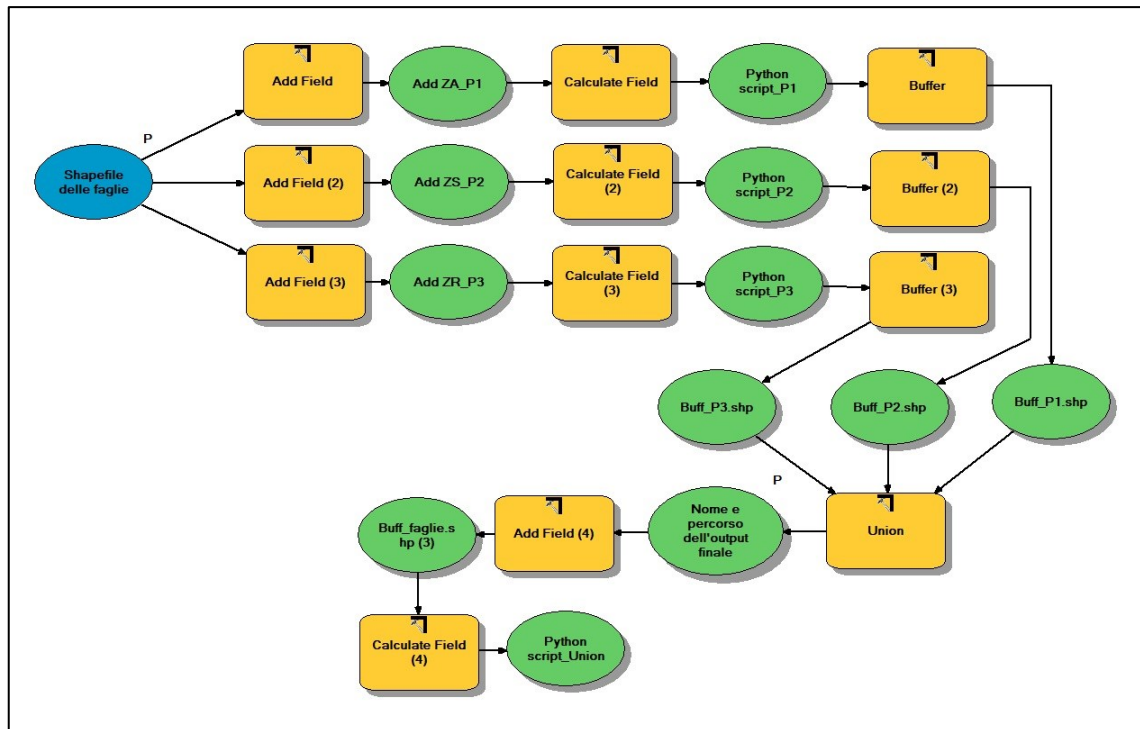


Fig. 3.8 - Struttura del tool "Buffer faglie".

Il calcolo del valore di *buffer* all'interno di questi tre campi avviene attraverso l'utilizzo di uno *script Python* di questo tipo (Cod. 3.1):

```
#Campo ZR_P3
#codeblock:
def buffer_P3(sis, sep, cre):
    if sis == "Si" and sep == "No":
        value = 15
    elif sis == "Si" and sep == "Si":
        value = 30
    elif sis == "No" and cre == "Si" and sep == "No":
        value = 7.5
    elif sis == "No" and cre == "Si" and sep == "Si":
        value = 15
    else:
        value = 0
    return value

#Expression:
buffer_P3( !Sismogenet!, !Sepolta!, !Creep_Asis!)
```

Cod. 3.1 – Esempio di script Python utilizzato per il calcolo del valore di *buffer* P3 in base agli attributi booleani scelti per ogni caratteristica della faglia.

Attraverso l'utilizzo del costrutto "if-elif-else", che permette di eseguire istruzioni o gruppi di istruzioni diverse a seconda del verificarsi di una o più condizioni, vengono assegnati automaticamente i valori di *buffer* nei tre campi per ogni faglia. Ad

esempio nel campo “ZR\_P3”, in presenza di una faglia sismogenetica viene assegnato un valore di *buffer* a pericolosità P3 di 15 m (per lato); se la faglia è contemporaneamente sismogenetica e sepolta viene raddoppiato il valore di *buffer* a 30 m, e così via per tutte le altre combinazioni.

Faglie										
FID	Shape *	Nome	Sepolta	Sismoqenet	Creep Asis	Eff second	ID	ZR P3	ZS P2	ZA P1
16	Polyline	Faglia delle timpe di Miscareello	Si	Si	No	No	F2	30	150	200
17	Polyline	Faglia delle timpe di Miscareello	Si	Si	No	No	F2	30	150	200
4	Polyline	Faglia di S. Leonardello	No	Si	Si	No	F1	15	80	200
13	Polyline	Faglia delle timpe di Miscareello	No	Si	No	No	F2	15	80	200
14	Polyline	Faglia delle timpe di Miscareello	No	Si	No	No	F2	15	80	200
15	Polyline	Faglia delle timpe di Miscareello	No	Si	No	No	F2	15	80	200
0	Polyline	Faglia Trepunti-Stazzo	No	No	Si	No	F3	7.5	40	100
1	Polyline	Graben di S. Margherita	No	No	Si	No	F4	7.5	40	100
5	Polyline	Faglia di Cutuli	No	No	Si	No	F5	7.5	40	100
2	Polyline	Graben Baglio - S. Leonardello	No	No	No	Si	F6	0	20	50
3	Polyline	Graben Baglio - S. Leonardello	No	No	No	Si	F6	0	20	50
6	Polyline	Faglia Codavolpe-S. Leonardello	No	No	No	Si	F7	0	20	50
7	Polyline	Faglia Cutuli-S. Leonardello	No	No	No	Si	F8	0	20	50
8	Polyline	Faglia S. Giovanni Montebello-Codavolpe	No	No	No	Si	F9	0	20	50
9	Polyline	Faglia Dispensa Nuova-S. Giovanni	Si	No	No	No	F10	0	0	25
10	Polyline	Faglia delle timpe di S. Giovanni	No	No	No	No	F11	0	0	12.5
11	Polyline	Faglia delle timpe della Monacella	No	No	No	No	F12	0	0	12.5
12	Polyline	Faglia di Miscareello	No	No	No	No	F13	0	0	12.5

Fig. 3.9 – Esempio dei valori di *buffer* calcolati con l’utilizzo del tool “Buffer\_faglie”.

Dopo aver eseguito i tre *script Python* (“Python script\_P1”, “Python script\_P2”, “Python script\_P3”) vengono concretamente avviate le operazioni di *buffering* per ogni campo e successivamente unite tramite lo strumento *Union*. Il risultato finale sarà un unico *shapefile* poligonale con soli tre oggetti (le aree a diversa pericolosità) aventi differente ID.

L’ultimo *script Python* (“Python script\_Union”) attribuisce, sulla base del FID conseguente all’unione, il valore di pericolosità P1, P2 o P3, necessario per categorizzare correttamente lo *shapefile* (Cod. 3.2).

```
#Union script

#codeblock
def union(num) :
    if num == 0:
        value = 1
    elif num == 1:
        value = 2
    elif num == 2:
        value = 3
    else:
        value = 0
    return value

#Expression:
union(!FID!)
```

Cod. 3.2 - Script Python utilizzato per l’assegnazione dei valori di pericolosità dopo l’unione dei tre *shapefile*.

La categorizzazione in tre colori (Rosso = P3, Arancione = P2, Giallo = P1) avviene in modo automatico grazie al file .lyr contenuto all'interno della *directory* "C:/Geodata/Lyr\_files".

### 3.3 Perimetrazione speditiva delle aree di fratturazione al suolo

Un'altra informazione cartografica in possesso, oltre alla localizzazione delle faglie, è la carta preliminare delle aree di fratturazione al suolo del territorio comunale redatta dal Dipartimento Regionale della Protezione Civile – Servizio per la Provincia di Catania, nell'ambito degli studi di microzonazione sismica nelle aree interessate dagli eventi sismici etnei dei mesi di ottobre, novembre e dicembre 2002. Le aree sono distribuite come in Fig. 3.10:

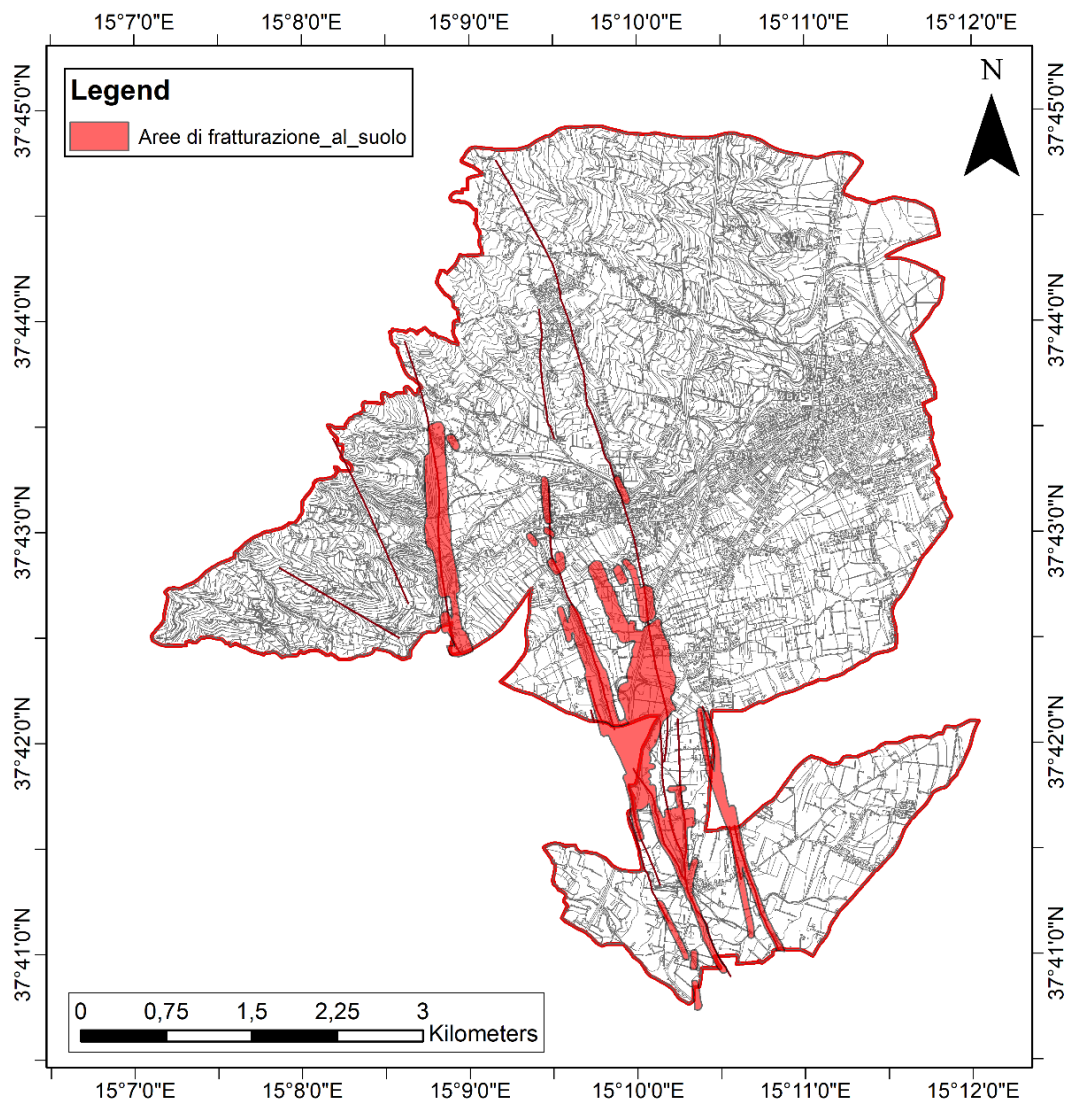


Fig. 3.10 - Digitalizzazione delle zone di fratturazione al suolo (Fonte: Protezione Civile).



I dati sulla fratturazione al suolo sono stati uniti a quelli di pericolosità ottenuti dai *buffer* attorno alle faglie con un'operazione di *Union*, al fine di creare l'output finale della pericolosità tettonica (Fig. 3.11).

Alle zone interessate da documentata fratturazione al suolo è stato quindi assegnato un valore di pericolosità 4, mentre per tutte le altre aree il valore da 1 a 3, assegnato precedentemente tramite i *buffer*, è rimasto invariato.

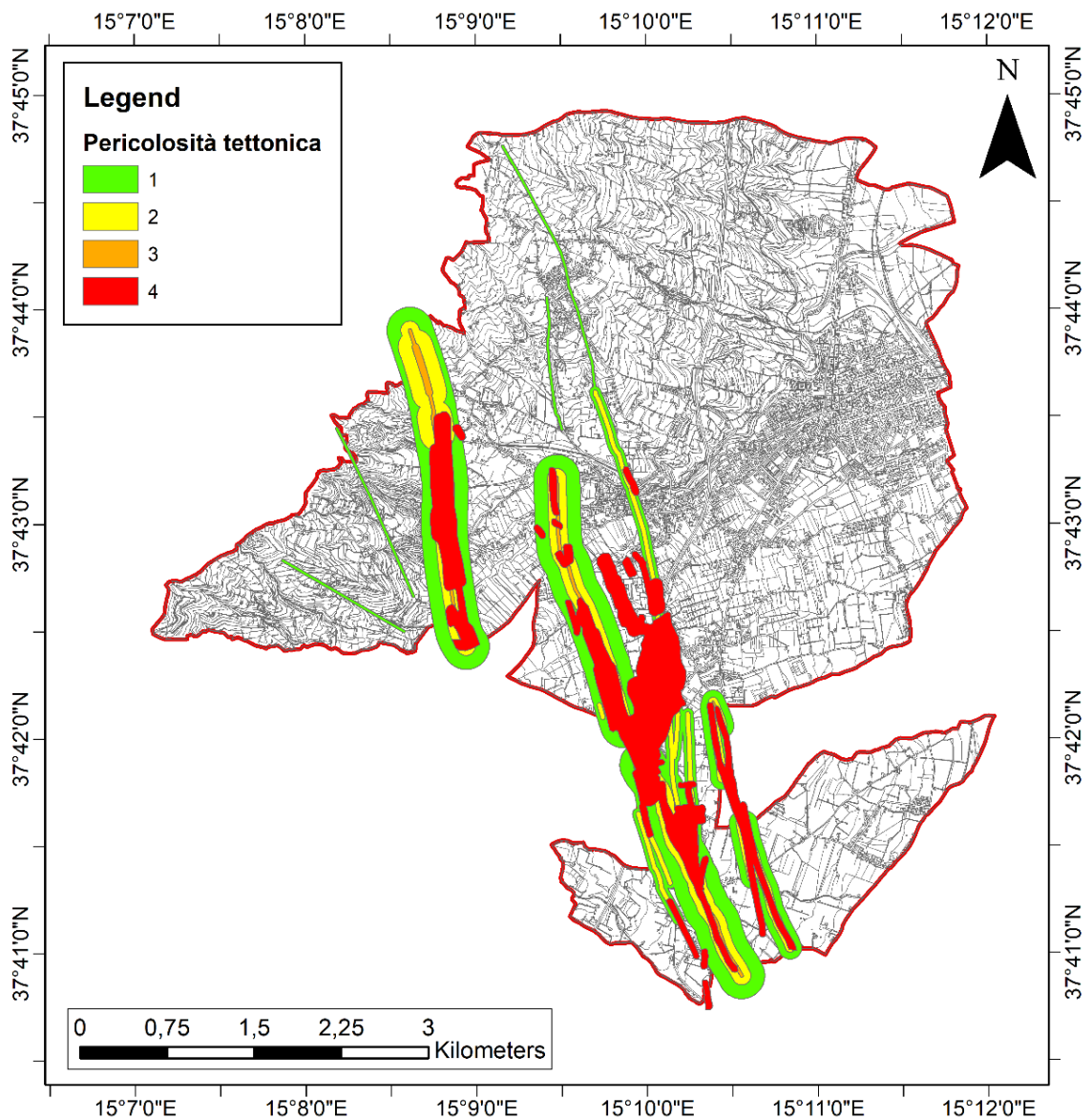


Fig. 3.11 – Mappa finale della pericolosità tettonica.

L'unione tra i *buffer* e le aree di fratturazione al suolo è stata automatizzata attraverso la creazione del *tool* "Union Buffer – Fratturazione" (Fig. 3.12).

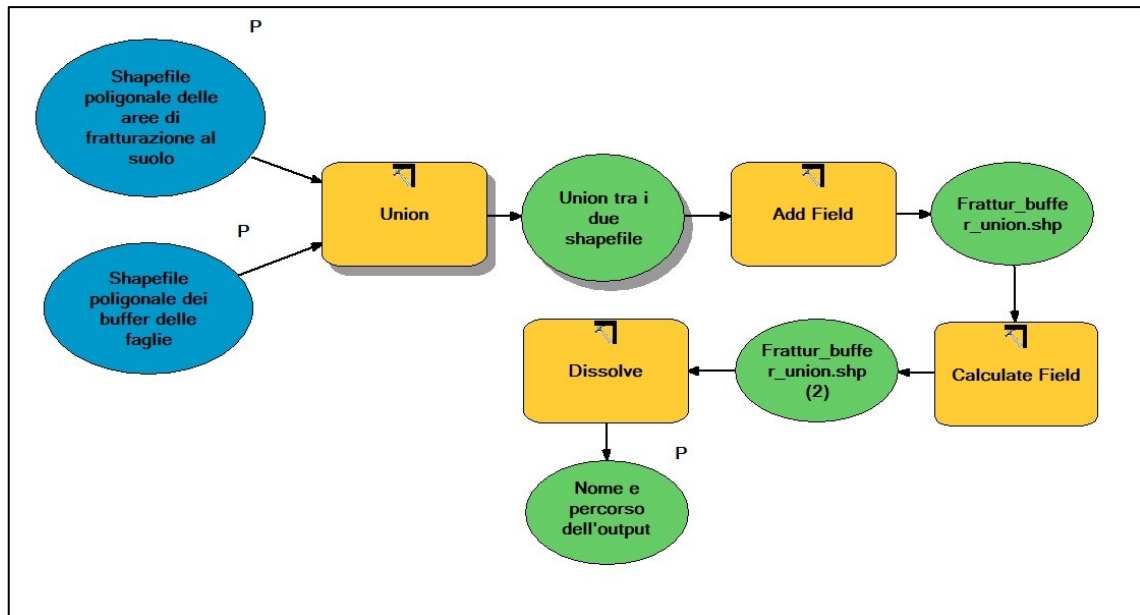


Fig. 3.12 – Struttura del tool per l'unione tra i dati di fratturazione al suolo e le fasce di rispetto calcolate in precedenza.

Unite le *features* dei due *shapefile* iniziali, è stato aggiunto il campo “Peric\_tett” dove, in funzione dei valori di ID scaturiti dall'intersezione dei due file iniziali, viene calcolato il valore finale di pericolosità tettonica attraverso lo *script Python* in Cod. 3.3:

```
#Pericolosità totale

#codeblock
def fratt_union(buff, fratt, tett):

    if buff == -1:
        value = 4
    elif fratt == -1:
        value = tett
    else:
        value = 4

    return value

#Expression:
fratt_union( !FID_Buff_f!, !FID_Frattu!, !Peric!)
```

Cod. 3.3 – Script Python per il calcolo del valore finale di pericolosità da assegnare a ogni poligono dopo l'intersezione tra zone di fratturazione al suolo e fasce di rispetto delle faglie.

Gli unici file in *input* richiesti sono appunto i *buffer* delle faglie calcolati con il tool “Buffer\_faglie” e i dati sulla fratturazione al suolo (Fig. 3.13):

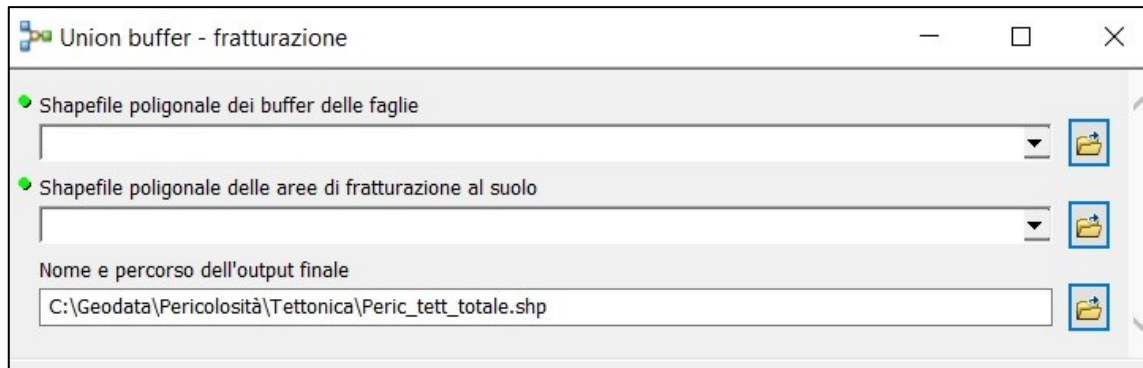


Fig. 3.13 – Schermata d’avvio del tool “Union buffer – fratturazione”.

È importante mantenere invariati la prima parte del nome relativo ai *buffer* e alla fratturazione (di *default* “Buff\_faglie” e “Fratturazione\_al\_suolo”) in modo che i campi ID generati automaticamente dal software dopo le operazioni di *Union* non producano nomi diversi da quelli utilizzati all’interno degli *script Python* integrati nel *tool*; è comunque possibile aggiungere suffissi o cambiare *directory* per il salvataggio del file.

L’output generato viene automaticamente categorizzato secondo una scala colori dal verde al rosso in base al valore di pericolosità, caricando lo stile dal file *.lyr* presente all’interno dell’apposita cartella “C:/Geodata/Lyr\_files”.

## 4 Pericolosità geomorfologica

### 4.1 Fattori di pericolosità

Come accennato nel Cap. 1, il problema geomorfologico più rilevante all'interno del territorio comunale è dato dalla presenza di zone a elevata acclività (Fig. 1.7) in corrispondenza della zona delle timpe, lungo le sponde degli alvei e in corrispondenza del passaggio tra le diverse colate.

Gli unici dati disponibili nel territorio di Giarre relativi alla pericolosità geomorfologica sono quelli presenti nel P.A.I. e quelli contenuti all'interno del progetto IFFI, che si concentrano su alcune frane da crollo nella zona delle timpe e tre frane quiescenti a scivolamento rotazionale/traslativo. Oltre a queste informazioni, opportunamente digitalizzate e inserite all'interno del progetto, è stata calcolata la pericolosità derivante dalla presenza delle scarpate (tettoniche e d'erosione), considerata come possibile fattore di innesco di instabilità.

#### 4.1.1 Scarpate tettoniche e d'erosione

In assenza di diffuse problematiche dovute a frane, ci si è focalizzati sull'individuazione di quelle porzioni di territorio che possono risultare maggiormente suscettibili a fenomeni di distacco di materiale roccioso.

Alcuni casi documentati si concentrano sull'area di affioramento di Chiancone e tufi e lungo i bordi delle colate, soprattutto laddove gli orizzonti rocciosi più competenti risultano fratturati (in prossimità delle timpe e lungo gli alvei incassati con sponde molto acclivi). Tali zone sono state quindi considerate come aree a potenziale instabilità, soprattutto considerando la possibile attivazione in occasione di eventi sismici di particolare intensità dovuti all'attività delle faglie attive presenti.

Lo studio delle scarpate parte dal controllo, tramite un processo di fotointerpretazione (attraverso ortofoto su software GIS e attraverso software esterni come *Google Earth*), del materiale cartografato in precedenza e presente all'interno del Piano regolatore del comune di Giarre. Gli elementi cartografati sono risultati però spesso poco precisi, sia nella localizzazione che nella forma effettiva dei vari orli, a volte troppo semplificata.

La digitalizzazione degli orli di scarpata (Fig. 4.1) è stata realizzata *ex novo*, con l'ausilio sia di ortofoto che di alcuni output derivati, come la carta delle pendenze, l'*hillshade* e le curve di livello generate a partire dal DTM a 2 m. Gli orli sono stati digitalizzati in modo da far corrispondere l'area a destra dell'elemento lineare con la parte di scarpata digradante verso valle; in questo modo, alla fine del processo, i *buffer* generati includono solo la porzione a valle interessata da potenziale instabilità.

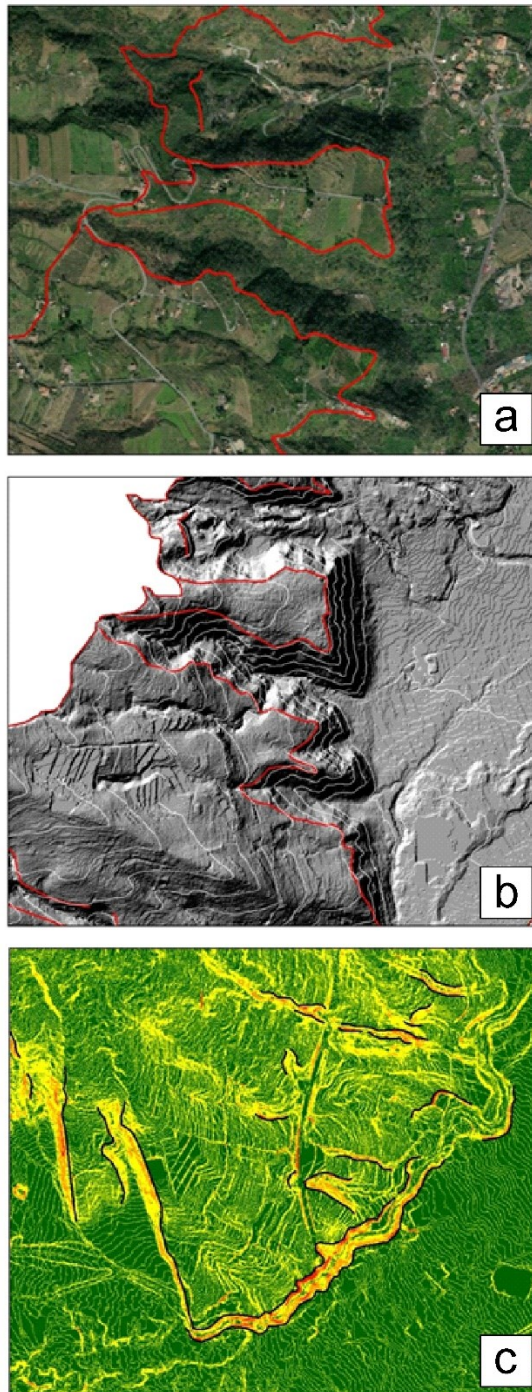


Fig. 4.1 – Esempio di digitalizzazione degli orli di scarpata con l'ausilio di ortofoto (a), elaborazione Hillshade (b) e carta delle pendenze (c).

Il principio alla base della creazione delle fasce di pericolosità relative alle scarpate è che il loro grado, e di conseguenza la loro estensione, aumenta all'aumentare dell'altezza delle stesse; sulla base di questo criterio è stata sviluppata una procedura, automatizzata tramite la creazione di un *tool* denominato "Buffer orli di scarpata" (Fig. 4.2), che calcola il dislivello massimo che intercorre tra la zona più alta della scarpata e la sua base, creando un *buffer* proporzionato al valore calcolato.

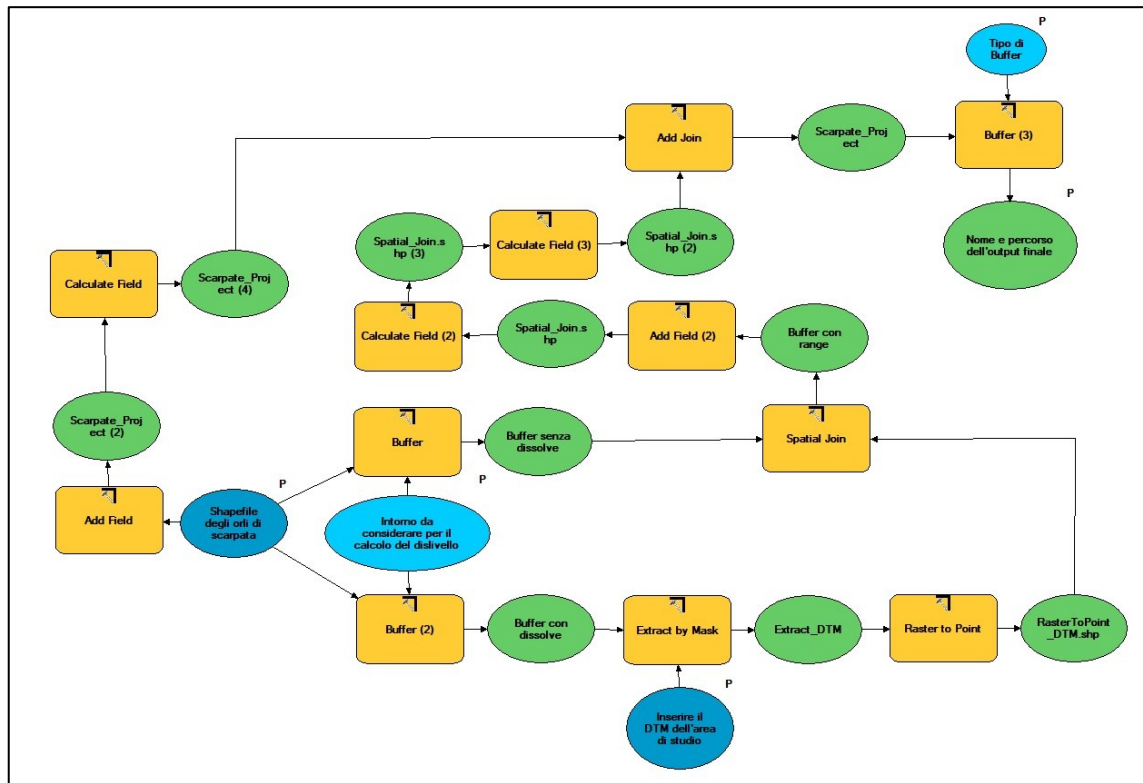


Fig. 4.2 – Struttura del tool per la creazione delle fasce di rispetto in funzione degli orli di scarpata digitalizzati.

I vari passaggi prevedono la creazione di due *buffer* di 75 m (valore di *default*) attorno a ogni elemento lineare digitalizzato: il primo viene effettuato mantenendo le varie entità poligonali separate tra loro, l'altro dissolvendo tutte le geometrie in un unico *record*. Quest'ultimo *shapefile* serve da limite (*mask*) per l'estrazione del DTM, che viene quindi ritagliato secondo le aree interessate dal *buffer*.

Con un *Raster to point* vengono trasformati tutti i pixel del *raster* DTM in una serie di punti vettoriali che mantengono l'informazione riguardo la quota; lo *Spatial Join* è utilizzato per calcolare il valore di *range* (differenza tra la quota più alta e quella più bassa) e associarlo ai singoli *buffer* di ogni scarpata. I valori di dislivello vengono poi

trasferiti allo *shapefile* lineare iniziale e sulla base di quest'ultimo viene prodotto il *buffer* definitivo che rappresenta la zona a potenziale instabilità.

Se le scarpate risultano essere troppo estese si può ricorrere alla suddivisione degli orli in più segmenti prima dell'utilizzo del *tool*, in modo da discretizzare il calcolo del dislivello su segmenti più piccoli e ottenere valori più attendibili; questa operazione può essere eseguita velocemente attraverso l'utilizzo del *tool Split line at vertices* che separa le linee in tanti segmenti quanti sono i vertici con i quali è stata originariamente disegnata; l'opzione è stata esclusa dal *workflow* del *tool* a causa dell'esosa richiesta di calcolo che potrebbe causare problemi con alcuni PC non all'avanguardia.

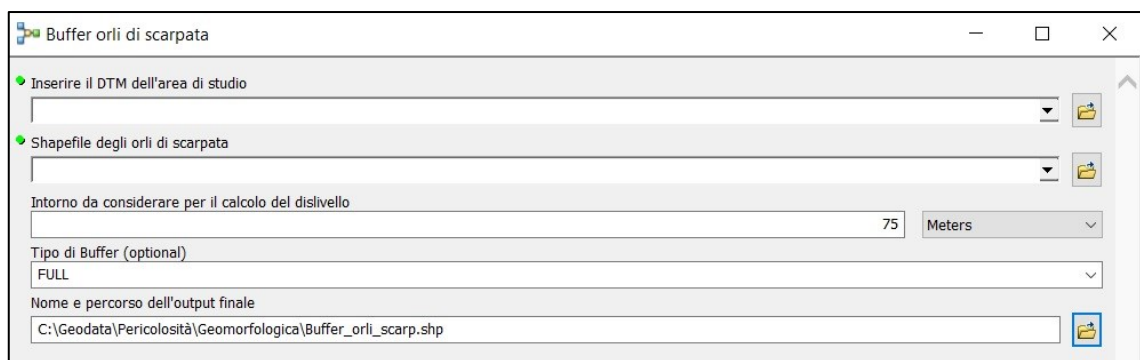


Fig. 4.3 – Schermata d'avvio del tool "Buffer\_orli di scarpata".

Gli *input* da inserire (Fig. 4.3) sono: il DTM dell'area di studio, lo *shapefile* con il quale sono stati digitalizzati gli orli di scarpata, la *directory* e il nome dell'*output* finale. A seconda delle esigenze possono essere modificati l'intorno per il calcolo del dislivello e il tipo di *buffer*, che può essere generato da entrambi i lati dell'elemento lineare o soltanto da uno dei due lati.

Il risultato finale del calcolo dei *buffer* tramite il *tool* è mostrato in Fig. 4.4.

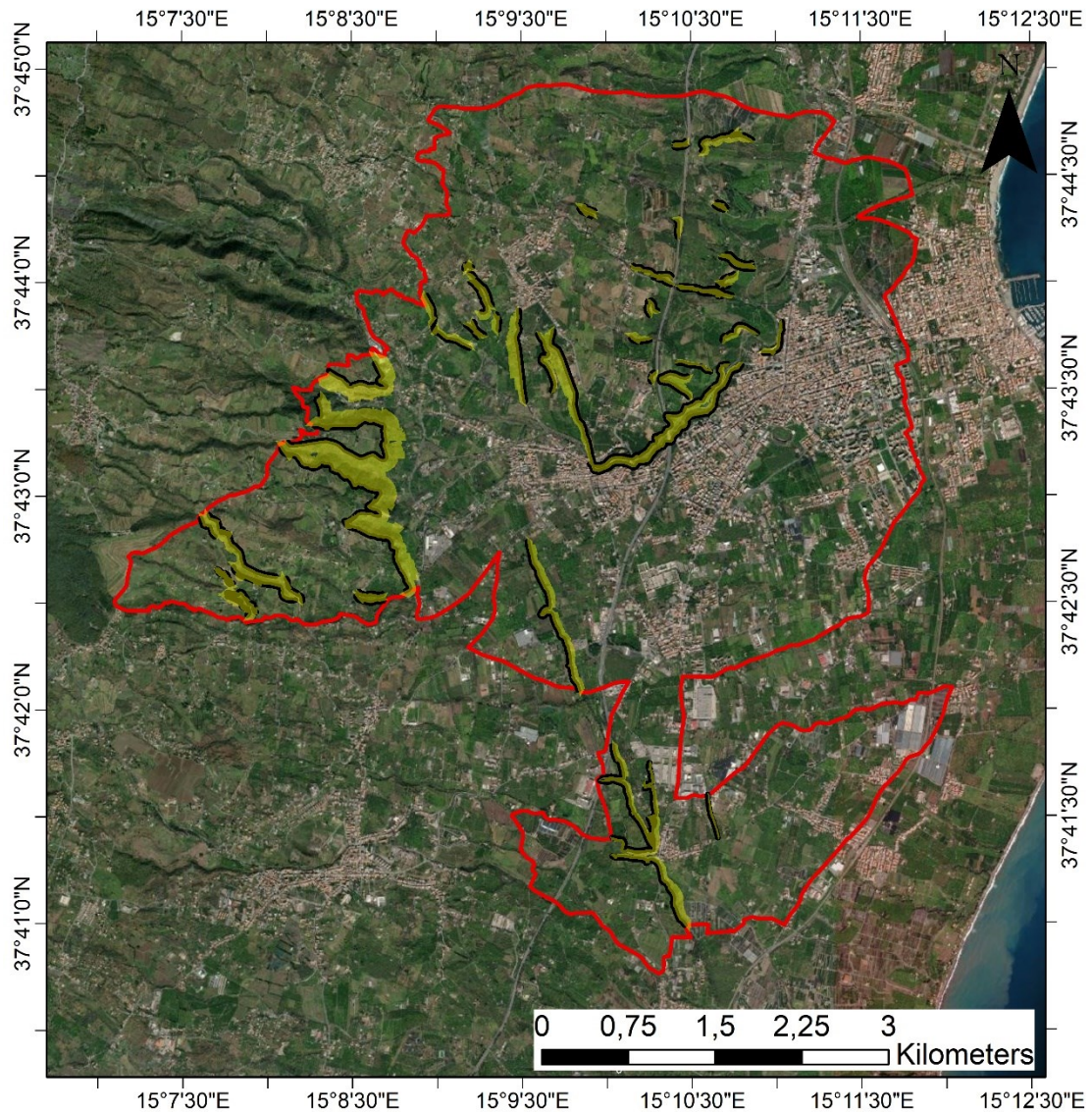


Fig. 4.4 – Risultato della creazione dei buffer (in giallo) a partire dagli orli di scarpata (in nero) su base ortofoto.

Ne consegue che le rotture di pendenza di maggior entità (di conseguenza con un *buffer* maggiore) sono quelle determinate dalla situazione tettonica nell'area delle timpe di Miscarello; valori minori di *buffer* sono invece associati alle scarpate dovute all'azione della faglia di S. Leonardello, che presentano dislivelli più limitati, e ai tratti di alveo incassati del T. Macchia. Essendo tali scarpate impostate per lo più su litotipi di natura vulcanica, che hanno tendenzialmente una permeabilità da media a elevata (per fratturazione) e delle buone caratteristiche geomeccaniche, il grado di pericolosità numerico associato ai vari *buffer* è di 1; tali aree sono state unite successivamente a quelle riconosciute all'interno del P.A.I. e del progetto IFFI.



#### 4.1.2 Il P.A.I.

Le aree a principale pericolosità geomorfologica sono sintetizzate all'interno del P.A.I. con la presenza di: 1 area a pericolosità P4 (molto elevata), 9 aree a pericolosità P3 (elevata) e 1 area a pericolosità P1 (bassa).

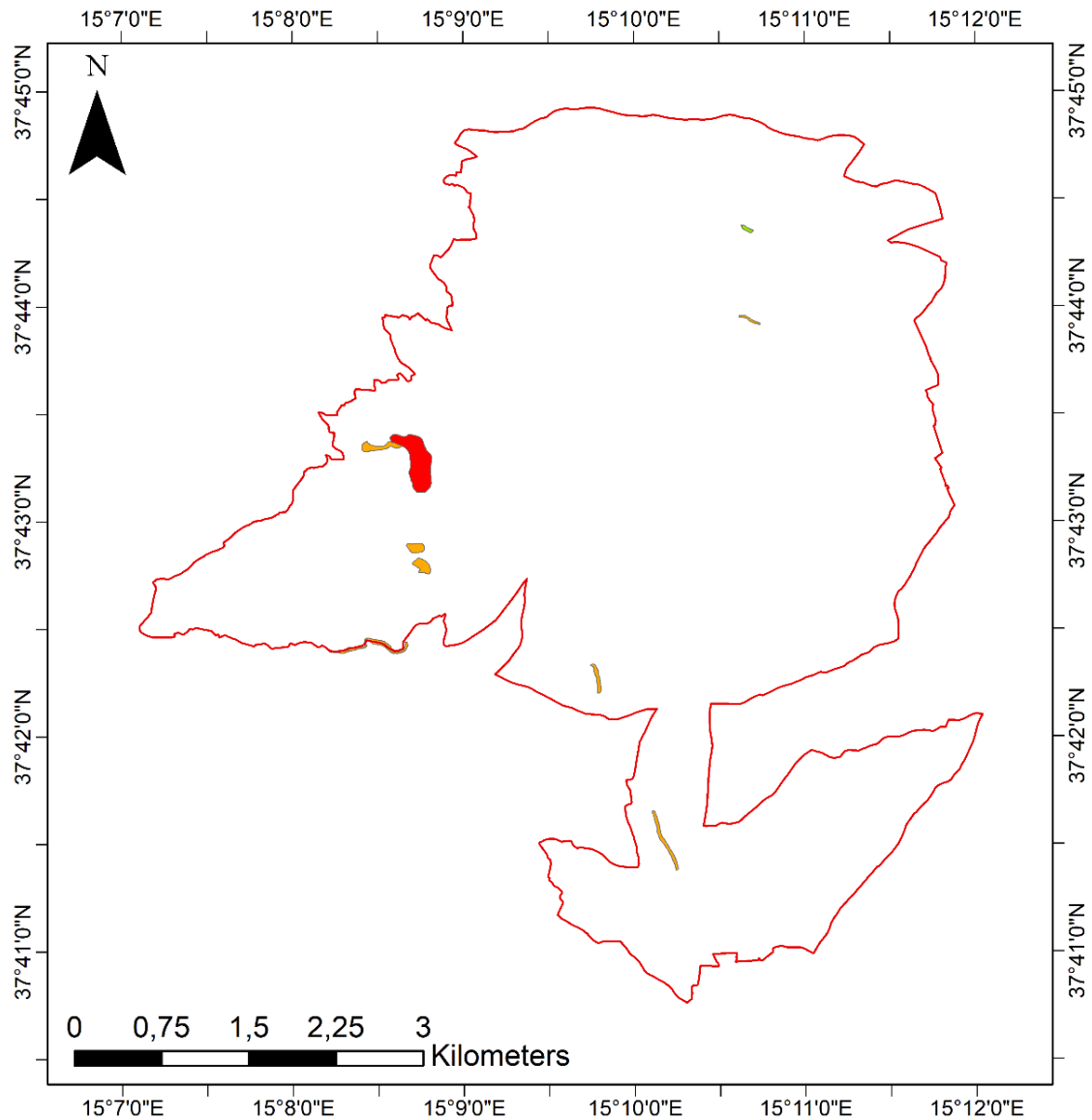


Fig. 4.5 – Aree a pericolosità geomorfologica secondo il P.A.I. (P1 = pericolosità bassa, in verde; P3 = pericolosità elevata, in arancione; P4 = pericolosità molto elevata, in rosso).

In tali zone esistono alcune limitazioni facenti parte delle Norme di Attuazione del P.A.I. Nelle aree a pericolosità P4 e P3 sono ad esempio vietati: scavi, riporti, movimenti di terra e tutte le attività che possano esaltare il livello di rischio atteso; è vietata la localizzazione, nell'ambito dei Piani Provinciali e Comunali di Emergenza di Protezione Civile, delle "Aree di attesa", delle "Aree di ammassamento dei soccorritori

e delle risorse" e delle "Aree di ricovero della popolazione". In queste aree sono esclusivamente consentite: le opere di regimazione delle acque superficiali e sotterranee; le occupazioni temporanee di suolo, da autorizzarsi ai sensi dell'articolo 5 della legge regionale 10 agosto 1985, n.37; le opere realizzate in modo da non arrecare danno o da risultare di pregiudizio per la pubblica incolumità; quelle relative ad attività di tempo libero compatibili con la pericolosità della zona, purché prevedano opportune misure di allertamento.

I poligoni identificati dal P.A.I. si riferiscono esclusivamente ad aree interessate da pericolosità da crollo e quindi si prestano bene ad un confronto diretto con le aree calcolate in modo automatico attraverso il tool "Buffer\_orli di scarpata" (Fig. 4.2 e Fig. 4.3).

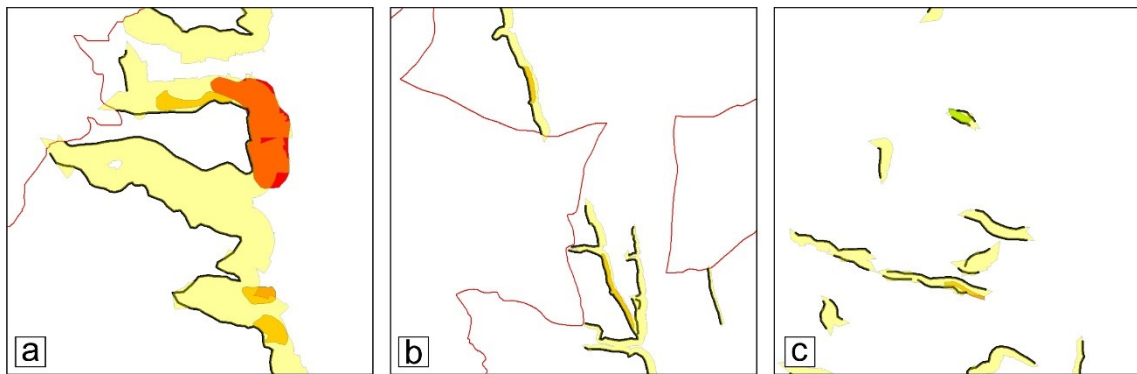


Fig. 4.6 – Confronto tra le zone a pericolosità geomorfologica del P.A.I. (in verde, arancione e rosso) e quelle identificate tramite l'utilizzo del tool "Buffer\_orli di scarpata"; in fig. 4.8a la zona delle Timpe di Miscarelo, in fig. 4.8b la scarpata dovuta alla faglia di San Leonardello, in fig. 4.8c scarpate di minore entità nella zona nord del comune.

Come mostrato in Fig. 4.6, esiste un ottimo grado di sovrapposizione relativamente al valore della larghezza dell'area soggetta a pericolosità a partire dall'orlo delle scarpate. Numericamente parlando, le zone segnalate dal P.A.I. sono molto inferiori, limitandosi a perimetrare le zone in cui è stato già rilevato un certo grado di instabilità in passato.

#### 4.1.3 Il progetto IFFI

L'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI, <https://www.progettoiffi.isprambiente.it/>) è la banca dati nazionale e ufficiale sulle frane ed è realizzato da ISPRA in collaborazione con le Regioni e le Province Autonome (art. 6 comma g della L. 132/2016). L'Inventario IFFI (Trigila & Iadanza, 2007) è uno

strumento conoscitivo utilizzato per la valutazione della pericolosità da frana dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI), la progettazione preliminare di interventi di difesa del suolo e di reti infrastrutturali e la redazione dei Piani di Emergenza di Protezione Civile.

La necessità di creare un Inventario nazionale delle frane in Italia è emersa con maggiore forza a seguito dell'evento disastroso del 5 maggio 1998, che ha colpito gravemente i comuni di Sarno, Siano, Quindici, Bracigliano e S. Felice a Cancellò, nelle province di Salerno, Avellino e Caserta. Le cartografie sono visualizzabili online all'indirizzo <https://idrogeo.isprambiente.it/> e, ad oggi, le frane censite sono 620.793.

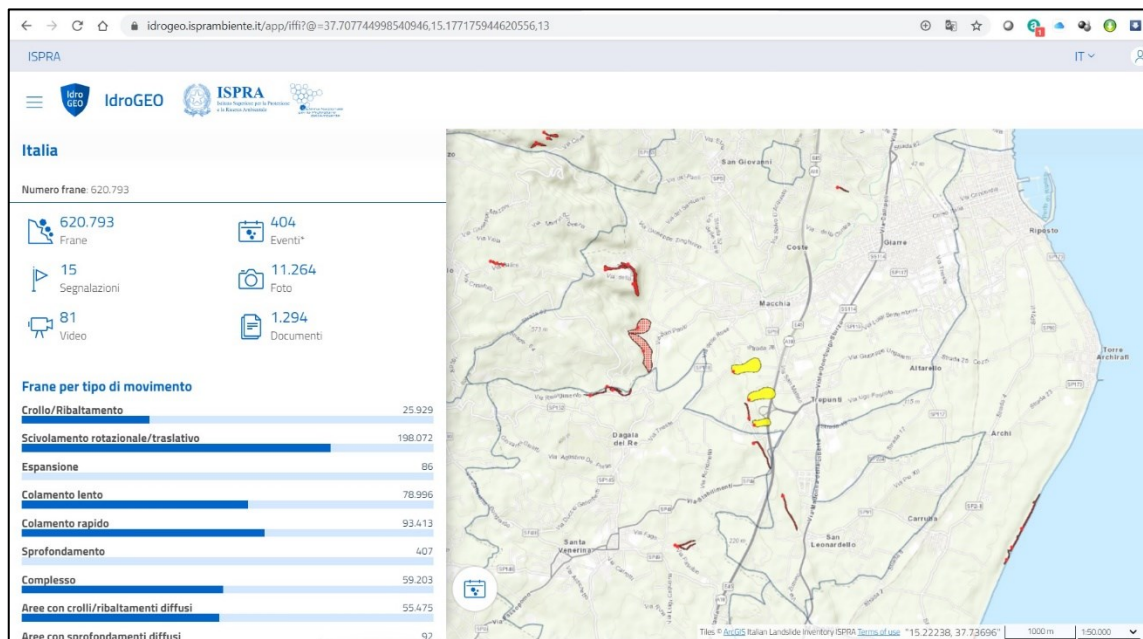


Fig. 4.7 – Frane censite dal progetto IFFI nel comune di Giarre, visualizzabili sul portale <https://idrogeo.isprambiente.it/>.

Le aree in giallo (Fig. 4.7) si riferiscono a tre frane a scivolamento rotazionale/traslattivo su terreni ghiaiosi; queste aree, non riportate nelle cartografie del P.A.I., sono contrassegnate da uno stato di attività di tipo quiescente e di conseguenza è ritenuta possibile una riattivazione delle stesse a breve termine. Anche in questo caso l'origine dell'instabilità è da ricondurre all'azione della faglia di S. Leonardello, che delimita le frane a ovest lungo la zona di coronamento.

I poligoni in rosso (Fig. 4.7) invece si riferiscono ad aree soggette a crolli/ribaltamenti e sono localizzate negli stessi punti sensibili identificati anche nel P.A.I.

A cambiare leggermente sono le estensioni di tali aree, in alcuni casi più ristrette e in altri più estese (Fig. 4.8).

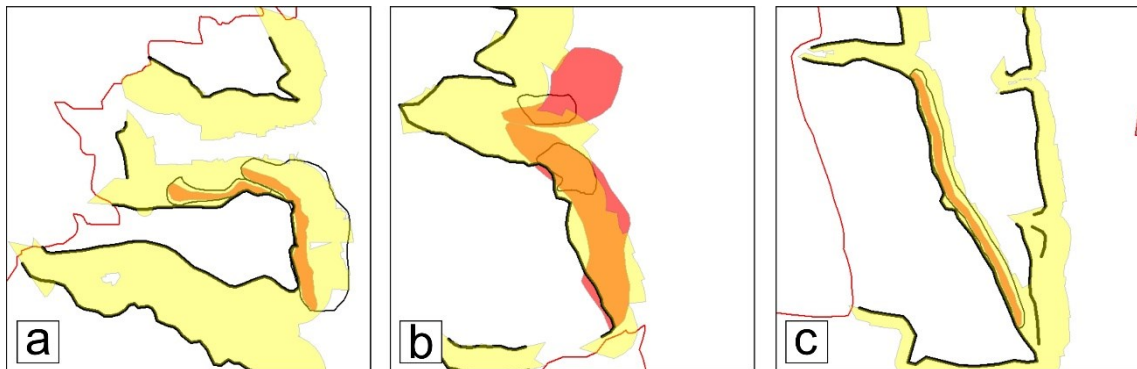


Fig. 4.8 – Confronto tra le perimetrazioni proposte da P.A.I. e progetto IFFI e le aree ottenute tramite l'utilizzo del tool "Buffer\_orli di scarpata". Le linee nere in grassetto rappresentano gli orli di scarpata digitalizzati; il contorno nero rappresenta le aree censite dal P.A.I.; le aree in rosso corrispondono alle aree identificate dal progetto IFFI.

Con l'obiettivo di mantenersi in sicurezza sono state integrate le informazioni fornite dalle due fonti. Nel caso delle aree in comune è stato assegnato il grado di pericolosità proposto dal P.A.I. ed è stata presa in considerazione l'area più grande cartografata dall'una o dall'altra fonte (ad esempio nel caso della Fig. 4.8b è stato considerato il perimetro proposto dall'IFFI, il quale presenta un'estensione notevolmente maggiore). Relativamente alle frane, presenti solo nel *database* IFFI, esse hanno ricevuto un grado di pericolosità pari a 2, essendo caratterizzate da uno stato di attività di tipo quiescente.

Il nuovo *shapefile* quindi, ottenuto dopo l'operazione di *Union* tra le due fonti originarie, presenta un campo denominato "Gr\_PAI\_IFF", con valori di pericolosità da 1 a 4 (Fig. 4.9).

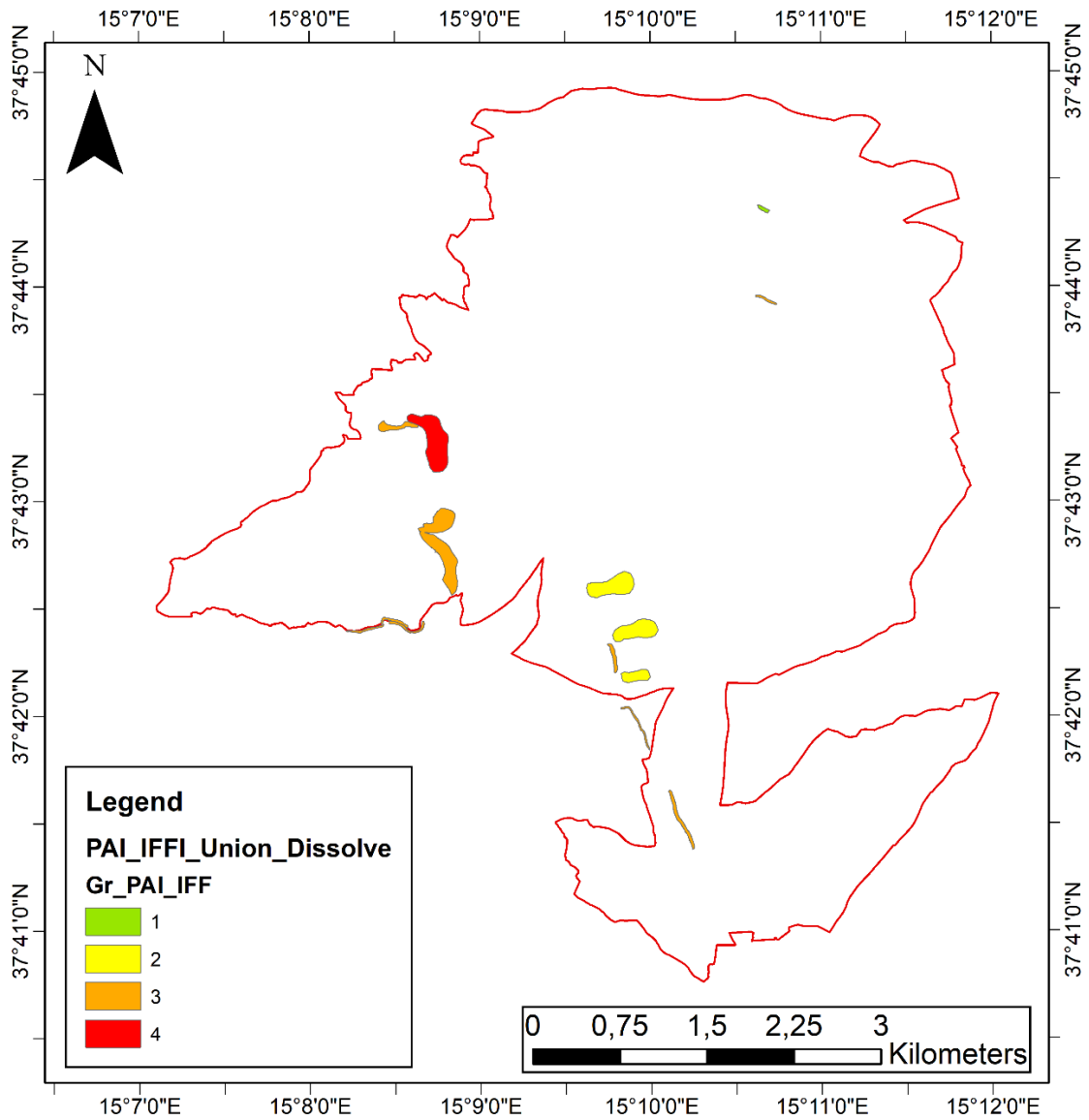


Fig. 4.9 – Unione tra le perimetrazioni proposte dal P.A.I. e dal progetto IFFI.

#### 4.1.4 Calcolo della mappa finale della pericolosità geomorfologica

La mappa di pericolosità geomorfologica finale è stata ottenuta incrociando le informazioni riguardanti i *buffer* calcolati attraverso il *tool* (Fig. 4.2 e Fig. 4.3) e lo *shapefile* contenente le perimetrazioni fornite da P.A.I. e IFFI.

A patto che vengano mantenuti determinati nomi negli *shapefile* di *input* (“Buffer\_orli” per il risultato del *tool* e “PAI\_IFFI” per l’altro) è possibile utilizzare un *tool* per generare la mappa finale di pericolosità incrociando i dati a disposizione (Fig. 4.10).

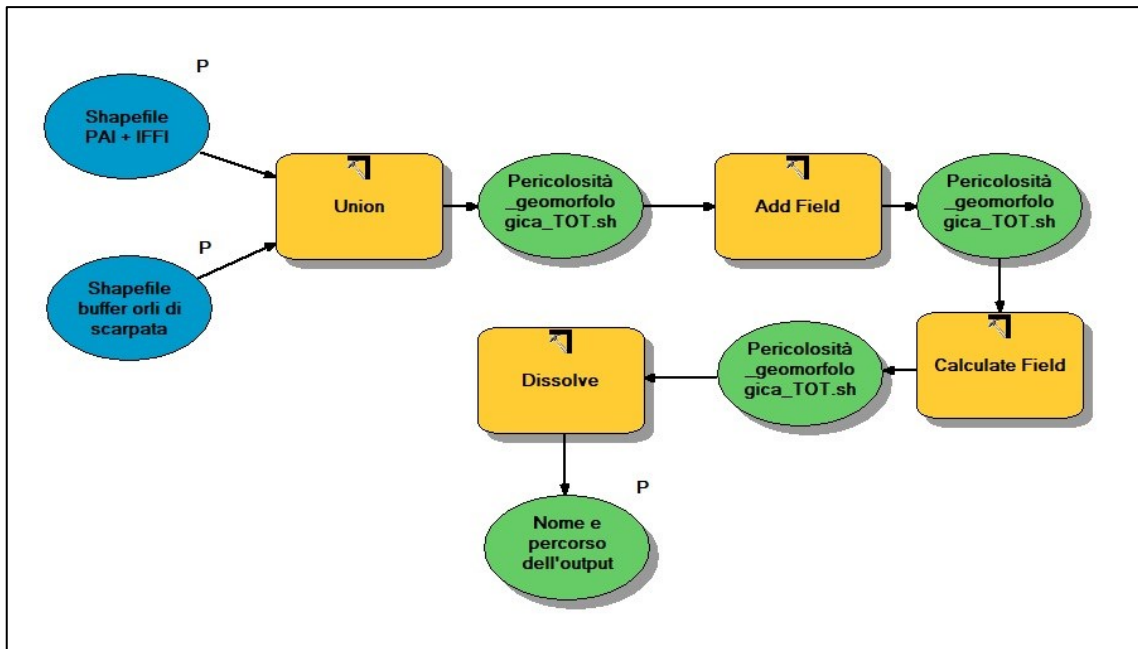


Fig. 4.10 – Struttura del tool per il calcolo della mappa geomorfologica finale a partire dai dati di input (P.A.I., progetto IFFI e buffer degli orli di scarpata).

Attraverso un'operazione di *Union* è stato creato un singolo *shapefile* con tutte le perimetrazioni presenti nei dati di *input*. Nella tabella attributi di quest'ultimo è stato poi aggiunto il campo "Peric\_geom", all'interno del quale viene utilizzato un piccolo *script Python* (Cod. 4.1) per il calcolo del grado finale di pericolosità (da 1 a 4) di ogni poligono, sfruttando i campi ID derivanti dall'unione dei file. Attraverso l'operatore *dissolve* alla fine del *tool*, invece, vengono unificate in un singolo *record* le geometrie che hanno lo stesso grado di pericolosità.

```

def union_PAI_IFFI_ORLI(buff, peric_PAI_IFFI, fid_PAI_IFFI):

    if buff == 0 and fid_PAI_IFFI == -1:
        value = 1
    else:
        value = peric_PAI_IFFI

    return value

#Expression: union_PAI_IFFI_ORLI( !FID_Buffer!, !Gr_PAI_IFF!,
!FID_PAI_IF!)
  
```

Cod. 4.1 – Script Python per l'assegnazione del grado di pericolosità geomorfologica ai vari poligoni dopo le operazioni di "Union" e "Dissolve".

Ai poligoni derivanti dal calcolo dei *buffer* a partire dagli orli è stato assegnato valore di pericolosità pari a 1. Per tutti gli altri poligoni è stato mantenuto il grado di

pericolosità identificato dal P.A.I., mentre alle tre frane presenti solo nella cartografia IFFI è stato assegnato un valore di 2.

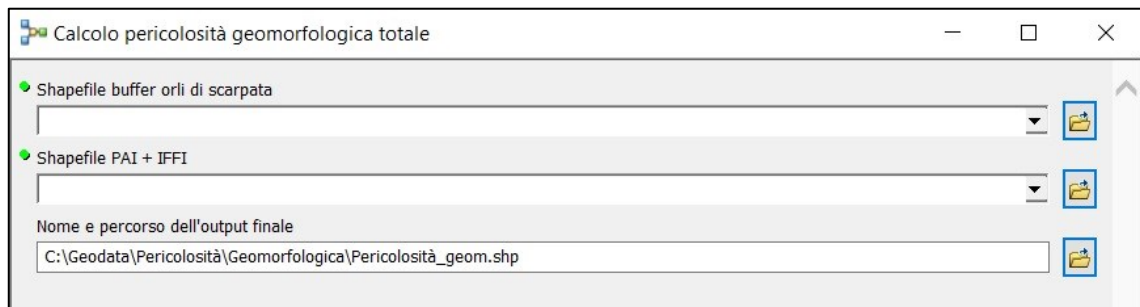


Fig. 4.11 – Schermata d'avvio del tool "Calcolo della pericolosità geomorfologica totale".

La schermata di avvio del *tool* (Fig. 4.11) prevede soltanto l'inserimento dei due file di *input* e i dettagli riguardo al nome e al percorso dove verrà salvato l'*output* finale.

La categorizzazione dell'*output* finale avviene in maniera automatica grazie all'utilizzo di un file di stile contenuto nella *directory* "C:\Geodata\Lyr\_files", assegnando una scala colore dal verde al rosso in base al valore di pericolosità contenuto nel campo "Peric\_geom".

Il risultato finale è mostrato in Fig. 4.12.

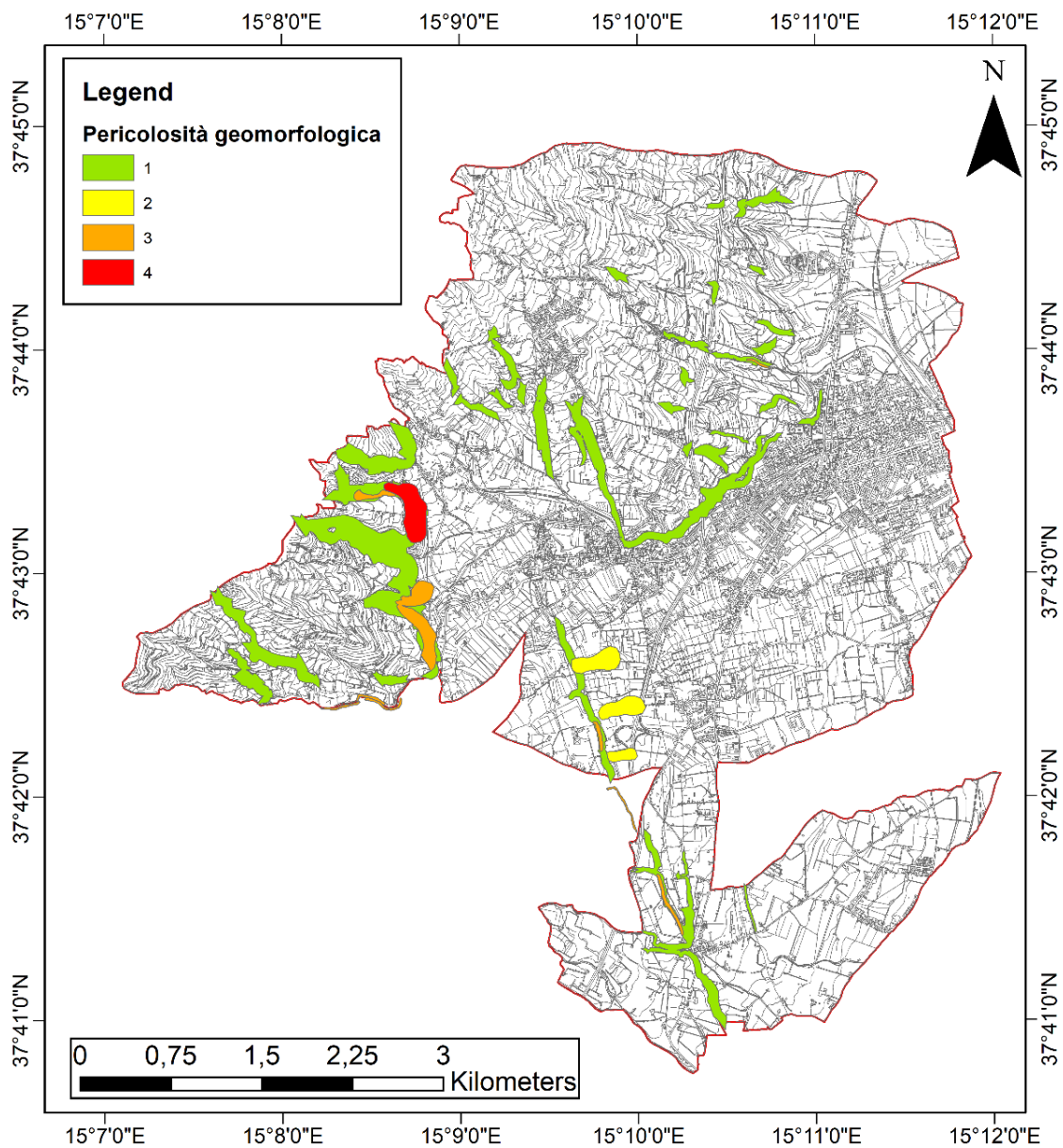


Fig. 4.12 - Mappa finale della pericolosità geomorfologica suddivisa in 4 gradi.



## 5 Telerilevamento

### 5.1 Descrizione e obiettivi dell'attività all'estero

Il secondo semestre del secondo anno di dottorato (sei mesi, da ottobre 2019 a marzo 2020) è stato trascorso presso la *Planetek Hellas E.P.E.* (Atene, Grecia), azienda leader a livello europeo nel settore del telerilevamento satellitare e dello sviluppo di infrastrutture web per la gestione integrata di dati territoriali. Le principali aree di attività dell'azienda sono:

- Elaborazione dati satellitari, da aerei e da droni per la produzione di cartografia e informazioni geografiche;
- Servizi di monitoraggio continuo con dati satellitari della superficie terrestre, delle infrastrutture, delle aree in costruzione, delle dinamiche urbane o delle aree marine-costiere a supporto delle attività decisionali e operative;
- Progettazione e sviluppo di infrastrutture di dati spaziali (SDI) per l'archiviazione dei dati geospaziali e la loro gestione e condivisione;
- Progettazione e sviluppo di soluzioni basate su dati di geo-localizzazione in tempo reale, attraverso sistemi di posizionamento, quali GPS/Galileo/GNSS e sistemi di localizzazione *indoor*;
- Sviluppo di *software* per l'elaborazione dei dati e delle immagini a bordo dei satelliti e per le infrastrutture del segmento di terra.

Il gruppo *Planetek* è composto da quattro società distinte con sede in Italia e in Grecia ed è attivo nel mercato nazionale ed internazionale. *Planetek Italia* è strutturata in *Strategic Business Unit* (SBU) focalizzate su mercati diversi: *Government & Security*, *SpaceStream*, *Business to Business* ed è anche rivenditore dei *software Hexagon Geospatial* e fornitore di dati di immagini satellitari.

Grazie all'aiuto delle figure professionali presenti nella sede di *Planetek Hellas* di Atene, e alle consulenze da remoto di *Planetek Italia*, nella persona del Dott. Vincenzo Massimi (*Technical Specialist Rheticus®*), è stato possibile imparare a elaborare i dati interferometrici e, nello specifico, i *Persistent Scatterers* forniti dalla stessa azienda, i quali coprono l'area di Giarre per un intervallo temporale di circa 4 anni (da ottobre 2014 a giugno 2018).

L'obiettivo principale di questo lungo periodo di studio è stato non tanto quello di imparare il funzionamento degli algoritmi e del processo matematico-statistico alla base dell'estrazione dei *Persistent Scatterers* a partire dalle immagini radar, quanto quello di imparare a sfruttare e interpretare il dato finale. Il *Persistent Scatterer*, da solo, rappresenta infatti un dato ancora grezzo, che necessita di essere correlato con una serie di dati ancillari, raccolti ed elaborati nelle fasi precedenti del progetto, e altre elaborazioni derivate, in modo tale da trarre importanti informazioni sulla condizione dell'area di interesse e sulle possibili criticità esistenti.

Tramite le analisi interferometriche è stato ottenuto un nuovo valore di pericolosità, che si va a sommare a quelli prodotti nel Cap. 2, Cap. 3 e Cap. 4.

Oltre che sull'analisi del comune di Giarre in sé, è stata posta grande attenzione alla progettazione di un flusso metodologico di lavoro ripetibile velocemente in diversi contesti comunali, attraverso lo sviluppo di un *workflow* definito e di una serie di *tools* per l'automatizzazione dei vari processi.

## 5.2 Il telerilevamento RADAR

Nel presente progetto i dati utilizzati nell'ambito del telerilevamento sono di tipo *RADAR (Radio Detecting And Ranging)*. I sistemi radar satellitari forniscono immagini elettromagnetiche (a frequenze comprese tra 500 MHz e 10 GHz) della superficie terrestre con risoluzione spaziale superiore al metro in maniera continua, potendo acquisire dati in presenza di copertura nuvolosa e in qualsiasi condizione di luce.

Il principio di funzionamento è il seguente: un apparecchio trasmittente illumina lo spazio circostante con un'onda elettromagnetica che incide su eventuali oggetti subendo un fenomeno di riflessione disordinata (diffusione, *scattering*); una parte del campo diffuso torna verso la stazione trasmittente, equipaggiata anche per la ricezione, dove vengono misurate le sue caratteristiche. Il dispositivo è in grado di individuare il bersaglio elettromagnetico (*detection*) e, misurando il ritardo temporale tra l'istante di trasmissione e quello di ricezione, valutare la distanza (*ranging*) a cui è posizionato, localizzandolo in modo preciso lungo la direzione di puntamento dell'antenna (direzione di *range*). La direzione dell'antenna utilizzata per trasmettere e ricevere il segnale *radar* influenza la selettività dell'illuminazione dello spazio circostante e consente di localizzare l'oggetto anche lungo l'altra dimensione (*azimuth*). Quanto più grande è

l'antenna tanto più stretta è la sua impronta e, di conseguenza, il bersaglio viene localizzato con più precisione, a discapito dell'estensione dell'area illuminata.

Le immagini acquisite da un sensore *radar* vengono registrate in un sistema di riferimento di coordinate *range* ed *azimuth* e in tali direzioni sono caratterizzate da due diverse risoluzioni spaziali. La risoluzione in *range* o *slant-range* o LOS (*Line Of Sight*), riferita alla direzione di propagazione del segnale trasmesso dall'antenna *radar*, è legata al tempo impiegato dall'impulso di energia per compiere il doppio percorso segnale-bersaglio e, la sua proiezione a terra è detta risoluzione in *ground-range*. La risoluzione in *azimuth*, ossia nella direzione di moto della piattaforma su cui è posto il sensore, è inversamente proporzionale alla lunghezza *L* dell'antenna.

Ciò significa che, quanto più grande è l'antenna, tanto più stretta è la sua impronta a terra e, di conseguenza tanto meglio viene localizzato il bersaglio. Per ottenere buone risoluzioni in *azimuth* occorre dunque aumentare la lunghezza dell'antenna, ma ciò comporta la riduzione dell'estensione dell'area illuminata.

La capacità di un *RADAR* di individuare un bersaglio (oggetto osservato) è determinata dall'equazione *radar*, che definisce la potenza del segnale ricevuto dall'antenna:

$$Pr = \frac{Pt G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \sigma$$

Dove: *Pr* è la potenza media ricevuta per pixel; *Pt* è la potenza trasmessa dall'antenna; *G* è il guadagno dell'antenna; *R* è la distanza tra antenna e *target*;  $\lambda$  è la lunghezza d'onda del fascio *radar* incidente;  $\sigma$  è il coefficiente di *backscattering*, cioè la riflettività per unità di superficie della scena. Quest'ultimo elemento, e quindi l'energia retrodiffusa, dipende da molti parametri come le caratteristiche costruttive dei sistemi *radar* (frequenza, polarizzazione, geometria di acquisizione) e le caratteristiche dell'oggetto rilevato (rugosità, contenuto di umidità e proprietà elettriche dell'oggetto) (Hanssen, 2001).

I sensori *RADAR* operano su diverse bande (Fig. 5.1). Ogni banda fornisce informazioni su differenti caratteristiche degli oggetti. Nella regione dello spettro elettromagnetico con frequenze comprese tra 1 e 10 GHz le onde non sono influenzate

dalle condizioni atmosferiche, che invece costituiscono un fattore limitante del telerilevamento ottico (ad esempio i satelliti *ERS 1* e *ERS 2* utilizzano la Banda C, il satellite *COSMO-SkyMed* opera in banda X).

<i>Band</i>	<b>P</b>	<b>L</b>	<b>S</b>	<b>C</b>	<b>X</b>	<b>K</b>
<i>f (GHz)</i>	1	2	4	8	12	
<i>λ (cm)</i>	30	15	7,5	3,8	2,5	

Fig. 5.1 – Nomenclatura standard delle bande RADAR con relativi valori di frequenza e lunghezza d'onda (IEEE, 1984).

Per interpretare i dati *radar* è necessario tenere conto della geometria di acquisizione: essa può essere di tipo *side-looking*, ossia ad osservazione laterale della scena, o di tipo *nadir-looking*, ossia con osservazione nadirale. Questa differenza esiste perché gli strumenti ottici sono in grado di distinguere tra i bersagli sulla base della loro distanza angolare dal *nadir* del sensore. Invece un *RADAR* può distinguere i ritorni provenienti da vari bersagli solo sulla base del tempo di ritorno del segnale. Un *radar* ad acquisizione nadirale non sarebbe in grado di distinguere tra due bersagli posti ad ugual distanza dal sensore in quanto un singolo fronte d'onda incidente illumina entrambi i punti nello stesso istante, e di conseguenza i ritorni retrodiffusi da entrambi i punti arrivano all'antenna ricevente simultaneamente. Questo causa un'ambiguità destra/sinistra per tutti i punti simmetrici rispetto al *nadir*. Se invece l'illuminazione del radar viene limitata ad un lato della piattaforma, il fronte d'onda illumina gli stessi due punti ad istanti diversi. Di conseguenza i loro ritorni retrodiffusi arrivano al sensore in istanti di tempo differenti e sono quindi distinguibili l'uno dall'altro.

### 5.2.1 Il telerilevamento RADAR ad apertura sintetica (SAR)

Per aumentare la risoluzione spaziale in *azimuth* è necessario aumentare la lunghezza dell'antenna *RADAR*, ma esistono limiti fisici alla lunghezza dell'antenna impiegabile su una piattaforma aerea o satellitare. Se per aumentare la risoluzione spaziale si accorciasse la lunghezza d'onda del sensore, si avrebbe una limitata capacità di penetrazione delle nuvole e si

perderebbe uno dei grandi vantaggi del *RADAR*. Per ovviare a tale problema è stato sviluppato il concetto di antenna ad apertura sintetica o *SAR* (*Synthetic Aperture RADAR*). Con l'acronimo *SAR* si indica un sensore attivo su piattaforma in movimento che sfrutta il suo moto per aumentare la lunghezza dell'antenna e definire così un'antenna sintetica. Si consideri un satellite in moto orbitale a velocità  $v$ , con un'antenna reale di lunghezza  $L$ , lungo la direzione azimutale. In un istante  $t_0$  il fascio radar inizia ad illuminare un punto  $P$ .

Nella sua orbita il trasmettitore invia una serie di impulsi, con una propria frequenza, che da  $t_0$  e fino ad un istante  $t_1$ , colpiscono  $P$ . L'antenna reale  $L$  occupa quindi una serie di  $2N+1$  posizioni equi-spaziate, per ciascuna delle quali invierà un impulso verso il bersaglio. L'antenna  $L$  definisce quindi un *array* sintetico di lunghezza  $L_s$  lungo la direzione dell'*azimuth* o, equivalentemente, una singola antenna sintetica di lunghezza  $L$  (Stramondo *et al.*, 2006). Nell'intervallo temporale  $T = t_1 - t_0$  il satellite percorre una distanza:

$$L_s = v \cdot T = R_0 \cdot \frac{\lambda}{L}$$

con  $\lambda/L = \beta_s$ , apertura del fascio *RADAR* ad apertura sintetica. La risoluzione *azimutale* è:

$$r_{az} = R_0 \frac{\lambda}{2L_s}$$

da cui, sostituendo  $L_s$ , si ottiene:

$$r_{az} = \frac{\lambda}{2 \frac{\lambda}{L} R_0} R_0 = \frac{L}{2}$$

Ne risulta che la risoluzione spaziale in *azimuth*, di un *radar* in moto su una traiettoria supposta rettilinea, è direttamente proporzionale alla lunghezza dell'antenna per un fattore 0.5, cioè la risoluzione *azimutale* è la metà della lunghezza dell'antenna reale. Essa è inoltre indipendente dalla quota di volo del *radar*,  $R_0$ . La spiegazione è nel fatto che ad una diminuzione di  $L$  corrisponde un

aumento del numero di elementi dell'*array* sintetico ovvero, un aumento della dimensione dell'antenna sintetica (Stramondo et al., 2006).

### 5.3 L'interferometria satellitare SAR (*InSAR*) e i *Persistent Scatterers* (*PS*)

Le tecnologie di telerilevamento spaziale e, in particolare, le potenzialità offerte dall'Interferometria SAR (*InSAR*), fanno di questa tecnica un potente strumento per il rilievo e il monitoraggio di pericoli naturali, fenomeni di deformazione del suolo su larga scala (cedimenti, faglie sismiche, smottamenti, ecc.) e della stabilità degli edifici.

La tecnica *InSAR* si basa sul principio dell'immagine coerente del *radar* ad apertura sintetica per cui viene registrata non solo l'intensità ma anche la fase della radiazione ricevuta dal *radar*. Grazie alla possibilità di rilevare e quantificare accuratamente deformazioni anche molto piccole della superficie del suolo (variazioni millimetriche), in ogni condizione atmosferica e di illuminazione, le tecniche di interferometria SAR sono molto utili nell'ottica della prevenzione dei rischi geologici.

Il concetto di prevenzione del rischio prevede prima di tutto un monitoraggio continuo e affidabile del territorio, impossibile con le tecniche tradizionali a causa degli elevati costi di gestione. La tecnica *InSAR* offre una soluzione veloce ed economica a questo tipo di problema, fornendo oltre tutto immagini di porzioni di territorio anche molto vaste.

Questo tipo di approccio non va a sostituire le indagini dettagliate eseguite in situ ma fornisce una prima indicazione sulle aree in cui sussiste un potenziale rischio geologico e in cui potrebbero essere necessarie indagini geofisiche e geotecniche più dettagliate.

L'interferometria SAR consente di misurare la topografia con accuratezza metrica e gli spostamenti con accuratezza centimetrica o addirittura millimetrica, effettuando la misurazione della differenza di fase tra i segnali a microonde retrodiffusi di due immagini spostate nel tempo e ricevute dal sensore da posizioni leggermente diverse tra di loro.

Infatti, se due sensori sono abbastanza vicini da rendere le condizioni di *scattering* molto simili, la differenza di fase tra le due osservazioni dipende solo dalla differenza di *range*. Se le due acquisizioni SAR vengono spostate nel tempo (Fig. 5.2), gli spostamenti del terreno avvenuti tra le due acquisizioni possono essere rilevati con

precisione millimetrica, in una tecnica nota come interferometria SAR differenziale (*DInSAR - Differential Interferometric Synthetic Aperture RADAR*).

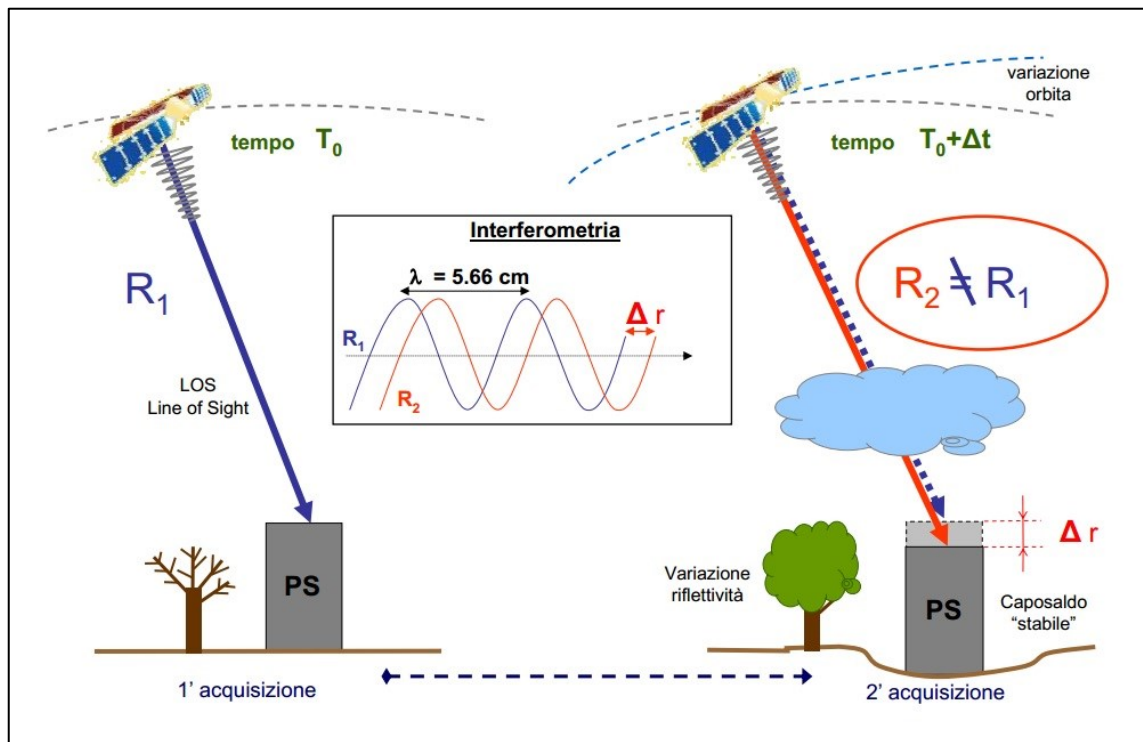


Fig. 5.2 - Esempio di misurazione tramite l'utilizzo di Persistent Scatterers (T.R.E., 2007).

Ciascuna coppia di immagini è denominata coppia interferometrica: una delle due immagini viene utilizzata come riferimento (immagine *Master*), mentre l'altra (immagine *Slave*) viene sovrapposta alla prima in modo tale che ogni pixel abbia le stesse coordinate sia nell'immagine *Master* che nell'immagine *Slave* e corrisponda ad un determinato punto nel terreno.

La separazione temporale tra i due passaggi del sensore SAR (*Master* e *Slave*) sull'area di interesse è definita come "*baseline* temporale", mentre la distanza tra le posizioni del sensore SAR nei due passaggi è definita come "*baseline* geometrica".

La *baseline* geometrica si può scomporre in due direzioni, una ortogonale e l'altra parallela alla linea di vista del sensore (LOS) e vengono indicate rispettivamente con i termini "*baseline* normale" e "*baseline* parallela".

La fase interferometrica che viene calcolata è la differenza tra il valore del pixel nell'immagine *Master* e quello nell'immagine *Slave* sovrapposto; la sua formulazione matematica è la seguente:

$$\Delta\phi_{int}^D(P) = -\frac{4\pi}{\lambda} \frac{B_{\perp}q}{R_0 \sin \theta} + \frac{4\pi}{\lambda} d$$

Dove P è il pixel generico corrispondente a una cella a terra;  $\Delta\phi_{int}^D$  è la fase interferometrica senza il contributo della Terra piatta,  $d$  è lo spostamento di P e  $q$  è l'altitudine di P. Questa espressione è alla base di due differenti tecniche: l'interferometria SAR (*InSAR*) e l'interferometria SAR differenziale (*DInSAR*).

La tecnica *InSAR* si basa sull'estrazione del primo termine dell'espressione della fase interferometrica (quello relativo all'altitudine) al fine di generare una mappa topografica dell'area di interesse. La tecnica *DInSAR* si basa sull'estrazione del secondo termine dell'espressione di fase differenziale (quello relativo allo spostamento) al fine di generare una mappa degli spostamenti del terreno dell'area di interesse.

Le tecniche *DInSAR* rendono possibile l'analisi a lungo termine dei cambiamenti nella superficie terrestre. Ad esempio, con questa tecnica è possibile misurare: movimenti del terreno lenti ed estremamente lenti, dell'ordine dei millimetri all'anno; il grado di subsidenza di un'area (Bitelli et al., 2008; Canuti et al., 2006; Teatini et al., 2005), la deformazione delle strutture antropiche (Schunert & Soergel, 2012), il movimento di un'area in frana (Cascini et al. 2012; Colesanti & Wasowsky, 2006; Delacourt et al., 2003; Ferretti et al., 2006; Herrera et al., 2013; Rott and Nagler, 2006; Strozzi et al., 2010) sia a scala regionale che a scala locale (Notti et al., 2009); attività vulcanica (Lanari et al., 2004); sollevamento, movimenti tettonici e faglie (Bürgmann et al., 2006; Funning et al., 2007; Lanari et al., 2007; Vilardo et al., 2009).

La qualità delle misurazioni interferometriche dipende dalla correlazione delle immagini *Master* e *Slave*. La correlazione viene stimata mediante un parametro denominato coerenza interferometrica ( $\gamma$ ), che fornisce una stima locale del livello di correlazione tra immagine *Master* e *Slave* e quindi una stima della qualità della fase interferometrica. I valori di coerenza sono sempre compresi tra 0 e 1: un valore vicino allo 0 si ottiene nelle zone dove l'interferogramma è fortemente influenzato dalla presenza di rumore, come nel caso di aree vegetate o in presenza di corpi idrici; un valore prossimo a 1 corrisponde invece ad un'elevata qualità di fase e una minima presenza di rumore.



Il livello di rumore dipende sia dalla *baseline* temporale che dalla *baseline* geometrica. Quando la *baseline* normale è molto alta, il rumore può raggiungere livelli tali da rendere inutilizzabili gli interferogrammi. Considerazioni simili valgono per la *baseline* temporale. La coerenza interferometrica, infatti, tende a diminuire notevolmente quando le acquisizioni *Slave* sono temporalmente troppo distanti dall'acquisizione *Master*, a causa di possibili cambiamenti del meccanismo di dispersione dei bersagli a terra. In sintesi, a causa della decorrelazione temporale e geometrica, non può esserci un'elevata coerenza in ogni situazione, limitando quindi le osservazioni a lungo termine con le tecniche *DInSAR* a particolari aree coerenti che possano essere definite coerenti anche a lungo termine.

Le tecniche SAR multi-temporali si basano sull'identificazione di bersagli coerenti sul terreno, la cui riflettività è sufficientemente indipendente dalle *baseline* temporale e geometrica. In particolare, queste tecniche fanno una distinzione tra *Persistent Scatterers* (PS), associati a un singolo pixel dell'immagine *radar*, e *Distributed Scatterers* (DS), associati invece a un gruppo di pixel statisticamente omogenei dell'immagine *radar*. L'utilizzo di gruppi di pixel nel caso dei DS è dettato dalla necessità di operare medie spaziali tra pixel adiacenti della stessa natura al fine di ridurre la presenza di rumore, ma allo stesso tempo introducendo un'inevitabile perdita di risoluzione spaziale rispetto alla risoluzione nativa dell'immagine *radar*. Nel caso dei PS, invece, il *target* all'interno del singolo pixel è meno colpito dal rumore e quindi non risulta necessario migliorare ulteriormente la qualità della risposta di fase, consentendo di preservare la massima risoluzione spaziale del *target* stesso. PS e DS rappresentano dunque dei punti (PS) o delle aree (DS) con elevata stabilità di fase (alta coerenza), grazie ai quali è possibile monitorare un'area (in cui essi sono presenti) anche per un lungo periodo di tempo, sfruttando l'intera serie di immagini disponibili.

Nel caso del presente progetto, sono stati utilizzati dei bersagli PS, forniti dall'azienda *Planetek Italia*. Per la stima della deformazione attraverso l'interferometria SAR multi temporale, è stato utilizzato un algoritmo specifico denominato *SPINUA* (Bovenga et al., 2005; Nitti et al., 2010), che si basa sull'identificazione e sul monitoraggio sia di singoli bersagli (PS) che di aree (DS) che rimangono altamente coerenti nel tempo (Reale et al., 2011; Wasowski et al., 2007; Wasowski et al., 2015).

I *Persistent Scatterers* sono quindi dei bersagli che mantengono inalterata la firma elettromagnetica (e quindi le caratteristiche di riflessione) in tutte le immagini, anche al variare della geometria di acquisizione e delle condizioni climatiche, preservando l'informazione di ampiezza dell'onda nel tempo. I diffusori permanenti possono essere rappresentati da porzioni di edifici, strutture metalliche, affioramenti di rocce, ecc (Crosetto et al., 2016).

L'algoritmo *SPINUA* offre un metodo di elaborazione sistematico in grado di utilizzare tutti i dati archiviati di una certa area, creando una serie di interferogrammi differenziali aventi un'immagine *Master* comune. Invece di analizzare la fase solo nel dominio spaziale, la fase di PS e DS viene analizzata in funzione del tempo e dello spazio.

Le tecniche PS/DS riescono ad aggirare il problema della decorrelazione geometrica e temporale considerando gli *scatterers* coerenti su base temporale. La fase interferometrica infatti, in corrispondenza dei PS, non è influenzata da fenomeni di decorrelazione temporale e spaziale. I PS vengono identificati tramite un'analisi statistica dei valori di ampiezza e della fase presenti nella serie multi-temporale di immagini, cioè nella serie di immagini SAR acquisite in momenti diversi e con differenti angoli di vista. Maggiore è il numero di immagini prese in considerazione, più accurata sarà l'indagine statistica (Prati et al., 2010). Inoltre, utilizzando una grande quantità di dati (le serie storiche delle acquisizioni), è possibile stimare l'entità del disturbo atmosferico svolgendo un'analisi dettagliata solo sul sottoinsieme di punti selezionati secondo valutazioni statistiche; stimato il contributo atmosferico è possibile eliminare i termini spuri dalla fase interferometrica ed isolare il termine che descrive la variazione di cammino ottico dell'onda elettromagnetica nelle varie acquisizioni durante l'arco temporale tra il primo e l'ultimo dato disponibile.

La tecnica *SPINUA* è il risultato di uno sforzo congiunto da parte del GAP, il gruppo di telerilevamento del Dipartimento di Fisica del Politecnico di Bari e l'Istituto CNR-ISSIA di Bari. L'acronimo di *SPINUA* (*Stable Point Interferometry even over Un-urbanized Areas*) riflette il fatto che è stato originariamente sviluppato con lo scopo specifico di rilevare e monitorare obiettivi di PS coerenti anche in aree scarsamente urbanizzate. L'algoritmo *SPINUA* è stato anche personalizzato per far fronte alle deformazioni che interessano i piccoli centri abitati situati su rilievi ripidi e ricoperti da un'abbondante vegetazione. La tecnica è stata applicata a numerosi casi di frane,

cedimenti, terremoti, infrastrutture instabili ed è stata sperimentata con successo in numerosi progetti di ricerca e su numerose aree di studio (Bruno et al., 2016; Radicioni et al., 2012).

La Fig. 5.3 mostra il *workflow* di elaborazione della tecnica *SPINUA*. Il sistema accetta in *input* immagini SAR - SLC (*single-look complex*) in formato nativo e un DEM dell'area. I prodotti in uscita sono mostrati nel riquadro giallo. In figura vengono illustrati anche i prodotti intermedi, costituiti dalla pila di immagini di ampiezza co-registrata e dalla pila di interferogrammi differenziali.

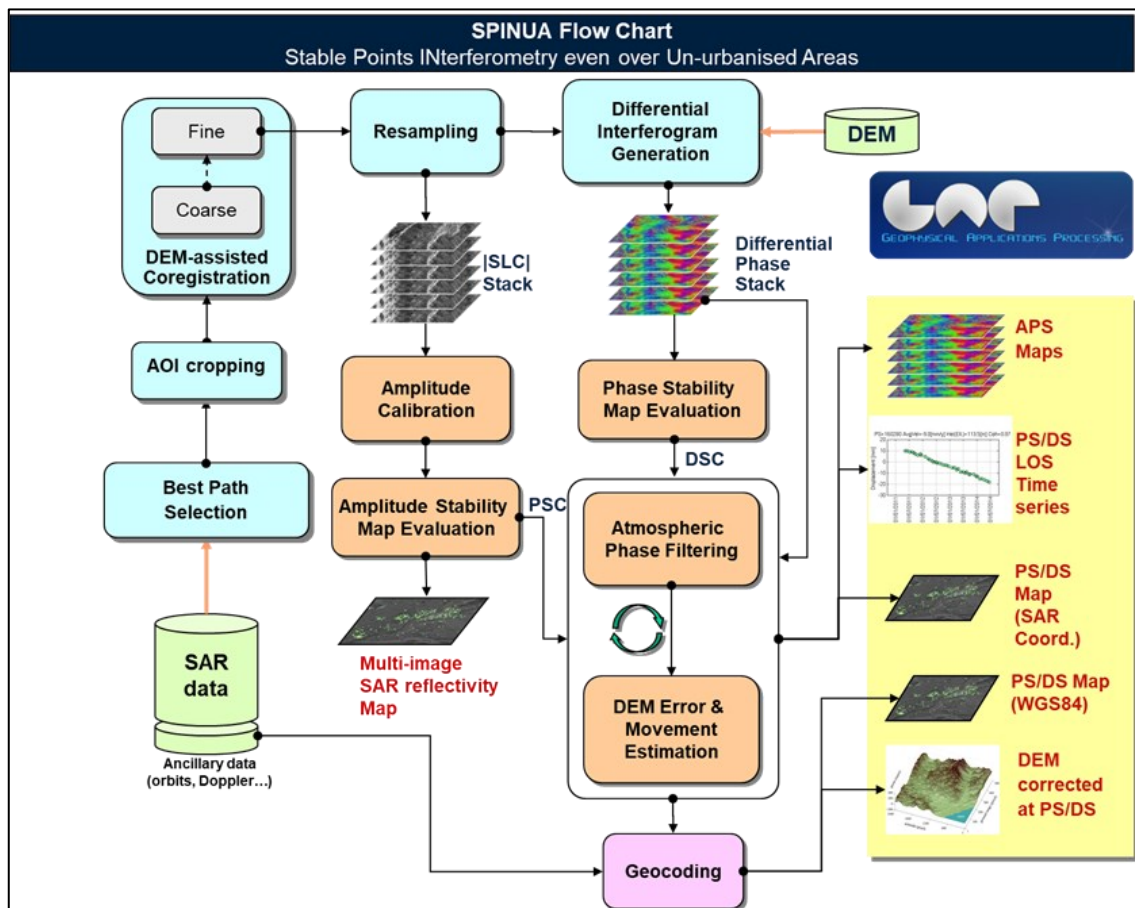


Fig. 5.3 - Funzionamento dell'algorithmo SPINUA per l'elaborazione dei dati interferometrici.

Gli *output* finali sono costituiti da:

- una mappa dei PS identificati nelle immagini e le loro coordinate spaziali;
- la velocità media di spostamento di ogni singolo PS lungo la LOS (mm/anno);
- i dati di spostamento di ogni PS nell'arco di tempo analizzato (archivio temporale degli spostamenti);
- la stima della correzione delle altezze per ogni PS.

Le tecniche di interferometria multi-temporale (MTI) forniscono misurazioni dello spostamento relativo. Ne consegue che nell'area di studio deve essere disponibile almeno un punto di riferimento con altezza e spostamento noti. Tutti gli spostamenti sono quindi riferiti al punto di riferimento.

L'accuratezza delle misurazioni (posizione geografica e spostamenti) dipende dalla distanza dal punto di riferimento, dalla distribuzione e dalla coerenza di punti sul territorio. Le caratteristiche essenziali per ottenere un risultato affidabile devono quindi essere: una breve distanza dei punti dal punto di riferimento (circa un chilometro); una correzione adeguata del contributo atmosferico; un'appropriate distribuzione temporale della *baseline* (periodo di almeno 4 anni); un'appropriate distribuzione geometrica della *baseline* (almeno diverse centinaia di metri); una decorrelazione appropriata tra la distribuzione della *baseline* temporale e geometrica.

Ci sono due principali limitazioni dell'interferometria multi-temporale: il primo è dovuto alla mancanza di punti nelle aree vegetate. Questo problema può essere parzialmente risolto integrando le mappe PS con le misurazioni dei DS.

Una seconda limitazione è dovuta al fatto che gli spostamenti misurati dalle tecniche PS/DS sono proiettati lungo la linea di vista del satellite (LOS). Ciò implica una sensibilità molto bassa alla componente nord-sud dello spostamento a causa delle orbite quasi polari utilizzate per le attuali missioni di osservazione della Terra da parte dei satelliti SAR. D'altra parte, attraverso l'integrazione di orbite ascendenti e discendenti, è possibile scomporre le misure di spostamento unidimensionali in componenti orizzontali (Est-Ovest) e verticali, permettendo così una migliore interpretazione degli spostamenti che si verificano nell'area di interesse (Fig. 5.5).

Altri tipi di limitazioni sono dovuti essenzialmente alle caratteristiche della tecnica stessa. Nell'ambito degli studi geomorfologici e di instabilità dei versanti, ad esempio, non risultano monitorabili i fenomeni ad evoluzione rapida o caratterizzati da accelerazioni repentine, come ad esempio i fenomeni di crollo e ribaltamento (a causa della rapidità con cui si sviluppano), ma ci si deve limitare allo studio dei movimenti precursori di distacco del materiale.

Importante sottolineare che le misurazioni eseguite con questo tipo di tecnica si basano su osservazioni che avvengono tramite due diverse geometrie di acquisizione ad

osservazione laterale (orbita quasi polare o eliosincrona): orbita ascendente e orbita discendente (Fig. 5.4).

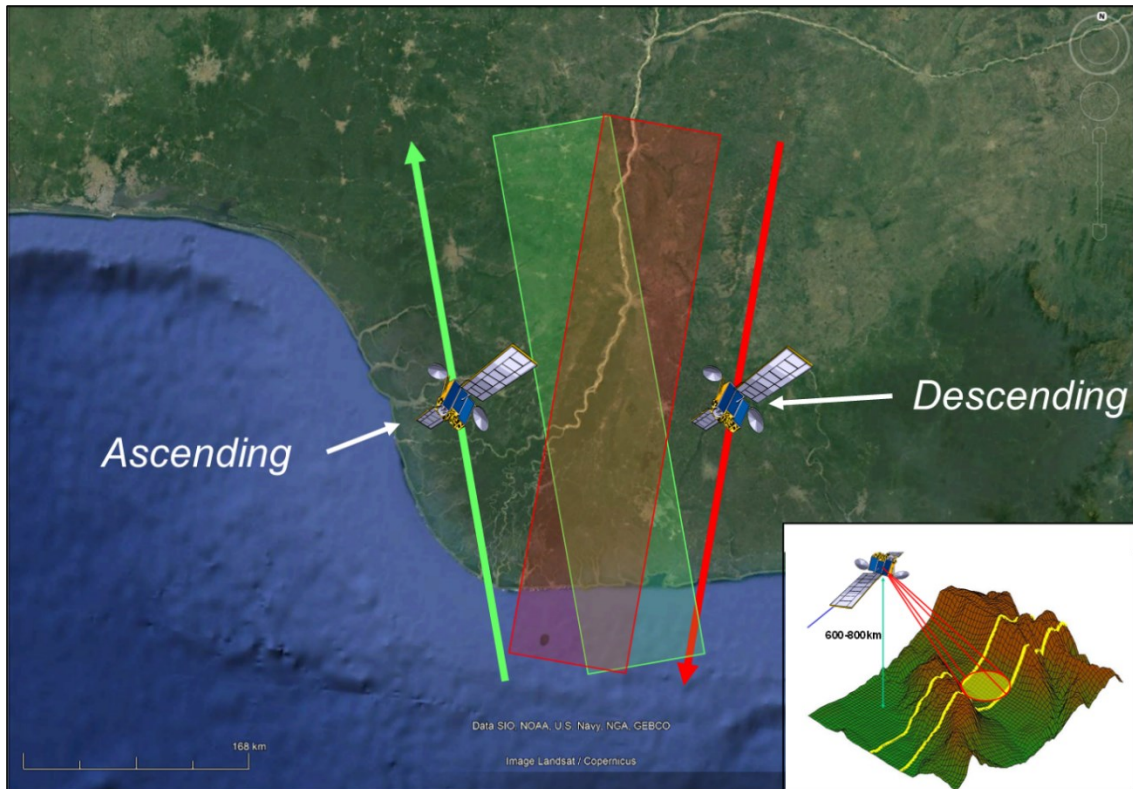


Fig. 5.4 - Le due diverse geometrie di acquisizione: orbita ascendente e orbita discendente (da Planetek Italia).

Anche la morfologia dell'area indagata in relazione all'angolo di vista del satellite può causare limitazioni nell'uso della tecnica: la presenza di versanti acclivi e un'orientazione particolare dei versanti causa la presenza di effetti di distorsione geometrica. Analizzando le geometrie di acquisizione inoltre, ci si rende conto che in geometria ascendente risulta impossibile studiare fenomeni franosi presenti sui versanti esposti a ovest e, viceversa, utilizzando immagini discendenti non si possono analizzare le frane che colpiscono i versanti esposti verso i quadranti orientali (Colesanti e Wasowski, 2006).

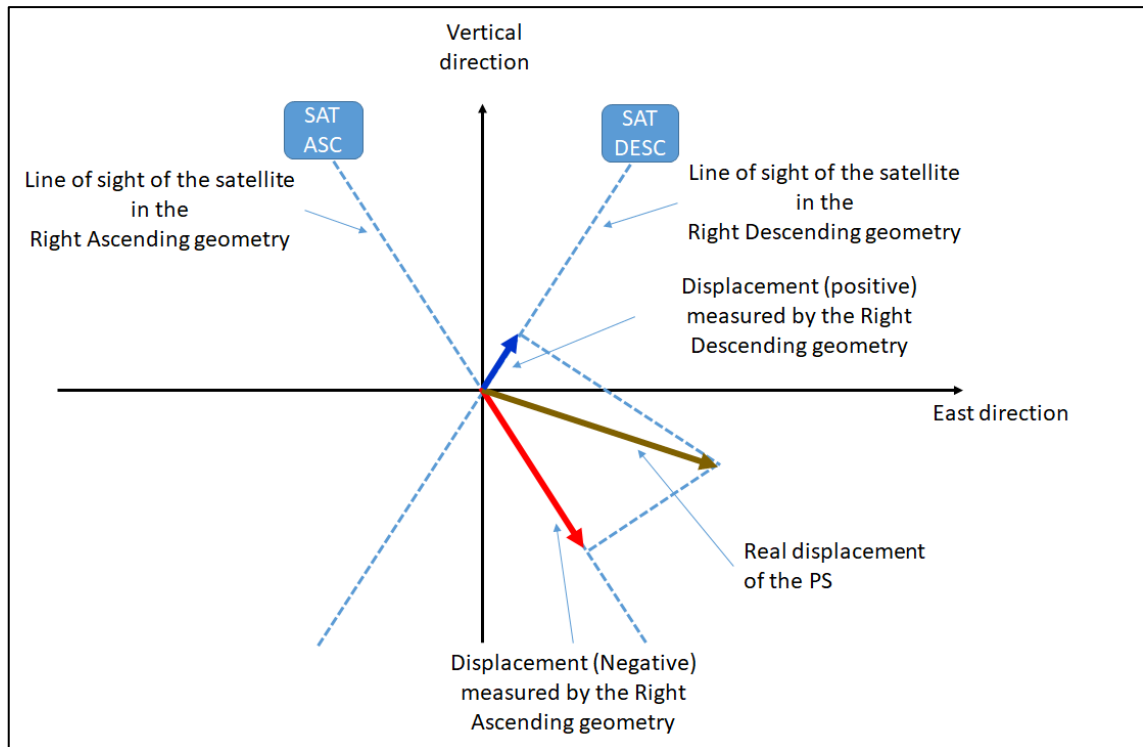


Fig. 5.5 - Esempio di misurazione della componente reale dello spostamento a partire dai dati registrati lungo la LOS (nelle due geometrie di acquisizione).

#### 5.4 Analisi dei dati PS a disposizione

Una volta importati i dati sul progetto GIS di riferimento, questi sono pronti per essere trattati ed elaborati. Ma prima di iniziare con l'analisi vera e propria, i PS devono essere approntati tramite una serie di processi preliminari, al fine di contestualizzarli e renderli informativi e comprensibili. I dati PS devono essere preventivamente:

- Filtrati in base alla loro attendibilità, tramite il valore di coerenza e deviazione standard;
- Visualizzati e classificati in funzione della loro velocità media (mm/a);
- Sovrapposti ai dati ancillari in possesso (carte topografiche, cartografie derivate, ortofoto, DTM ecc.);
- Analizzati in funzione della loro distribuzione spaziale all'interno dell'area di interesse, al fine di valutare l'attendibilità dell'informazione fornita.

#### 5.4.1 Formato dei dati e struttura del database

Grazie al loro formato vettoriale, i dati interferometrici possono essere agevolmente integrati ed elaborati in ambiente GIS, sovrapponendoli alla base cartografica disponibile (CTR, DTM, ortofoto, carte derivate ecc.).

I file originali messi a disposizione da *Planetek Italia* constano di 7 *shapefile* per l'orbita ascendente e 8 *shapefile* per l'orbita discendente. Entrambi i gruppi di *shapefile*, di geometria puntuale e georiferiti nel sistema di riferimento del progetto (WGS84), si distribuiscono con una buona densità all'interno della superficie comunale.

Come detto in precedenza, i dati PS costituiscono un valido strumento da integrare alle tecniche tradizionalmente usate per la mappatura e il monitoraggio di aree a rischio e per il continuo aggiornamento delle informazioni ottenibili, con una forte riduzione dell'impiego di forze e risorse e una forte riduzione di tempi e costi a parità di area d'investigazione.

La caratteristica principale del dato è la capacità di fornire informazioni sia dal punto di vista spaziale ma anche da quello temporale. Infatti, la disponibilità di decenni di acquisizioni di immagini satellitari (ERS, ENVISAT, Sentinel-1) consente di poter effettuare una valutazione di rischi e dissesti che tiene conto delle evoluzioni spaziali e temporali su un periodo di tempo abbastanza lungo da risultare scientificamente attendibile.

Per quanto riguarda il presente progetto di dottorato, è stato considerato un intervallo di tempo di circa 4 anni (da ottobre 2014 a giugno 2018), con un tempo di ricorrenza delle misurazioni in singola geometria di 12 giorni. La tabella attributi di ogni *shapefile* (Fig. 5.6) riporta, per ciascun *record*, e quindi per ciascun PS, una serie di informazioni che possono essere riassunte come di seguito riportato:

CODE	LAT	LONG	UTM_E	UTM_N	UTM_ZONE	H_GEO	H_FLL	H_STDDEV	H_AUX_DEM	COH	INC_ANG	HEAD_ANG	V_LOS	V_LOS_STD	DL_20141014	DL_20141026
L02809P00429	37 74657	15 18717	516489	4177714	33	46	86.7	2.1	12	0.85	36.371	10.402	-1.5	0.21	0	-4.8
L02809P00407	37 746311	15 188083	516570	4177685	33	47.5	88.2	2.5	11.5	0.83	36.366	10.402	-2	0.24	0	-3
L02809P00408	37 74631	15 188093	516571	4177685	33	44	84.6	3.5	8	0.71	36.366	10.402	-1.5	0.34	0	3.8
L02809P00602	37 747727	15 178231	515702	4177840	33	133.7	174.3	1.8	15	0.9	36.425	10.396	-1.5	0.17	0	-0.1
L02809P00603	37 747728	15 178225	515701	4177840	33	131.1	171.8	1.8	12	0.9	36.425	10.396	-1.5	0.17	0	-4.1
L02809P00605	37 747714	15 178324	515710	4177839	33	118.8	159.5	3.5	-1	0.71	36.425	10.396	-0.5	0.35	0	-0.7
L02809P00633	37 747921	15 176884	515583	4177862	33	133	173.6	2.9	8	0.76	36.433	10.395	-1	0.28	0	5.3
L02809P00657	37 748098	15 175652	515474	4177881	33	144.9	185.6	3	9	0.73	36.44	10.394	-1.5	0.29	0	0.5
L02809P00658	37 748113	15 175547	515465	4177883	33	148.9	189.6	2.5	12	0.8	36.441	10.394	-0.5	0.25	0	1.1
L02810P00407	37 746183	15 188088	516570	4177671	33	45.3	85.9	2.6	11.5	0.81	36.365	10.402	-2.5	0.25	0	-4.3
L02810P00431	37 746331	15 18706	516480	4177687	33	43.7	84.3	2.2	9.5	0.85	36.371	10.402	-1	0.22	0	-4.1
L02810P00432	37 746337	15 187014	516476	4177688	33	43.8	84.5	2.4	9.5	0.83	36.372	10.402	-1	0.23	0	-2.2
L02810P00657	37 747567	15 178453	515721	4177823	33	131.6	172.2	9.3	16.5	0.71	36.423	10.396	0	0.9	0	-2.3
L02810P00602	37 7476	15 178229	515702	4177826	33	131.9	172.6	1.7	14	0.91	36.424	10.396	-1.5	0.16	0	3
L02810P00603	37 747606	15 178187	515698	4177827	33	131.8	172.5	1.3	13.5	0.94	36.425	10.396	-1.5	0.13	0	-2.3
L02810P00604	37 747606	15 178182	515697	4177827	33	129.2	169.9	2.7	10.5	0.78	36.425	10.396	-2.5	0.26	0	-10.3
L02810P00657	37 747974	15 175627	515472	4177867	33	144.7	185.4	3	7.5	0.73	36.441	10.394	-1	0.29	0	-5.1
L02810P00659	37 747995	15 175476	515459	4177870	33	146.9	189.5	3.2	9.5	0.71	36.441	10.394	-1	0.31	0	-3.2

Fig. 5.6 – Tabella attributi degli *shapefile* originali contenenti i PS.

Dove:

- CODE: codice che permette di identificare in maniera univoca il punto PS all'interno del file .dbf e all'interno dell'area di interesse;
- LAT (Latitudine): posizione del PS in direzione N - S espressa in coordinate geografiche (gradi decimali);
- LONG (Longitudine): posizione del PS in direzione E – W espressa in coordinate geografiche (gradi decimali);
- H\_HELL (Quota ellissoidica): quota del PS calcolata rispetto all'ellissoide di riferimento *WGS84*;
- H\_STDDV: deviazione standard del valore di quota ellissoidica;
- COH (Coerenza): parametro di qualità del dato PS, con valori compresi tra 0 (migliore) e 1 (peggiore);
- INC\_ANGLE: angolo di incidenza (in gradi) del segnale *radar*;
- HEAD\_ANGLE: angolo (in gradi) sul piano orizzontale, tra la direzione dell'EST e la proiezione della linea di vista del satellite sul piano stesso. Angolo misurato in senso orario a partire dalla direzione dell'EST;
- V\_LOS: velocità media annua di spostamento (mm/a), misurata lungo la linea di vista del satellite (LOS = line of sight) e stimata sull'intero arco temporale in cui sono state acquisite le immagini;
- V\_LOS\_STD: grado di dispersione attorno al valore di velocità media annua;
- DLaaaammgg: questi campi contenenti la data di misurazione sono tanti quante sono le misure effettuate durante l'arco di tempo analizzato e contengono il valore di spostamento stimato, espresso in mm, rispetto alla prima immagine disponibile (14/10/2014). Questi sono i dati che permettono lo studio delle serie temporali, cioè l'analisi del trend di deformazione durante l'arco temporale considerato.

Prima di valutare il significato di ogni singolo parametro sono stati uniti, tramite il *tool merge* di *ArcGIS*, tutti i punti misurati nella stessa geometria al fine di facilitare il trattamento e l'analisi dei dati a disposizione. Sono stati quindi ottenuti 2 *shapefile*: uno per l'orbita ascendente, che contiene un totale di 98580 punti PS; uno per l'orbita discendente, contenente un totale di 116439 PS.



#### 5.4.2 Valutazione dei parametri di qualità e filtraggio dei dati

All'interno della tabella attributi vi sono alcuni campi che tengono conto della qualità del dato misurato. Questi parametri sono la COH (Coerenza) e la DEV\_STD (Deviazione standard).

La deviazione standard (DEV\_STD) è un indice che si riferisce ad una coppia di punti: il valore misurato e quello di riferimento. In particolare tale parametro indica di quanto differisce la velocità del punto rispetto a quello di riferimento.

La coerenza (COH) è l'indice che misura l'accordo tra i dati ed il modello di spostamento utilizzato in fase di analisi (Touzi et al., 1999). Può assumere valori compresi tra 0 (nessuna attinenza con il modello utilizzato = dati inaffidabili) e 1 (accordo elevato con il modello utilizzato = margine di errore molto basso).

È importante quindi valutare i dati iniziali in base alla COH, stabilendo un valore soglia da utilizzare per il filtraggio dei punti. Sono stati creati quindi 2 grafici (Fig. 5.7 e Fig. 5.8), uno per l'orbita ascendente e uno per l'orbita discendente, che mostrano la distribuzione della frequenza dei valori della coerenza.

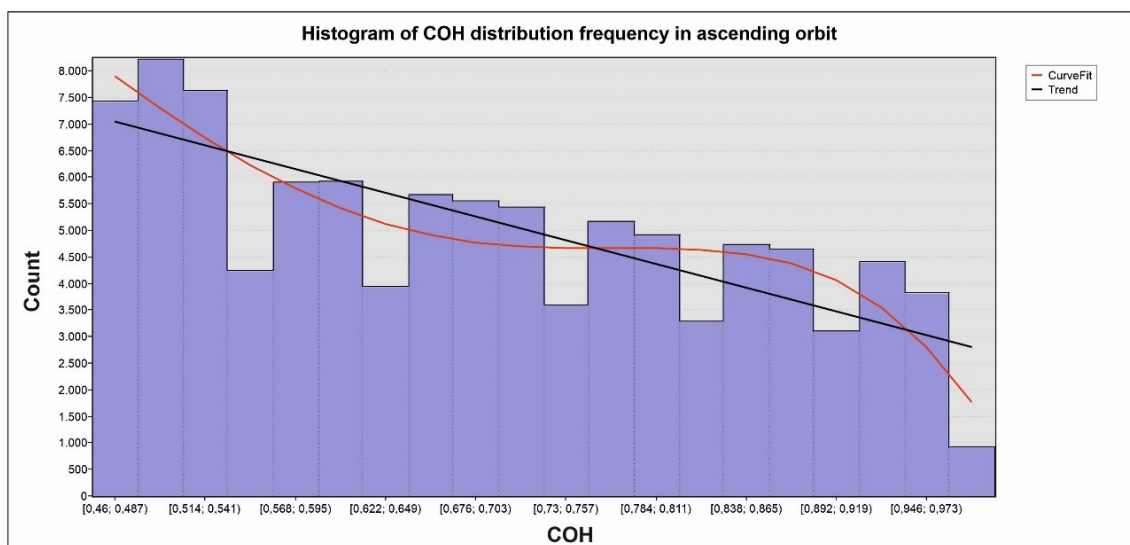


Fig. 5.7 – Grafico di distribuzione della frequenza dei valori di coerenza (COH) in orbita ascendente.

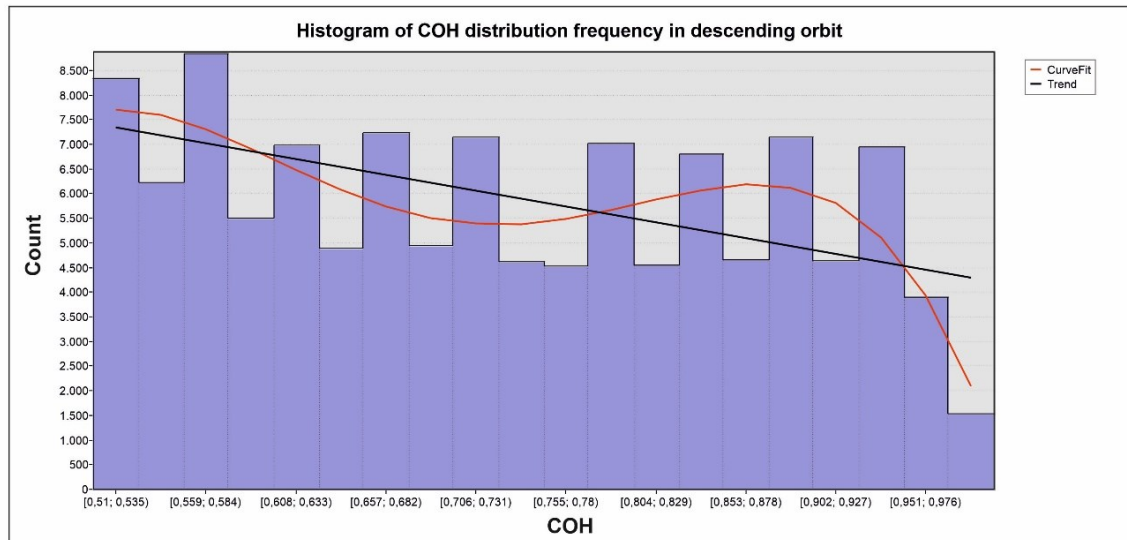
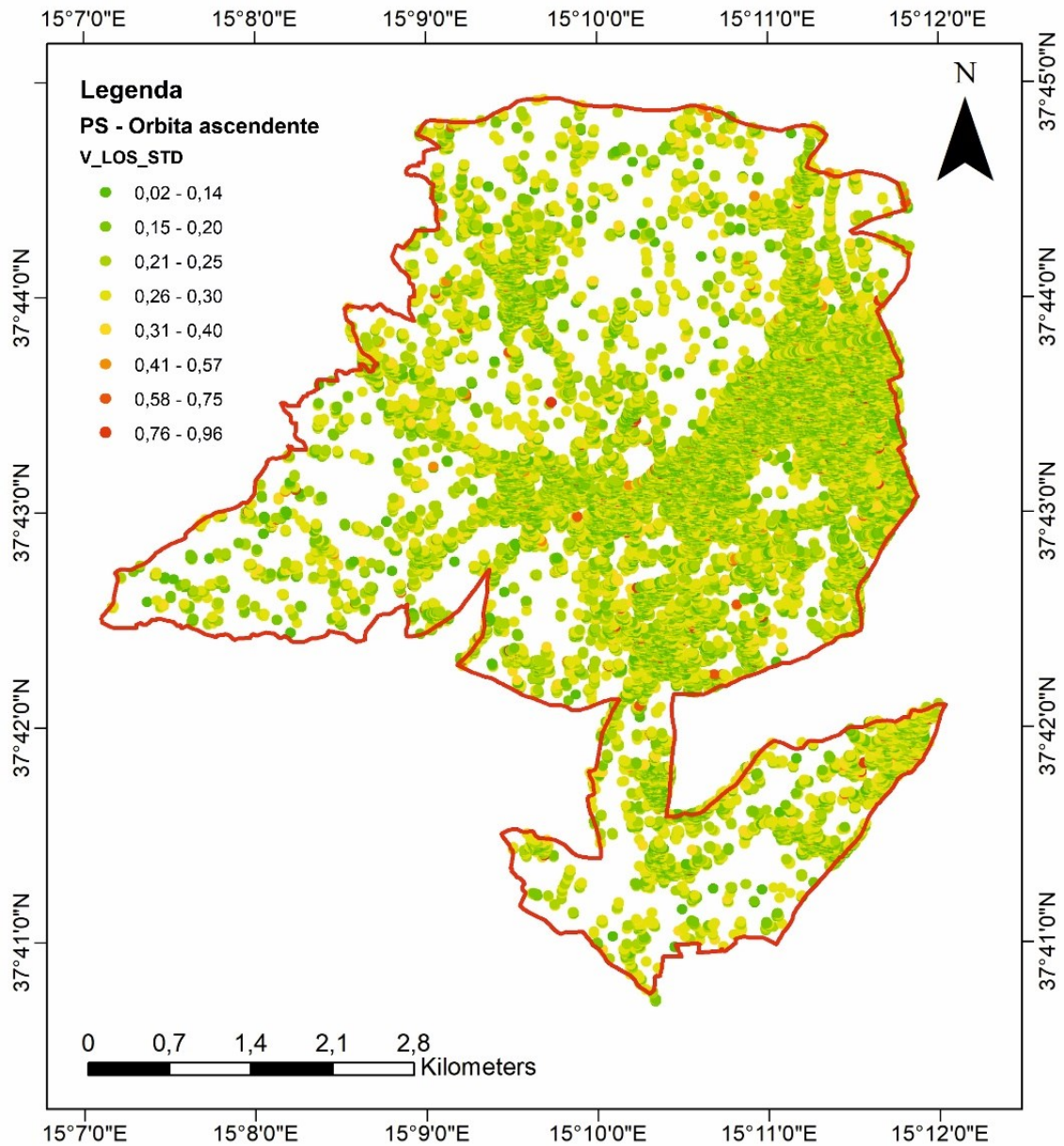


Fig. 5.8 - Grafico di distribuzione della frequenza dei valori di coerenza (COH) in orbita discendente.

In base alle curve di distribuzione della frequenza dei valori, è stato scelto un valore soglia di  $COH = 0,7$  per entrambe le geometrie (valore spesso utilizzato come soglia, ma variabile in funzione dei dati a disposizione). Ciò significa che tutti i punti con valore di  $COH < 0,7$  sono stati considerati inattendibili, e quindi eliminati dai file iniziali.

Così facendo sono stati eliminati 54548 punti per l'orbita ascendente e 52944 punti per quella discendente. Il numero di punti considerati inattendibili sembra ad una prima occhiata molto elevato ma, la scelta di una soglia di coerenza più bassa, avrebbe aumentato il rischio di individuare *scatteratori* troppo deboli, con valori di spostamento non del tutto affidabili.

In Fig. 5.9 è possibile osservare la variazione nello spazio della deviazione standard dell'errore che va a incidere sul valore di velocità calcolato. I fattori che influenzano la variazione della deviazione standard possono essere molteplici e vanno da fattori topografici fino alla distanza dai punti di riferimento. Tutte le misure e tutte le considerazioni che vengono fatte, quindi, devono in qualche modo tenere in considerazione il valore medio di deviazione standard dell'area per valutarne l'attendibilità generale.



*Fig. 5.9 - Valori di deviazione standard della VLOS in orbita ascendente.*

I valori di dispersione attorno alla VLOS media risultano, sia in orbita ascendente (Fig. 5.9) che in orbita discendente, del tutto accettabili e mai superiori a 1 mm/a. Soltanto due PS in orbita discendente hanno presentato valori di dispersioni significativi, vicino ai 3 mm/a, e sono stati pertanto eliminati dallo shapefile poiché ritenuti inattendibili.

### 5.4.3 Visualizzazione dei dati in funzione della velocità media di spostamento

I punti di misura, dopo essere stati opportunamente filtrati, sono stati categorizzati e visualizzati in funzione della velocità media di spostamento (mm/a) registrata nel periodo coperto dalle acquisizioni (2014-2018), mediante l'uso di una scala di colori rosso – verde – blu (Fig. 5.10), centrata sul valore di velocità 0 e con classi di ampiezza personalizzata per meglio evidenziare le variazioni del tasso di deformazione (Linee guida per l'analisi di dati interferometrici satellitari in aree soggette a dissesti idrogeologici,

<http://www.pcn.minambiente.it/GN/images/documenti/leggi/LINEE%20GUIDA%20PER%20ANALISI%20DI%20DATI.pdf>).

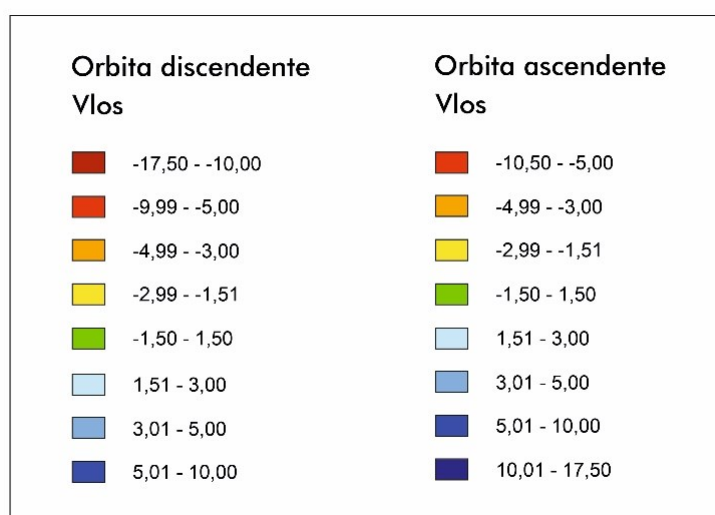


Fig. 5.10 – La scala colore di “tipo semaforico” utilizzata per la categorizzazione dei PS in funzione della VLos nei vari tematismi.

Tale rappresentazione, che sfrutta una “scala colore standard di tipo semaforico”, è la più comunemente utilizzata nella rappresentazione dei bersagli *radar* ricavati mediante le analisi multi-interferogramma.

Dopo aver analizzato gli istogrammi di distribuzione della frequenza dei valori di VLos in entrambe le geometrie (Fig. 5.11 e Fig. 5.12), si è deciso di assegnare ai PS con velocità comprese tra -1,5 mm/a e +1,5 mm/a la classe corrispondente al campo di stabilità, caratterizzata dal colore verde.

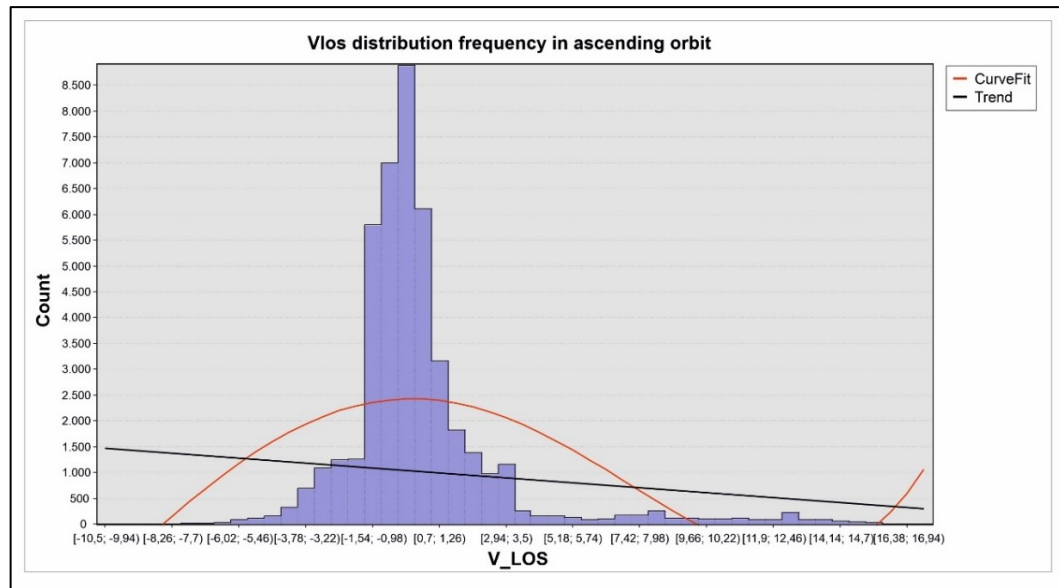


Fig. 5.11 - Istogramma di distribuzione della frequenza dei valori di VLos in orbita ascendente.

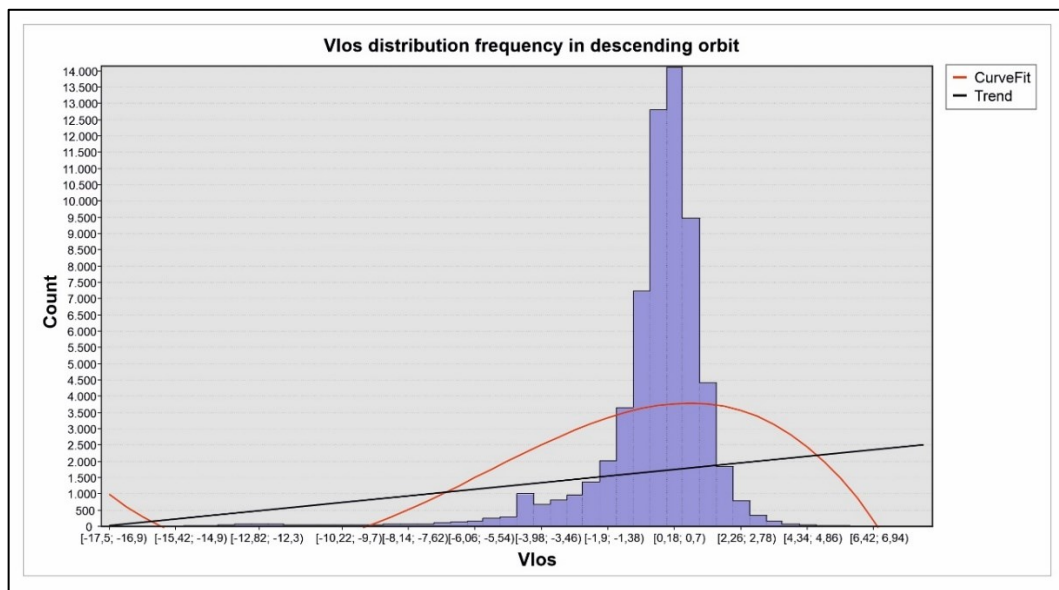


Fig. 5.12 - Istogramma di distribuzione della frequenza dei valori di VLos in orbita discendente.

I valori di velocità di segno negativo (colori dal verde al rosso) indicano un allontanamento del bersaglio dal satellite lungo la LOS, mentre i segni positivi (colori dal verde al blu) indicano movimenti in avvicinamento al satellite.

Di seguito vengono riportate due mappe (Fig. 5.13 e Fig. 5.14) in cui viene mostrata la distribuzione dei PS all'interno dell'area comunale di Giarre nelle due geometrie di acquisizione, categorizzati secondo le modalità appena descritte.

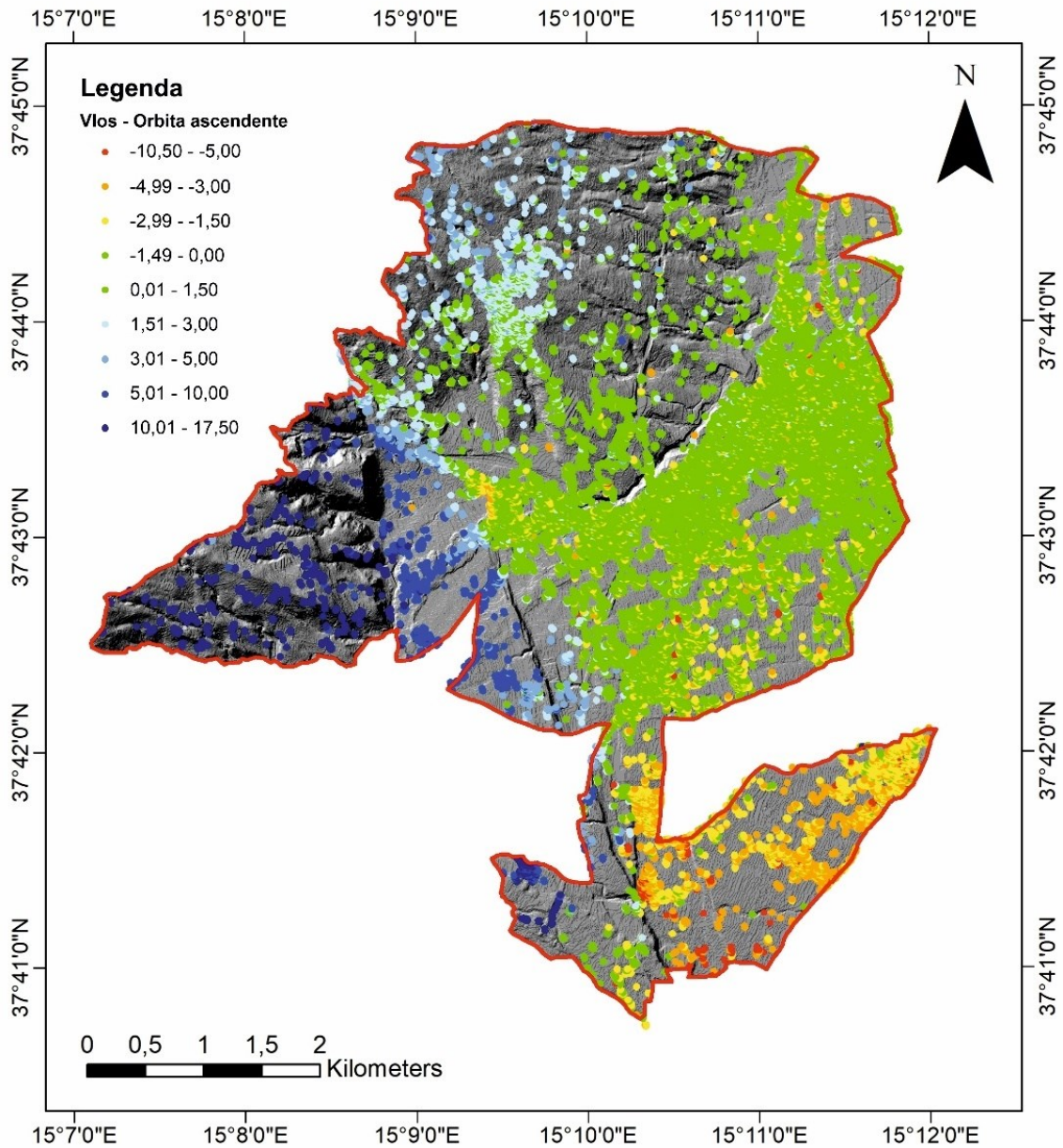


Fig. 5.13 - Distribuzione dei PS acquisiti in orbita ascendente nell'area comunale, categorizzati secondo una "scala colore standard di tipo semaforico".

La densità dei punti e la loro distribuzione dipendono da moltissimi fattori come la morfologia generale dell'area indagata in relazione all'angolo di vista del satellite e soprattutto la presenza di infrastrutture come edifici, strade e manufatti che possono costituire facilmente dei bersagli adeguati (*scatteratori*) all'applicazione di tale tipo di tecnica.

L'interferometria SAR permette quindi di ottenere ottimi risultati nel monitoraggio delle deformazioni soprattutto in aree urbanizzate, le quali hanno elevate proprietà di riflessione del segnale *radar*. Nel caso di zone periferiche o agricole, la

scarsa presenza di edifici e manufatti causa una minor presenza di bersagli e quindi un monitoraggio meno diffuso e più difficoltoso. I maggiori problemi si riscontrano quindi in aree con elevata copertura vegetale, dove la presenza di bersagli *radar* è limitata a rocce esposte o edifici isolati, e in aree dove i corpi idrici sono predominanti, non avendo questi ultimi le caratteristiche elettromagnetiche necessarie per individuare alcun PS.

Non è un caso quindi che la maggior concentrazione di punti si abbia nella zona est del territorio comunale, dove sono ubicati il centro storico della città e le strade maggiormente trafficate come la Via Callipoli e il Corso Italia.

Nella Fig. 5.13, che mostra la distribuzione dei PS in orbita ascendente, si segnala una grande quantità di punti in avvicinamento al satellite lungo la LOS nella parte ovest, nelle zone di Miscarello e San Giovanni Montebello. Altrettanti PS ma in avvicinamento al satellite sono collocati nella parte sud, nella zona di S. Leonardello e Carruba fino al confine sud est, vicino in linea d'aria alla frazione di Torre Archirafi (Comune di Riposto) lungo la costa. La zona del centro abitato, a questa scala di visualizzazione, risulta rientrare nel campo di stabilità in maniera abbastanza omogenea, a parte sporadici PS con valori di velocità molto diversi e talvolta elevati, che possono però essere ascrivibili a deformazioni misurate su edifici e strade con comportamento indipendente da quello del territorio circostante.

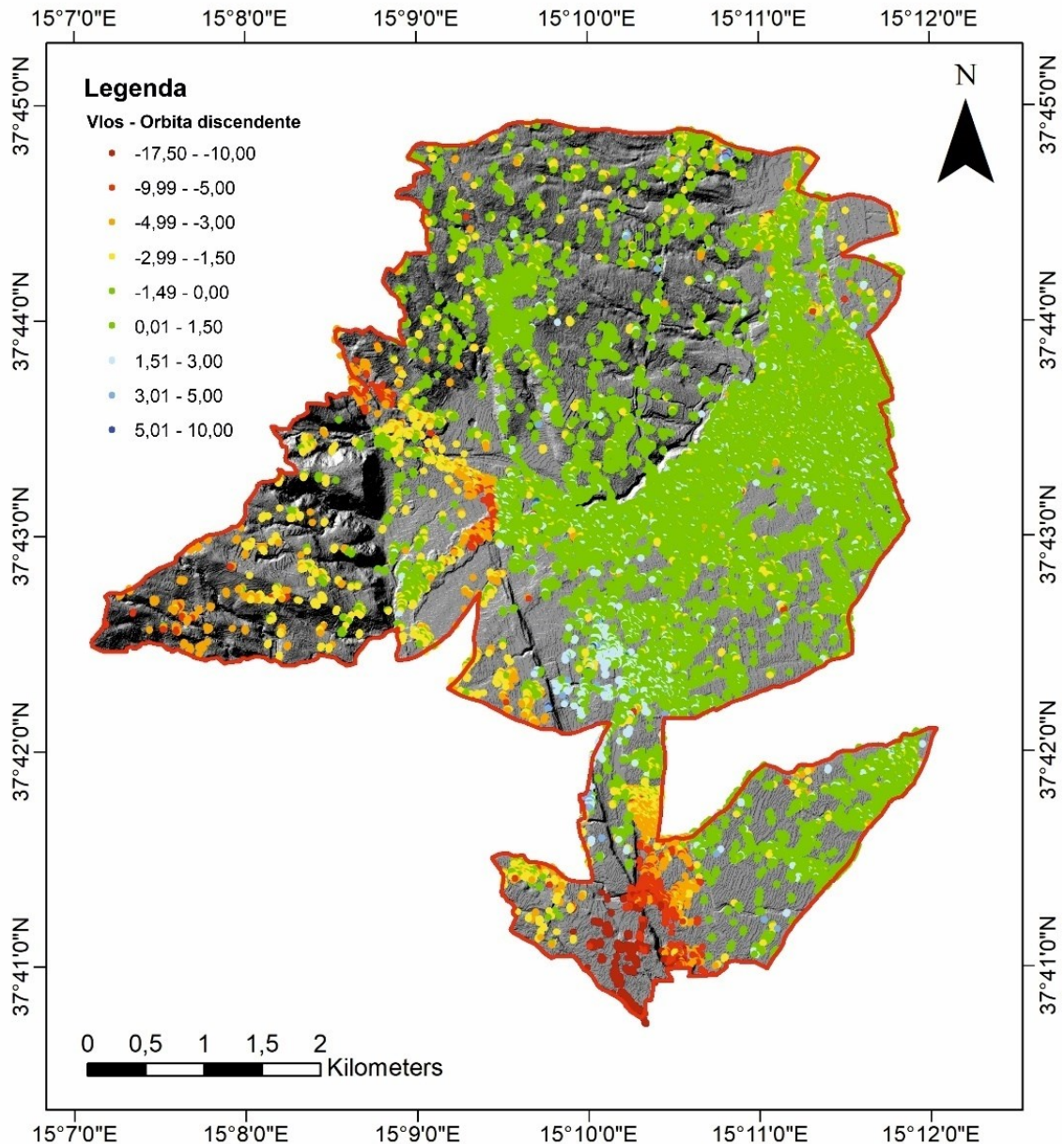


Fig. 5.14 - Distribuzione dei PS acquisiti in orbita discendente nell'area comunale, categorizzati secondo una "scala colore standard di tipo semaforico".

La distribuzione dei PS in orbita discendente (Fig. 5.14) mostra invece un maggior confinamento dei valori in allontanamento nella zona sud, localizzati stavolta solo nella parte centrale, nelle vicinanze della faglia di S. Leonardello, visibile a occhio nudo anche nell'*hillshade* in Fig. 3.1. Nella zona ovest, prima occupata da punti in avvicinamento, si distribuiscono dei PS in allontanamento dal satellite, in maniera leggermente meno omogenea, fino ad arrivare al prolungamento della faglia. La zona del centro abitato, anche in questo caso, risulta pressoché stabile.



Grazie ad un *tool* dedicato, creato con *ArcGIS Model Builder* e denominato “Filtraggio e categorizzazione PS”, è possibile ottenere sia il filtraggio dei dati in base alla COH che la visualizzazione dei PS secondo una scala graduata standard di tipo semaforico, specificando i seguenti *input* (Fig. 5.15): i file originari da unire in un unico *shapefile*; la cartella di destinazione e il nome dello *shapefile* finale; il valore di COH desiderato per il filtraggio dei dati (settato di *default* a 0,7).

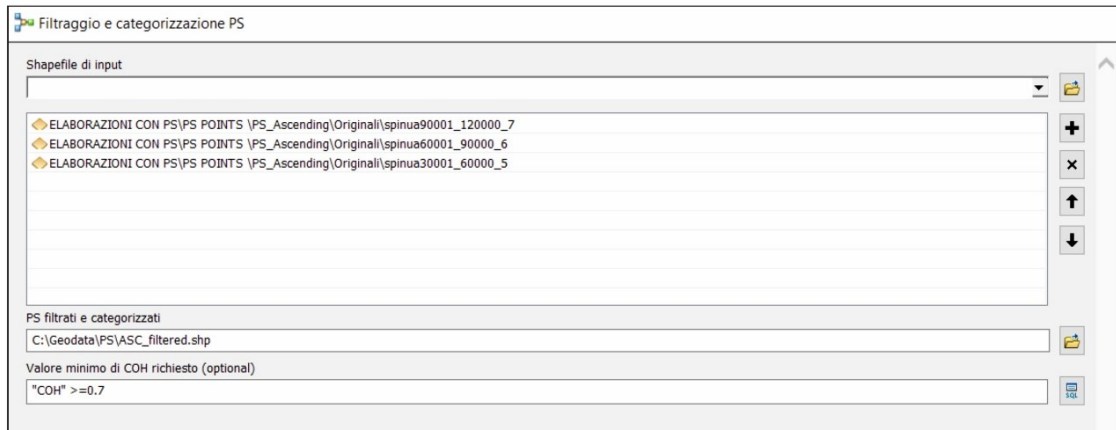


Fig. 5.15 - Schermata di avvio del tool per il filtraggio e la categorizzazione automatica dei PS.

Questa operazione di automatizzazione dei vari processi risulta fondamentale per garantire una veloce replicabilità delle operazioni anche in altri contesti comunali e con differenti *set* di dati.

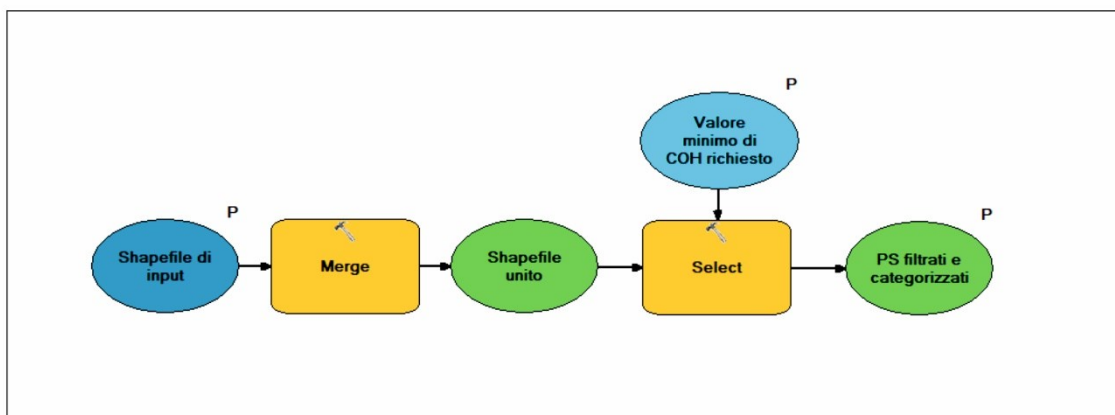


Fig. 5.16 - Struttura del tool per il filtraggio e la categorizzazione automatica dei PS.

In Fig. 5.16 viene mostrato l’aspetto del *tool* in modalità modifica, con i vari parametri richiesti e le operazioni di *Merge* e *Select* effettuate sui file iniziali e su quello intermedio.

L'impostazione dello stile di visualizzazione e quindi della scala graduata è già specificata all'interno del *tool*, sfruttando un file *.lyr* localizzato nella *directory* "C:\Geodata\Lyr\_files".

#### 5.4.4 Tools per la realizzazione di mappe derivate preliminari: Heatmaps e distribuzione della deviazione standard della VLos

Una delle prime analisi eseguite sui PS a disposizione è stato il calcolo di due mappe di densità (*Heatmaps*), attraverso il *tool Kernel density* di *ArcGIS*. I valori di velocità più alti vengono così isolati e vengono individuate le aree in cui, in prima approssimazione, si concentrano le velocità più elevate.

L'operazione è stata eseguita direttamente sui dati filtrati in base alla coerenza ( $COH > 0,7$ ), considerando solo le velocità più elevate ( $< -7$  mm/a e  $> +7$  mm/a).

I file *raster* risultanti sono stati poi digitalizzati e uniti in un singolo *shapefile* per farli interagire in maniera più semplice con gli altri *layers* vettoriali a disposizione.

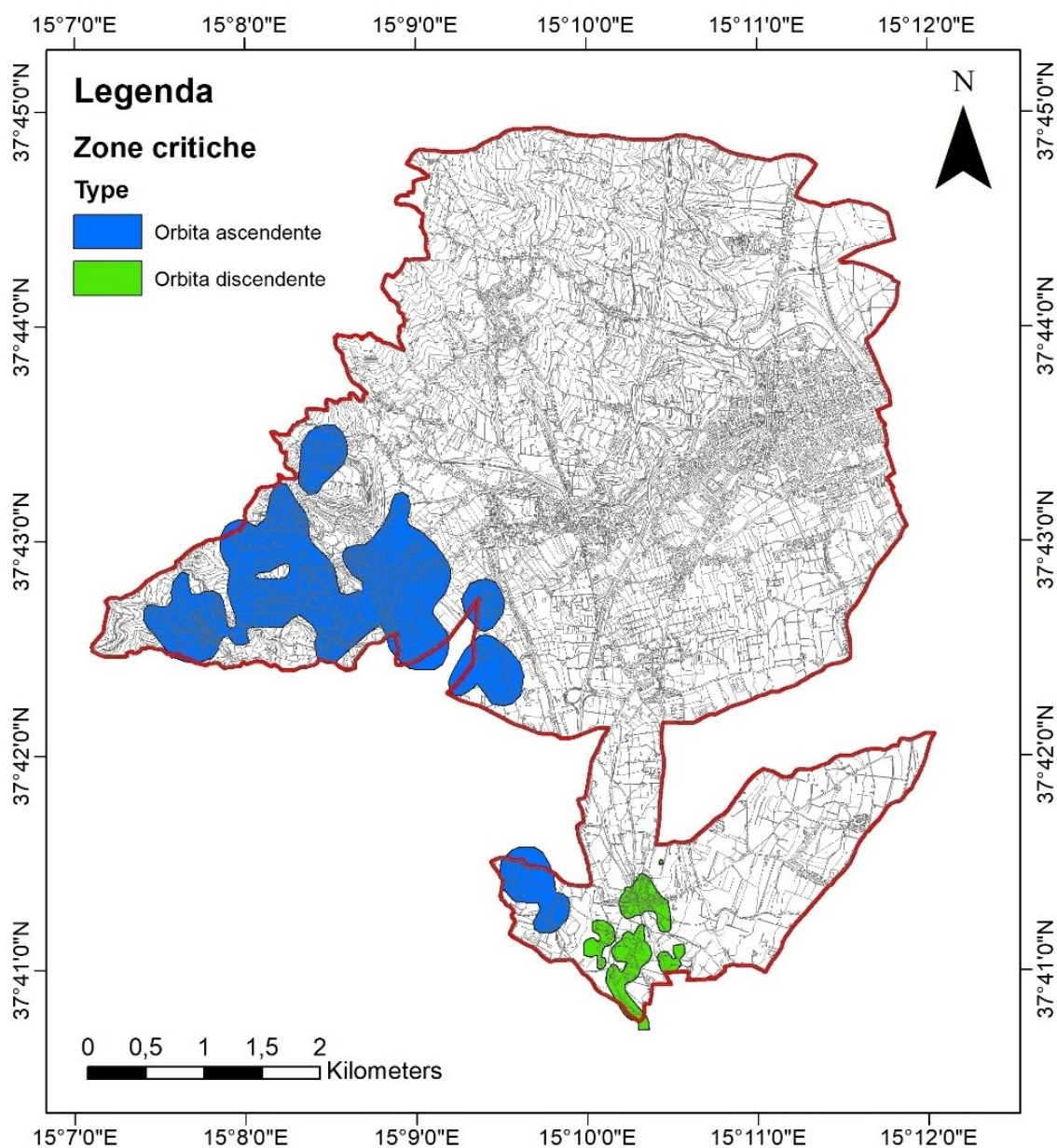


Fig. 5.17 - Heatmaps delle zone critiche ( $V_{Los} < -7 \text{ mm/a}$  e  $V_{Los} > +7 \text{ mm/a}$ ).

La mappa (Fig. 5.17) dà un'indicazione di massima che non può e non deve in nessun modo fornire delle valutazioni definitive sulla pericolosità di una data area. Questo tipo di analisi costituisce semplicemente una fase preliminare in cui l'utente finale viene informato, con un certo grado di approssimazione e senza valutazione di tipo qualitativo, sull'ubicazione delle zone a maggior concentrazione di punti con alti valori di  $V_{Los}$ .

Inoltre, grazie allo sviluppo di un *tool* dedicato, si può questo tipo di informazione in maniera veloce, con la possibilità di variare a piacimento i valori soglia di velocità sulla base dei quali valutare la concentrazione dei PS.

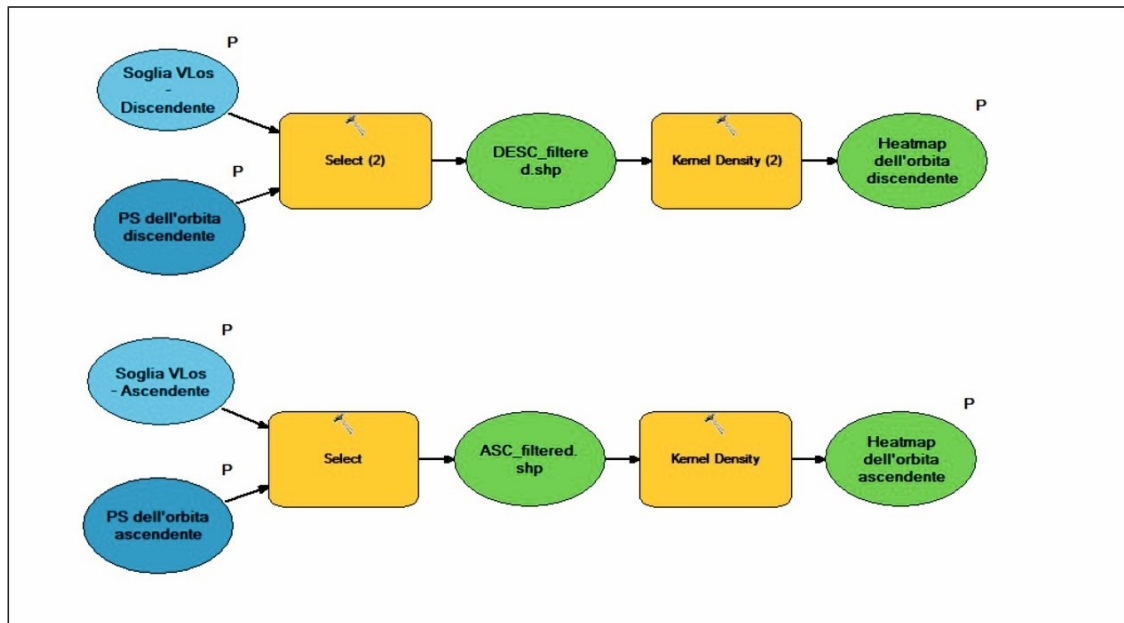


Fig. 5.18 - Struttura del tool per la creazione automatizzata delle Heatmaps.

Il workflow (Fig. 5.18) del tool è sostanzialmente lineare e prevede la selezione dei dati all'interno degli *shapefile* dei PS, secondo un'espressione che permette di filtrare i valori di velocità, e l'applicazione della *Kernel density* per generare i due file *raster* di *output* finali. Grazie al file *.lyr* è possibile poi visualizzare i *raster* con una scala di colori graduata specifica, che va dalle tonalità del verde a quelle del rosso.

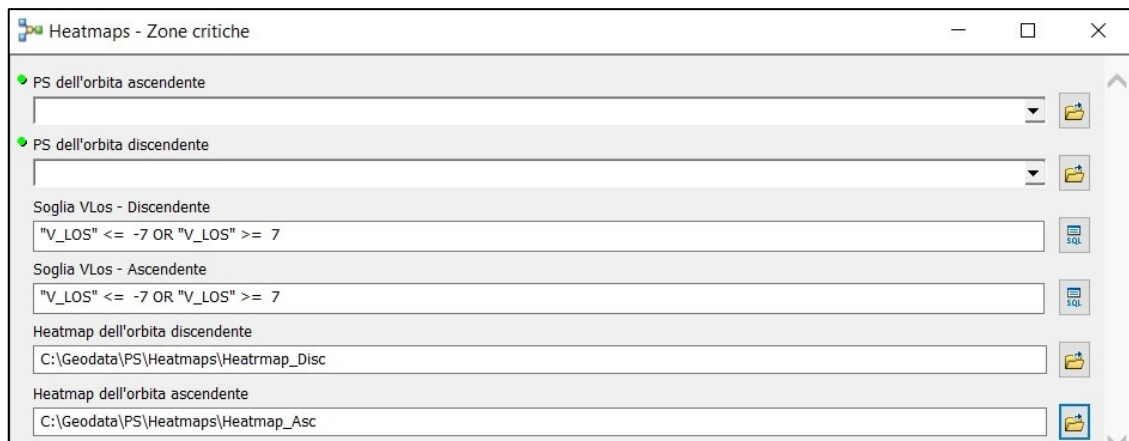


Fig. 5.19 - Schermata di avvio del tool per la creazione automatizzata delle Heatmaps.

I dati di *input* richiesti (Fig. 5.19) per il corretto funzionamento del tool sono: i due *shapefile* contenenti i PS dell'area da indagare; le soglie di velocità scelte per entrambe le orbite (valori di default:  $V_{LOS} < -7$  mm/a e  $> +7$  mm/a); la cartella di destinazione e il nome con cui salvare i due *raster* di *output*.

Come è possibile vedere in Fig. 5.17, le maggiori concentrazioni in orbita discendente si trovano nella zona sud del comune, effettivamente oggetto di particolare interesse e analizzata nel dettaglio nel Cap. 5.6.

Per quanto riguarda invece l'orbita ascendente, si notano delle concentrazioni abbastanza importanti dal punto di vista areale nella zona ovest. Un'altra operazione preliminare è l'analisi statistica della distribuzione della VLos all'interno dell'area, tramite il calcolo della deviazione standard all'interno di zone omogenee di eguali dimensioni.

Se quindi le *heatmaps* hanno lo scopo di far risaltare le zone a maggior concentrazione di velocità, la distribuzione della deviazione standard serve ad evidenziare le zone che presentano bruschi cambiamenti di velocità in spazi relativamente ristretti, indicando quindi un maggiore scostamento dal valore medio di velocità. Per fare questo è stato necessario suddividere l'intera aerea in celle di uguale dimensione (50 m x 50 m) tramite il *tool Grid Index Features* e, successivamente, aggiungere un nuovo campo nella tabella attributi nel quale calcolare, tramite uno *Spatial Join*, la deviazione standard media dei valori di velocità dei PS ricadenti all'interno di ogni cella.

Di seguito vengono riportate le due mappe di distribuzione della deviazione standard della VLos nelle due geometrie di acquisizione (Fig. 5.20 e Fig. 5.21).

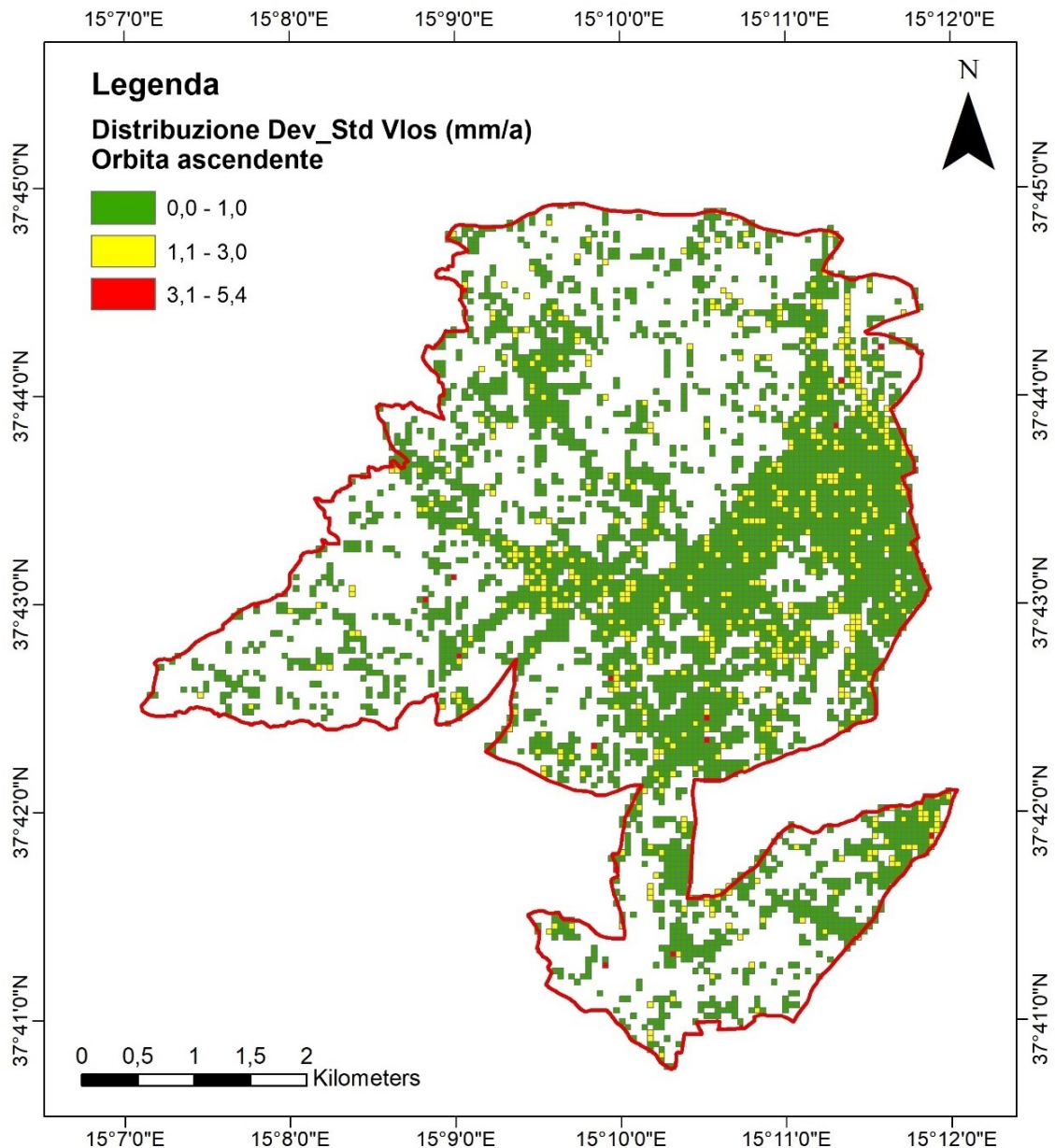


Fig. 5.20 - Mappa di distribuzione della deviazione standard della VLOS in orbita ascendente.

Le celle di colore verde indicano valori di dispersione estremamente bassi; le celle gialle e rosse, invece, indicano delle zone in cui i PS si discostano molto dal valore medio, fornendo un indizio preliminare sulle possibili zone aventi variazioni molto brusche di velocità, che potrebbero essere causate, ad esempio, da cedimenti differenziali lungo alcune infrastrutture o dalla presenza di fattori geomorfologici o tettonici rilevanti.

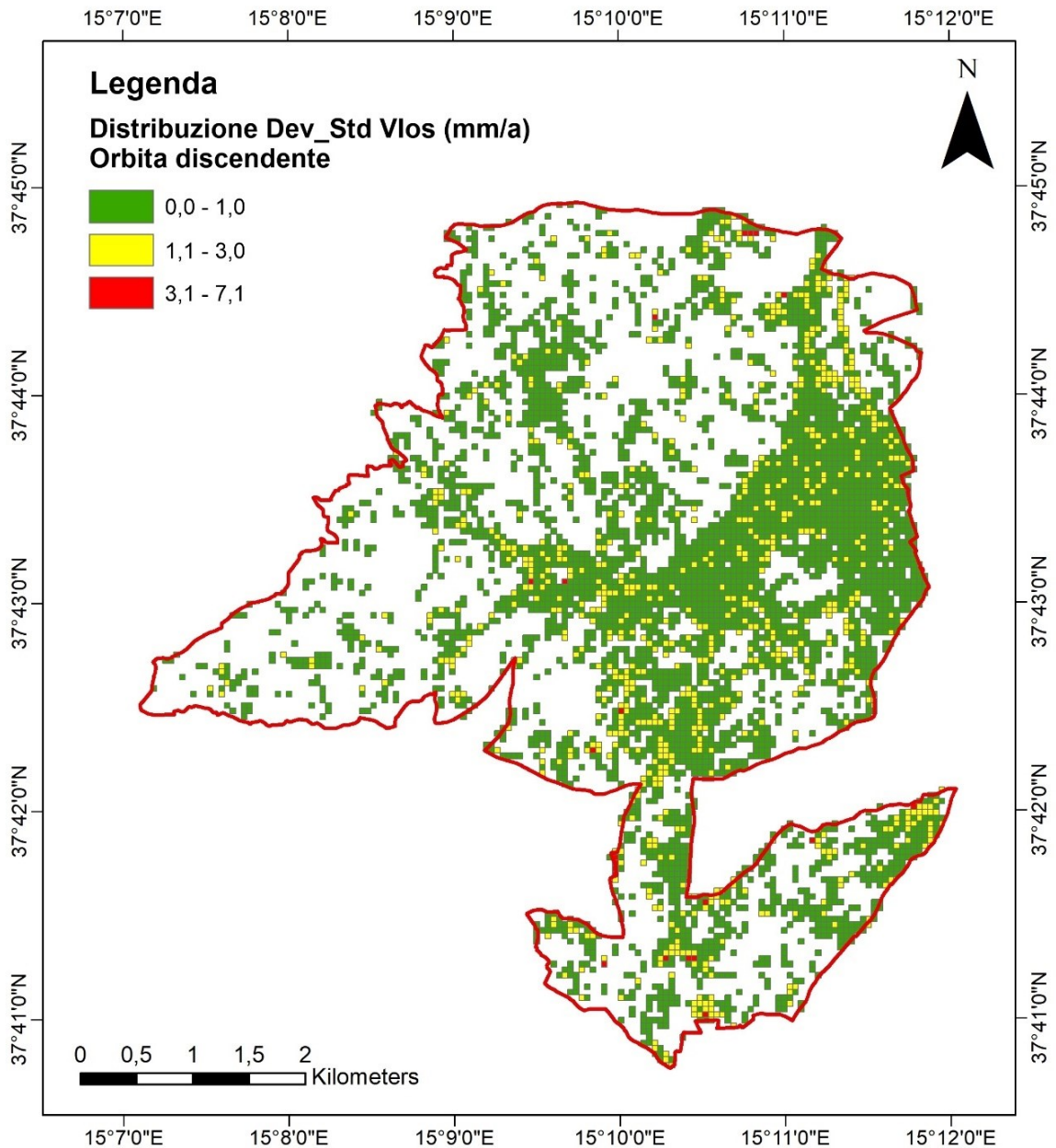


Fig. 5.21 - Mappa di distribuzione della deviazione standard della VLos in orbita discendente.

Anche in questo caso è stato sviluppato un *tool*, denominato “Calcolo statistico distribuzione VLos”, per velocizzare e automatizzare il processo di creazione di questo tipo di mappa.

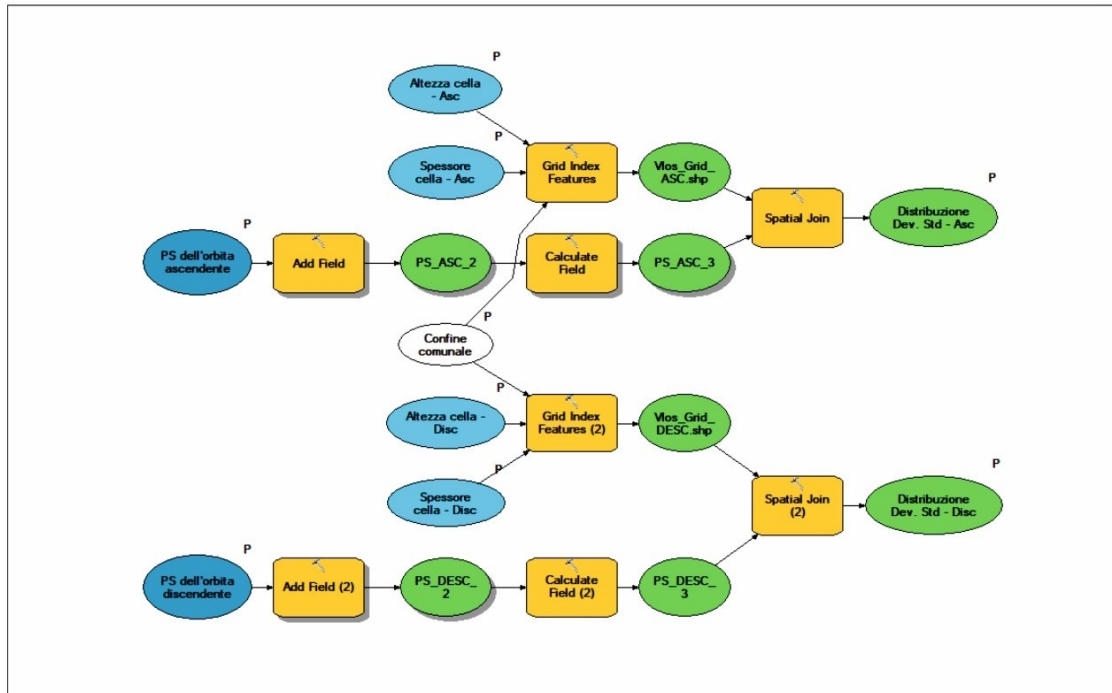


Fig. 5.22 - Struttura del tool per la creazione delle mappe di distribuzione della deviazione standard.

Nel workflow del tool (Fig. 5.22) sono quindi esplicitate graficamente le operazioni spiegate sopra, combinate in modo tale da agire contemporaneamente sui PS disponibili in ambedue le geometrie.

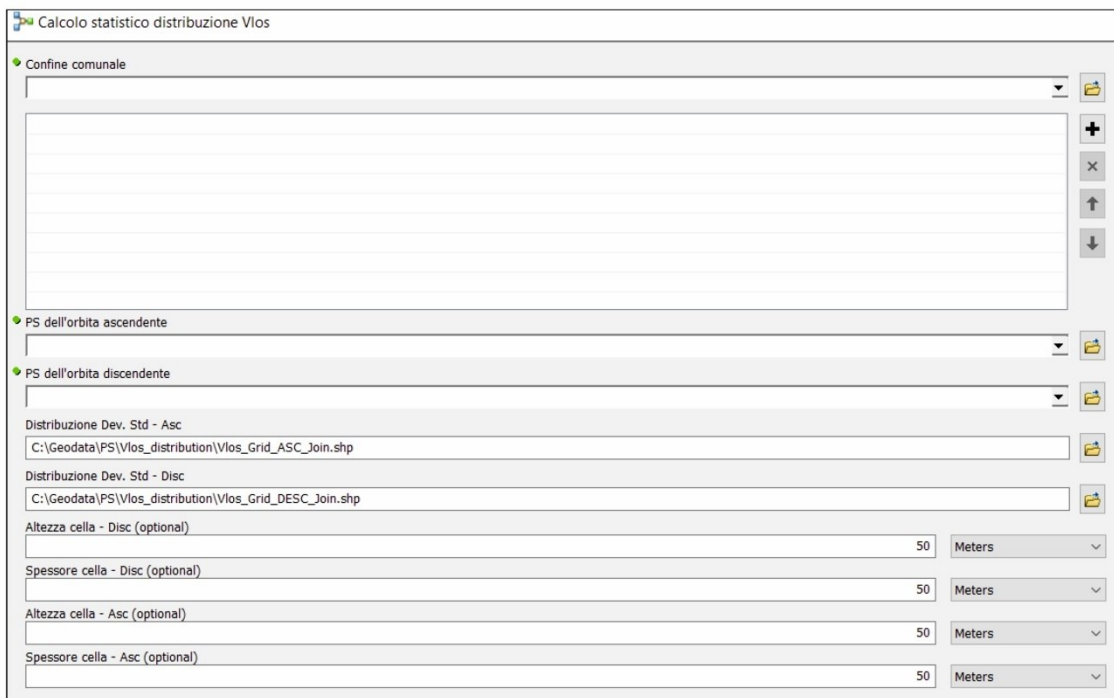


Fig. 5.23 - Schermata di avvio del tool per la creazione delle mappe di distribuzione della deviazione standard.



I parametri richiesti (Fig. 5.23) sono: lo *shapefile* con il confine comunale; gli *shapefile* con i dati di velocità nelle due geometrie di acquisizione; la destinazione con il nome dei file finali e la dimensione delle celle, liberamente modificabile dall'utente a seconda della densità dei PS nella zona di interesse (valore di *default* = 50 m x 50 m).

#### 5.4.5 Interpolazioni IDW della VLos

Le interpolazioni delle velocità medie di deformazione che, come abbiamo visto, sono *shapefile* di tipo puntuale, possono essere effettuate sfruttando l'algoritmo IDW (*Inverse Distance Weighted*).

L'interpolazione è una procedura di predizione dei valori non campionati, a partire dalle misure eseguite in determinati punti all'interno di una certa area. L'utilità dell'interpolazione nel trattamento di dati geografici e, in questo caso dei dati PS, è quella di poter convertire i dati acquisiti sotto forma di osservazioni in punti sparsi, in campi continui (discretizzati), in modo tale che i modelli dello spazio definiti dalle osservazioni stesse possano essere confrontati con altri modelli dello spazio derivati da altre entità spazialmente distribuite.

L'IDW sfrutta un modello di interpolazione di tipo deterministico (Fiannacca et al., 2017; Bartier et al., 1996) dove il legame fra i punti vicini è espresso da una legge esplicita i cui parametri hanno significato fisico, a differenza ad esempio del *Kriging* (Reza et al., 2010; Setianto et al., 2010), in cui il legame fra i punti vicini è espresso da un legame statistico (covarianza) che può non avere significato fisico.

Nel processo di tipo IDW il valore in un punto è dato dalla media dei valori che si distribuiscono intorno al punto di interesse, pesati tramite una funzione basata sulla loro distanza reciproca:

$z(x, y) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i, y_i)$	$n$ $x_i, y_i$ $\lambda_i$	numero di punti nella finestra mobile; coordinate dei punti noti; peso del punto <i>i-esimo</i> .
Imposto il seguente vincolo:	$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$	la media globale rimane inalterata
Il peso più usato è l'inverso della distanza al quadrato:	$z(x_j) = \frac{\sum_{i=1}^n z(x_i) d_{i,j}^{-2}}{\sum_{i=1}^n d_{i,j}^{-2}}$	

Fig. 5.24 - Funzionamento dell'algoritmo di interpolazione IDW.

Tra i vantaggi di questo tipo di tecnica ci sono senza dubbio la velocità dei calcoli e il basso carico computazionale richiesto, oltre all'implementazione diretta nella funzione dell'importanza dei valori campionati in funzione della distanza.

Ne risulta quindi che, per ottenere delle buone interpolazioni, i punti di partenza su cui viene effettuata l'interpolazione devono essere presenti in una quantità sufficiente ed essere distribuiti in maniera omogenea all'interno dell'area che si intende studiare. Il possibile errore nell'interpolazione aumenta quindi man mano che ci si sposta da aree maggiormente dense di punti (che nel caso di Giarre sono quelle in cui insistono le infrastrutture che fungono da *scatteratori* per il segnale del satellite) verso le zone più isolate e maggiormente coperte dalla vegetazione.

Al fine di confrontare gli *output* finali facendoli interagire con i *layers* delle infrastrutture come strade ed edifici, e dato il numero abbondante dei punti presenti, è stato valutato come giustificabile l'utilizzo di questo metodo di interpolazione per visualizzare il dato sulla velocità media in maniera più semplice e veloce.

Sono state quindi eseguite due interpolazioni IDW, una per singola geometria di acquisizione, e successivamente ritagliate secondo l'estensione del territorio comunale. In entrambi i casi sono stati mantenuti gli stessi intervalli e la stessa scala graduata di tipo semaforico per poter confrontare, tramite sovrapposizione, la bontà dell'operazione svolta.

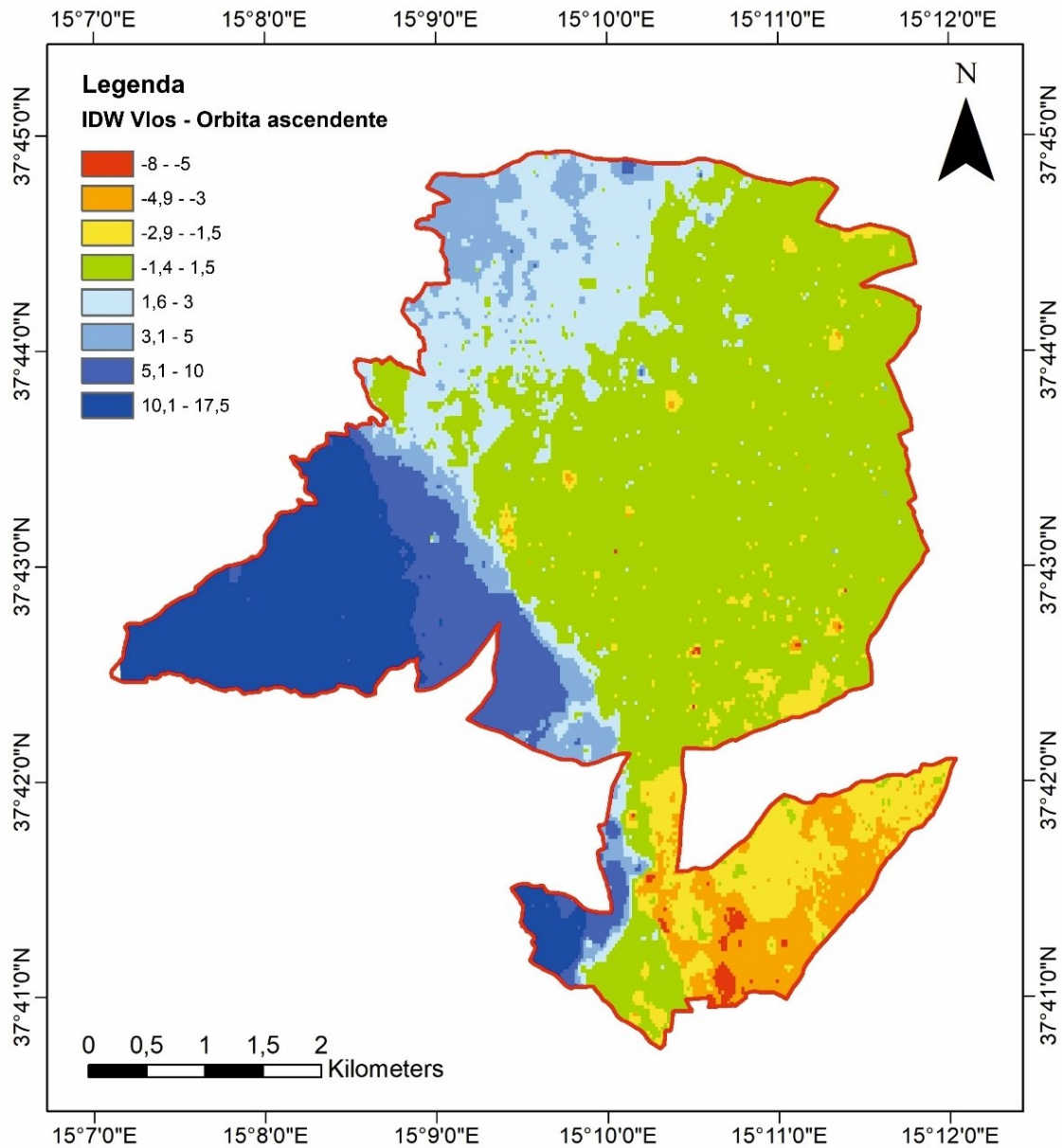


Fig. 5.25 - Interpolazione IDW dei valori di VLos in orbita ascendente.

Questo tipo di visualizzazione permette, in primo luogo, di analizzare in maniera più semplice il dato PS (rispetto alla Fig. 5.13 e Fig. 5.14 con i soli dati puntuali), notando ad esempio alcuni cambiamenti bruschi nel comportamento dei PS che, in orbita ascendente (Fig. 5.25), formano un allineamento abbastanza netto orientato circa NW-SE.

L'allineamento separa la zona ovest (caratterizzata da punti in forte avvicinamento) dalla zona a est (quella più densamente popolata), che rientra invece nel campo di stabilità. La stessa situazione si presenta nella zona più a sud con un brusco passaggio tra zona stabile e zona in allontanamento dal satellite.

Ovviamente l'interpolazione permette anche di prevedere, con un certo margine d'errore dovuto a fattori morfologici e tettonici, l'andamento che potrebbero avere i punti nelle zone in cui il dato puntuale iniziale era assente.

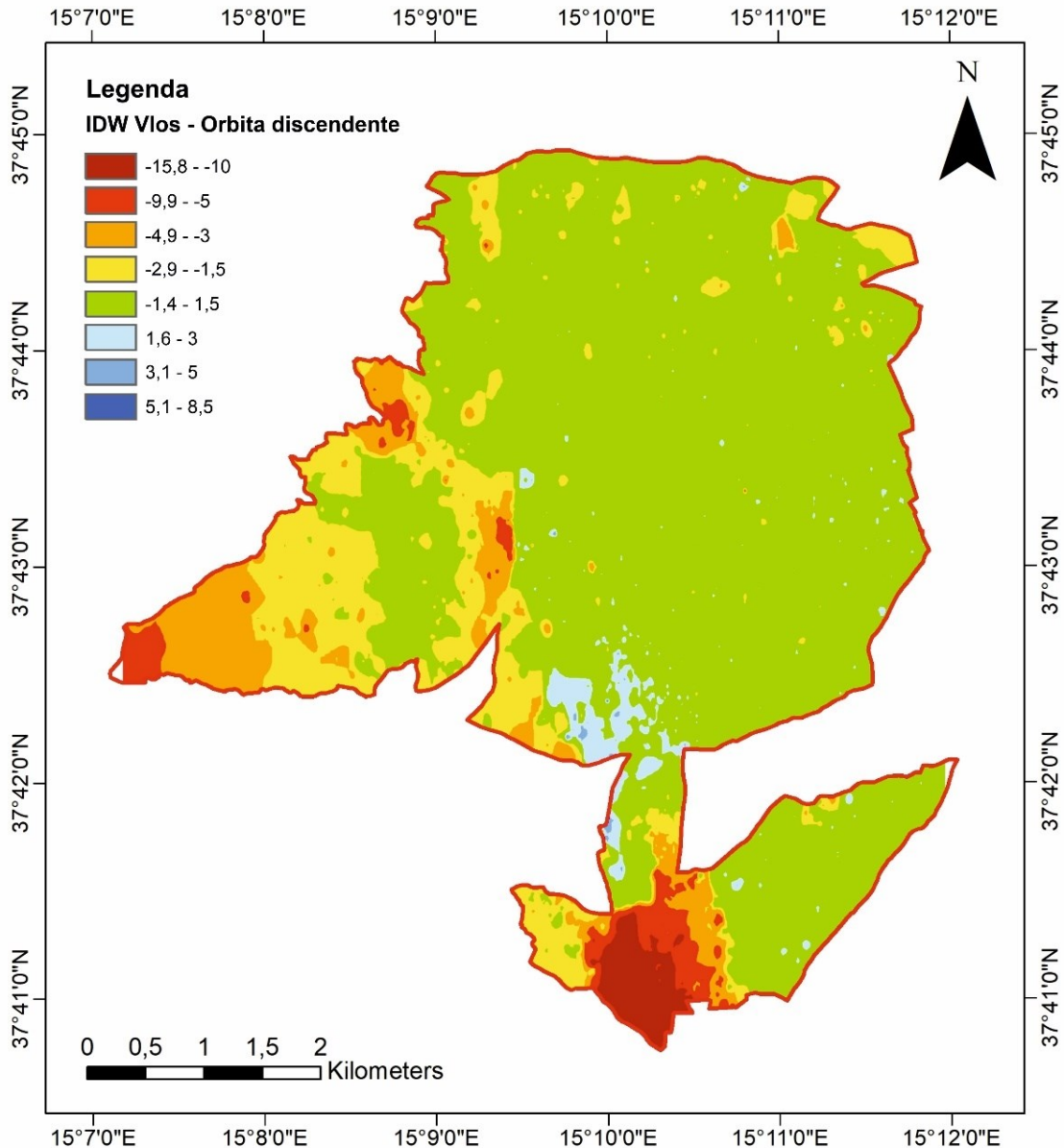


Fig. 5.26 - Interpolazione IDW dei valori di VLos in orbita discendente.

Nel caso dell'orbita discendente (Fig. 5.26) non vi è nessuna zona omogeneamente distribuita con movimento di avvicinamento al satellite, ma viene enfatizzata ancora di più, rispetto alla geometria ascendente, la zona in allontanamento nella zona più a sud del comune.

Un altro vantaggio nell'utilizzo delle interpolazioni IDW è il peso esiguo dei file, che li rende più facili da gestire rispetto agli *shapefile* puntuali originari, i quali essendo

costituiti da migliaia di punti possono risultare difficoltosi da elaborare, soprattutto se non si è in possesso di una macchina particolarmente prestante.

Osservando contemporaneamente le interpolazioni delle due geometrie possono essere tratte alcune considerazioni preliminari sul tipo di movimento che insiste nelle varie aree del comune, sfruttando la teoria che sta alla base della tecnica interferometrica stessa.

Per identificare le zone a diverso comportamento risulta necessario alternare le due interpolazioni, spegnendo e accendendo uno dei due *layers*, oppure sovrapporle con un certo livello di trasparenza. Tale metodo risulta dispendioso in termini di tempo e, in generale, poco comodo e immediato.

Per venir incontro a questa necessità si è deciso di creare un singolo *shapefile*, a partire dalle due interpolazioni di base, che va a comparare i movimenti registrati nelle due geometrie, mostrando tutte le possibili combinazioni di movimento tra le due orbite (Fig. 5.27).

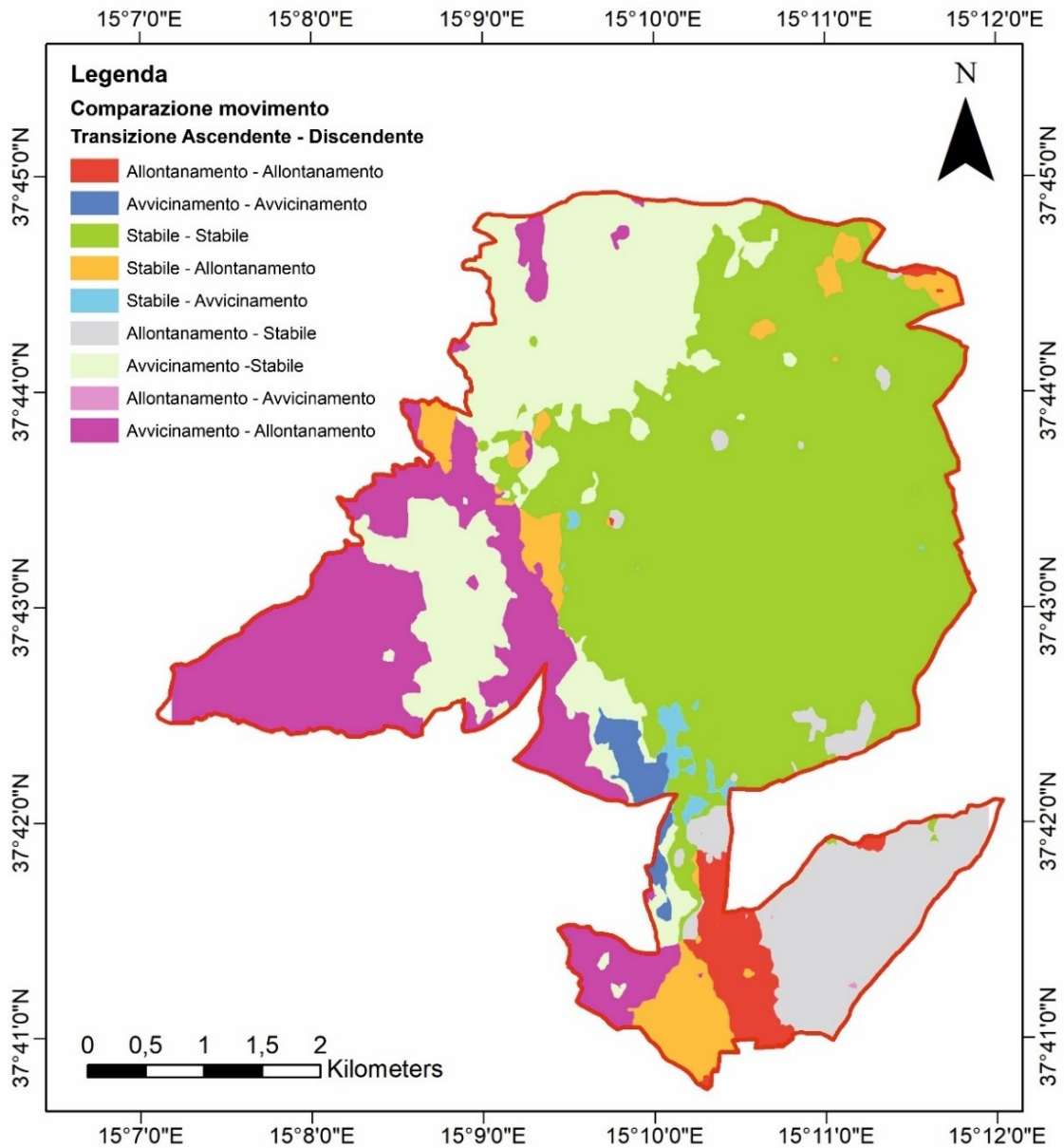


Fig. 5.27 - Mappa riassuntiva del comportamento dei PS (interpolati tramite IDW) in entrambe le geometrie di acquisizione. Il primo termine in legenda si riferisce al movimento in orbita ascendente; il secondo a quello dell'orbita discendente. Ogni colore rappresenta quindi una combinazione unica tra i movimenti registrati nelle singole orbite.

Per produrre questa carta è stato necessario dapprima convertire i due file *raster* derivanti dalle interpolazioni in file vettoriali (*shapefile*), a cui è stato aggiunto un campo testuale nel quale è stato indicato la combinazione finale dei movimenti registrati nelle singole geometrie di acquisizione. Successivamente sono stati uniti i due *shapefile* in maniera tale da ottenere tante categorie quante sono le combinazioni di transizione tra movimento in orbita ascendente e movimento in orbita discendente (Fig. 5.28).

Table					
Export_Output_5					
FID	Shape *	OBJECTID	Ascending	Descending	Comparing
0	Polygon	1	Allontanamento	Allontanamento	Allontanamento
2	Polygon	9	Allontanamento	Avvicinamento	Allontanamento - Avvicinamento
1	Polygon	4	Allontanamento	Stabile	Allontanamento - Stabile
6	Polygon	22	Avvicinamento	Allontanamento	Avvicinamento - Allontanamento
8	Polygon	27	Avvicinamento	Avvicinamento	Avvicinamento - Avvicinamento
7	Polygon	26	Avvicinamento	Stabile	Avvicinamento - Stabile
3	Polygon	16	Stabile	Allontanamento	Stabile - Allontanamento
5	Polygon	21	Stabile	Avvicinamento	Stabile - Avvicinamento
4	Polygon	20	Stabile	Stabile	Stabile - Stabile

Fig. 5.28 - Transizione dal movimento in orbita ascendente a quello in orbita discendente all'interno del campo testuale "Comparing".

Quello che salta subito all'occhio è sicuramente la grande area stabile (in verde) nella zona centro-orientale. L'area in viola, in avvicinamento nell'orbita ascendente e in allontanamento nell'orbita discendente, indica invece un'area a prevalente movimento orizzontale. La piccola area in blu, in avvicinamento in entrambe le geometrie, è invece il risultato di un movimento prevalentemente verticale e indica un movimento di sollevamento.

Il caso opposto, rivelatosi senza dubbio il più interessante, soprattutto in relazione alla situazione tettonica dell'area, è rappresentato dalla zona rossa a sud (Fig. 5.27), che costituisce un'area a prevalente movimento verticale ma, in questo caso, in abbassamento.

Movimenti in allontanamento in entrambe le geometrie, infatti, indicano solitamente un'area in subsidenza (Raucoules, 2003). I motivi della subsidenza possono essere molteplici e legati a cause naturali (consolidazione di sedimenti, movimenti tettonici, ecc.) o cause antropiche (carico esercitato da manufatti artificiali, estrazione di fluidi dal sottosuolo, attività mineraria). Tali situazioni possono essere monitorate agevolmente mediante l'uso dei PS, sia a scala regionale che a scala locale, grazie alla velocità normalmente molto basse con le quali si evolvono (Bitelli et al., 2008; Canuti et al., 2006; Teatini et al., 2005).

Inoltre, l'area in esame risulta essere discretamente urbanizzata e densa di *scatteratori*, garantendo un'ottima accuratezza delle misure.

Sovrapponendo il *layer* delle faglie, digitalizzato durante le prime fasi del progetto (visibili in Fig. 3.2 e Fig. 3.3), ci si rende conto che la probabile causa di innesco

del fenomeno di subsidenza relativa dell'area rispetto alle zone circostanti, potrebbe essere esclusivamente ricondotta a motivazioni di tipo tettonico.

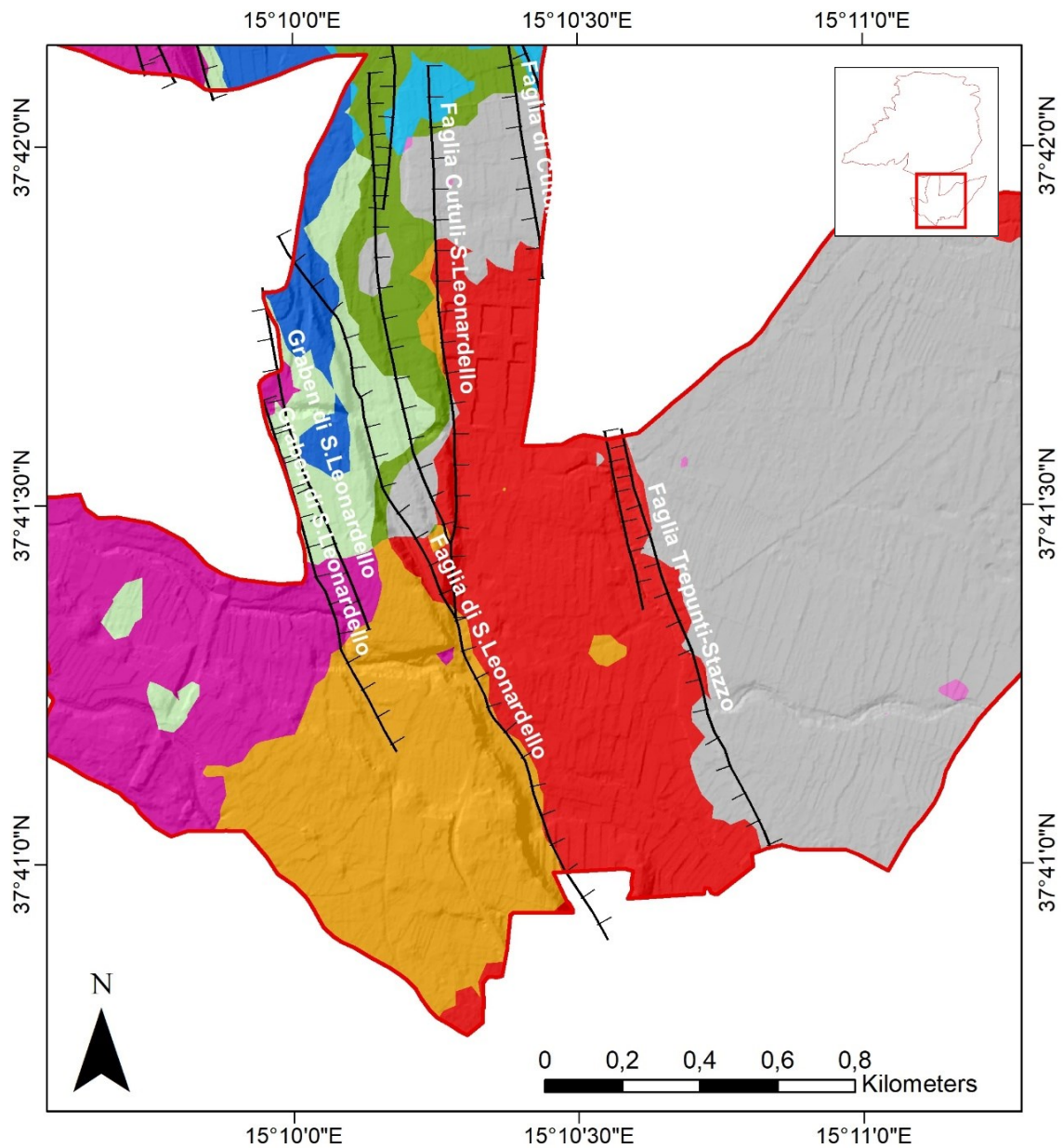


Fig. 5.29 - Zona in subsidenza (colore rosso) tra la faglia di S. Leonardello a ovest e la faglia di Trepunti – Stazzo a est.

Visualizzando l'area di interesse a scala 1: 15.000 (Fig. 5.29), si nota come la zona in allontanamento è perfettamente delimitata ad ovest dalla faglia di S. Leonardello e ad est dalla faglia di Trepunti – Stazzo.

Un dettagliato approfondimento su questa particolare zona, con una serie di profili e l'analisi delle serie temporali, è stato effettuato nel Cap. 5.6.



Le misure individuate dai PS sono per definizione differenziali e per essere considerate del tutto attendibili devono essere tarate in funzione di una zona nota, assunta come stabile. Avendo ad esempio informazioni su una zona stabile, presa come riferimento, è possibile imporre la velocità media nulla in quella zona e considerare tutti gli altri movimenti come misure differenziali rispetto a quest'ultima. Con l'utilizzo di misurazioni GPS a terra è possibile correggere in modo preciso il valore di velocità misurato nelle due orbite applicando un certo valore di *offset*, permettendo così di stimare con precisione i vettori di spostamento reali delle varie zone a differente comportamento. L'assenza, ad oggi, di tali dati non preclude però il raggiungimento degli obiettivi prefissati dal progetto.

Il fine principale, infatti, è quello di creare una metodologia di studio, funzionante e replicabile su vari territori comunali, con la quale sfruttare il dato interferometrico e, laddove possibile, automatizzare le varie fasi di analisi tramite la creazione di alcuni *tools* dedicati.

I dati interferometrici, inoltre, sono stati elaborati in funzione dei differenziali di velocità che essi esprimono, piuttosto che sui valori assoluti di velocità o spostamento rispetto ad un eventuale punto stabile di riferimento.

Come si vedrà nei successivi paragrafi, i modelli creati per studiare l'interazione tra i PS e le infrastrutture (strade e edifici) si basano esclusivamente su parametri come la differenza di velocità (*range*), la distorsione angolare causata da eventuali cedimenti differenziali e le differenze di velocità tra la zona interna ed esterna delle infrastrutture.

#### 5.4.6 Sovrapposizione dei dati puntuali con i dati ancillari e con i fenomeni franosi già cartografati

Nella maggioranza dei casi, la tecnica dei *Persistent Scatterers* viene utilizzata per studi di tipo geomorfologico per monitorare, ad esempio, delle aree in frana o valutarne lo spostamento e lo stato di attività (Arturi et al., 2003; Filippo et al., 2006).

Per effettuare una buona interpretazione dei dati *radar* satellitari è anche necessario acquisire e incrociare una serie di dati ancillari che costituiscono una base di partenza indispensabile per identificare possibili morfologie del terreno connesse ai movimenti deformativi. Per dati ancillari si intendono tutti i dati tematici disponibili nelle aree in esame utili alla valutazione dei dissesti individuati.

Alcuni esempi sono:

- Le Carte Tecniche Regionali (CTR, scala 1: 10.000), che forniscono un quadro sufficientemente dettagliato del territorio preso in esame. La presenza ad esempio di indicatori geomorfologici (evidenze di scarpate con bordi netti, nette variazioni di curvatura lungo il profilo longitudinale del versante, ecc.) consentono di ottenere indicazioni su dissesti di versante;
- Modello Digitale del Terreno (DTM - *Digital Terrain Model*), che fornisce una rappresentazione dettagliata delle variazioni topografiche, soprattutto se elaborato al fine di estrapolare ulteriori carte derivate come l'*hillshade*, la carta delle esposizioni dei versanti e la carta clivometrica (*Slope chart*);
- Cartografie del Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia del Dipartimento Difesa del Suolo – Servizio Geologico d'Italia dell'ISPRA) e le relative schede frane. Il *database* contiene indicazioni su 620.808 fenomeni franosi, censite sull'intero territorio nazionale secondo procedure standardizzate;
- Cartografie PAI (Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico) con individuazione e perimetrazione delle aree a pericolosità geomorfologica e idrogeologica redatte dalle Autorità di Bacino, disponibili a scala nazionale.

Il monitoraggio tramite le tecniche interferometriche però non ha la stessa efficacia su tutte le tipologie di frana esistenti. Facendo riferimento alla classificazione di Cruden & Varnes (1996) e tenendo conto dei diversi tipi di materiale coinvolto, l'applicabilità delle tecniche interferometriche satellitari è schematizzata dalla Tab. 5.1:

<b>TIPOLOGIA</b>	<b>MATERIALE</b>	<b>MONITORAGGIO TECNICA PSI</b>
<b>Crollo</b>	Roccia/detrito/terra	NO
<b>Ribaltamento</b>	Roccia/detrito/terra	NO
<b>Scivolamento</b>	Roccia	SI
	Detrito/terra	SI
<b>Colata</b>	Roccia	SI
	Terra	Parzialmente
	Detrito	NO
<b>Espansione</b>	Roccia/detrito/terra	Parzialmente

Tab. 5.1 - Applicabilità del monitoraggio con tecnica PS alle diverse tipologie di frana (MINAMB, 2009).

I fenomeni di crollo e ribaltamento sono difficilmente individuabili a causa della velocità con cui si sviluppano, ma benché in letteratura non esistano esempi di questo tipo di applicazione, è ipotizzabile che la tecnica possa aiutare comunque ad individuare i movimenti precursori di distacco del materiale.

Per il monitoraggio dei fenomeni di scivolamento, le tecniche interferometriche satellitari sembrano dare ottimi risultati, sia per movimenti traslativi che rotazionali (Bianchini et al., 2017; Colesanti & Wasowski, 2004; Farina et al., 2006; Rizo & Tesauro, 2000; Strozzi et al., 2005).

Per le colate, a seconda del materiale coinvolto, si possono ottenere risultati diversi: quelle in roccia, caratterizzate da movimenti generalmente molto lenti senza una ben definita superficie di dislocazione, risultano monitorabili mediante interferometria SAR da satellite; quelle in terra sono analizzabili ma solo fino ad un certo contenuto di acqua, cioè fino a quando i movimenti rimangono molto lenti (Squarzoni et al., 2003); le colate di detrito, a causa dell'estrema velocità con cui si evolvono, sono invece fuori dalle capacità di misura di tali tecniche.

Dei fenomeni di espansione laterale può essere misurata solo la componente sub-verticale delle deformazioni, legata alla subsidenza dei livelli competenti ed indotta dall'estensione sub-orizzontale di livelli sottostanti a minor competenza (Meisina et al., 2007). Le espansioni di terreni liquefatti non sono misurabili in alcun modo con le tecniche interferometriche a causa della loro rapidità. È chiaro quindi che il principale

fattore limitante è costituito soprattutto dalla velocità dell'evento deformativo che si intende studiare. Facendo riferimento alla scala delle velocità proposta dalla IUGS/WGL (1995) e da Cruden & Varnes (1996), è possibile individuare i fenomeni monitorabili in funzione della loro velocità:

CLASSE	VELOCITÀ	MONITORAGGIO TECNICA PSI
Estremamente lento	< 16 mm/anno	SI
Molto lento	0,016 – 1,6 m/anno	SI
Lento	1,6 m/anno - 13 m/mese	NO
Moderato	13 m/mese – 1,8 m/h	NO
Rapido	1,8 m/h - 3 m/min	NO
Molto rapido	3 m/min - 5 m/s	NO
Estremamente rapido	> 5 m/s	NO

Tab. 5.2 - Applicabilità del monitoraggio con tecnica PS in funzione della velocità dei fenomeni (MINAMB, 2009).

L'interferometria SAR da satellite permette di misurare solamente le prime due classi di velocità dei fenomeni franosi (Tab. 5.1), ossia le frane estremamente lente e quelle molto lente. Non risultano quindi monitorabili i fenomeni ad evoluzione rapida o caratterizzati da accelerazioni repentine. La velocità di deformazione massima misurabile corrisponde attualmente a circa 6 cm/anno ed è tanto più vicina al valore reale quanto più il bersaglio si sposta lungo la direzione coincidente con la LOS (da Linee guida per l'analisi di dati interferometrici satellitari in aree soggette a dissesti idrogeologici, [www.pcn.minambiente.it](http://www.pcn.minambiente.it)).

Il caso limite è rappresentato da movimenti che avvengono perpendicolarmente alla linea di vista del satellite (o paralleli all'orbita del satellite), i quali non possono essere misurati in alcun modo, dando come risultato finale uno spostamento nullo (Colesanti e Wasowski, 2006).

Consultando il catalogo del progetto IFFI relativo al comune di Giarre, che rispecchia e allarga le zone affette da dissesto geomorfologico proposte dal PAI, si evincono alcuni movimenti deformativi che si collocano per lo più nella zona a sud e in quella sud-ovest del comune, tra le frazioni di S. Leonardello e Miscarello.

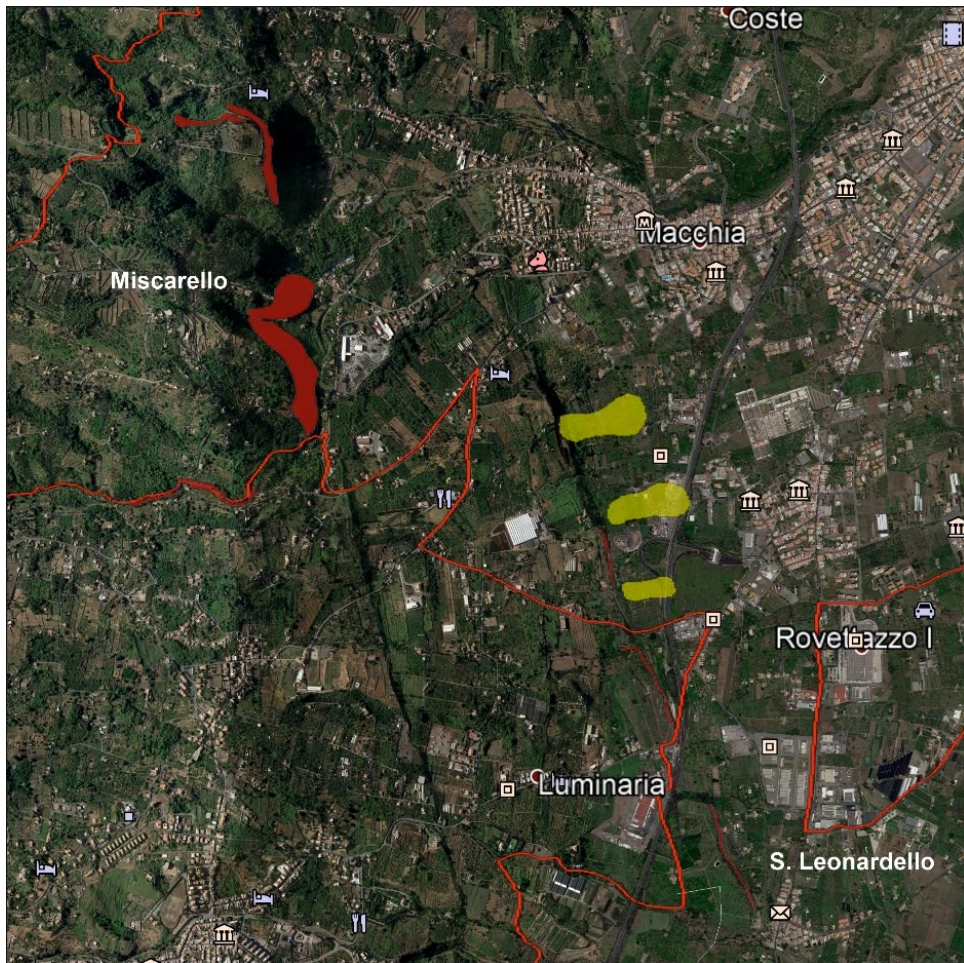


Fig. 5.30 - Dissesti segnalati dal progetto IFFI su vista satellitare (Google earth): in rosso le frane da crollo e/o ribaltamenti e in giallo le frane da scivolamento rotazionale/traslattivo.

Le frane indicate in rosso in Fig. 5.30, trattandosi di crolli e/o ribaltamenti, non risultano monitorabili con le tecniche interferometriche. La situazione è peraltro spiegabile dall'elevata pendenza di tutta la zona in esame, per larga parte superiore ai 30°, e in alcuni tratti anche superiore ai 45° di pendenza, come visibile nella carta delle pendenze in Fig. 5.31.

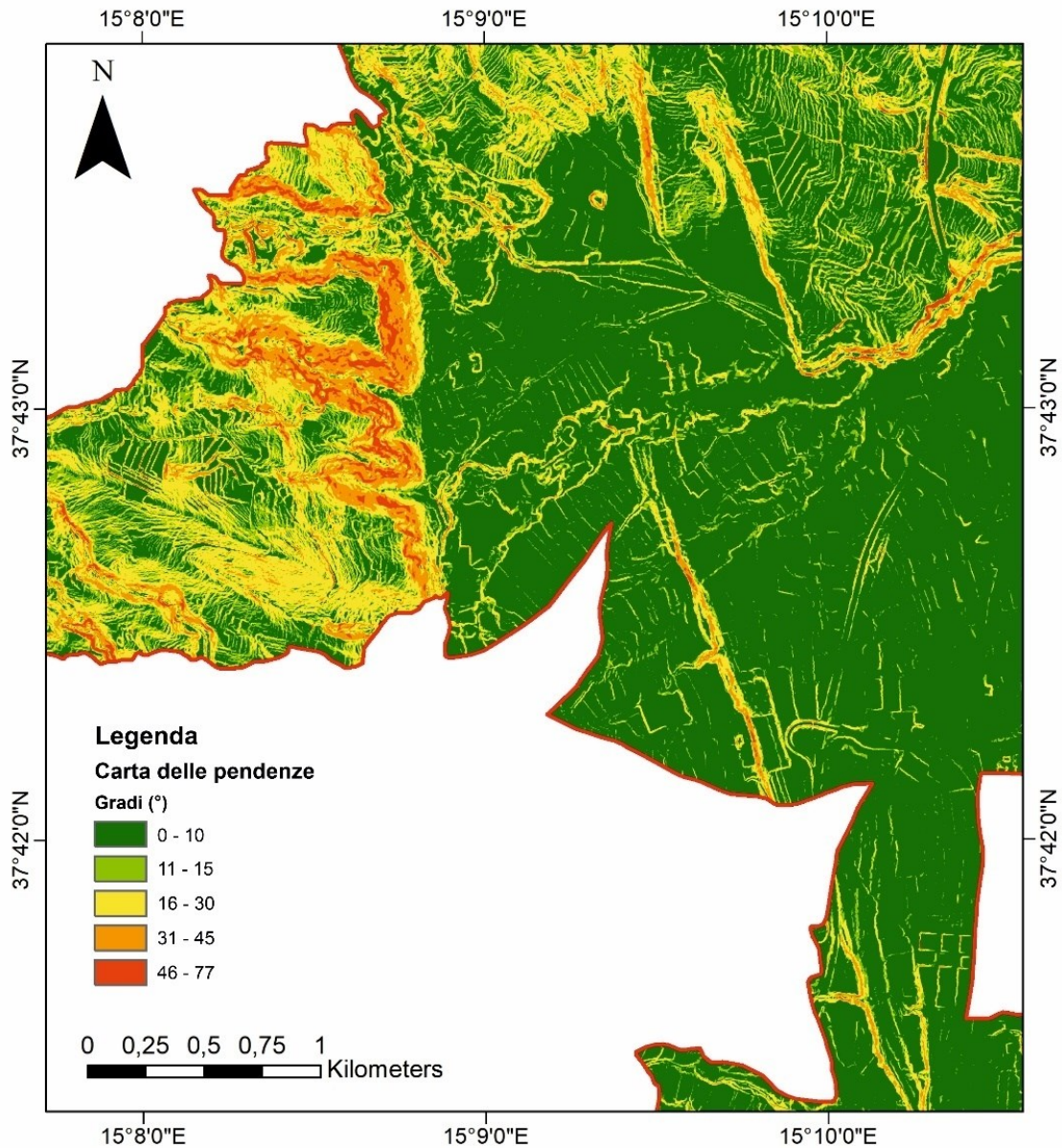


Fig. 5.31 – Carta delle pendenze in gradi. Dettaglio della zona delle Timpe di Miscarello e della parte nord della faglia di San Leonardello.

Altre aree soggette a fenomeni da crollo e/o ribaltamenti, meno estese e dall'aspetto più allungato, si collocano presso le zone ad elevata pendenza lungo la scarpata tettonica dovuta all'attività della faglia di S. Leonardello.

Le aree in giallo in Fig. 5.30 indicano 3 frane da scivolamento rotazionale/traslato su terreni prevalentemente ghiaiosi, contrassegnate nel catalogo IFFI con uno stato di attività di tipo quiescente.

Sovrapponendo i PS filtrati e categorizzati, come spiegato in precedenza, non si è riscontrata purtroppo una soddisfacente sovrapposizione con le frane presenti nelle cartografie IFFI tale da giustificarne un approfondimento. Una maggiore

sovrapposizione avrebbe permesso di approfondire lo studio delle stesse con l'esecuzione di profili o serie temporali, al fine di valutare un'eventuale ripermimetrazione delle aree già cartografate o un cambiamento dello stato di attività nel periodo considerato.

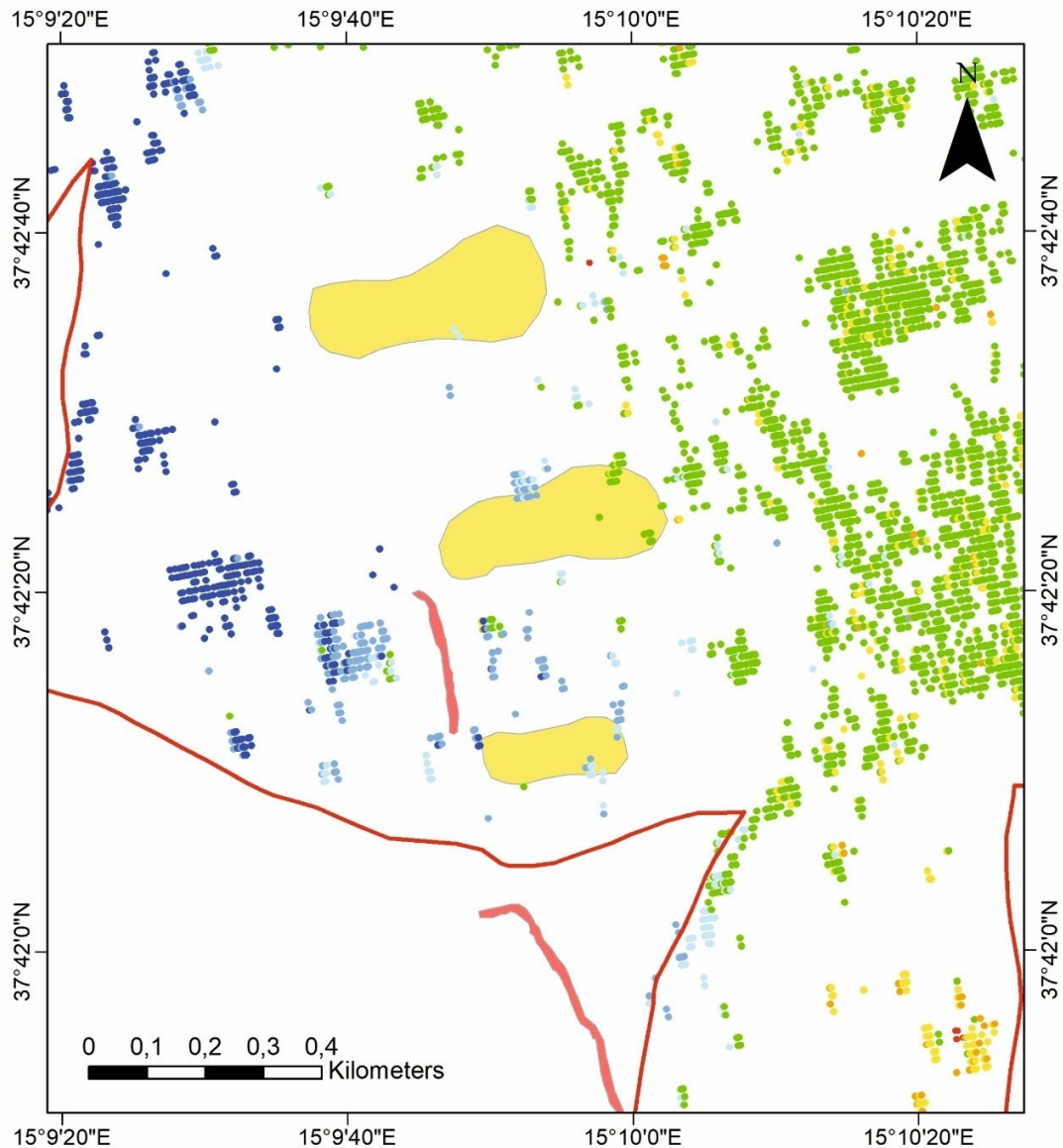


Fig. 5.32 - Sovrapposizione tra i PS misurati in orbita ascendente e le frane da scivolamento rotazionale/traslativo delle cartografie IFFI.

In geometria ascendente la frana più a nord risulta quasi esclusa dalla presenza di PS, mentre i pochi PS presenti all'interno delle altre due sono o punti stabili (tra  $-1,5$  mm/a e  $+1,5$  mm/a) o solo lievemente in avvicinamento al satellite. Tra l'altro l'andamento dell'intera area suggerisce che il comportamento dei PS in allontanamento all'interno dell'area in frana possa essere riconducibile ad un movimento diffuso e

omogeneo dell'intera zona ovest del territorio comunale, più che ad un movimento localizzato e dovuto esclusivamente al fenomeno franoso.

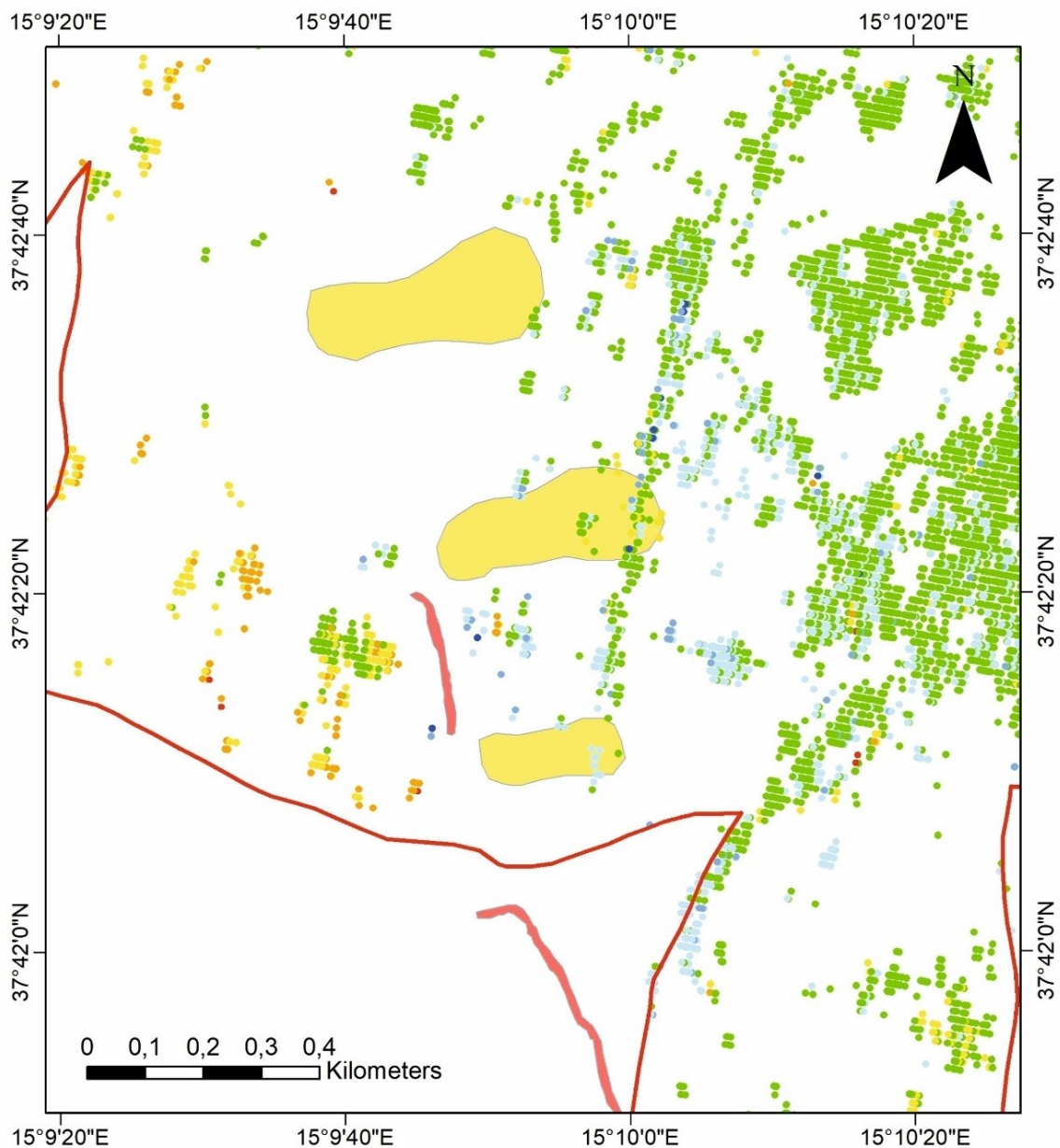


Fig. 5.33 - Sovrapposizione tra i PS misurati in orbita discendente e le frane da scivolamento rotazionale/traslattivo delle cartografie IFFI.

Anche in geometria discendente (Fig. 5.33) si nota la quasi totale assenza di scatteratori sulla frana più a nord e la presenza di una maggiore quantità di PS sulle altre due frane, ma sempre caratterizzati da valori che rientrano nel campo di stabilità (che certificano lo stato di attività di tipo quiescente indicato nel progetto IFFI).

Risulta abbastanza evidente, dunque, che lo studio dei dissesti geomorfologici con la tecnica dei *Persistent Scatterers* può non essere sempre possibile, dipendendo da



moltissimi fattori geomorfologici limitanti come l'esposizione e l'acclività dei versanti, ma anche dalla presenza di *scatteratori* affidabili e sufficientemente diffusi in una certa area.

#### 5.4.7 Interazione tra PS e infrastrutture

Durante la fase preliminare, l'obiettivo è stato valutare lo stato di attività dei fenomeni di dissesto ed eventualmente ripermire le zone, precedentemente cartografate da PAI e IFFI, in funzione dei dati misurati, correggendo il valore di pericolosità indicato in letteratura. A causa della scarsità di *scatteratori* in corrispondenza delle tre frange monitorabili si è ragionato su eventuali altre applicazioni dei PS. Questa tipologia di dato si è rivelata infatti molto flessibile e capace di fornire indicazioni non solo sull'aspetto geomorfologico ma anche su quello tettonico e sull'interazione tra il *displacement* del terreno e le varie infrastrutture come strade ed edifici.

Occorre però tenere presente che nell'interpretazione delle deformazioni osservate sugli edifici e sulle strade, tra le velocità reali e le velocità rilevate sui manufatti si interpongono numerosi elementi che possono amplificare o sottostimare i valori registrati: le caratteristiche strutturali dell'edificio (ad esempio quelle delle fondazioni); i fattori geotecnici legati al comportamento dei terreni di fondazione; i fenomeni di ritiro-rigonfiamento della copertura argillosa ed il richiamo di terreno da parte dei fenomeni franosi attivi; il fattore di vulnerabilità di ogni infrastruttura, il quale è un parametro difficilmente valutabile se non con analisi ingegneristiche molto approfondite.

Le analisi mostrate di seguito quindi non devono e non possono sostituire il classico rilevamento sul terreno e l'eventuale censimento dei danni e delle condizioni strutturali delle infrastrutture, ma rappresenta, più che altro, un cambio di paradigma nell'*iter* di studio tipico da affrontare in queste particolari situazioni.

Solitamente, durante le prime fasi, viene valutato sul campo quali infrastrutture risultano affette da fenomeni deformativi e di cedimento, tramite un censimento dettagliato dei danni e una documentazione fotografica, per poi proseguire con la perimetrazione degli stessi su carta; nel presente lavoro viene proposta una logica quasi opposta: valutare, con l'ausilio dei PS, determinati parametri come velocità medie,

cedimenti differenziali, distorsione angolare ed eventuali differenze di velocità tra infrastruttura e il suo intorno, al fine di generare una categorizzazione delle infrastrutture che possa in qualche modo facilitare e velocizzare la fase di rilevamento, guidando l'operatore verso le infrastrutture che risultano più a rischio da un punto di vista strutturale e deformativo già a partire dallo studio interferometrico. Si tratta quindi di un metodo per cercare di restringere il campo delle possibili infrastrutture che necessitano di studi approfonditi, da indagare poi in maniera più dettagliata con i metodi tradizionali.

I principali parametri statistici descrittivi dei valori di velocità media di deformazione nel periodo 2014-2018 sono stati assegnati ad ogni infrastruttura esaminata, nel tentativo di: individuare eventuali spostamenti differenziali che possono determinare valori di distorsione angolare non compatibili con l'integrità strutturale del manufatto esaminato; calcolare la differenza di velocità media tra l'edificio e il suo intorno, in modo da capire se si tratta di un movimento generalizzato riconducibile ad un dissesto del terreno su cui l'edificio insiste, oppure se si tratta di un fenomeno fortemente localizzato e quindi determinato dalla natura stessa della struttura in esame; ricostruire il comportamento medio nel tempo e indagare le possibili cause d'insorgenza dei fenomeni osservati tramite l'analisi delle serie storiche degli spostamenti sui singoli manufatti. L'analisi della storia deformativa delle infrastrutture può aiutare a evidenziare la presenza di eventuali problemi strutturali che, in seguito al verificarsi di eventi naturali quali alluvioni, dissesti gravitativi o subsidenza del terreno, possono aumentare notevolmente lo stato di vulnerabilità dell'oggetto esaminato.

In tutto il territorio nazionale, una particolare classe di entità vulnerabili è costituita dall'immenso patrimonio culturale, distribuito in maniera più o meno densa anche in aree soggette a diverse fonti di rischio. Non è da escludere quindi la possibilità di poter utilizzare questo tipo di applicazione anche per il calcolo del rischio relativo ai beni a vincolo architettonico, archeologico e paesaggistico (Mazzanti, 2013; Montini et al., 2013).

Per evidenziare le deformazioni avvenute su strade e edifici ricadenti all'interno del territorio comunale nel periodo 2014-2018, sono stati effettuati diversi *step* operativi, brevemente descritti di seguito:

- Valutazione e quantificazione della velocità di deformazione media dei singoli tratti di strada e dei singoli edifici, sia per quanto riguarda il *dataset* dei PS in orbita ascendente che per quello discendente. Tale analisi ha permesso di assegnare ad ogni edificio i principali parametri statistici misurati nelle due geometrie di acquisizione;
- Individuazione di eventuali differenziali di velocità all'interno delle singole infrastrutture nel periodo considerato, le quali possono determinare spostamenti e valori di distorsione angolare non compatibili con l'integrità strutturale del manufatto esaminato;
- Analisi delle differenze tra le velocità medie registrate all'interno dell'infrastruttura e quelle registrate nelle immediate vicinanze delle stesse, nel tentativo di capire se il valore misurato dipende da un cedimento o una deformazione dell'infrastruttura, o se è dovuto semplicemente ad un comportamento comune dell'intera porzione di territorio su cui insiste l'infrastruttura stessa.

#### 5.4.7.1 Interazione tra PS e rete viaria

A differenza degli edifici, per le strade non si dispone di un *layer* poligonale suddiviso in diversi oggetti (in singoli edifici), ma di un unico grande oggetto poligonale che rappresenta l'intera rete viaria.

La rete viaria è stata quindi suddivisa in una serie di sub - poligoni sulla base di una griglia regolare con celle di dimensioni 50 m x 50 m (Fig. 5.34). All'interno dei poligoni creati a partire dall'intersezione tra la griglia e il poligono della rete viaria sono stati calcolati i vari parametri statistici e la VLos media.

Il poligono della rete viaria iniziale è stato preventivamente allargato eseguendo un *buffer* di 3 m per prevenire la possibilità che alcuni PS ricadenti all'interno delle strade, possano fuoriuscire da esse a causa dell'errore planimetrico, falsando così i successivi calcoli basati sui differenziali di velocità.

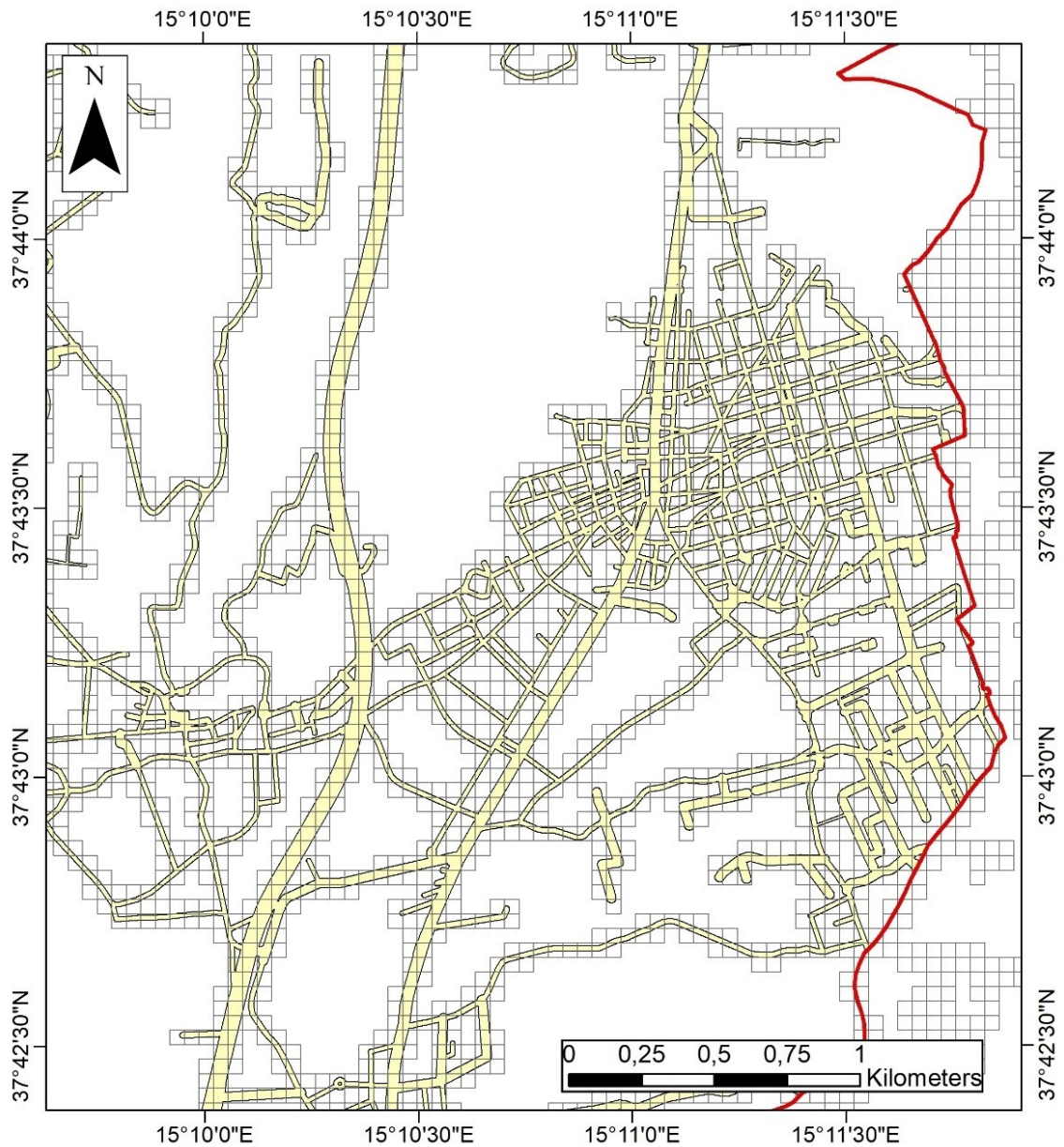


Fig. 5.34 - Suddivisione dello shapefile della rete viaria in celle di dimensioni 50 m x 50 m.

Suddividendo in questo modo la rete viaria, si vengono a creare, soprattutto lungo le terminazioni e i confini stradali, dei poligoni di dimensioni minori. Una suddivisione di questo tipo però rimane sicuramente quella meno arbitraria possibile e statisticamente più corretta.

Applicando uno *Spatial join* (separatamente per le due geometrie) tra i PS e il *layer* della rete viaria, è stato possibile assegnare ad ogni poligono diversi parametri statistici (Fig. 5.35) su cui è stata basata poi la categorizzazione in funzione della pericolosità.

Strade_ASC_DEF								
OBJECTID 1 *	Shape *	Join Count	VLOS MEDIA	MIN	MAX	DEV STD	RANGE	VLOS ASS
669	Polygon	7	0,714286	-1,5	5,5	2,288689	7	1,285714
1009	Polygon	11	-0,227273	-3	2,5	1,55505	5,5	1,136364
416	Polygon	5	-0,3	-2	4	2,439262	6	1,9
843	Polygon	10	0,85	-0,5	5	1,81123	5,5	1,15
2074	Polygon	9	-4,888889	-7	-2	1,635118	5	4,888889
1029	Polygon	11	-0,590909	-4	3	1,88173	7	1,409091
205	Polygon	9	2	0	5,5	1,63936	5,5	2
626	Polygon	16	0,5625	-0,5	5	1,590335	5,5	0,8125
1520	Polygon	15	-0,033333	-4	3,5	2,175075	7,5	1,566667
2110	Polygon	4	-4,375	-10	0	4,922313	10	4,375
1582	Polygon	18	0,666667	-4	3,5	2,065116	7,5	1,611111
1918	Polygon	18	-0,333333	-2,5	3	1,455214	5,5	1,111111
1273	Polygon	9	-1,277778	-9,5	0,5	3,103537	10	1,388889

Fig. 5.35 - Parametri statistici calcolati per ogni cella della rete viaria.

I parametri calcolati (Fig. 5.35) sono elencati e spiegati di seguito:

- Il valore della VLos mediata tra tutti i PS ricadenti all'interno di ogni poligono. Questo tipo di media aritmetica però, effettua il calcolo anche tra valori con segno opposto. Per esempio: se in un poligono vi sono due PS, rispettivamente con velocità +10 mm/a e -10 mm/a, la media calcolata sarà 0, indicando un tratto di strada a comportamento stabile; in realtà, il poligono in esame è sottoposto a velocità considerevoli e soprattutto con un importante differenziale di velocità;
- La VLos media in valore assoluto che, a differenza di quella normale, dà indicazioni sulle velocità medie reali a cui sono sottoposte le strade, senza però differenziare i movimenti in allontanamento dal satellite da quelli in avvicinamento;
- La deviazione standard dei valori di VLos dei PS rispetto alla media, che rappresenta un valido strumento per il calcolo dei differenziali di velocità, ma si tratta di un valore statistico che tende ad appiattirsi al crescere dei valori intermedi, tenendo in considerazione l'intera popolazione di dati e non soltanto i termini più estremi (valore minimo e massimo);
- Il valore minimo di VLos tra tutti i punti ricadenti all'interno di ogni poligono;
- Il valore massimo di VLos tra tutti i punti ricadenti all'interno di ogni poligono;
- La differenza di velocità (*range*) tra il valore massimo e il valore minimo. A differenza della deviazione standard questo parametro considera solo i valori estremi della popolazione di dati (rappresenta l'ampiezza del dato),

permettendo di ragionare al meglio sulla possibile distorsione angolare a cui sono sottoposti gli oggetti esaminati senza tener conto dei valori intermedi.

Il calcolo non è avvenuto su tutti i poligoni originari creati a partire dall'intersezione con la griglia; alcune celle infatti sono state eliminate successivamente all'operazione di *spatial join* a causa della mancanza di PS. Su un totale di 8338 poligoni iniziali, i PS ricadono solo in 2134 poligoni in orbita ascendente (25.59 %) e in 2274 poligoni in orbita discendente (27.27 %).

Nonostante l'esigua percentuale di poligoni rimanenti è stata comunque mantenuta una certa continuità nella rete viaria. Nel caso opposto sarebbe stato possibile aumentare le dimensioni delle celle per intercettare un maggior numero di PS per ogni poligono.

Una prima differenziazione tra i poligoni è avvenuta in funzione del parametro *range*, scegliendo un valore di 5 mm/a come soglia per la differenziazione tra poligoni ad alta e bassa pericolosità. Da questa differenziazione sono stati esclusi tutti i poligoni in cui sia il valore minimo che il valore massimo di VLo è risultato compreso tra -1,5 mm/a e +1,5 mm/a, rientrando così nel campo di stabilità.

Tutti i poligoni con *range* < 5 mm/a hanno poi subito un'ulteriore differenziazione tra poligoni a bassa pericolosità e poligoni a pericolosità medio-bassa. La distinzione è avvenuta sulla base del confronto tra le velocità registrate all'interno della strada e quelle registrate nell'intorno delle stesse, entro un *buffer* di 20 m. Il calcolo è stato effettuato per capire se i differenziali di velocità registrati all'interno del poligono sono dovuti a cedimenti dell'infrastruttura o a un movimento generalizzato dell'intero territorio. L'idea di base è che, se aumenta la differenza di velocità tra zona interna ed esterna, è più probabile che il movimento sia dovuto a problemi strutturali piuttosto che ad una caratteristica generale dell'area in esame. Si parla sempre in termini probabilistici poiché in questa fase entrano in gioco numerosi elementi che possono amplificare o sottostimare i valori registrati, come le caratteristiche strutturali dell'edificio, che potrebbero essere stati progettati per sopportare certi differenziali oppure no.

Per effettuare il calcolo è stato dapprima creato un *buffer* di 20 m attorno ad ogni poligono con *range* < 5 mm/a, da cui è stata sottratta con il *tool Erase* la porzione di *buffer* in sovrapposizione con i poligoni adiacenti (Fig. 5.36).

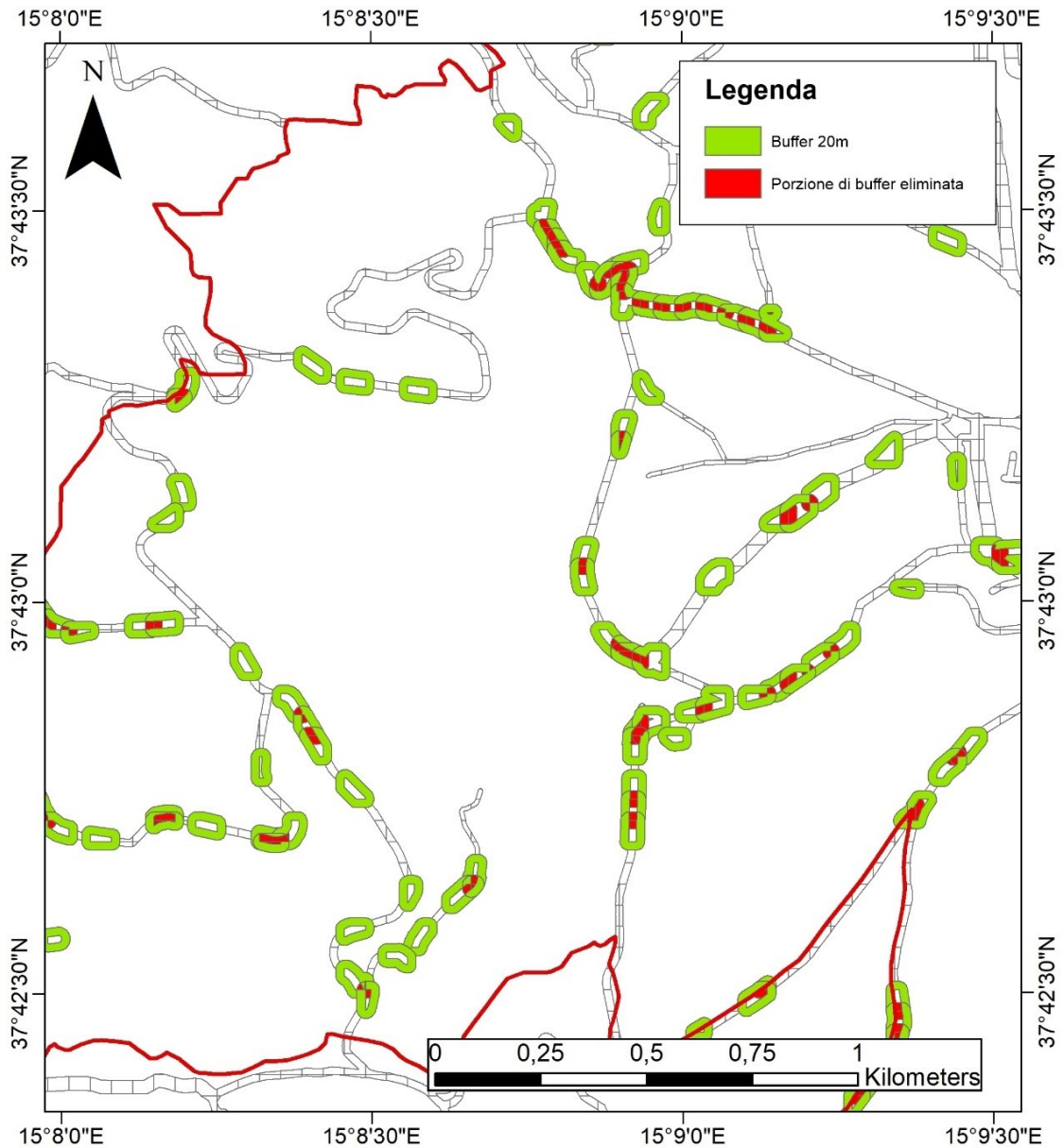


Fig. 5.36 - Buffer di 20 m attorno ai poligoni con range  $< 5 \text{ mm/a}$  nelle prime fasi del calcolo delle differenze di velocità tra zona interna ed esterna all'edificio.

Tramite due *Spatial join* sono stati calcolati i valori di VLos media appartenenti ai poligoni delle strade (attributo "VLos\_strade") e quelli appartenenti alle zone di *buffer* corrispondenti (attributo "VLos\_buffer"). Con un successivo *join* tra le due tabelle si è poi creato un singolo *shapefile* contenente le informazioni relative ad entrambe le velocità (Fig. 5.37).

Vlos strade	Vlos Buffer	Diff Int Est
3,5	-6	2,5
3	2,75	0,25
3	0,875	2,125
2,857143	1,416667	1,440476
2,75	1,033333	1,716667
2,75	1,625	1,125
2,75	1,590909	1,159091
2,75	1,25	1,5
2,714286	1,75	0,964286
2,666667	2	0,666667
2,5	1,357143	1,142857
2,5	0,931818	1,568182
2,5	2,552632	0,052632

Fig. 5.37 - Tabella attributi con informazioni su: velocità all'interno del poligono (Vlos\_strade); velocità all'interno del buffer corrispondente (Vlos\_Buffer); differenza di velocità in valore assoluto tra la zona interna ed esterna.

Nel campo "Diff\_Int\_Est" è stata calcolata la differenza tra le due velocità in valore assoluto. Su questo parametro è stata basata la differenziazione tra le strade a bassa pericolosità e quelle a pericolosità medio-bassa.

In mancanza di informazioni specifiche sulla vulnerabilità delle strade e di competenze ingegneristiche per valutare l'impatto delle velocità sulle singole infrastrutture, è stata utilizzata una soglia mobile pari all'1 percentile più alto della distribuzione, corrispondente ad un valore di 2,6 mm/a per l'orbita ascendente e 1,95 mm/a per l'orbita discendente.

Tutti i poligoni in cui il differenziale di velocità rientra nell'1 percentile dei valori più alti sono stati quindi indicati come a pericolosità medio-bassa, mentre tutti gli altri come a pericolosità bassa. Scegliere dei valori più bassi non è risultato conveniente poiché bisogna tenere in considerazione l'errore strumentale insito nella tecnica dei *Persistent Scatterers*.

In Tab. 5.3 viene mostrato un breve riepilogo statistico delle modalità di categorizzazione sulla base del differenziale di velocità tra zona interna ed esterna.

	ORBITA ASCENDENTE	ORBITA DISCENDENTE
<b>1 PERCENTILE</b>	2,60 mm/a	1,95 mm/a
<b>N° POLIGONI INIZIALI</b>	2134	2274
<b>N° POLIGONI A PERICOLOSITA' BASSA</b>	855	771
<b>N° POLIGONI A PERICOLOSITA' MEDIO-BASSA</b>	9	79

Tab. 5.3 - Riepilogo statistico dei valori soglia e del numero di poligoni assegnati alle categorie di pericolosità bassa e medio-bassa.



Tutti i poligoni con  $range > 5 \text{ mm/a}$  hanno subito invece una suddivisione sulla base del valore della distorsione angolare a cui sono sottoposte le infrastrutture, differenziando le categorie a pericolosità medio-alta da quelle a pericolosità alta. L'obiettivo è quello di individuare eventuali spostamenti differenziali all'interno delle diverse infrastrutture nel periodo considerato, che potrebbero determinare valori di distorsione angolare non compatibili con l'integrità strutturale del manufatto esaminato (Massacci E., Manuale per i dissesti statici: cedimenti e soluzioni tecniche, [www.novatek.it](http://www.novatek.it); Skempton et al., 1956).

A tal fine sono stati selezionati tutti i PS ricadenti all'interno dei poligoni con  $range > 5 \text{ mm/a}$ , che con buona approssimazione possono essere assimilati a quelli in cui si registrano le maggiori differenze in termini di spostamento alla fine del periodo considerato. Successivamente sono state calcolate manualmente tutte le distanze planimetriche tra le coppie di PS che presentano il valore di spostamento minimo e massimo all'interno di ogni singolo poligono (Fig. 5.38), mantenendo separati i *dataset* ascendente e discendente.

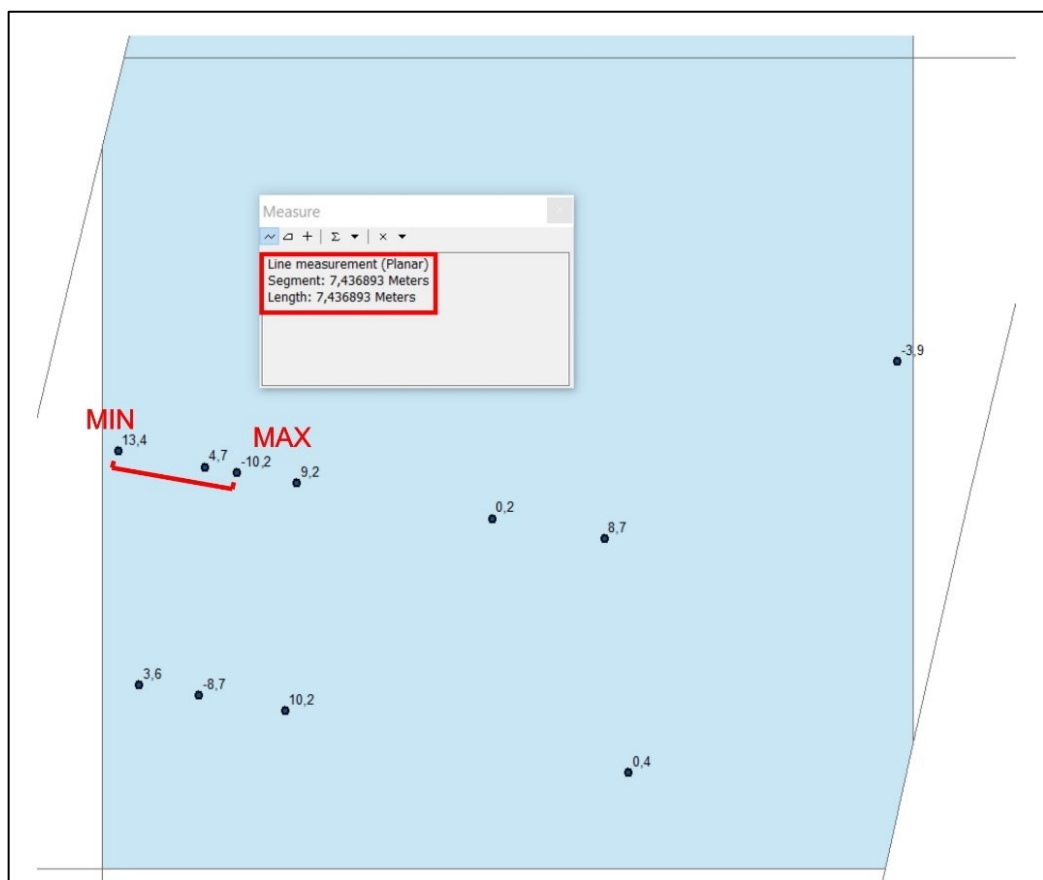


Fig. 5.38 - Calcolo delle distanze planimetriche tra le coppie di PS che presentano le maggiori differenze in termini di spostamento.

Avendo a disposizione un quantitativo minore di strade da analizzare sarebbe stato sicuramente più corretto calcolare il valore di distorsione angolare per tutte le possibili coppie di PS all'interno dello stesso poligono. Dovendo lavorare però su centinaia (o migliaia a seconda della grandezza del comune) di poligoni, la semplificazione adottata è stata quella di considerare soltanto i due punti tra cui si genera la maggiore differenza in termini di spostamento. Il dato corre quindi il rischio di essere sottostimato in quanto una coppia di PS con differenza di spostamento minore e con distanza planimetrica inferiore potrebbe generare una distorsione angolare maggiore. Durante il calcolo nei vari poligoni è stata posta particolare attenzione a questo aspetto e, nei casi più ambigui, è stata calcolata la distorsione angolare su più coppie di punti scegliendo poi quella più elevata. Infine, è stato misurato il valore di distorsione angolare come rapporto tra la differenza in termini di spostamento raggiunta alla fine del periodo esaminato e la distanza tra i due punti sul piano orizzontale (Fig. 5.39).

Dist min m	cedim diff	Distors an
2,65	7	0,002642
2,02	5	0,002475
2,66	5,5	0,002068
3,35	6	0,001791
3,86	6,5	0,001684
3,11	5	0,001608
3,98	6	0,001508
3,39	5	0,001475
3,39	5	0,001475
5,12	7	0,001367
6,65	9	0,001353
4,08	5,5	0,001348
5,56	6,5	0,001169
4,29	5	0,001166
4,74	5	0,001055
7,79	8	0,001027
5,32	5	0,00094
7,62	6	0,000787
7,65	6	0,000784

**Distorsione angolare**

$$\left( |C_{\max} - C_{\min}| / D \right) / 1000$$

$C_{\max}$  = Valore di spostamento massimo (mm)  
 $C_{\min}$  = Valore di spostamento minimo (mm)  
D = Distanza tra minimo e massimo (m)

Fig. 5.39 - Formula per il calcolo della distorsione angolare per i vari sub - poligoni della rete viaria.

Anche in questo caso è stata utilizzata una soglia mobile, questa volta pari al 10 percentile più alto della distribuzione, corrispondente ad un valore di distorsione angolare di 0,004269 per l'orbita ascendente e 0,032196 per l'orbita discendente.

Tutti i poligoni in cui la distorsione angolare rientra nel 10 percentile dei valori più alti sono stati quindi indicati come a pericolosità alta, mentre tutti gli altri sono stati categorizzati come a pericolosità medio-alta.

	ORBITA ASCENDENTE	ORBITA DISCENDENTE
<b>10 PERCENTILE</b>	0,00427	0,03219
<b>N° POLIGONI INIZIALI</b>	2134	2274
<b>N° POLIGONI A PERICOLOSITA' MEDIO-ALTA</b>	29	97
<b>N° POLIGONI A PERICOLOSITA' ALTA</b>	4	11

Tab. 5.4 - Riepilogo statistico dei valori soglia e del numero di poligoni assegnati alle categorie di pericolosità medio-alta e alta.

In ambedue i casi (Tab. 5.3 e Tab. 5.4) si notano dei valori decisamente più alti in geometria discendente.

CATEGORIE DI PERICOLOSITA'					
GRADO PERICOLOSITA'	VALORE DI RANGE	VALORE VLOS	DIFFERENZA VLOS INT-EST	DISTORSIONE ANGOLARE	VALORE PERICOLOSITA'
NO PS	\	\	\	\	\
ASSENTE	BASSO (<5)	MOLTO BASSO ( TRA -1,5 E 1,5)	\	\	0
BASSO	BASSO (<5)	\	BASSA (1 percentile)	\	1
MEDIO-BASSO	BASSO (<5)	\	ALTA (1 percentile)	\	2
MEDIO-ALTO	ALTO (>5)	\	\	BASSA (10 percentile)	3
ALTO	ALTO (>5)	\	\	ALTA (10 percentile)	4

Tab. 5.5 - Riepilogo dei criteri e dei valori soglia per la categorizzazione di pericolosità dei sub - poligoni della rete viaria (valori di VLOS e Range in mm/a).

Dopo aver assegnato i valori di pericolosità ad ogni poligono secondo la classificazione e i criteri illustrati in precedenza (riassunti in Tab. 5.5), sono state ottenute le carte finali della pericolosità basate sulle analisi interferometriche (Fig. 5.40 e Fig. 5.41).

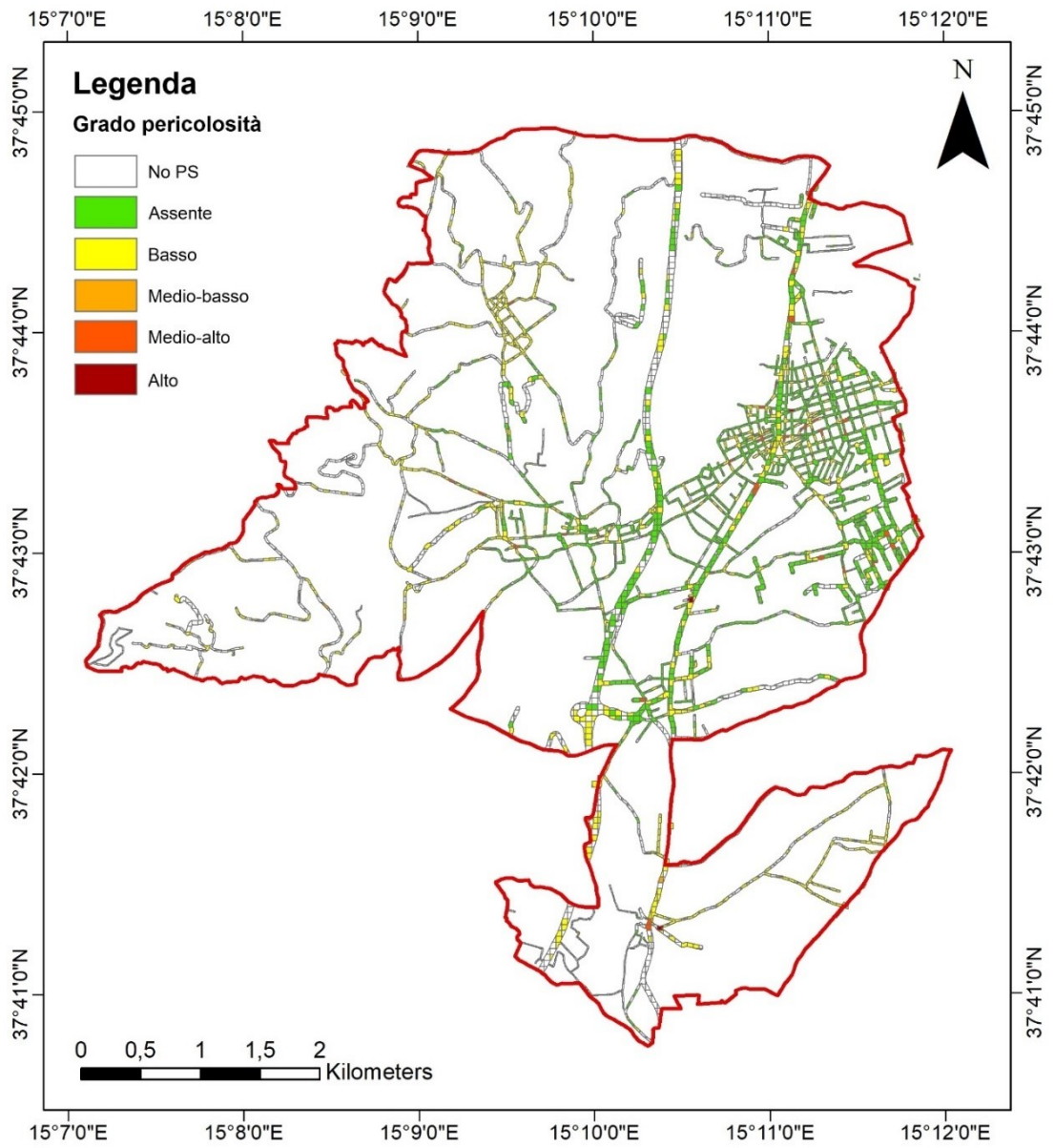


Fig. 5.40 - Mappa finale della pericolosità basata sulle analisi interferometriche - Orbita ascendente.

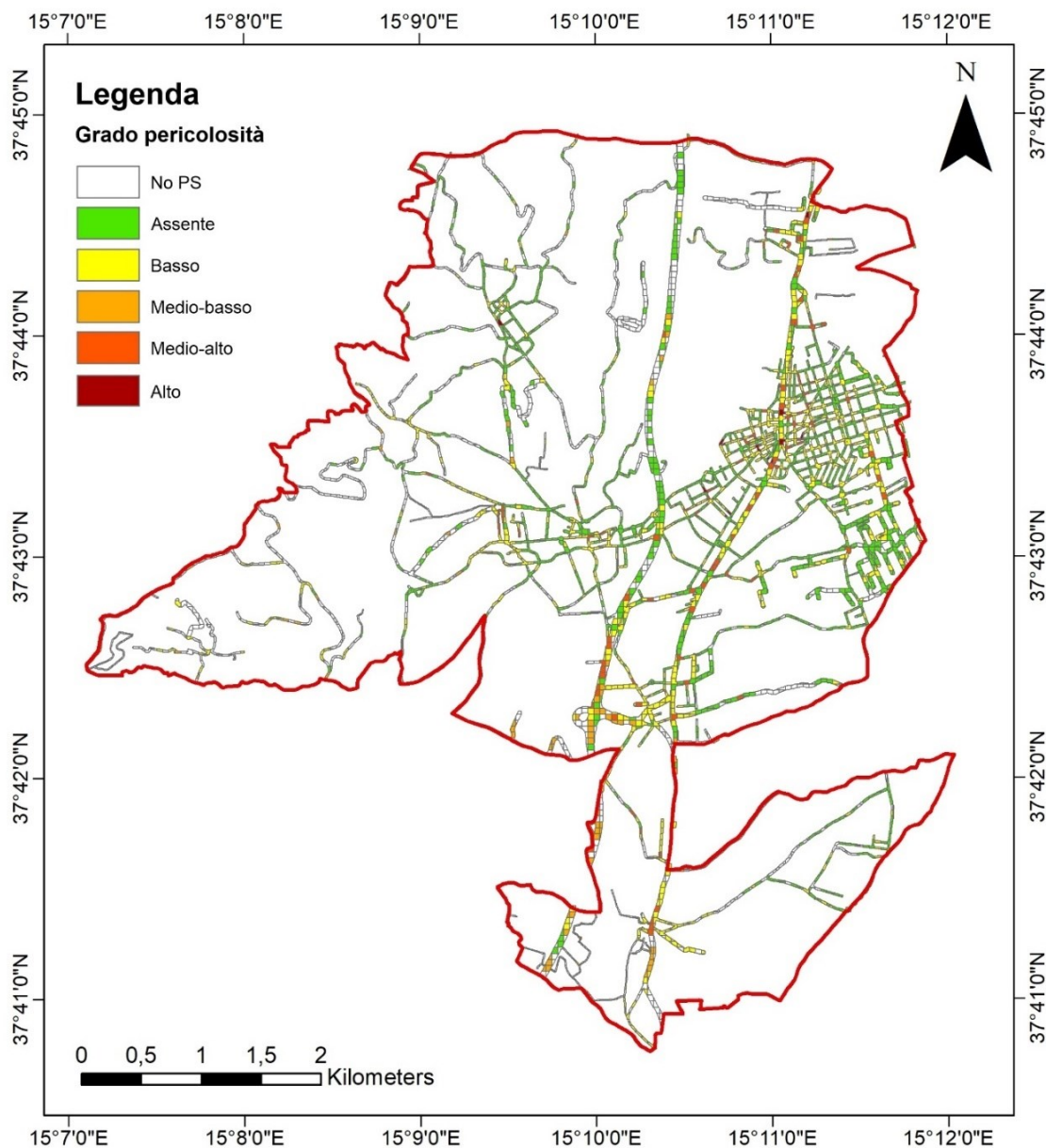


Fig. 5.41 - Mappa finale della pericolosità basata sulle analisi interferometriche - Orbita discendente.

Data la complessità dell'*iter* di categorizzazione e della scelta soggettiva da parte dell'utente riguardo le soglie da utilizzare per la differenziazione tra le varie categorie, variabili a seconda della distribuzione dei valori e del contesto territoriale, risulta impossibile automatizzare l'intero processo.

Sono stati però creati tre *tools* che automatizzano alcune delle fasi spiegate finora, lasciando all'utente un certo grado di libertà di intervento e di valutazione lungo il processo di creazione dell'*output* finale (Fig. 5.42, Fig. 5.44, Fig. 5.47).

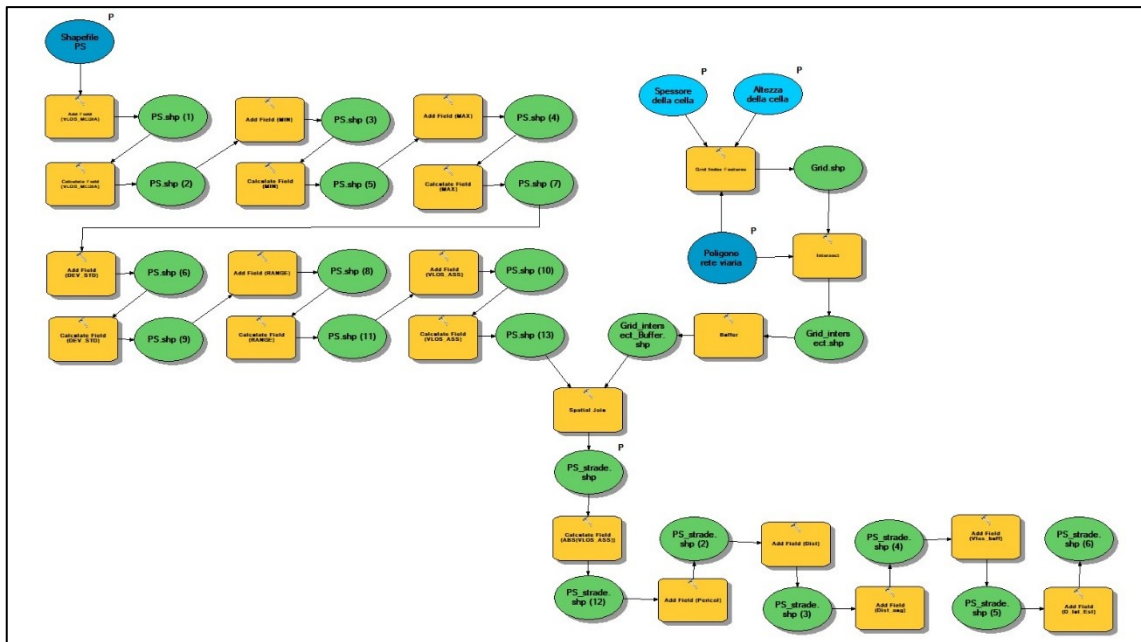


Fig. 5.42 - Struttura del tool per la scomposizione del poligono iniziale della rete viaria secondo una maglia regolare di 50 m x 50 m e per il calcolo di alcuni parametri statistici.

Il primo *tool* (Fig. 5.42) è il più complesso e permette di avviare la fase di scomposizione del poligono iniziale della rete viaria secondo una griglia regolare di maglie di dimensione 50 m x 50 m. Contestualmente vengono aggiunti i campi statistici (VLOS\_MEDIA, MAX, MIN, RANGE, DEV\_STD, VLOS\_ASS), in cui vengono copiati i valori di VLos media del file originario. Successivamente la griglia e i PS vengono coinvolti in un'operazione di *Spatial join* che permette di calcolare la media dei parametri statistici all'interno di ogni campo, tenendo in considerazione la moltitudine di punti che può ricadere all'interno di ogni singolo poligono. Infine il *tool* aggiunge allo *shapefile* risultante i campi che servono, nelle fasi più avanzate, alla differenziazione delle varie categorie (Pericol, Dist, Dist\_Ang, Vlos\_Buff, D\_Int\_Est).

The screenshot shows the 'Analisi PS - Strade' tool interface with the following settings:

- Altezza della cella (optional):** 50 Meters
- Spessore della cella (optional):** 50 Meters
- Poligono rete viaria:** [Dropdown menu]
- Shapefile PS:** [Dropdown menu]
- PS\_strade.shp:** [Dropdown menu]

Fig. 5.43 - Schermata di avvio del tool "Analisi PS – Strade".

Nella schermata di avvio del *tool* (Fig. 5.43) è possibile scegliere la dimensione delle maglie della griglia (valore di *default* = 50 m x 50 m) e aggiungere i due file di *input* per eseguire l'operazione: il poligono della rete viaria e lo *shapefile* con i PS appartenenti a una delle due geometrie di acquisizione.

L'ultima opzione permette di scegliere la *directory* all'interno della quale salvare il file finale, che è stato chiamato "PS\_strade".

Per evitare problemi durante l'esecuzione dei *tools* infatti, risulta consigliabile non cambiare il nome del file finale. Se si desidera effettuare l'analisi su entrambe le geometrie, una delle soluzioni possibili è posizionare i file "PS\_Strade" in due cartelle separate (una per geometria) ma mantenendo il nome del file originario.

Il secondo *tool* (Fig. 5.44) invece prevede una categorizzazione preliminare della pericolosità, selezionando i vari *record* in base ai parametri calcolati con il precedente *tool* e assegnando all'interno del campo "Pericol" la categoria o le categorie di riferimento.

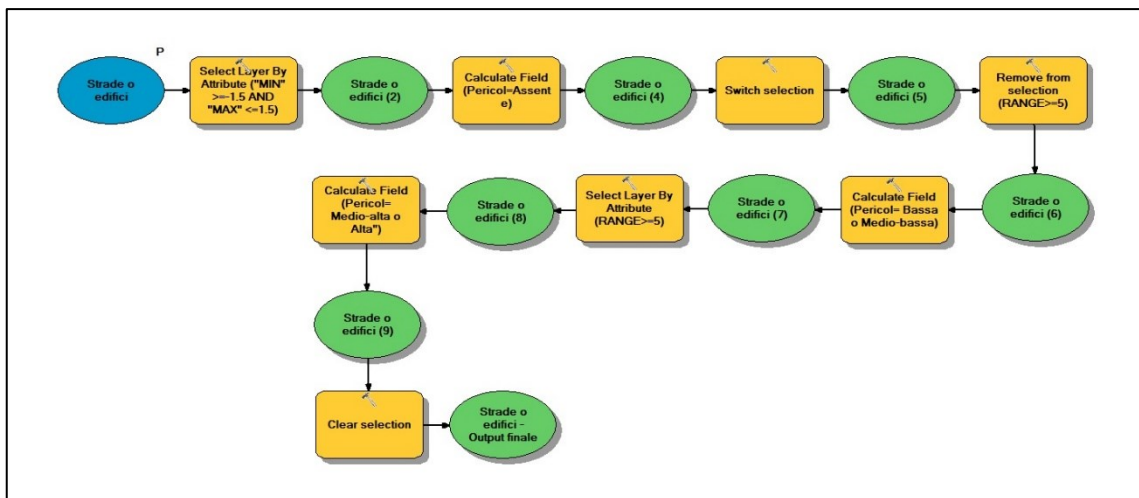


Fig. 5.44 - Struttura del tool per la categorizzazione preliminare della pericolosità in funzione della VLos e del range.

Nello specifico viene assegnata: l'etichetta di pericolosità "Assente" a tutti i poligoni con velocità medie comprese tra -1,5 mm/a e + 1,5 mm/a; l'etichetta di pericolosità "Medio-alta o Alta" a tutti i poligoni con *range*  $\geq 5$  mm/a; l'etichetta "Bassa o Medio-bassa" a quelli con *range*  $< 5$  mm/a ma che non rientrano nel campo di stabilità. I valori soglia utilizzati sono quelli proposti e illustrati in precedenza ma possono essere eventualmente modificati in modo molto semplice variandoli in modalità modifica.

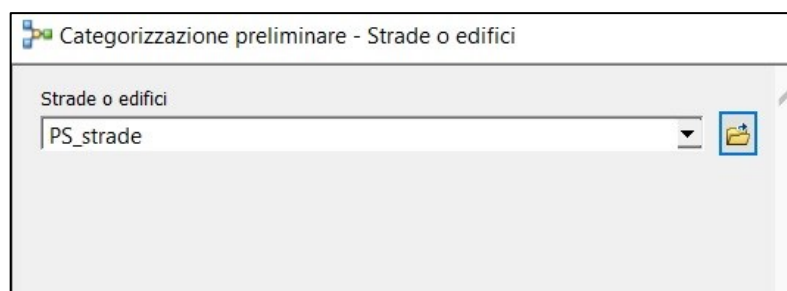


Fig. 5.45 - Schermata di avvio del tool per la categorizzazione preliminare della pericolosità.

L'unico *input* richiesto in questo caso (Fig. 5.45) è il file "PS\_strade", generato automaticamente alla fine del *tool* precedente. Dopo l'applicazione di questi due *tools* si ottiene quindi un file con i *record* suddivisi in tre categorie di pericolosità: "Assente", "Bassa o Medio-bassa", "Medio-alta o alta".

VLOS MEDIA	MIN	MAX	DEV STD	RANGE	VLOS ASS	Pericol
-0,083333	-2,5	1,5	1,88193	4	0,083333	Bassa o Medio-bassa
1,5	1,5	1,5	0	0	1,5	Assente
1,3	-3,5	3,5	1,60134	7	1,3	Medio-alta o Alta
0,5	-1,5	1,5	1,09545	3	0,5	Assente
0,125	-1	1,5	1,10868	2,5	0,125	Assente
-2,5	-2,5	-2,5	0	0	2,5	Bassa o Medio-bassa
-3,55556	-4,5	-3	0,583333	1,5	3,55556	Bassa o Medio-bassa
-4,125	-4,5	-3,5	0,478714	1	4,125	Bassa o Medio-bassa
0	-3,5	1,5	2,34521	5	0	Medio-alta o Alta
1,07143	0	2	0,607493	2	1,07143	Bassa o Medio-bassa
1,16667	1	1,5	0,288675	0,5	1,16667	Assente
0,666667	0	1	0,57735	1	0,666667	Assente
-0,75	-3,5	0,5	1,31762	4	0,75	Bassa o Medio-bassa
0,166667	-4	3	1,69734	7	0,166667	Medio-alta o Alta
0,666667	-0,5	1	0,60553	1,5	0,666667	Assente
1,16667	0,5	1,5	0,57735	1	1,16667	Assente
-0,1875	-0,5	0,5	0,372012	1	0,1875	Assente

Fig. 5.46 - Tabella attributi dell'output finale dopo l'esecuzione del tool per la categorizzazione preliminare della pericolosità.

Le categorie "Bassa o Medio-bassa" e "Medio-alta o alta" necessitano di un intervento manuale per essere ulteriormente distinte nelle loro sotto-categorie, ottenendo finalmente la suddivisione proposta in Tab. 5.5. Per quanto riguarda la differenziazione tra le due categorie a pericolosità più alta ("Medio-alta" o "alta"), essendo basata sui valori di distorsione angolare, deve essere elaborata in maniera totalmente manuale, valutando e misurando caso per caso le distanze tra le varie coppie di PS e la differenza tra i valori di spostamento all'interno di ogni poligono.

Per quanto riguarda invece il gruppo di strade a pericolosità più bassa ("Bassa o Medio-bassa"), è possibile procedere con l'utilizzo di un ultimo *tool* (Fig. 5.47) per il



calcolo della differenza tra la velocità media all'interno del poligono e quella esistente nel corrispettivo *buffer* esterno.

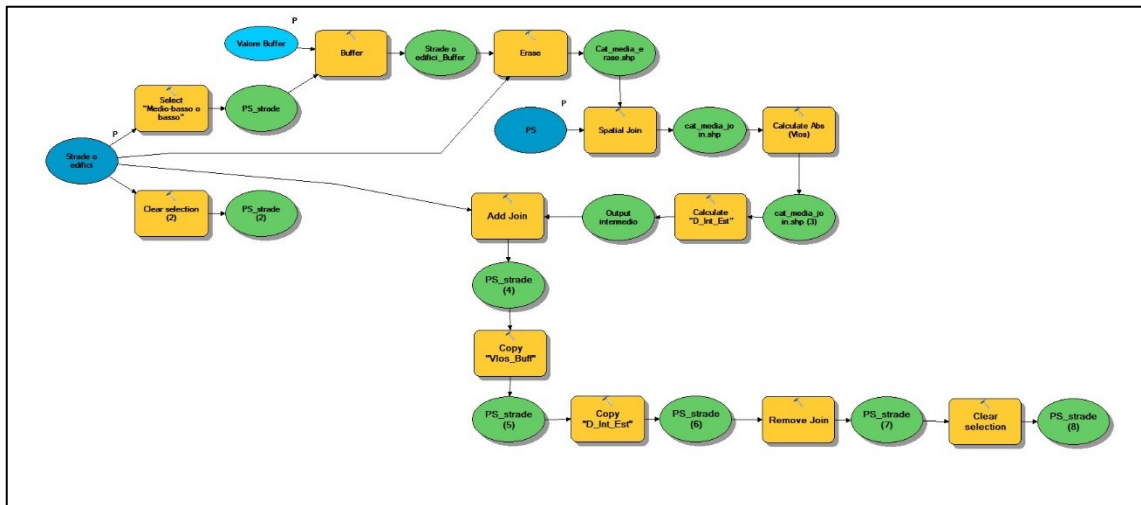


Fig. 5.47 - Struttura del tool per la categorizzazione preliminare della pericolosità in funzione della VLos e del range.

Il tool crea, in prima istanza, un *buffer* attorno agli elementi a pericolosità “Bassa o Medio-bassa” all’interno del quale vengono calcolati i valori medi di velocità. Attraverso un *Join* tabellare tra i *buffer* e il *layer* iniziale, sfruttando il campo “TARGET\_ID”, viene messa in relazione la velocità all’interno del *buffer* con quella originaria presente nei poligoni da cui vengono calcolate le fasce di rispetto. Il valore “Vlos buffer” viene così copiato all’interno del fine originario e viene calcolata la differenza in valore assoluto tra le due velocità all’interno del campo “D\_Int\_Est” (Fig. 5.48).

Pericol	Vlos buff	D Int Est
Bassa o Medio-bassa	15,1667	1,1667
Bassa o Medio-bassa	14,6667	0,6667
Bassa o Medio-bassa	14,5	2,5
Bassa o Medio-bassa	14,5	1
Bassa o Medio-bassa	14,4286	1,0714
Bassa o Medio-bassa	13,375	0,625
Bassa o Medio-bassa	13,1	0,266701
Bassa o Medio-bassa	13,0556	0,4444
Bassa o Medio-bassa	13	1
Bassa o Medio-bassa	13	0,2105
Bassa o Medio-bassa	12,9091	0,3466
Bassa o Medio-bassa	12,8	0,05

Fig. 5.48 - Tabella attributi dell’output finale dopo l’esecuzione del tool per la differenziazione tra categoria medio-bassa e bassa.

All’utente finale spetta poi decidere il valore di percentile per la soglia mobile o quello relativo a una soglia fissa per distinguere i *record* nelle due categorie finali.

#### 5.4.7.2 Interazione tra PS ed edifici

Malgrado non si tratti del *focus* principale del progetto, si è proceduto, in un secondo momento, all'applicazione della metodologia spiegata in precedenza anche agli edifici, per dimostrarne l'applicabilità anche in altri ambiti di studio. Uno degli esempi di applicazione potrebbe essere infatti la valutazione dello stato deformativo degli edifici con valore architettonico e/o culturale, al fine di definirne la vulnerabilità in relazione a fenomeni di dissesto idrogeologico quali alluvioni, frane o subsidenza (Montini et al., 2013). La differenza sostanziale, nel caso degli edifici, è la possibilità di procedere direttamente al calcolo dei vari parametri statistici sui diversi oggetti in carta senza la necessità di suddividere lo shapefile iniziale secondo una griglia regolare di celle.

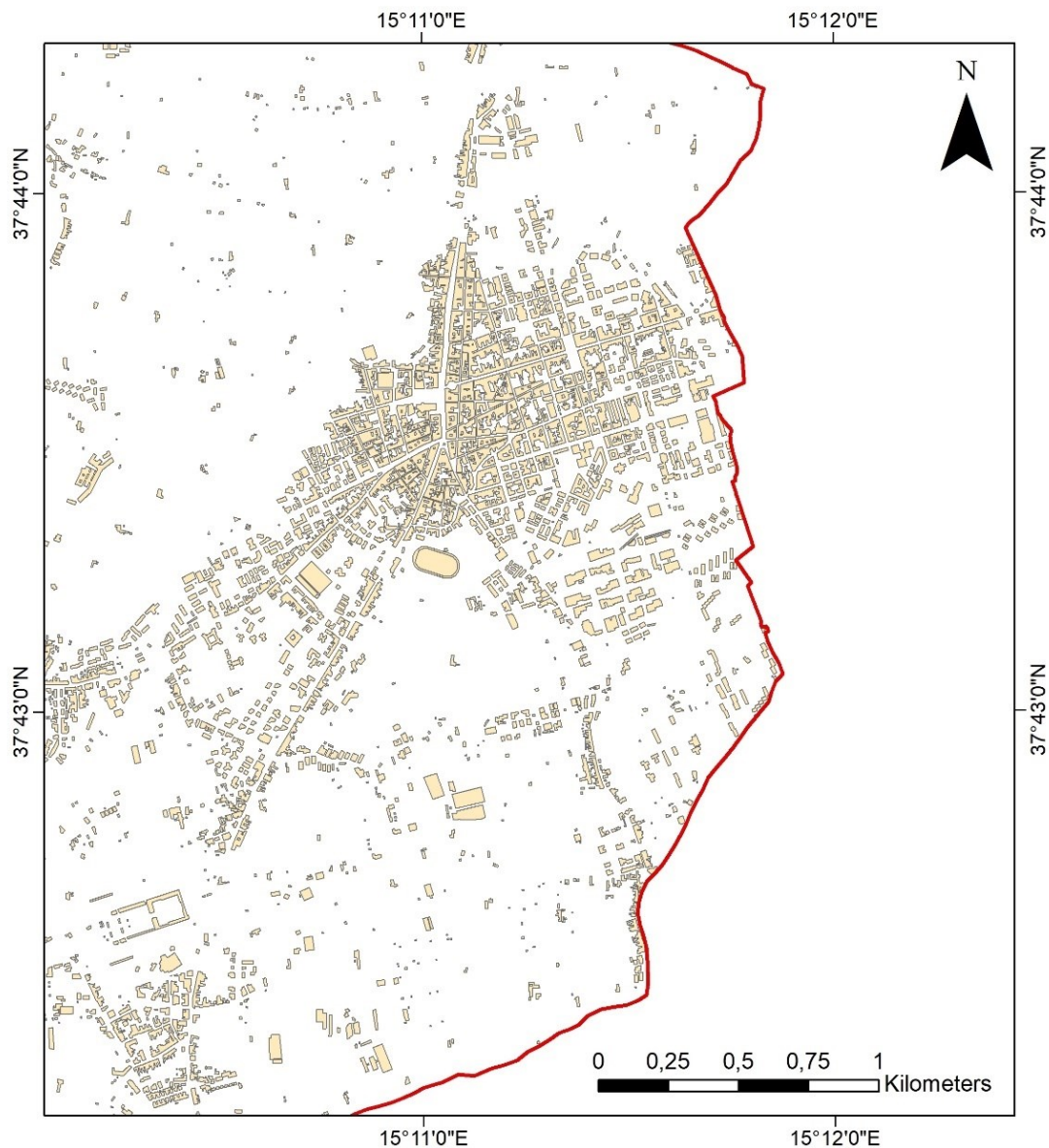


Fig. 5.49 – Layer poligonale degli edifici del comune di Giarre.

Il *layer*, infatti, è suddiviso in una serie di *features* che rappresentano i diversi edifici del territorio comunale (Fig. 5.49). Tutti i calcoli statistici quindi sono stati fatti sfruttando i limiti di questi poligoni.

Anche in questo caso non è stato considerato il perimetro esatto dei poligoni originali, ma la loro dimensione è stata aumentata tramite un *buffer* di 3 m. Tramite una verifica a campione, è stato infatti verificato che alcuni PS ricadenti poco al di fuori degli edifici possiedono in realtà la stessa quota dei PS ricadenti all'interno. Un metodo ancora più preciso, ma applicabile solo in alcuni contesti, è quello di calcolare in maniera automatica la deviazione standard dei valori di quota all'interno dell'edificio e quella immediatamente all'esterno per applicare il *buffer* solo laddove necessario, cioè dove è evidente la disomogeneità dei valori di quota, che testimonia l'esistenza di un errore planimetrico nel posizionamento del PS.

Il metodo risulta però difficilmente applicabile al comune di Giarre, dove gli edifici hanno di rado un valore di altezza tale da mettere in evidenza scostamenti di quota significativi, tali da superare in maniera netta la soglia d'errore insita nella misura di altitudine tramite la tecnica dell'interferometria SAR.

La procedura, da qui in avanti, è del tutto analoga a quella utilizzata per la categorizzazione delle strade, con la suddivisione in sei categorie di pericolosità come mostrato in Tab. 5.5.

	ORBITA ASCENDENTE	ORBITA DISCENDENTE
1 PERCENTILE	3,5 mm/a	3,275 mm/a
N° POLIGONI INIZIALI	2545	2885
N° POLIGONI A PERICOLOSITA' BASSA	1025	1011
N° POLIGONI A PERICOLOSITA' MEDIO-BASSA	35	45

Tab. 5.6 - Riepilogo statistico dei valori soglia e del numero di poligoni assegnati alle categorie di pericolosità bassa e medio-bassa nel caso degli edifici.

In Tab. 5.6 sono mostrati i risultati della differenziazione in edifici a “bassa” e “medio – bassa” pericolosità sulla base della differenza di velocità media tra interno ed esterno dell'edificio (rappresentato anche in questo caso da un *buffer* di 20 m attorno ad ogni poligono). La differenziazione tra la categoria “medio – alta” e “alta” è avvenuta, come spiegato nel precedente paragrafo, tramite il calcolo della distorsione angolare

generata dalle coppie di PS con maggiore differenza di spostamento all'interno di ogni edificio. La Tab. 5.7 mostra un riepilogo dei valori soglia utilizzati e dei risultati ottenuti.

	ORBITA ASCENDENTE	ORBITA DISCENDENTE
10 PERCENTILE	0,006639	0,029861
N° POLIGONI INIZIALI	2545	2885
N° POLIGONI A PERICOLOSITA' MEDIO-ALTA	74	130
N° POLIGONI A PERICOLOSITA' ALTA	9	15

Tab. 5.7 - Riepilogo statistico dei valori soglia e del numero di poligoni assegnati alle categorie di pericolosità medio-alta e alta nel caso degli edifici.

Anche per gli edifici esistono valori di pericolosità moderatamente più elevati in orbita discendente (Fig. 5.50 e Fig. 5.51):

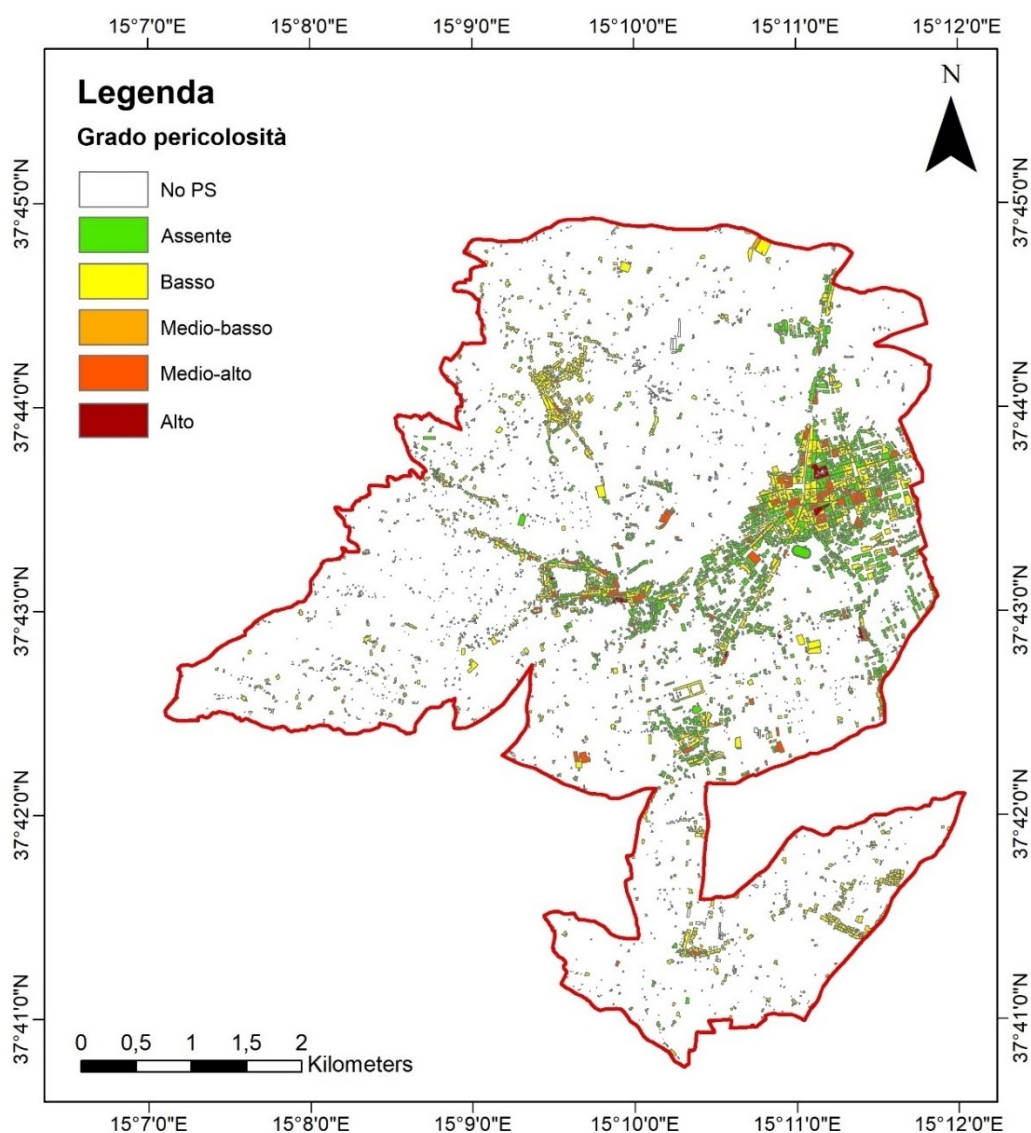


Fig. 5.50 - Mappa di pericolosità per gli edifici a partire dai dati interferometrici – Orbita ascendente.

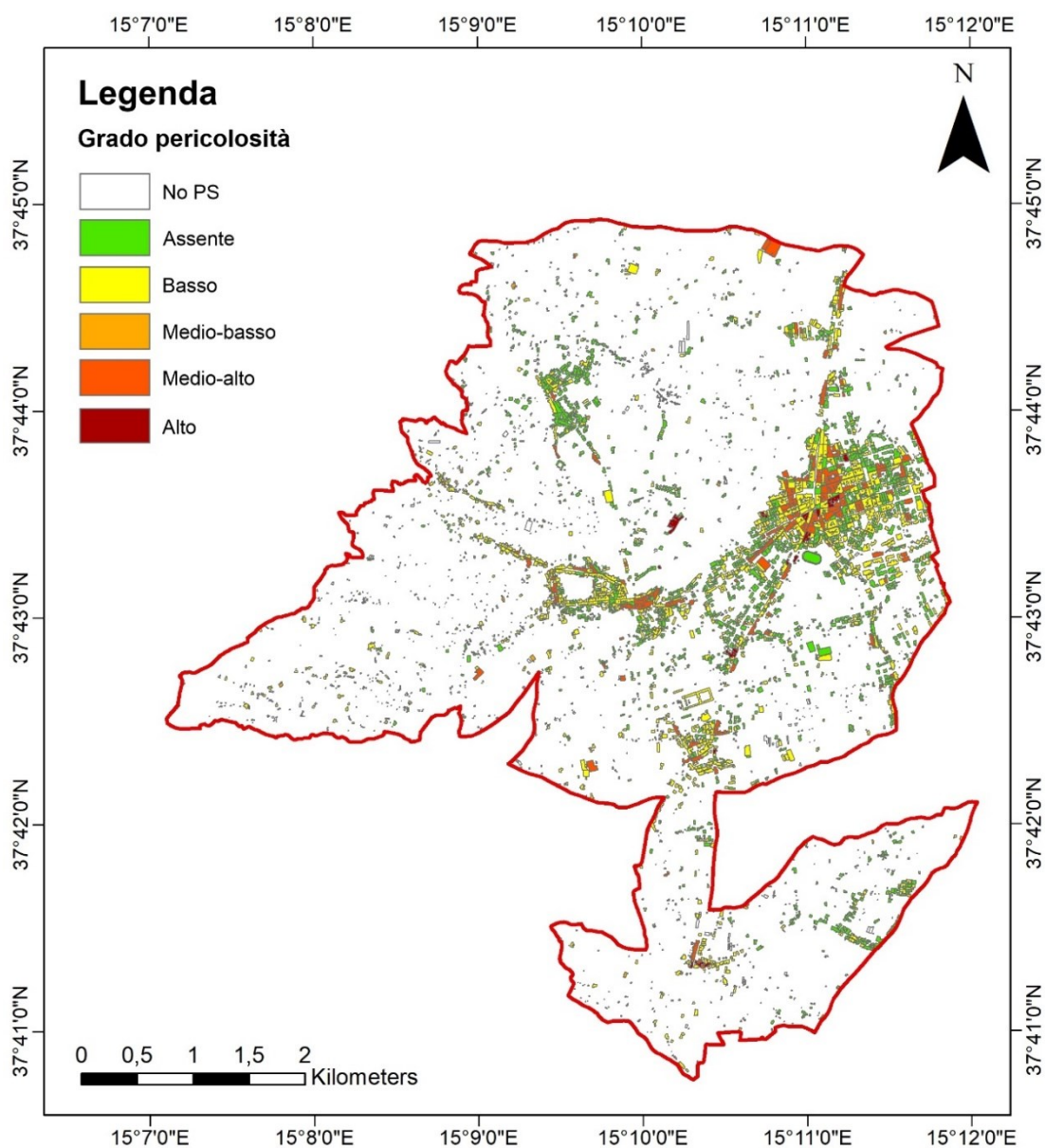


Fig. 5.51 - Mappa di pericolosità per gli edifici a partire dai dati interferometrici – Orbita discendente.

#### 5.4.8 Pericolosità dovuta ad eventuale crollo di edifici

Un'altra valutazione riguarda l'effetto che potrebbe avere il crollo o il distacco di parte degli edifici sulla viabilità e quali strade tendono a essere più soggette al pericolo a causa della vicinanza con i suddetti edifici.

Per determinare ciò, prima di prendere in considerazione le sedi stradali, è stata calcolata l'area di influenza dei possibili crolli e/o distacchi di materiale a partire dagli edifici maggiormente soggetti a fenomeni di cedimento differenziale. Sono stati quindi presi in considerazione tutti i poligoni identificati come a pericolosità "medio-alta" e "alta" nella precedente analisi, ossia quelli con valore di *range* > 5 mm/a. Se è vero che

gli edifici più problematici sono quelli caratterizzati da valori elevati di distorsione angolare, è anche vero che una determinata area può essere interessata dalla contemporanea vicinanza di due o più edifici, fattore che aumenta la probabilità che quella determinata porzione di territorio sia interessata da fenomeni di questo tipo.

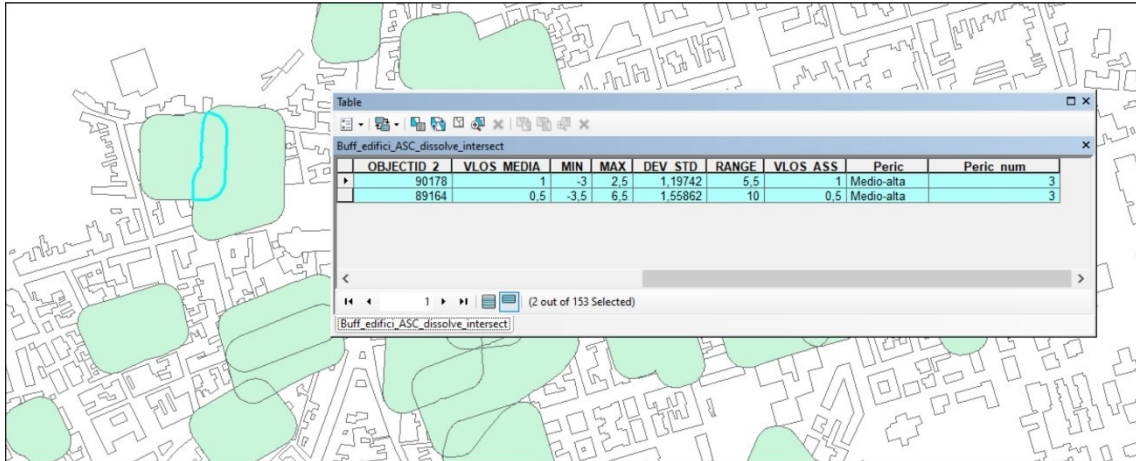


Fig. 5.52 - Sovrapposizioni tra fasce di rispetto di edifici limitrofi.

Dopo aver applicato un *buffer* di 20 m (scelto considerando l'altezza media degli edifici comunali, poco variabile considerando la grandezza della città) a ogni poligono appartenente alla categoria "medio-alta" e "alta", si formano infatti delle sovrapposizioni tra le varie fasce di rispetto. Tali sovrapposizioni sono state analizzate singolarmente, sommando il valore di pericolosità numerico associato ad ogni poligono sovrapposto.

In Fig. 5.52, due *buffer* derivanti da edifici a pericolosità "medio-alta" (valore numerico = 3) si intersecano, creando una zona di sovrapposizione il cui grado finale è dato dalla somma dei valori numerici di pericolosità appartenenti ai due edifici di partenza. Come risultato finale si evince che le aree interessate dal crollo di un singolo edificio hanno valore 3, mentre la zona di sovrapposizione assume valore 6, potendo essere interessata dal crollo di entrambi gli edifici.

Ovviamente i casi possono essere anche più complessi di quello appena descritto, soprattutto nei pressi del centro abitato, dove la vicinanza tra gli edifici provoca sovrapposizioni più articolate (Fig. 5.53).

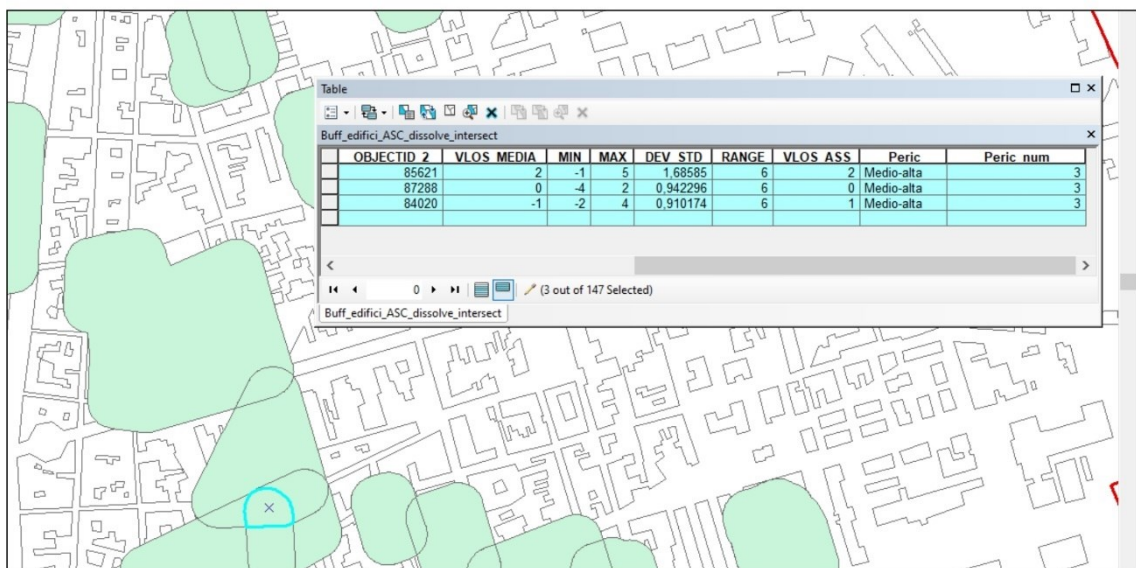
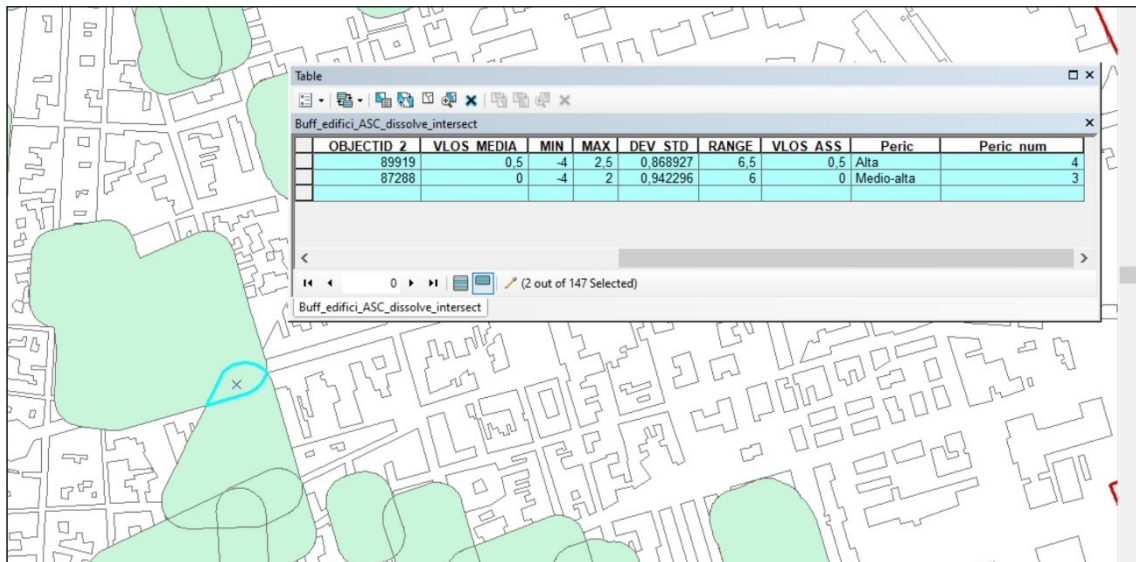


Fig. 5.53 - Sovrapposizioni complesse tra buffer di edifici all'interno del centro abitato.

In Fig. 5.53 sono mostrati due esempi di questo tipo: nel primo caso vi è una sovrapposizione tra due *buffer* appartenenti a edifici a diversa pericolosità iniziale; nel secondo vi è la sovrapposizione di addirittura tre diversi *buffer*.

È chiaro come questa fase necessiti obbligatoriamente di un intervento manuale per essere gestita, unendo con un *Merge* i diversi poligoni sovrapposti e andando a sommare manualmente i valori di pericolosità provenienti dai singoli *buffer* di partenza.

La fase precedente, che va dalla selezione dei poligoni ad una certa pericolosità, la creazione dei *buffer* e delle sovrapposizioni, fino ad arrivare alla classificazione di pericolosità, è stata automatizzata attraverso la creazione del *tool* denominato "Pericolosità da crollo" (Fig. 5.54).

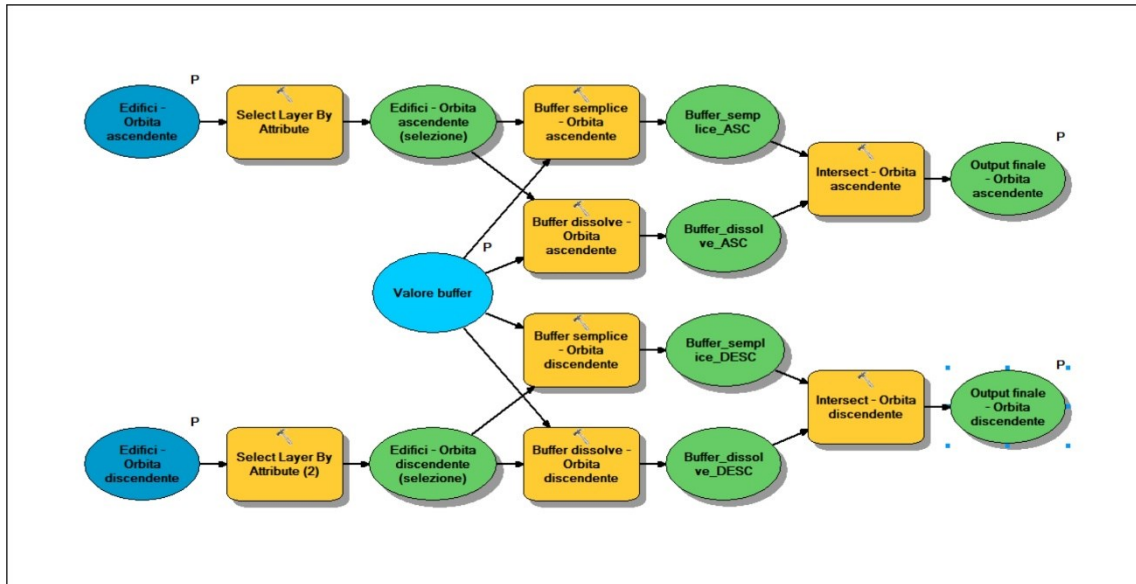


Fig. 5.54 - Struttura del tool "Pericolosità da crollo".

Il tool agisce sul layer degli edifici lavorando simultaneamente sui dati di entrambe le geometrie di acquisizione. Dopo aver selezionato i poligoni a “medio-alta” e “alta” pericolosità, il tool esegue una doppia operazione di *buffer*. Il primo è un semplice *buffer* attorno agli elementi selezionati che mantiene separate le fasce di rispetto derivanti da edifici differenti. Nel secondo caso si tratta di un *buffer* con l’aggiunta dell’opzione *Dissolve all* che permette di unire tutte le entità poligonali generate in un unico *record*.

Questa doppia operazione di *buffer* serve ad ottenere, dopo la fase di *Intersect* tra il *buffer* semplice e il *buffer* con *dissolve*, un *output* finale senza le sovrapposizioni tra i poligoni, se non nelle aree in cui effettivamente le fasce di rispetto si intersecano.





Nel caso di Giarre sono stati ottenuti dei valori variabili da 3 a 11 per l'orbita ascendente e da 3 a 15 per l'orbita discendente. Questi valori sono stati categorizzati con una scala cromatica dal verde al rosso, suddivisa in 5 classi (oltre alla classe con colore bianco, che comprende gli edifici in cui non ricade alcun PS e di cui quindi non si dispongono informazioni).

Di seguito sono riportate le carte della pericolosità da crollo prodotte con la metodologia sopra descritta per entrambe le geometrie di acquisizione (Fig. 5.57 e Fig. 5.58):

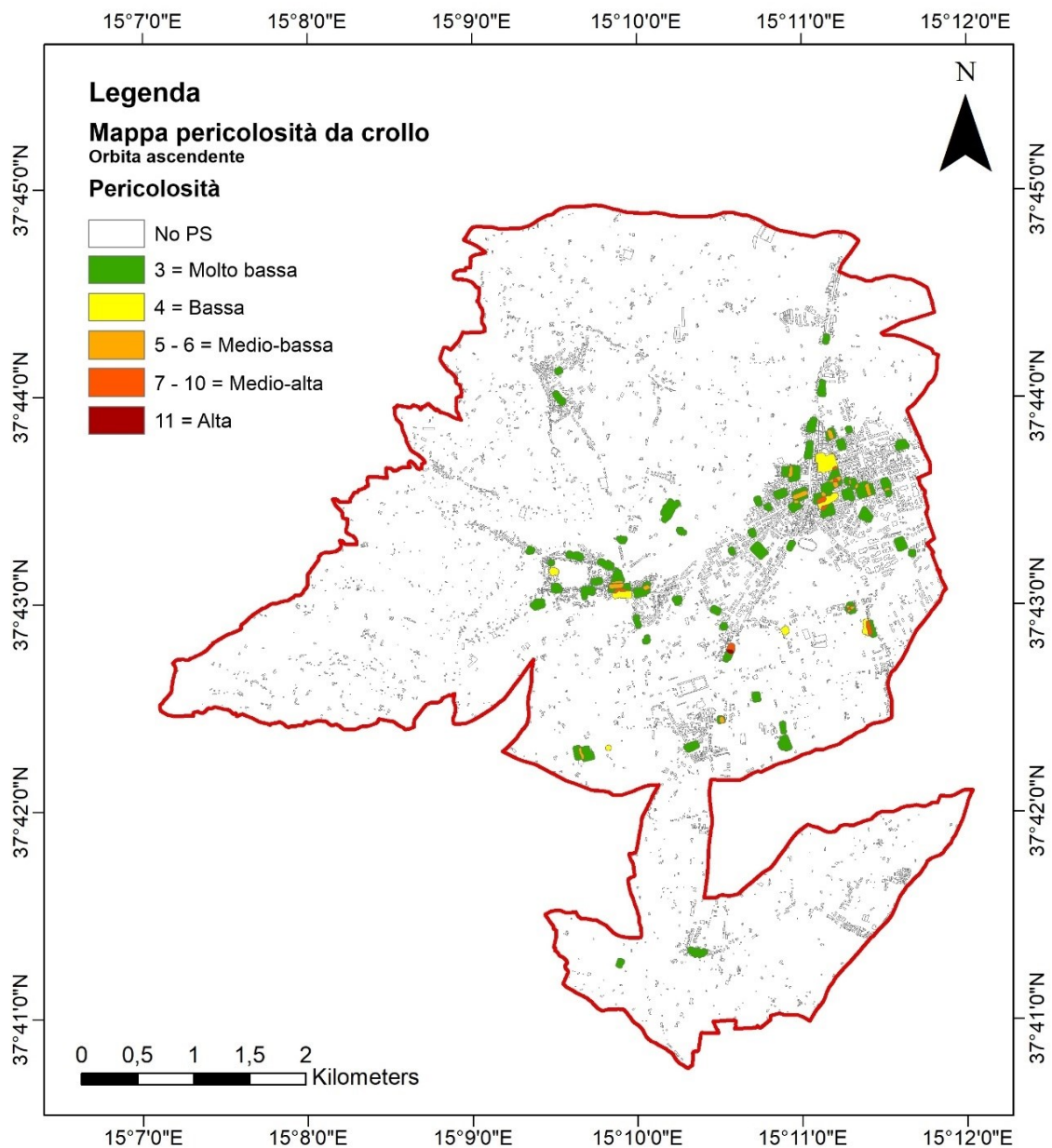


Fig. 5.57 – Mappa della pericolosità da crollo – Orbita discendente.

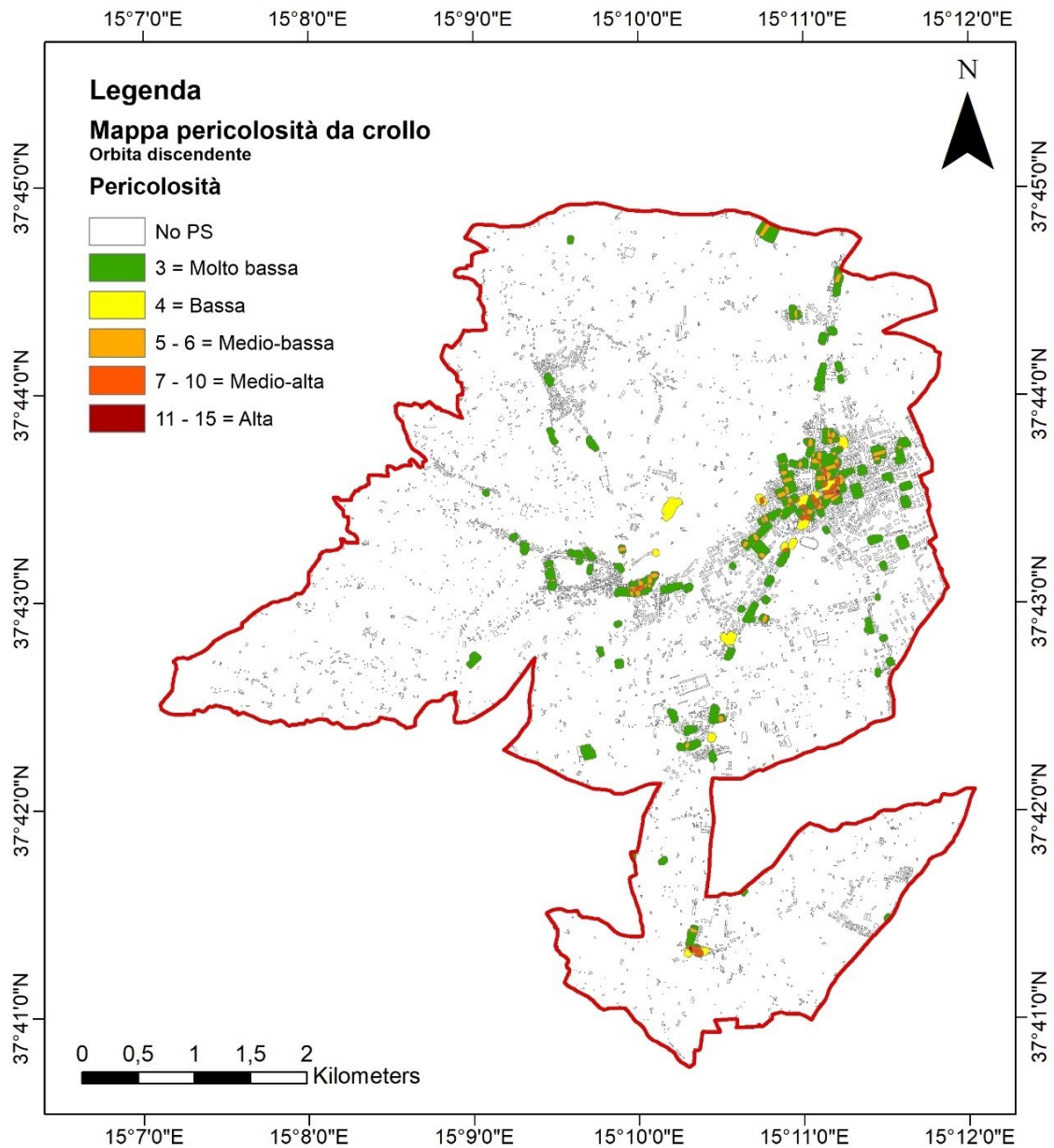


Fig. 5.58 - Mapa della pericolosità da crollo – Orbita ascendente.

#### 5.4.9 Scomposizione del moto

Tutti i valori di velocità e di spostamento su cui sono basate le analisi precedentemente descritte, sono dati misurati lungo la LOS del satellite. Come suggerito dalla Fig. 5.5, tali valori possono differire di molto, in termini assoluti, da quelli realmente esistenti lungo i vettori di spostamento reali. La disponibilità di dati PS elaborati in entrambe le orbite, però, migliora sensibilmente la quantità e la qualità delle informazioni ricavabili sul fenomeno analizzato. È possibile infatti combinare i dati di velocità media forniti dalle due geometrie, risalendo così all'orientazione del vettore velocità sia sul piano orizzontale (E-W) che su quello verticale (*Zenit - Nadir*). La

componente di deformazione N-S, invece, non può essere misurata per la natura stessa di questa metodologia, dato che i sensori attualmente operativi seguono orbite all'incirca parallele ai meridiani terrestri.

Già tramite l'osservazione della distribuzione delle velocità medie lungo la LOS, in orbita ascendente e discendente, è comunque possibile ottenere informazioni sul cinematisimo in atto. Infatti, disesti caratterizzati da movimenti prevalentemente verticali (es. la zona in subsidenza indicata in Fig. 5.29), hanno una velocità di deformazione simile in entrambe le geometrie. Al contrario, le deformazioni caratterizzate da una componente di movimento prevalentemente orizzontale sono caratterizzate da valori di velocità nelle due orbite diversi e spesso di segno opposto.

Per combinare i due *dataset* bisogna tenere in considerazione che i bersagli *radar* non sono mai perfettamente coincidenti nelle due geometrie di acquisizione. Per effettuare la scomposizione del moto, è dunque necessario procedere con un ricampionamento dei dati PS secondo una maglia regolare.

L'area di interesse è stata quindi suddivisa in celle, le cui dimensioni sono state scelte in funzione della densità dei dati PS. Quanto più un'area è intensamente urbanizzata, tanto più si può ridurre il passo della maglia di ricampionamento. Come già avvenuto per il calcolo dei parametri statistici nelle varie strade comunali, è stata scelta una dimensione delle celle di 50 m per lato.

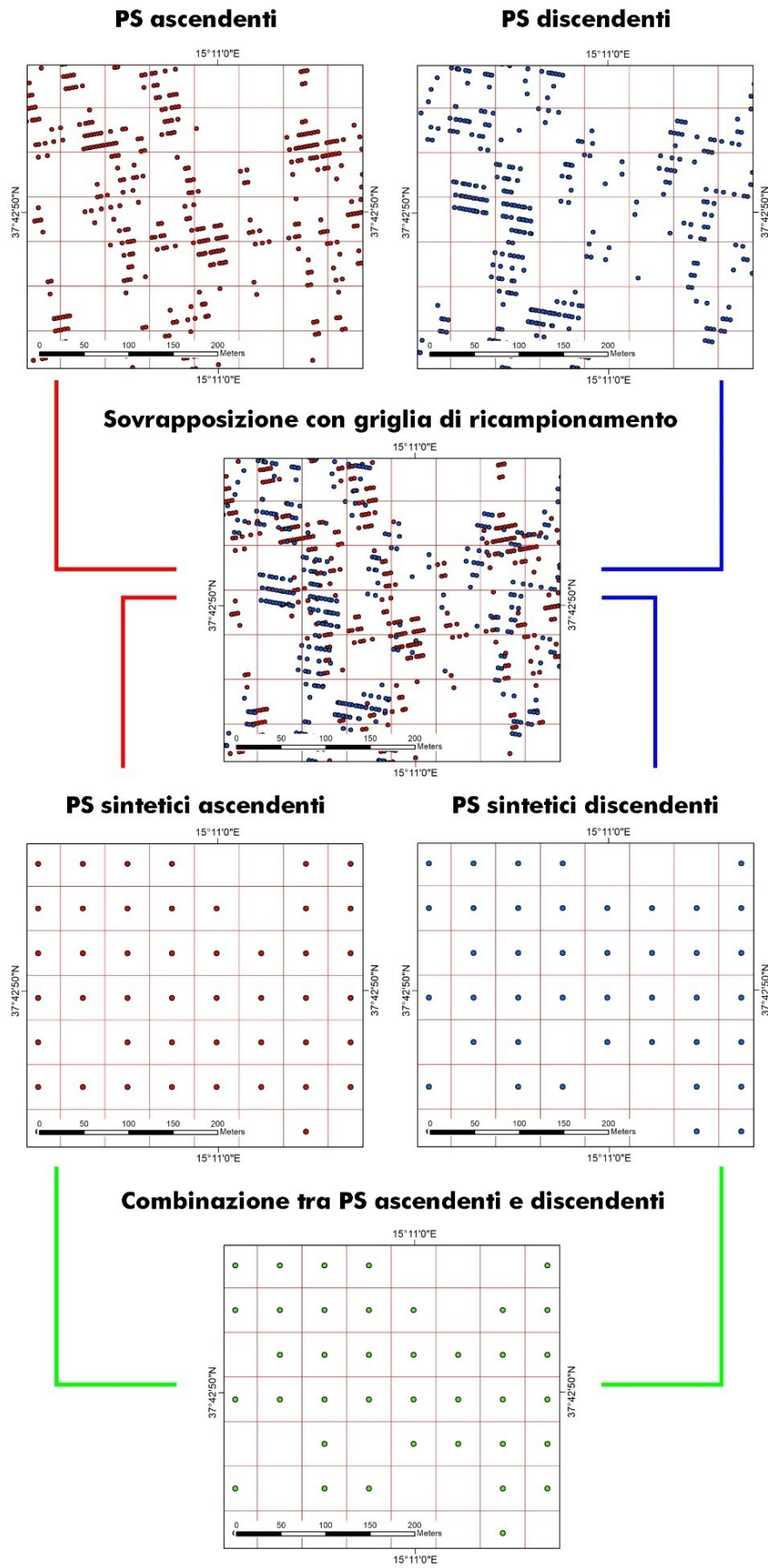


Fig. 5.59 – Workflow della procedura per l’ottenimento degli pseudo PS per la combinazione delle informazioni derivanti dalle due geometrie di acquisizione di partenza (ascendente e discendente).

In Fig. 5.59 è stato schematizzato il *workflow* che, partendo dai due *dataset* distinti per geometria di acquisizione, mostra i passaggi da eseguire per ricavare un unico file con la combinazione delle due geometrie.

Tramite la sovrapposizione tra la griglia di ricampionamento e i due *dataset* originari, sono state calcolate tutte le velocità medie dei PS ricadenti all'interno di ogni singola cella per entrambe le geometrie di acquisizione, ottenendo così due griglie separate con un numero di celle variabile in funzione delle relazioni spaziali tra PS e griglia. A partire da queste celle sono stati ricavati i centroidi geometrici, che rappresentano i PS sintetici (o pseudo PS) con i valori mediati ricavati a partire dai *dataset* originali.

Tramite il *tool Spatial join* sono state unite le informazioni relative ai centroidi appartenenti alle due geometrie, ottenendo un singolo *shapefile* con la combinazione dei due *set* di dati.

I valori di velocità registrati lungo le orbite ascendenti e discendenti ( $V_{asc}$  e  $V_{desc}$ ) sono stati poi combinati geometricamente per ottenere le velocità lungo la direzione verticale e orizzontale ( $V_v$  e  $V_{ew}$ ).

VLOS ASC	VLOS DESC	ANGLE ASC	ANGLE DESC	SEN ASC	COS ASC	SEN DESC	COS DESC
16	-2,25	37,352°	36,615°	0,60671	0,794923	0,596435	0,802661
14,5	-1,5	37,353°	36,6255°	0,606724	0,794913	0,596582	0,802552
14	-1,75	37,36°	36,62675°	0,606821	0,794838	0,5966	0,802539
16,166667	-4,166667	37,312667°	36,660167°	0,606164	0,795339	0,597068	0,802191
15,5	-3,5	37,338°	36,63775°	0,606516	0,795071	0,596754	0,802424
10,75	1,125	37,413833°	36,55725°	0,607568	0,794268	0,595626	0,803262
15,375	-3,75	37,31175°	36,6725°	0,606152	0,795349	0,59724	0,802062
12,791667	-1,2	37,37975°	36,6066°	0,607095	0,794629	0,596317	0,802749
12,125	-0,625	37,38375°	36,58275°	0,607151	0,794587	0,595983	0,802997
12,75	-1,25	37,378°	36,6125°	0,607071	0,794648	0,5964	0,802687
13	-1,5	37,378°	36,6125°	0,607071	0,794648	0,5964	0,802687
12,5	-1	37,396°	36,576°	0,60732	0,794457	0,595889	0,803067
15,5	-4	37,311°	36,673°	0,606141	0,795357	0,597247	0,802057
13,888889	-2,444444	37,342°	36,646778°	0,606571	0,795029	0,59688	0,80233
13,357143	-1,916667	37,3645°	36,632167°	0,606884	0,794791	0,596675	0,802483

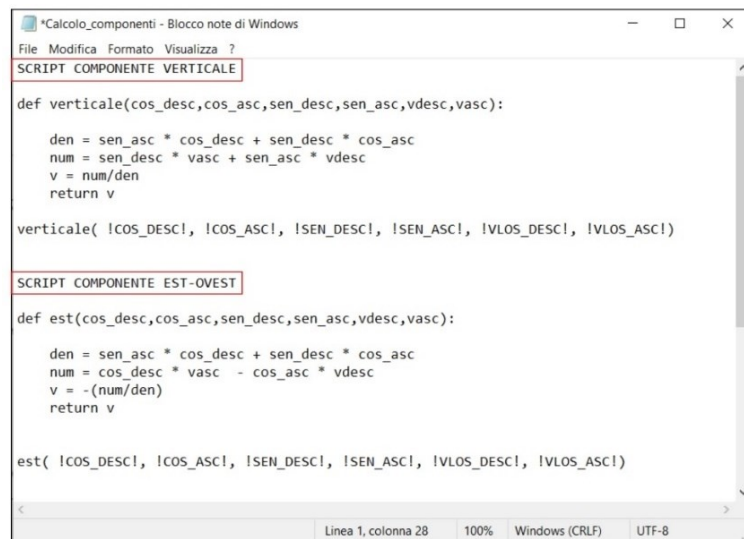
Fig. 5.60 - Tabella attributi dei PS sintetici con i campi necessari per il calcolo delle componenti  $V_v$  e  $V_{ew}$ .

A tale scopo, insieme ai valori di velocità media, sono stati trasferiti nello *shapefile* finale anche alcuni parametri geometrici (Fig. 5.60), come gli angoli di incidenza (ANGLE\_ASC e ANGLE\_DESC) e i loro valori di seno e coseno (SEN\_ASC, SEN\_DESC, COS\_ASC, COS\_DESC).

Ipotizzando come trascurabile la velocità orizzontale di deformazione in direzione N-S, la  $V_v$  e la  $V_{ew}$  si ottengono attraverso la risoluzione, cella per cella, del seguente sistema:

$$\begin{cases} V_{asc} = Vv \cos \alpha + Vew \sin \alpha \\ V_{desc} = Vv \cos \delta + Vew \sin \delta \end{cases}$$

In cui  $\alpha$  e  $\delta$  indicano rispettivamente gli angoli di incidenza in geometria ascendente e discendente, che oscillano dai  $36^\circ$  ai  $37^\circ$  (<http://www.pcn.minambiente.it/GN/images/documenti/leggi/LINEE%20GUIDA%20PER%20ANALISI%20DI%20DATI.pdf>). Per semplificare e automatizzare il processo di calcolo delle componenti sono state create due funzioni in linguaggio *Python*, da sfruttare attraverso il *Field Calculator* di *ArcGIS*, all'interno di due campi appositamente aggiunti relativi alle due diverse componenti.



```
*Calcolo_componenti - Blocco note di Windows
File Modifica Formato Visualizza ?
SCRIPT COMPONENTE VERTICALE

def verticale(cos_desc,cos_asc,sen_desc,sen_asc,vdesc,vasc):

    den = sen_asc * cos_desc + sen_desc * cos_asc
    num = sen_desc * vasc + sen_asc * vdesc
    v = num/den
    return v

verticale(!COS_DESC!, !COS_ASC!, !SEN_DESC!, !SEN_ASC!, !VLOS_DESC!, !VLOS_ASC!)

SCRIPT COMPONENTE EST-OVEST

def est(cos_desc,cos_asc,sen_desc,sen_asc,vdesc,vasc):

    den = sen_asc * cos_desc + sen_desc * cos_asc
    num = cos_desc * vasc - cos_asc * vdesc
    v = -(num/den)
    return v

est(!COS_DESC!, !COS_ASC!, !SEN_DESC!, !SEN_ASC!, !VLOS_DESC!, !VLOS_ASC!)

Linea 1, colonna 28 100% Windows (CRLF) UTF-8
```

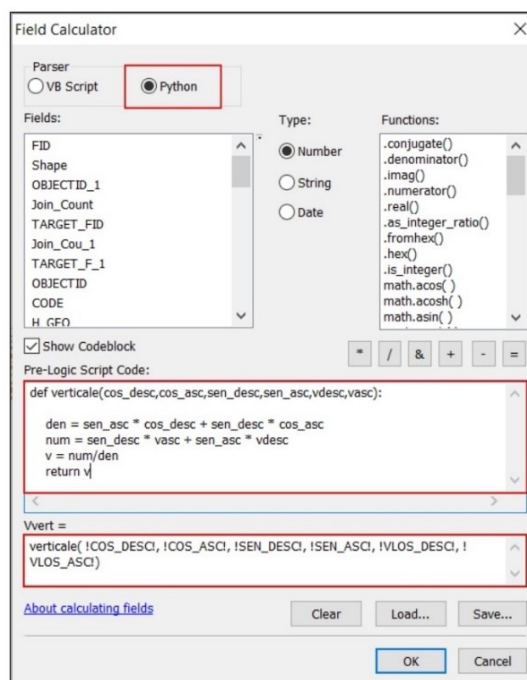


Fig. 5.61 - Utilizzo degli script Python per il calcolo delle componenti  $Vv$  e  $Vew$  tramite il *Field Calculator* di *ArcGIS*.

Questo metodo permette di applicare il sistema descritto tramite l'equazione precedente in maniera veloce e immediata all'intero del *layer* relativo ai PS sintetici, frutto della combinazione tra PS ascendenti e PS discendenti.

VLOS_ASC	VLOS_DESC	ANGLE_ASC	ANGLE_DESC	SEN_ASC	COS_ASC	SEN_DESC	COS_DESC	Vew	Vvert
16	-2.25	37.352°	36.615°	0.60671	0.794923	0.596435	0.802661	-15.0401	8.64863
14.5	-1.5	37.353°	36.6255°	0.606724	0.794913	0.596582	0.802552	-13.1856	8.177
14	-1.75	37.36°	36.62675°	0.606821	0.794838	0.5966	0.802539	-12.9775	7.70597
16.166667	-4.166667	37.312667°	36.660167°	0.606164	0.795339	0.597068	0.802191	-16.7721	7.54395
15.5	-3.5	37.338°	36.63775°	0.606516	0.795071	0.596754	0.802424	-15.6632	7.54649
10.75	1.125	37.413833°	36.55725°	0.607568	0.794268	0.595626	0.803262	-7.92093	7.47544
15.375	-3.75	37.31175°	36.6725°	0.606152	0.795349	0.59724	0.802062	-15.7758	7.30811
12.791667	-1.2	37.37975°	36.6066°	0.607095	0.794629	0.596317	0.802749	-11.5235	7.29376
12.125	-0.625	37.38375°	36.58275°	0.607151	0.794587	0.595983	0.802997	-10.4999	7.23646
12.75	-1.25	37.378°	36.6125°	0.607071	0.794648	0.5964	0.802687	-11.5308	7.23591
13	-1.5	37.378°	36.6125°	0.607071	0.794648	0.5964	0.802687	-11.9426	7.23591
12.5	-1	37.396°	36.576°	0.60732	0.794457	0.595889	0.803067	-11.1144	7.23765
15.5	-4	37.311°	36.673°	0.606141	0.795357	0.597247	0.802057	-16.0854	7.22946
13.888889	-2.444444	37.342°	36.646778°	0.606571	0.795029	0.59688	0.80233	-13.4637	7.1975
13.357143	-1.916667	37.3645°	36.632167°	0.606884	0.794791	0.596675	0.802483	-12.5838	7.19716
13.53125	-2.125	37.357625°	36.62625°	0.606788	0.794864	0.596593	0.802544	-12.9009	7.17497
12.9	-1.5	37.38°	36.607°	0.607098	0.794627	0.596323	0.802745	-11.8597	7.17318
12.454545	-1.0625	37.382818°	36.600875°	0.607138	0.794597	0.596237	0.802808	-11.1318	7.16844
11.333333	0	37.407°	36.568°	0.607473	0.79434	0.595776	0.80315	-9.32826	7.1338

Fig. 5.62 - Componenti Vv e Vew calcolate con l'utilizzo degli script Python.

Avendo ottenuto i valori delle due componenti per tutti i punti della griglia (Fig. 5.62), è stato possibile riapplicare il metodo di interpolazione deterministico IDW sui valori della componente verticale ed est-ovest ottenendo i risultati mostrati nelle figure seguenti:



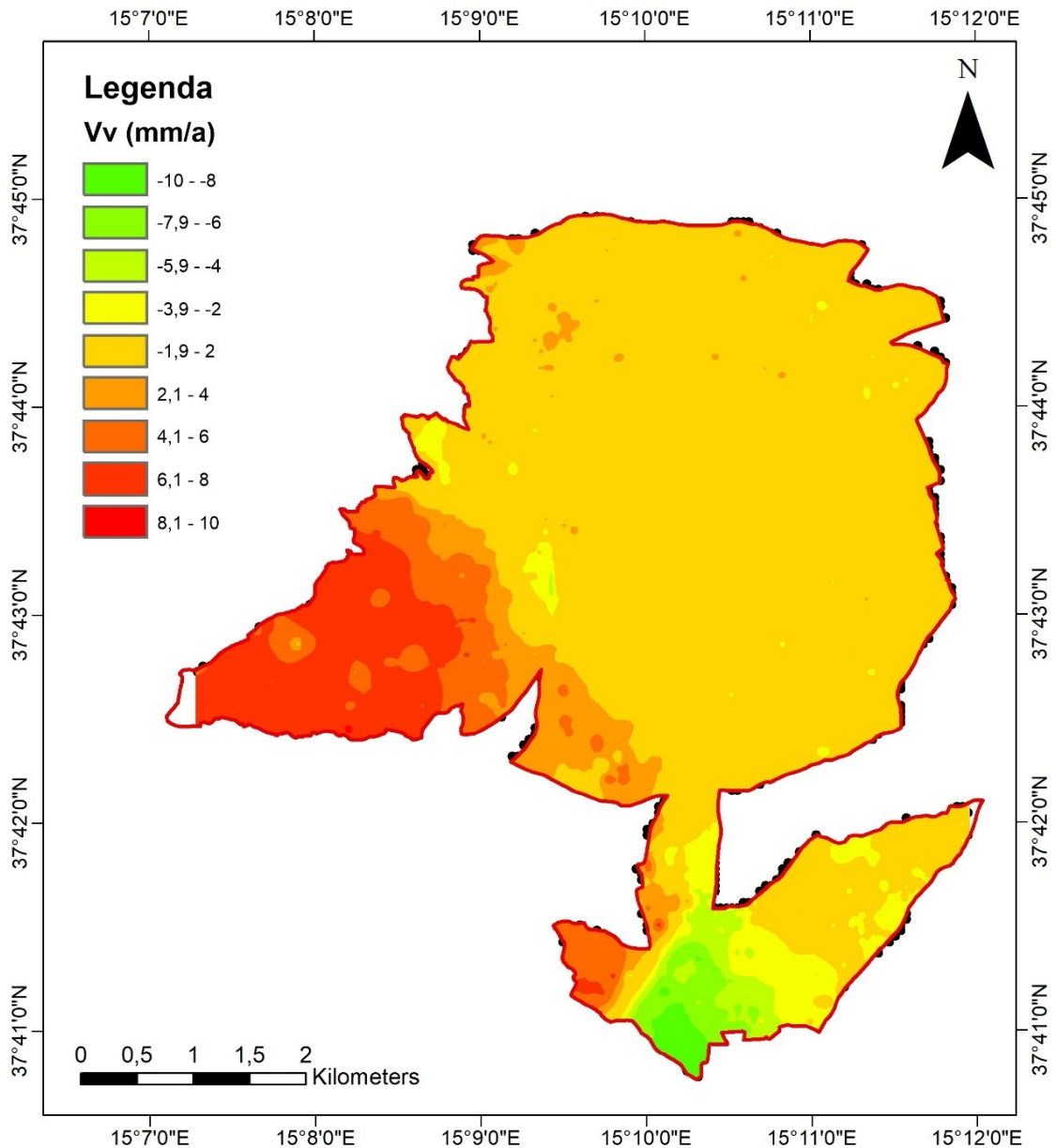


Fig. 5.63 - Interpolazione IDW della componente Vv.

Per quanto concerne la velocità verticale (Fig. 5.63), i valori negativi evidenziano le zone in abbassamento, mentre i valori positivi indicano le zone che in sollevamento.

Dall'interpolazione della  $V_v$  risulta evidente che l'unica zona in abbassamento relativo sia quella identificata in rosso in Fig. 5.29 e conosciuta come *Graben* di S. Leonardello, mentre la porzione più occidentale del comune sembra essere interessata dalla presenza di un gradiente di sollevamento che aumenta verso ovest.

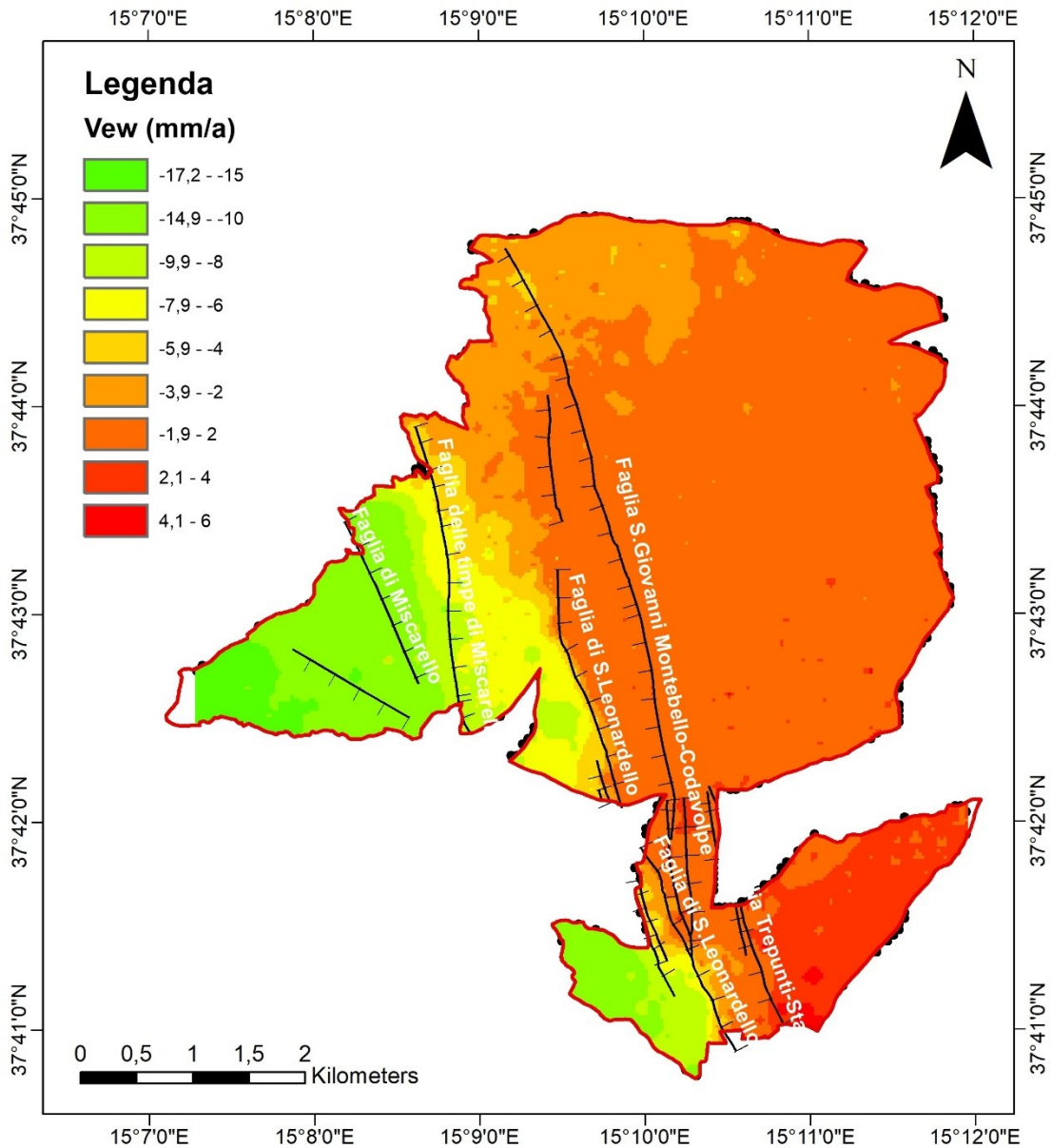


Fig. 5.64 - Interpolazione IDW della componente Vew.

La velocità est-ovest (Fig. 5.64), come già intuito dall'analisi individuale delle due geometrie è influenzata in maniera netta dalla situazione tettonica dell'area. In particolare, vi è una brusca variazione della componente orizzontale proprio in corrispondenza della faglia di S. Leonardello, dove si registrano, soprattutto nella zona più a sud, delle differenze importanti tra l'area a ovest e a est della faglia, le quali arrivano talvolta a valori di velocità pari a 20-25 mm/a.

Nel caso della componente orizzontale, le velocità con segno negativo dovrebbero indicare spostamenti verso ovest, mentre termini positivi dovrebbero indicare spostamenti verso est.

L'uso del condizionale, allo stato attuale, risulta d'obbligo; le misure interferometriche, infatti, sono per definizione differenziali e devono essere sempre riferite ad una zona assunta come riferimento. Solo conoscendo con esattezza il comportamento e il valore di velocità di tale zona è possibile individuare un *offset* di velocità da applicare ai PS in modo tale da tararli e renderli informativi anche dal punto di vista assoluto, riuscendo a stimare con più accuratezza le direzioni reali di movimento.

In questo lavoro non sono stati presi in considerazione eventuali movimenti generalizzati dell'intera area e pertanto i valori di velocità assoluti potrebbero risultare non affidabili. Eventuali movimenti assoluti potranno essere investigati in futuri approfondimenti integrando, ad esempio, delle misure GNSS acquisite da stazioni permanenti all'interno dell'area comunale.

In prima approssimazione si può sostenere che, consultando i valori di velocità orizzontale dai dati SAR disponibili (ERS1, ERS2, ENVISAT; da INGV - Catania) nell'area etnea dal 1992 al 2010 (Fig. 5.65) riferiti a Catania (a circa 30 km dall'abitato di Giarre), l'intera area sembra subire un movimento abbastanza uniforme verso est, come confermato da numerosi studi accennati nel Cap. 1 (Borgia et al., 1992; Lo Giudice & Rasà, 1992; Rust and Neri, 1996; Rasà et al., 1996; Azzaro, 1999; Bonforte et al., 2011; Urlaub et al., 2018) .

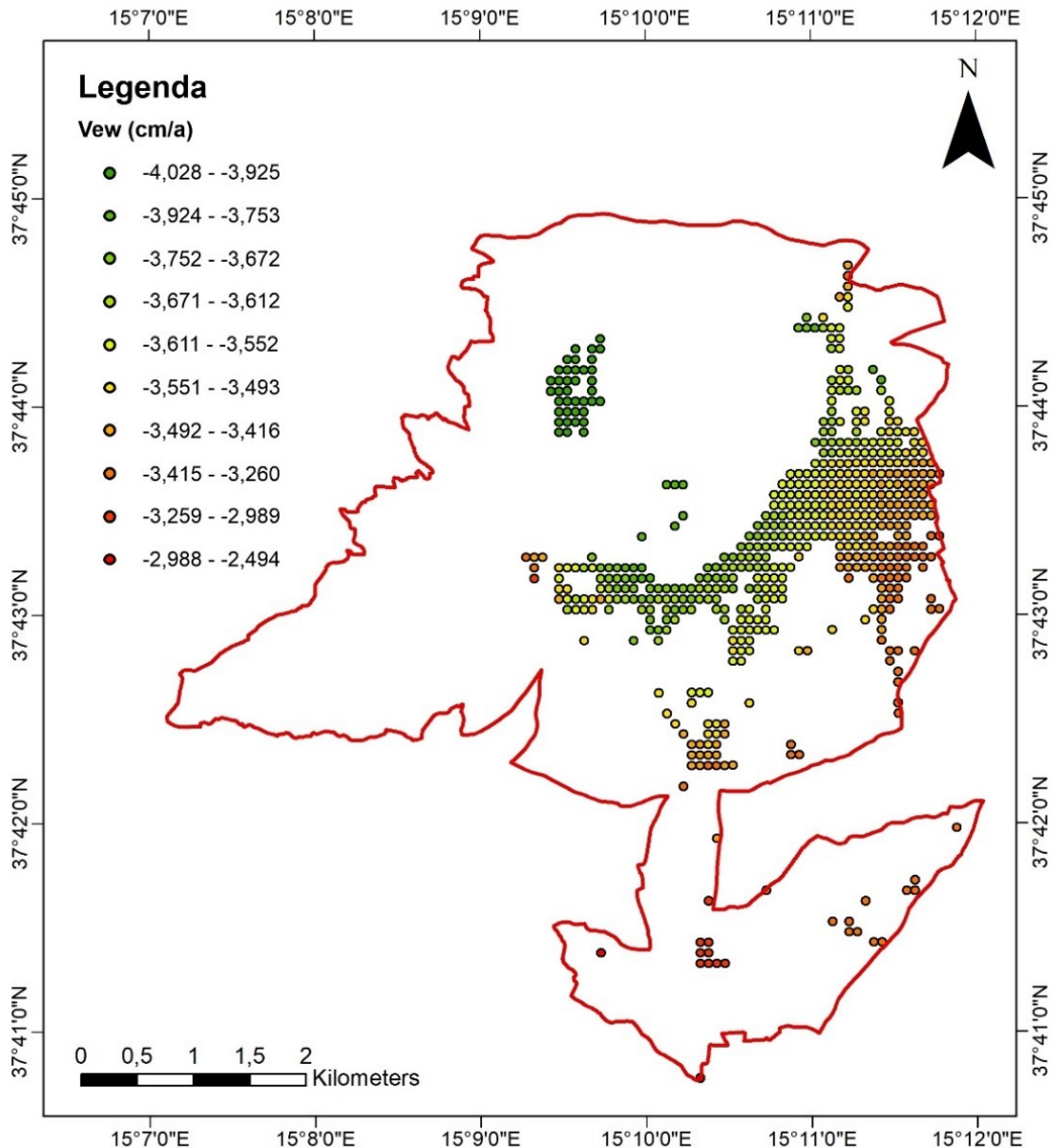


Fig. 5.65 - Valori di velocità orizzontale disponibili nell'area etnea dal 1992 al 2010 (INGV Catania).

In questo caso i valori risultano espressi in cm/a (velocità media dal 1992 al 2010) e i segni negativi indicano spostamenti in direzione est.

Ne risulta che, avendo a disposizione dei dati GPS o dei dati SAR con punti di riferimento nelle vicinanze del comune d'interesse, i PS potrebbero essere tarati per ottenere dei vettori con velocità attendibili anche in senso assoluto.

A fronte di un movimento generalizzato verso est, la zona a sinistra della faglia di S. Leonardello, che dall'elaborazione dei dati PS mostra una direzione verso ovest, potrebbe essere semplicemente il risultato di un differenziale di velocità importante rispetto alla zona est, ma non per forza una differente direzione di spostamento.

Rimangono invariate, invece, le considerazioni incentrate esclusivamente sui differenziali di velocità tra le zone ai lati della faglia di S. Leonardello.

Rimangono valide e attendibili anche tutte le analisi effettuate su strade ed edifici, in quanto si basano esclusivamente su parametri che fanno riferimento a differenziali di velocità (*range*, distorsione angolare, differenza di velocità tra interno ed esterno delle infrastrutture).

Anche in questo caso è stato costruito un *tool* (Fig. 5.66), tramite il *Model builder* di ArcGIS, per facilitare e velocizzare il processo di creazione degli pseudo PS e il calcolo delle componenti  $V_v$  e  $V_{ew}$ . Il *Model builder* permette, come visto in precedenza, di integrare intere righe di codice *Python* e farle interagire con i *tool* nativamente presenti all'interno del *software*.

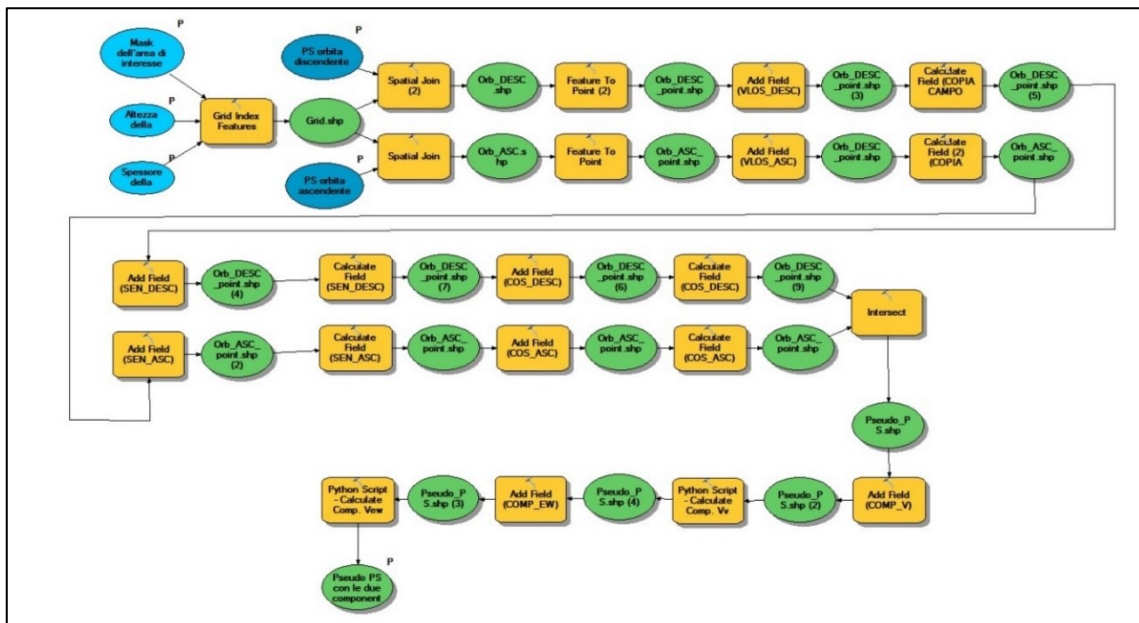


Fig. 5.66 - Struttura del tool per l'ottenimento dei PS sintetici e il calcolo delle componenti  $V_v$  e  $V_{ew}$ .

Tutto ha inizio dalla suddivisione dell'area d'interesse secondo la griglia con maglie regolari, la cui funzione è stata spiegata precedentemente. Il *tool* procede poi all'aggiunta di una serie di campi e il calcolo dei valori di seno e coseno dell'angolo di incidenza (SEN\_ASC, SEN\_DESC, COS\_ASC, COS\_DESC) in entrambe le geometrie. Dopo la creazione degli pseudo PS, attraverso un processo di *Intersect*, il *tool* aggiunge i due campi che ospiteranno i valori delle due componenti, integrando i due *script Python* (Fig. 5.61) per il calcolo finale.

Il processo, in questo modo, risulta estremamente più veloce da replicare in altre aree studio o con altri *dataset*, a patto ovviamente che i file di partenza relativi ai PS abbiano una struttura analoga a quella utilizzata nel presente progetto.

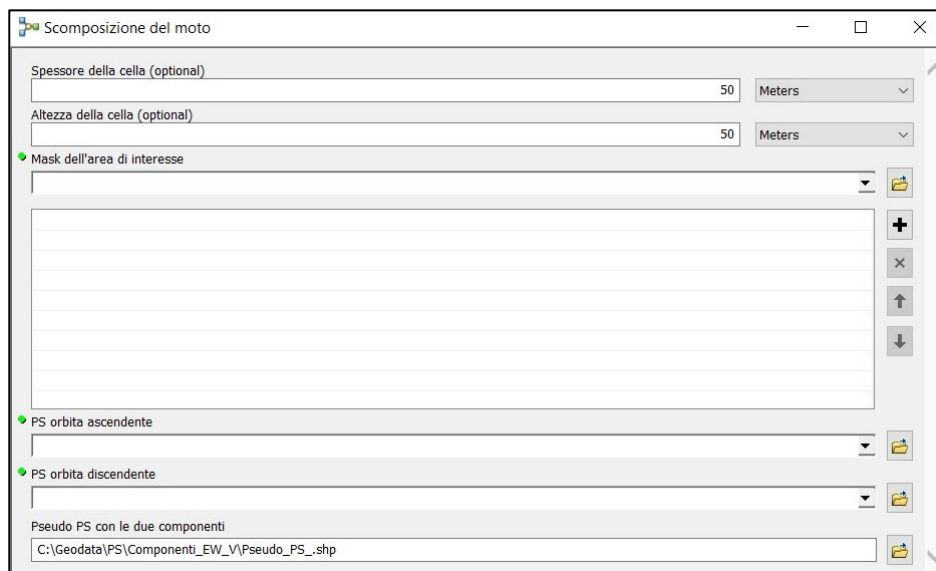


Fig. 5.67 - Schermata di avvio del tool per l'ottenimento dei PS sintetici e il calcolo delle componenti Vv e Vew.

All'avvio del *tool* (Fig. 5.67) è possibile decidere le dimensioni delle celle della griglia su cui andranno calcolati i parametri (*sette* di *default* in 50 m x 50 m), subordinatamente alla densità di PS presenti in una certa area e al livello di dettaglio desiderato per l'analisi finale.

Le altre informazioni richieste sono: il perimetro della zona di interesse (*mask*); i due *shapefile* puntuali con i valori dei PS; la *directory* per il salvataggio dell'*output* finale.

### 5.5 Mappe finali della pericolosità a partire dai dati interferometrici

Al fine di ottenere una mappa finale della pericolosità (Fig. 5.68) che funga da sintesi per tutte le analisi interferometriche effettuate, sono stati incrociati i dati di pericolosità ottenuti tramite lo studio dei vari segmenti di strada in funzione dei valori di VLos media, della differenza di VLos tra interno ed esterno dei poligoni, della distorsione angolare (Fig. 5.40 e Fig. 5.41) e la mappa di pericolosità da crollo (Fig. 5.57 e Fig. 5.58).

Come prima cosa sono state unite le informazioni di pericolosità derivanti dalle due geometrie di acquisizione; in un apposito campo (P\_asc\_desc), attraverso uno *script*

*Python*, è stato assegnato il grado di pericolosità massimo registrato nell'una o nell'altra orbita (Cod. 5.1).

```
#Pericolosità ASC_DESC

def P_Inter_ASC_DESC(asc, desc):

    return max(asc, desc)

#Expression: P_Inter_ASC_DESC(!Peric_Asc!, !Peric_Desc!)

#Pericolosità da crollo totale

def P_Cro_Tot(asc, desc):

    return max(asc, desc)

#Expression: P_Cro_Tot(!P_Cro_Asc!, ! P_Cro_Desc!)

#Pericolosità interferometrica totale

def P_Inter_Tot(cro, inter):

    return max(cro, inter)

#Expression: P_Inter_Tot(!P_Cro_Tot!, !P_asc_desc!)
```

*Cod. 5.1 - Script Python utilizzati per il calcolo dei campi utili all'ottenimento della mappa finale della pericolosità sulla base delle analisi interferometriche.*

Allo stesso modo, sono state unite le due mappe di pericolosità da crollo calcolate nelle due geometrie di acquisizione, ottenendo anche in questo caso un singolo *shapefile* con un unico valore di pericolosità (calcolato nel campo *P\_Cro\_Tot*).

Nell'ultima fase sono stati uniti i due *layers* precedentemente ottenuti in un singolo tematismo, assegnando ad ogni poligono il valore massimo riscontrato nei due *layers* di partenza. È stato così ottenuta la mappa finale di pericolosità calcolata sulla base delle analisi interferometriche, tematizzata con una scala colore dal verde al rosso e suddivisa in quattro categorie di pericolosità.

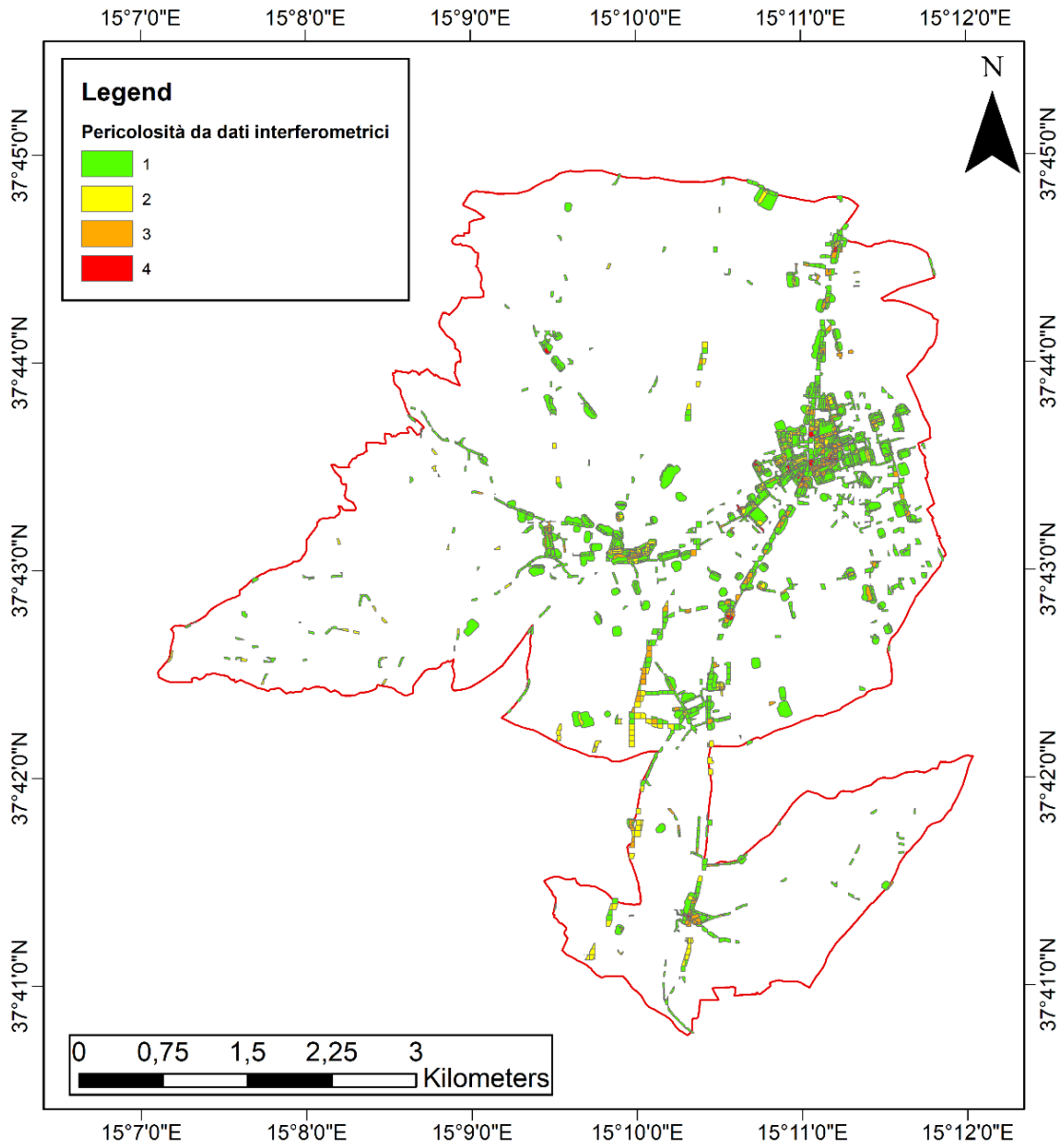


Fig. 5.68 - Mappa finale della pericolosità ottenuta a partire dalle analisi interferometriche.

Il processo di *Union* di tutti gli *shapefile* derivanti dalle analisi interferometriche è stato automatizzato tramite la creazione del *tool* "Pericolosità da dati interferometrici – Unione", che unifica le operazioni di unione e di calcolo dei campi attraverso gli *script Python* (Fig. 5.69 e Fig. 5.70).



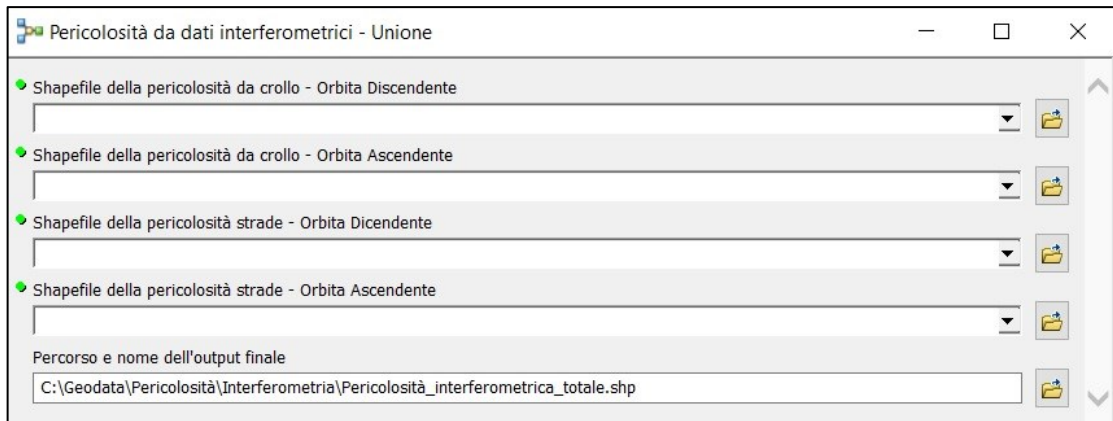


Fig. 5.69 - Schermata di avvio del tool per l'unione di tutte le informazioni di pericolosità da dati interferometrici.

La categorizzazione dell'*output* finale avviene in maniera automatica grazie all'utilizzo di un file di stile contenuto nella *directory* "C:\Geodata\Lyr\_files", assegnando una scala colore dal verde al rosso in base al valore di pericolosità contenuto nel campo "P\_Int\_Tot".

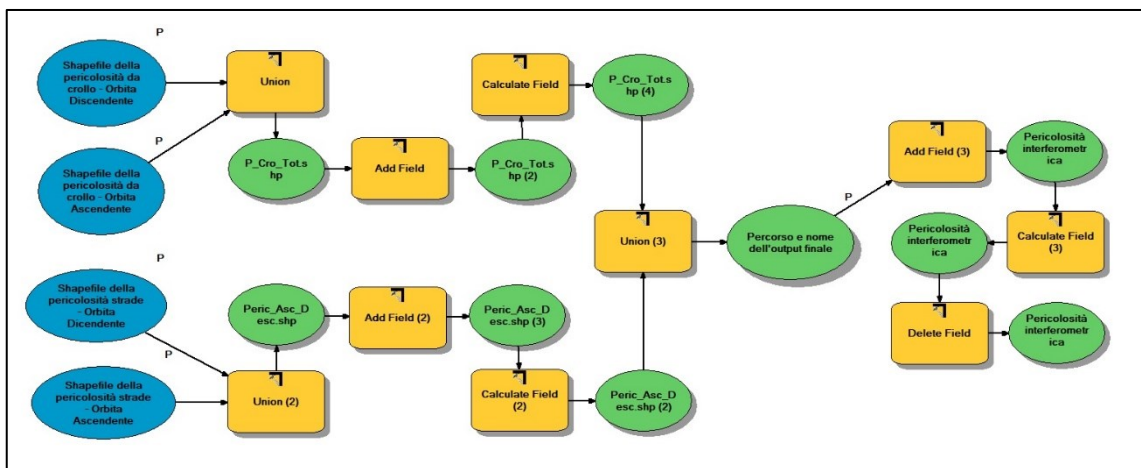


Fig. 5.70 - Struttura del tool del tool "Pericolosità da dati interferometrici - Unione".

## 5.6 [Il graben di San Leonardello](#)

Il contesto strutturale di questa porzione di territorio è senza dubbio molto complesso, essendo il risultato dell'interazione tra tettonica regionale e processi di natura vulcanica, dovuti all'instabilità di fondo del fianco orientale dell'Etna e a movimenti indotti dal magma (Branca et al., 2011; Polonia et al., 2016).

In generale, è possibile osservare una zona in sollevamento nei pressi di Acì Trezza – Acì Castello (con tassi di 1,9 – 2,4 mm/anno negli ultimi 6750 - 4700 anni), che

viene interrotta verso nord da fenomeni di subsidenza anche molto marcati (con tassi di 0,8 - 1,6 cm/anno negli ultimi 60 anni) nei pressi delle località di Stazzo, Riposto e Giarre, a causa di un generalizzato scivolamento del fianco del vulcano (Branca et al., 2014), interrotto più a nord dal sollevamento (1,8 mm/anno) della zona di Taormina – Capo Schisò.

Le dinamiche del versante sud-orientale del vulcano sembrano essere in larga parte controllate dal sistema di faglie delle Timpe; in particolare, le faglie di Acireale e di San Leonardello dividono il settore costiero in due parti principali.

Il settore costiero settentrionale mostra dinamiche di scorrimento verso il mare (Bonforte et al., 2011; Froger et al., 2001; Lundgren et al., 2004; Puglisi & Bonforte, 2004; Solaro et al., 2010), mentre quello meridionale evidenzia dinamiche di sollevamento anche a lungo termine.

I dati GPS e interferometrici (Bonforte & Puglisi, 2006; Bonforte et al., 2011) mostrano come nell'area tra S. Tecla e Capo Mulini, nei pressi della faglia di Acireale, il processo di sollevamento dell'area dovuto alla faglia venga compensato dallo scivolamento verso mare dell'intero versante orientale etneo. Nell'area compresa tra Capo Mulini e Catania, si osserva invece un generale sollevamento della costa negli ultimi 20 mila anni, in contrasto con tale scivolamento.

La faglia di San Leonardello risulta visibile a occhio nudo per la presenza di una scarpata ben esposta che si estende per una lunghezza di circa 9 km con direzione NNO-SSE fino alla periferia della frazione di Macchia, per poi assumere una direzione orientata circa N-S fino alla costa.

La scarpata di faglia ha una quota maggiore nella parte più a nord, dove raggiunge un'altezza di circa 35 m, per poi diminuire progressivamente fino a meno di 10 m nella sua parte terminale a sud.

Il comportamento della faglia risulta quindi molto variabile lungo la sua estensione: il segmento settentrionale, che interessa le frazioni di Macchia e San Leonardello, è sismogenetico, generando nel tempo importanti terremoti con magnitudo compresa tra 3 e 4; il tratto meridionale, che si estende da San Leonardello fino alla costa, è caratterizzato da un movimento continuo tipico del *creep* asismico. La velocità di circa 5 mm/a è sempre stata abbastanza costante, tranne rari casi in cui ha subito una drastica accelerazione (come ad esempio nel 2016).

La faglia di Leonardello è caratterizzata da una storia sismica ben nota ed è stata interessata da recenti attività nel maggio del 2009, quando i movimenti di *creep* hanno preceduto un terremoto di magnitudo 4.0 nel segmento settentrionale, seguito da circa 25 scosse di assestamento. Un evento più recente è datato a marzo-aprile 2016 (periodo che rientra nell'arco temporale di acquisizione dei dati del presente progetto) quando i movimenti di *creep* si sono riattivati nel segmento più a sud della faglia (Azzaro et al., 2016). Attraverso i dati interferometrici e, in particolare, le analisi delle serie temporali e i profili di variazione della velocità e dello spostamento in funzione del tempo, è possibile osservare nel dettaglio i movimenti relativi alle varie porzioni di territorio interessate, nel tentativo di comprendere meglio il comportamento e il meccanismo sismogenetico della struttura tettonica in questione.

Già in Fig. 5.28, comparando i movimenti nelle due geometrie di acquisizione, è stata riconosciuta una porzione di territorio in allontanamento dal satellite sia in orbita ascendente che in orbita discendente; questa zona è il graben di San Leonardello, delimitato a ovest dalla faglia omonima e ad est dalla faglia di Trepunti – Stazzo (Fig. 5.71). Questo tipo di *output* non fornisce ovviamente alcun tipo di valutazione quantitativa del movimento, ma serve a identificare zone a comportamento differenziato in base alla combinazione dei movimenti nelle due geometrie.

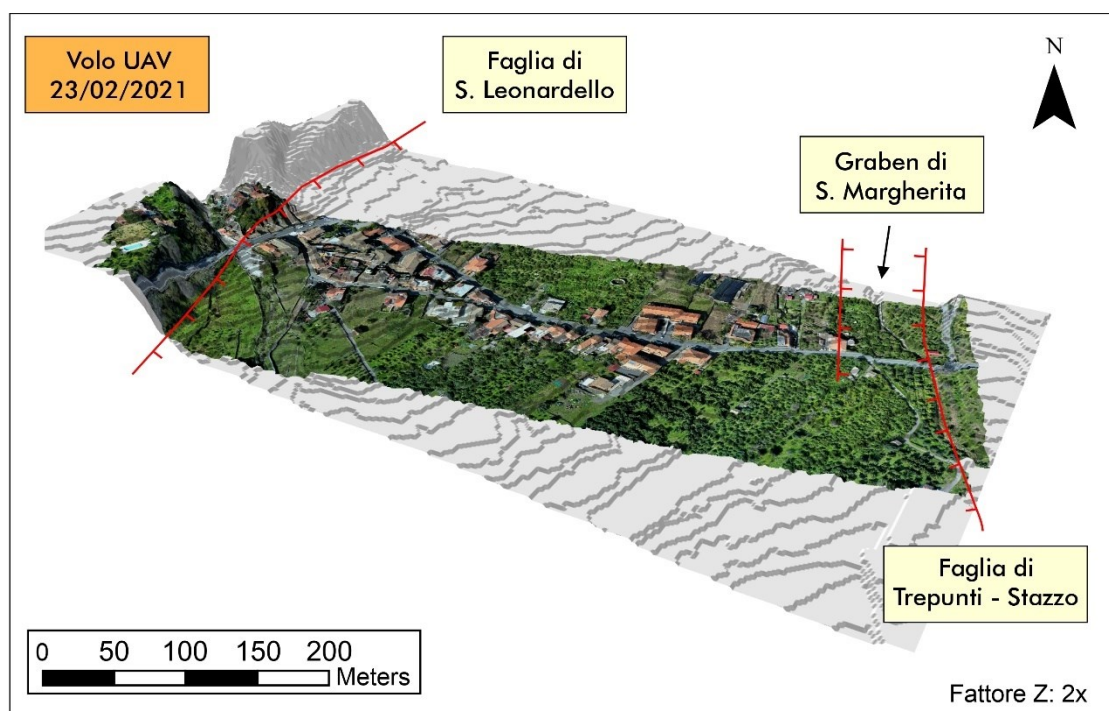


Fig. 5.71 - Volo UAV del 23 febbraio 2021 (Prof. Eugenio Fazio, Università degli Studi di Catania).

### 5.6.1 Interpolazioni IDW

Per gli approfondimenti proposti in questo paragrafo sono state appositamente eseguite *ex novo* alcune operazioni, come le interpolazioni IDW del valore di VLos, prendendo in esame esclusivamente i PS ricadenti all'interno della zona in subsidenza, con l'obiettivo di aumentare il dettaglio e la precisione delle elaborazioni.

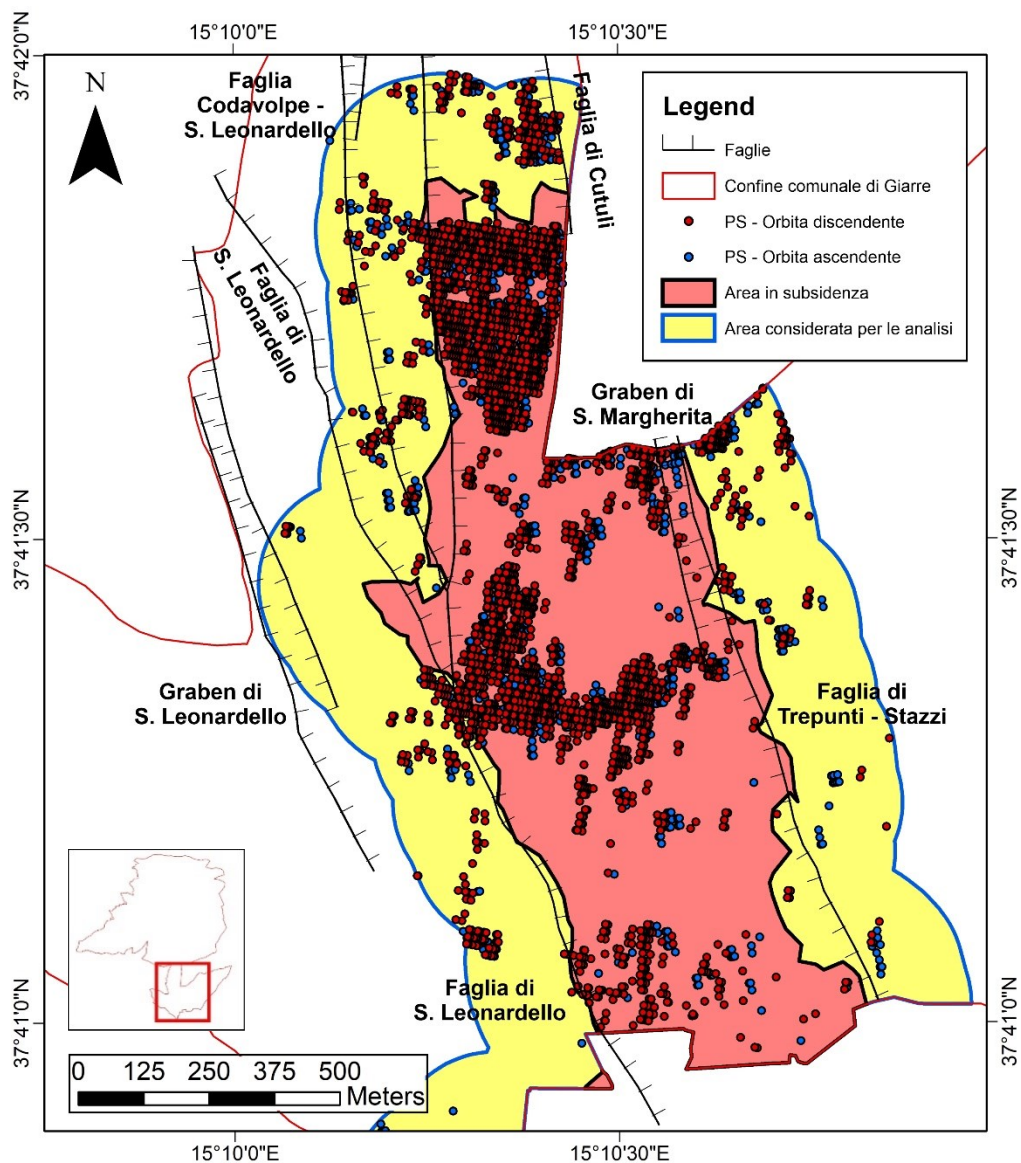


Fig. 5.72 – PS ricadenti all'interno dell'area del graben di San Leonardello.

L'area presa in considerazione per le analisi (in giallo) è stata ampliata tramite un *buffer* di 200 m attorno al *graben* vero e proprio (in rosso) per permettere di eseguire profili, serie temporali e interpolazioni che prendono in considerazione anche le aree immediatamente esterne alla zona in subsidenza (Fig. 5.72).

Sono state innanzitutto eseguite le interpolazioni con metodo IDW dei valori di VLos per entrambe le geometrie.

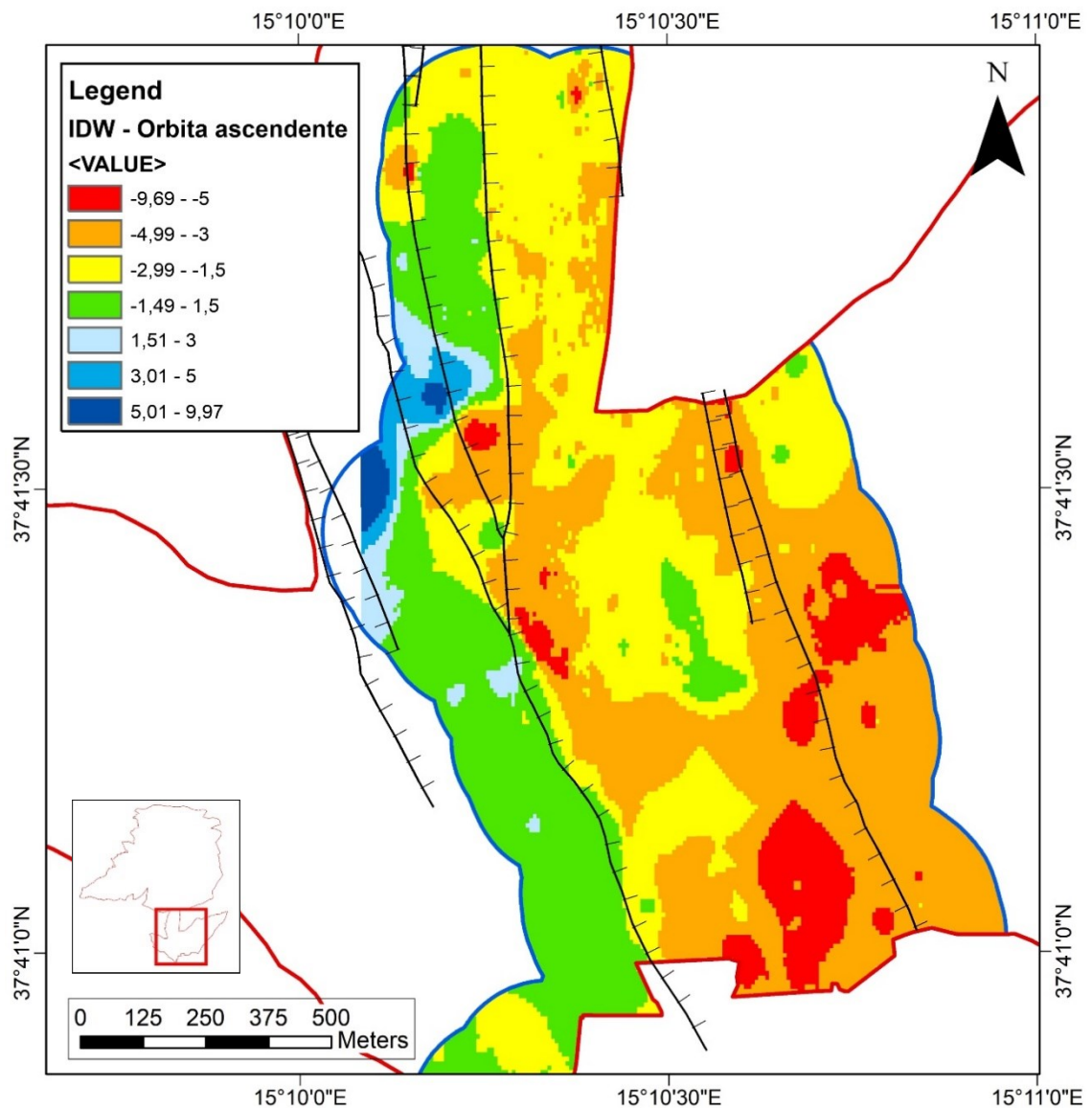


Fig. 5.73 – Interpolazione IDW della VLos all'interno del graben di San Leonardello – Orbita ascendente.

In orbita ascendente (Fig. 5.73) i valori di VLos variano da un minimo di -9,69 mm/a ad un massimo di 9,97 mm/a. La zona ad ovest della faglia di San Leonardello risulta stabile, mentre immediatamente ad est si nota un leggero allontanamento dal satellite, che si acuisce in alcune porzioni a sud e a est della faglia Trepunti – Stazzo. I valori in avvicinamento si concentrano esclusivamente nelle porzioni a nord – ovest, al di fuori dell'area compresa dalle due faglie.

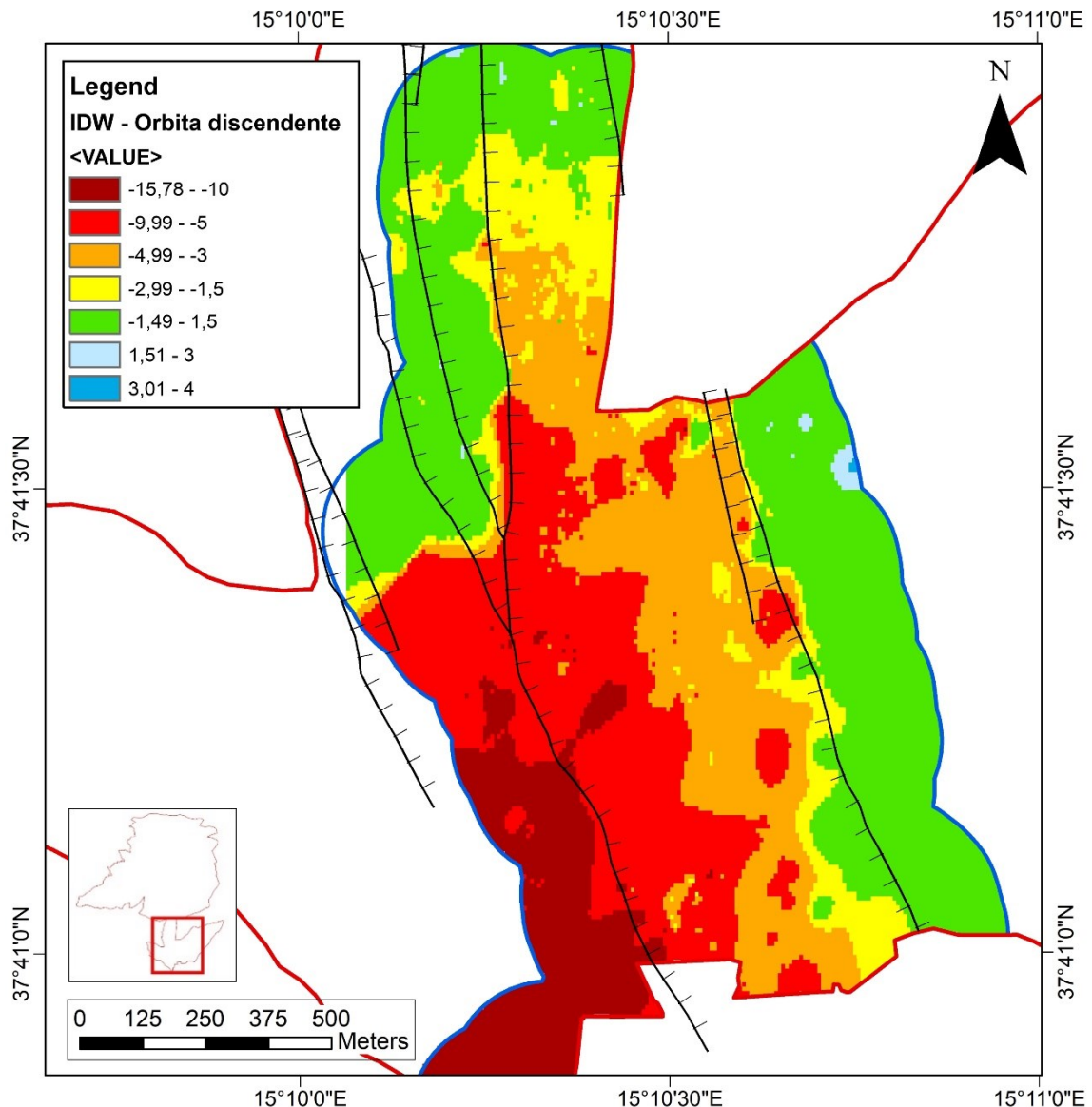


Fig. 5.74 - Interpolazione IDW della VLos all'interno del graben di San Leonardello – Orbita discendente.

In orbita discendente (Fig. 5.74) la situazione è opposta: la zona stabile si estende a est della faglia di Trepunti – Stazzo, mentre verso ovest si nota un progressivo allontanamento dei bersagli dal satellite, fino al raggiungimento di valori prossimi a -16 mm/a nelle zone più esterne; non risultano esserci zone in avvicinamento degne di nota ma solo qualche PS isolato.

Le mappe interpolate con il metodo IDW sono state poi confrontate con quelle ottenute mediando i valori reali della VLos di ogni PS all'interno di celle di eguali dimensioni: l'intera area è stata dapprima suddivisa in una griglia regolare di celle di dimensioni 20 m x 20 m; è stato poi calcolato il valore medio della VLos dei PS ricadenti all'interno di ogni cella e il valore medio dei punti ricavati a partire dall'interpolazione

IDW. Il risultato ottenuto è uno *shapefile* formato da una serie di celle, ognuna delle quali contiene sia un campo con la media della VLos a partire dai PS che un campo con la media della VLos a partire dai punti estratti dall'interpolazione IDW.

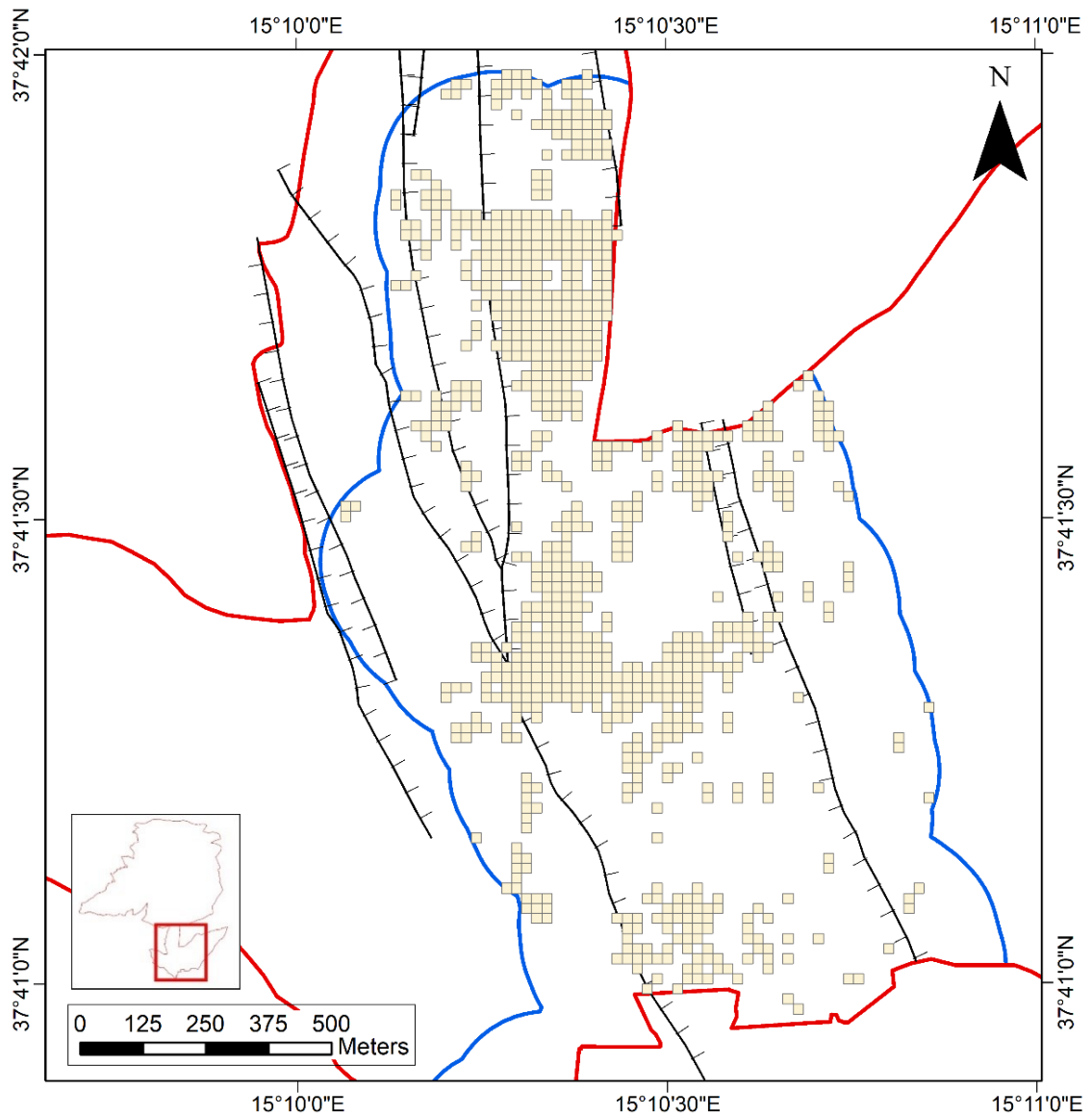


Fig. 5.75 – Suddivisione in celle di 20 m x 20 m dell'area in subsidenza per il calcolo della VLos media.

Le celle non ricoprono l'intera area di studio (Fig. 5.75), ma vengono estratte solo quelle in cui effettivamente ricadono entrambe le tipologie di punti.

Per ogni *record* è stata calcolata la differenza in valore assoluto tra la velocità dei due campi tramite la relazione:

$$\text{Differenza VLos} = \text{Abs} ( \text{Abs} ( [\text{VLOS\_PS}] ) - \text{Abs} ( [\text{VLOS\_IDW}] ) )$$

In seguito è stata calcolata la differenza in % rispetto al valore di VLos medio a partire dai PS.

$$\text{Errore \%} = (100 / \text{Abs}([VLOS\_PS])) * [\text{ABS\_Differ}]$$

La mappa che si ottiene, prendendo come esempio l'orbita discendente, è la seguente:

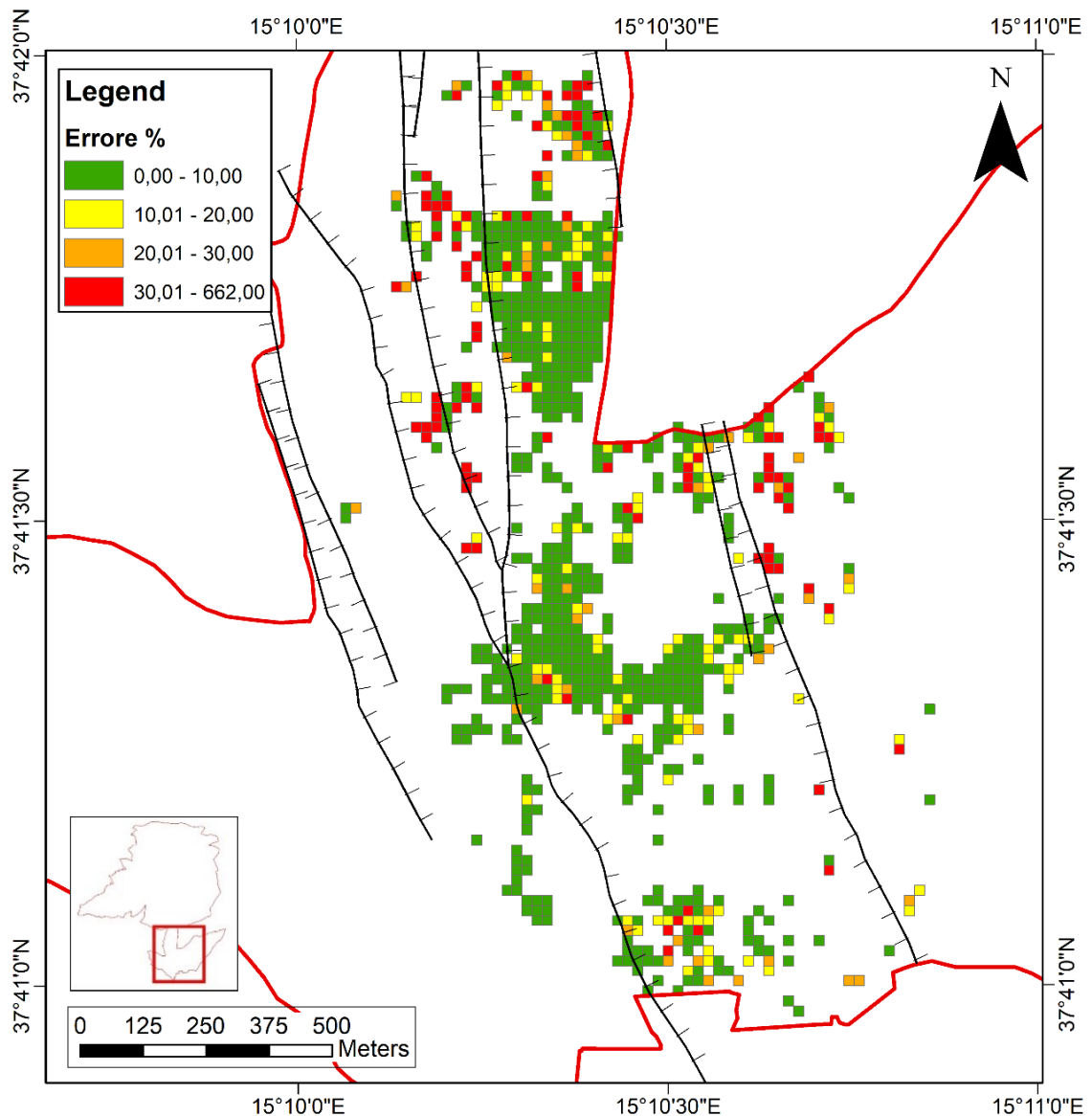


Fig. 5.76 – Errore % nel valore dei punti estratti dalle interpolazioni IDW rispetto a quelli ottenuti calcolando la media della VLos all'interno delle celle.

La maggior parte delle celle indica una differenza inferiore al 10% tra i due valori (Fig. 5.76). Differenze superiori al 10% si concentrano maggiormente nella zona a nord e a est della faglia Trepunti – Stazzo.



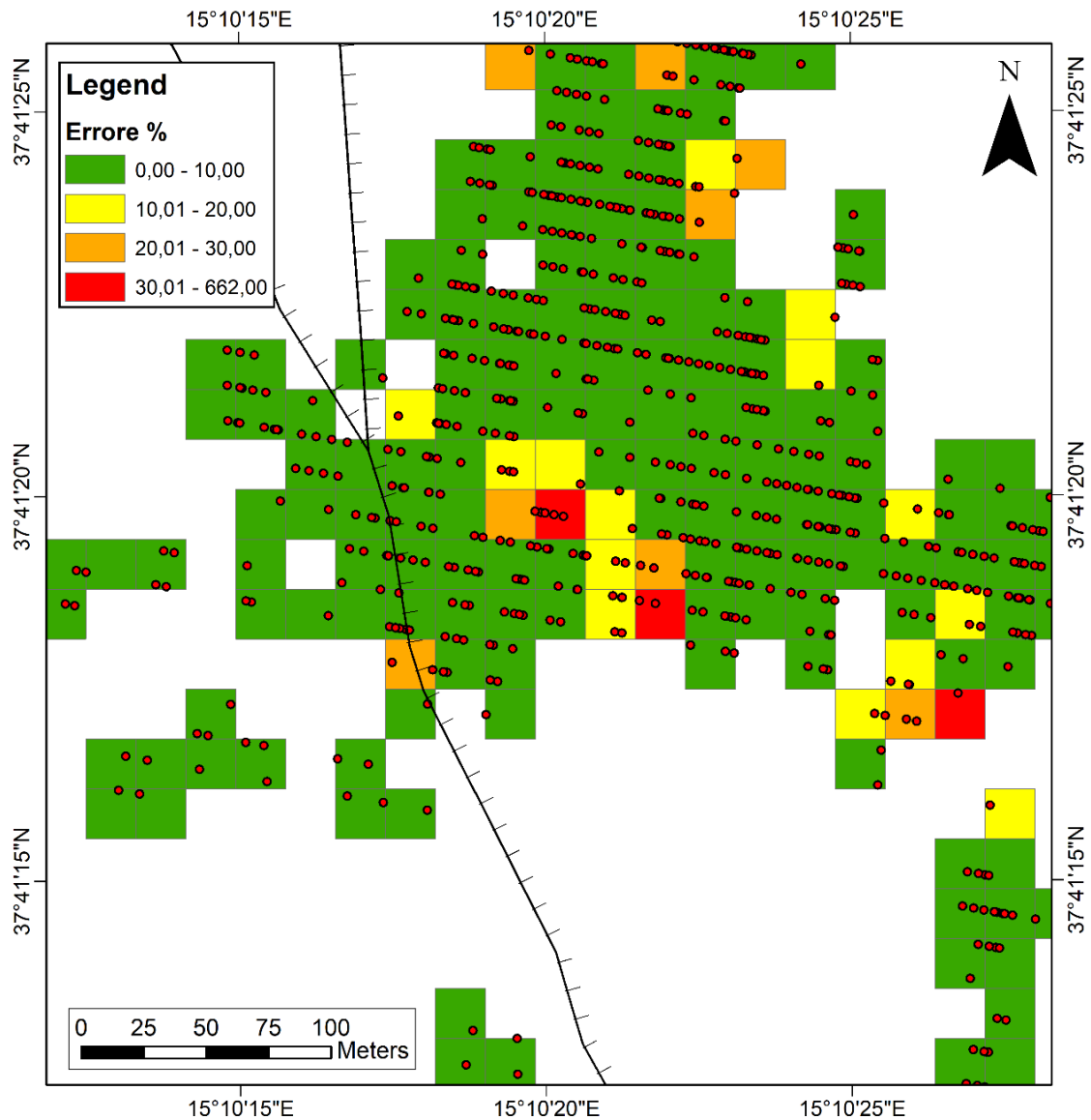


Fig. 5.77 – Andamento dell'errore in funzione della distribuzione spaziale e della densità dei PS all'interno delle celle.

Le differenze maggiori si riscontrano all'interno delle celle con un minor numero di PS e nelle zone in cui i PS sono più distanziati tra di loro (Fig. 5.77). L'algoritmo IDW pesa infatti i valori in funzione dell'inverso della loro distanza, dando più importanza ai valori più vicini tra loro.

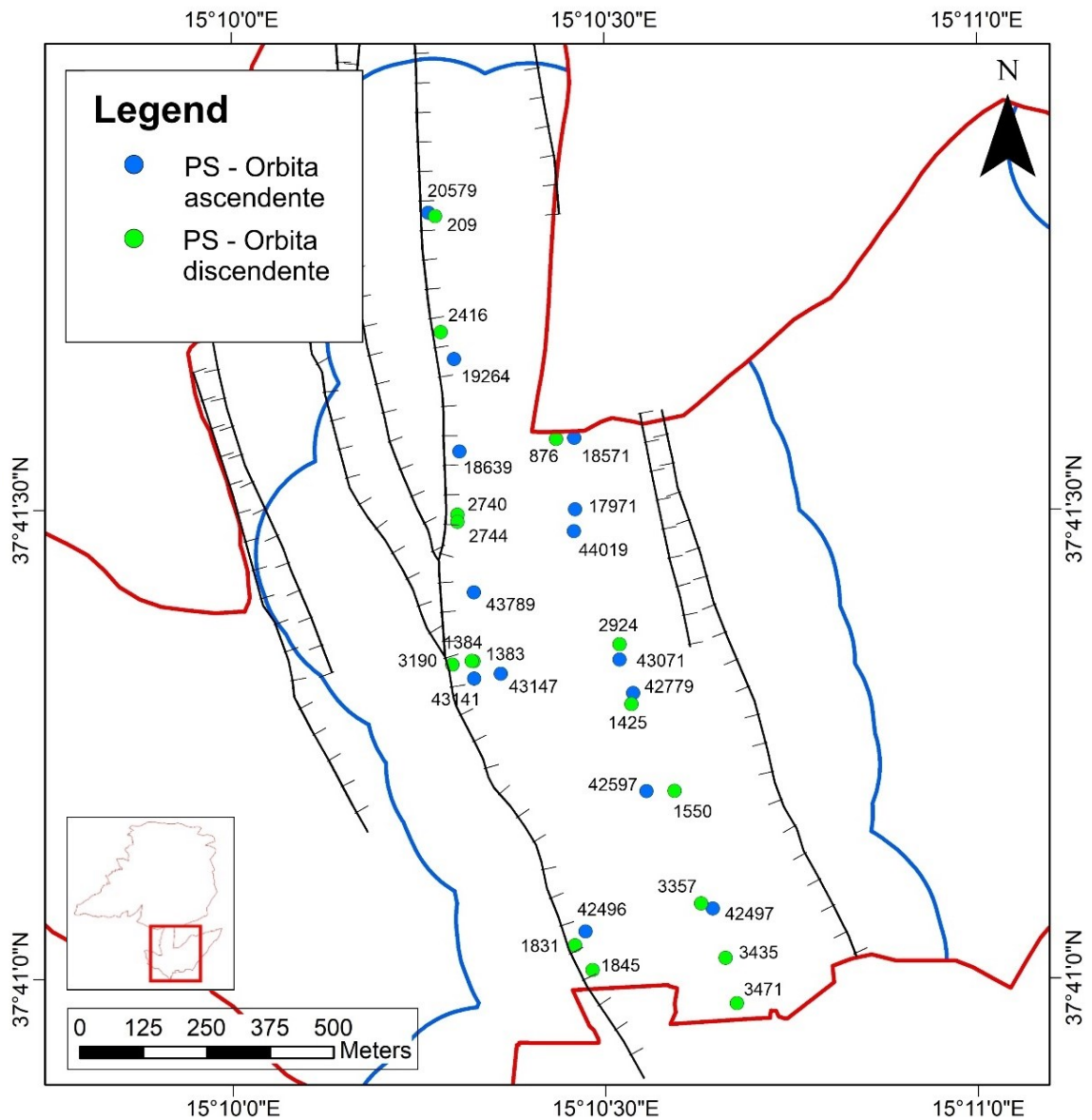
### 5.6.2 *Analisi delle serie temporali*

La caratterizzazione temporale delle deformazioni può avvenire tramite la creazione delle cosiddette serie storiche o serie temporali dei PS: esse riportano, per ogni PS, gli spostamenti (in mm) misurati lungo la LOS del satellite rispetto alla prima misura del set di dati, utilizzata come riferimento.

L'analisi delle serie temporali di spostamento, rispetto alla visualizzazione della sola VLos media, permette di valutare le variazioni nel tempo delle deformazioni, mettendo in risalto eventuali andamenti non lineari o variazioni di accelerazione della deformazione; è possibile quindi effettuare una sorta di monitoraggio del comportamento storico di una determinata area (*back monitoring*), con la possibilità di identificare eventuali fattori di innesco dei processi riconosciuti e di valutare le modalità di risposta a tali fattori.

Fondamentale è poi la possibilità di correlare dal punto di vista temporale eventuali accelerazioni della deformazione con gli archivi storici dei fenomeni avvenuti in una determinata area (come i terremoti nel caso di uno studio prettamente tettonico o precipitazioni particolarmente intense nel caso di analisi dei movimenti franosi).

All'interno del *graben* di San Leonardello sono stati scelti a campione alcuni PS, la maggior parte dei quali ubicati lungo due fasce principali: la prima fascia corrisponde alla porzione più a ovest del *graben*, in prossimità della faglia di San Leonardello; la seconda fascia si concentra invece nella porzione centrale del *graben* a formare dei transetti di punti orientati circa NNO – SSE (Fig. 5.78). I PS sono stati prima analizzati singolarmente e poi a gruppi attraverso la costruzione di diagrammi binari con il valore di spostamento (in mm) in ascissa e il parametro tempo in ordinata.



Di seguito vengono riportate le serie temporali più interessanti ai fini della comprensione delle modalità di deformazione dell'intera area.

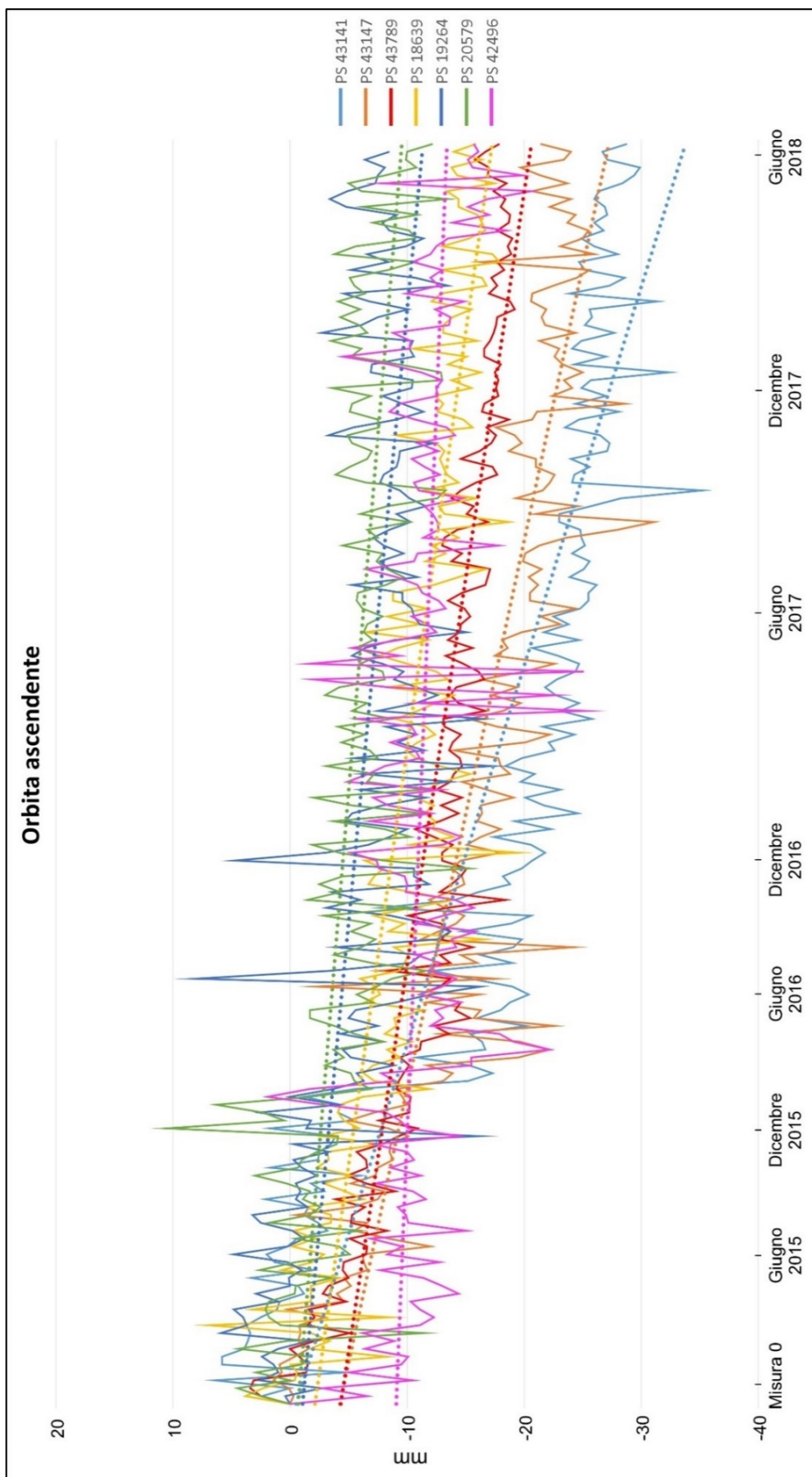


Fig. 5.79 - Serie temporali dei PS ubicati in prossimità della faglia di San Leonardello – Orbita ascendente.

In orbita ascendente, l'andamento dei PS (Fig. 5.79), la cui lettura è facilitata dalla presenza delle linee di tendenza (linee tratteggiate), suggerisce la suddivisione in due gruppi ben distinti:

- PS 43789, PS 18639, PS 19264, PS 20579, PS 42496: mostrano un movimento di allontanamento dal satellite in funzione del tempo abbastanza costante e raggiungono valori massimi sempre nei limiti dei 20 mm;
- PS 43141, PS 43147: raggiungono valori massimi di allontanamento superiori ai 30 mm; le linee di tendenza hanno una pendenza di gran lunga maggiore rispetto al gruppo precedente.

Considerando la disposizione dei PS in Fig. 5.78 è possibile trarre alcune considerazioni preliminari sul comportamento di tali bersagli in orbita ascendente:

- Le deformazioni aumentano da nord verso sud fino alla zona centrale;
- La zona centrale registra i valori più alti di deformazione;
- La zona meridionale ha valori paragonabili a quella più settentrionale.

Inoltre, isolando i PS della zona centrale (PS 43141 e PS 43147) in un grafico apposito (Fig. 5.80), è possibile individuare un cambiamento di velocità significativo nell'intervallo di tempo da marzo ad aprile 2016, riconducibile all'evento di *creep* accennato precedentemente. Analizzando nel dettaglio il PS 43141, si nota infatti un brusco aumento del valore di deformazione tra il 19 e il 31 marzo, da -5,6 mm a -15,2 mm.

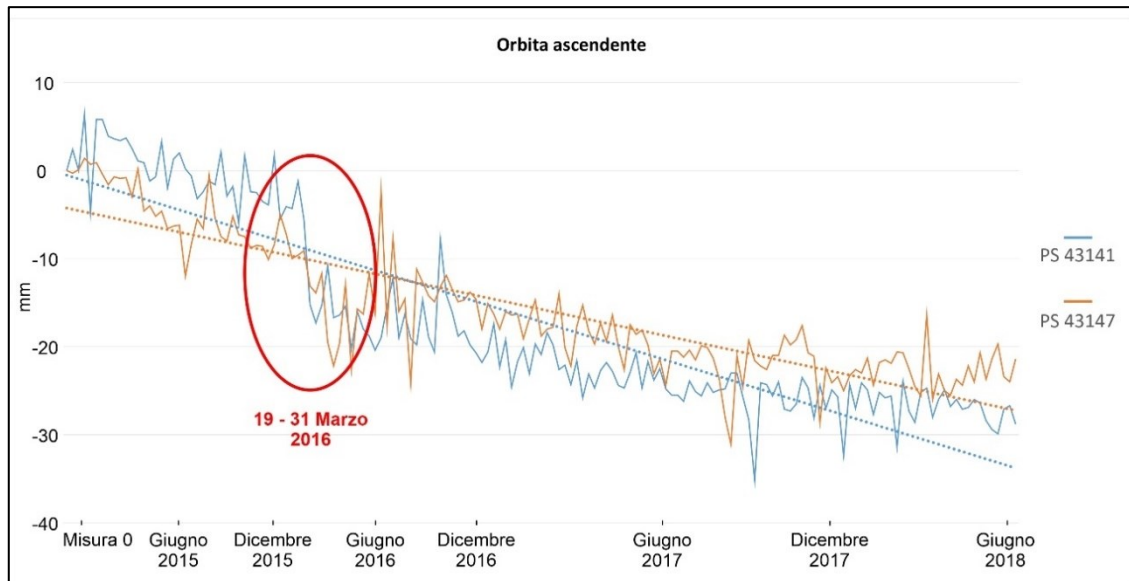


Fig. 5.80 – Variazioni di velocità nelle serie temporali del PS 43141 e del PS 43147, ubicati nella zona centrale in prossimità della faglia di San Leonardello – Orbita ascendente.

Anche prendendo in considerazione il PS 42496, localizzato più a sud, risulta ben riconoscibile una brusca variazione di velocità (Fig. 5.81).

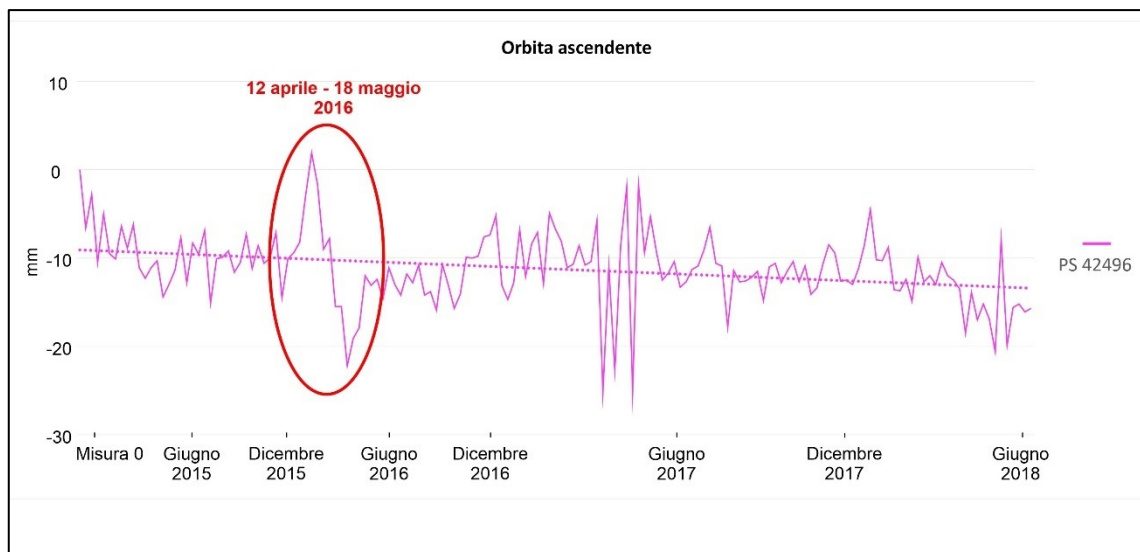


Fig. 5.81 - Variazione di velocità nella serie temporali del PS 42496 - Orbita ascendente.

In questo caso l'intervallo temporale è leggermente traslato in avanti nel tempo e mostra valori di spostamento di -7,8 mm il 12 aprile, -15,5 mm il 24 aprile e il 6 maggio, fino a raggiungere un picco negativo di -22,2 mm il 18 maggio.

Questo sfasamento temporale di circa un mese suggerisce la possibile esistenza di un ulteriore evento di *creep* che ha interessato la porzione più meridionale della faglia

o, in alternativa, una dinamica di propagazione da nord verso sud di un unico evento di *creep* lungo la sua estensione.

In orbita discendente sono state analizzate le serie temporali relative ai PS 1383, 1384 e 3190, molto vicini a quelli analizzati in orbita ascendente (Fig. 5.82).

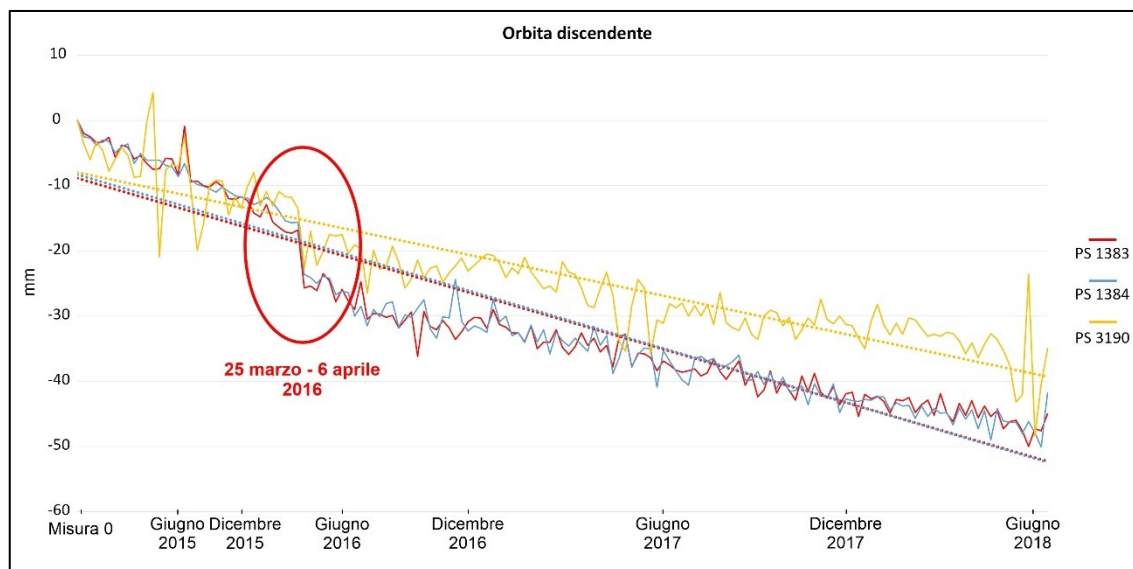


Fig. 5.82 - Serie temporali relative ai PS 1383, PS 1384 e PS 3190, ubicati nella zona centrale in prossimità della faglia di San Leonardello – Orbita discendente.

La variazione di accelerazione risulta chiara anche in questo caso, ma la disponibilità di date di acquisizione diverse in orbita discendente aiuta a definire meglio l'arco temporale interessato dal primo evento, collocato in maniera preliminare tra il 19 e il 31 marzo: in questo caso, prendendo in considerazione il PS 1384, si passa da un valore di -15,6 mm il 25 marzo a un valore di -23,6 mm il 6 aprile.

INFO PS		MISURAZIONI ALLE VARIE DATE			
GEOMETRIA	PS ID	19-mar	25-mar	31-mar	06-apr
Asc	PS 43141	-5,6		-15,2	
Asc	PS 43147	-9,1		-13,1	
Disc	PS 1383		-16,8		-25,7
Disc	PS 1384		-15,6		-23,6

Tab. 5.8 – Valori di velocità alle varie date: in verde la prima misura considerata e in rosso la successiva.

In definitiva, con i dati a disposizione, è stato possibile riconoscere almeno due eventi deformativi, probabilmente separati tra loro da un arco temporale di poche settimane:

- la combinazione dei PS 43141 e 43147 in orbita ascendente (Fig. 5.80) con i PS 1383 e 1384 in orbita discendente (Fig. 5.82) permette di identificare un primo evento di *creep* tra il 25 e il 31 marzo 2016 (in accordo con Azzaro et al., 2020);
- l'andamento di alcuni punti come il PS 42496 (Fig. 5.81) suggerisce l'esistenza di almeno un altro fenomeno di *creep* che interessa la porzione più a sud della faglia. La minor densità di PS in tale zona non permette di determinare in maniera precisa la data esatta del secondo fenomeno, che viene quindi collocato cronologicamente in modo generico subito dopo l'evento del 25-31 marzo, probabilmente dal 12 aprile fino alla prima settimana di maggio.

Analizzando in maniera più generica l'intera fascia interessata dalla faglia di San Leonardello, appaiono subito evidenti i maggiori valori di deformazione raggiunti in orbita discendente rispetto a quella ascendente; nella zona centrale si raggiungono valori di deformazione compresi tra -40 mm e -50 mm, mentre in orbita ascendente si spingono solo fino a circa -30 mm. Tale situazione è dovuta probabilmente all'immersione verso ovest del piano di faglia (Bonforte et. al., 2011).

L'andamento dei diversi gruppi di PS in orbita discendente (Fig. 5.83) suggerisce inoltre, anche in questo caso, un progressivo aumento della deformazione da nord verso sud, con un picco massimo in corrispondenza della zona centrale (PS 1383 -1384) e valori solo di poco inferiori nella zona più meridionale (PS 1831 – 1845).



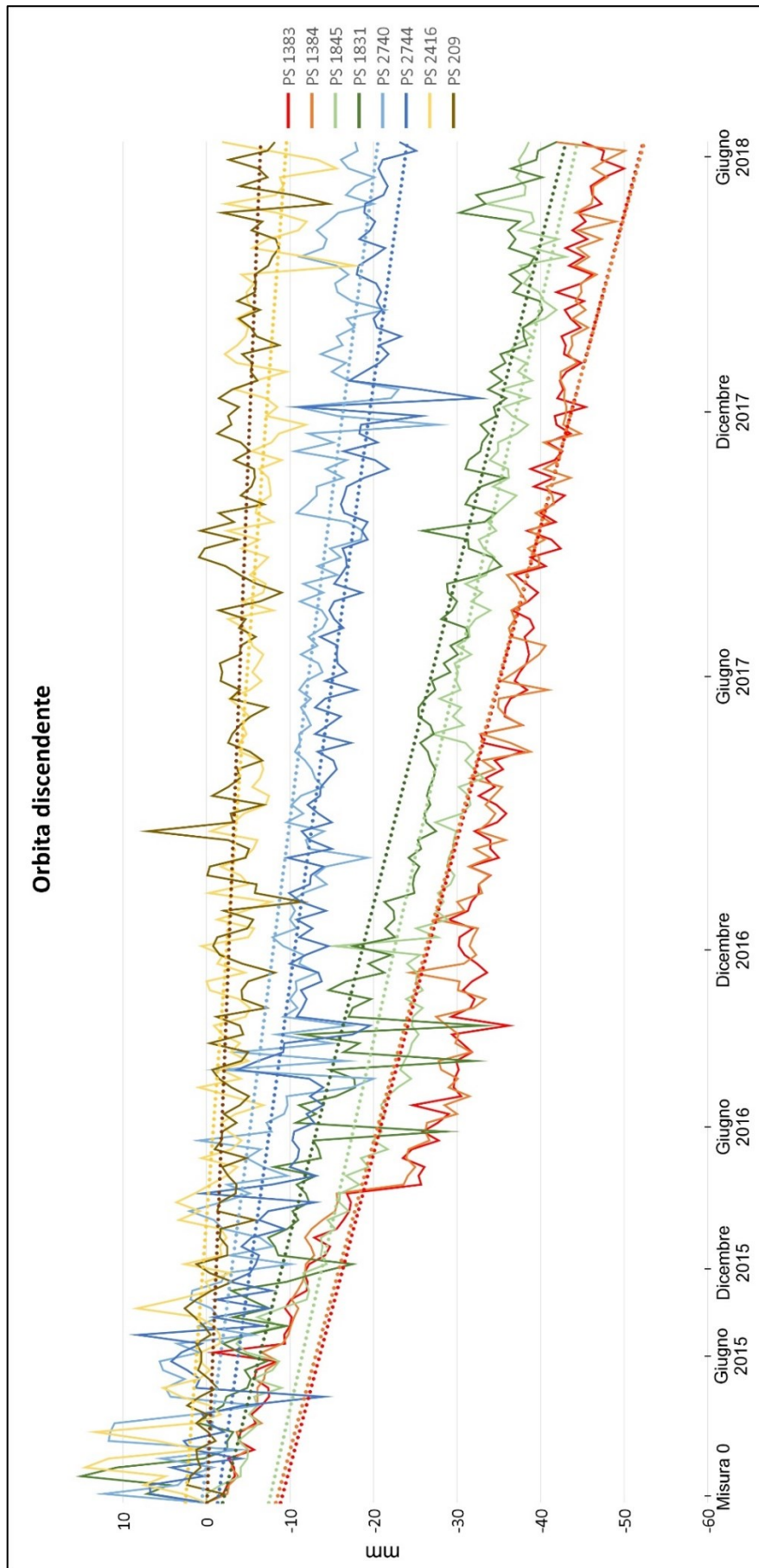


Fig. 5.83 - Serie temporali dei PS ubicati in prossimità della faglia di San Leonardello – Orbita discendente.

Analizzando le serie temporali di alcuni PS nella fascia centrale del graben (Fig. 5.84 e Fig. 5.85), secondo un lungo transetto con direzione NNO – SSE, non risulta invece visibile l'accelerazione della deformazione dovuta agli eventi di marzo – aprile 2016. In generale, l'intero *graben* risulta meno interessato dalla deformazione allontanandosi via via dalla faglia di San Leonardello verso est. In orbita ascendente (Fig. 5.84) vengono rilevati dei PS tendenzialmente in allontanamento dal satellite, ma con valori decisamente più bassi rispetto a quelli visti precedentemente. Alcuni gruppi di PS abbastanza isolati al centro del transetto, come ad esempio il PS 42779, mostrano addirittura valori in avvicinamento al satellite, seppur di pochi mm. Tale zona risulta infatti pressoché stabile anche dall'elaborazione IDW in orbita ascendente basata sui valori di VLos (Fig. 5.73).

L'unica porzione ad essere interessata da valori di deformazioni paragonabili a quelli rilevati in prossimità della faglia, è quella più a sud, dove un nutrito gruppo di PS (tra cui il PS 4249) raggiunge valori compresi tra -20 e -30 mm.

In orbita discendente (Fig. 5.85) vi è una maggiore omogeneità nell'andamento delle serie temporali lungo il transetto NNO – SSE, con deformazioni leggermente più pronunciate nella parte meridionale; come nell'analisi dei PS in prossimità della faglia, anche in questo caso la geometria discendente sembra registrare in quantità maggiore le deformazioni che avvengono all'interno del *graben*, con valori che si discostano generalmente di 5 – 10 mm rispetto all'orbita ascendente.

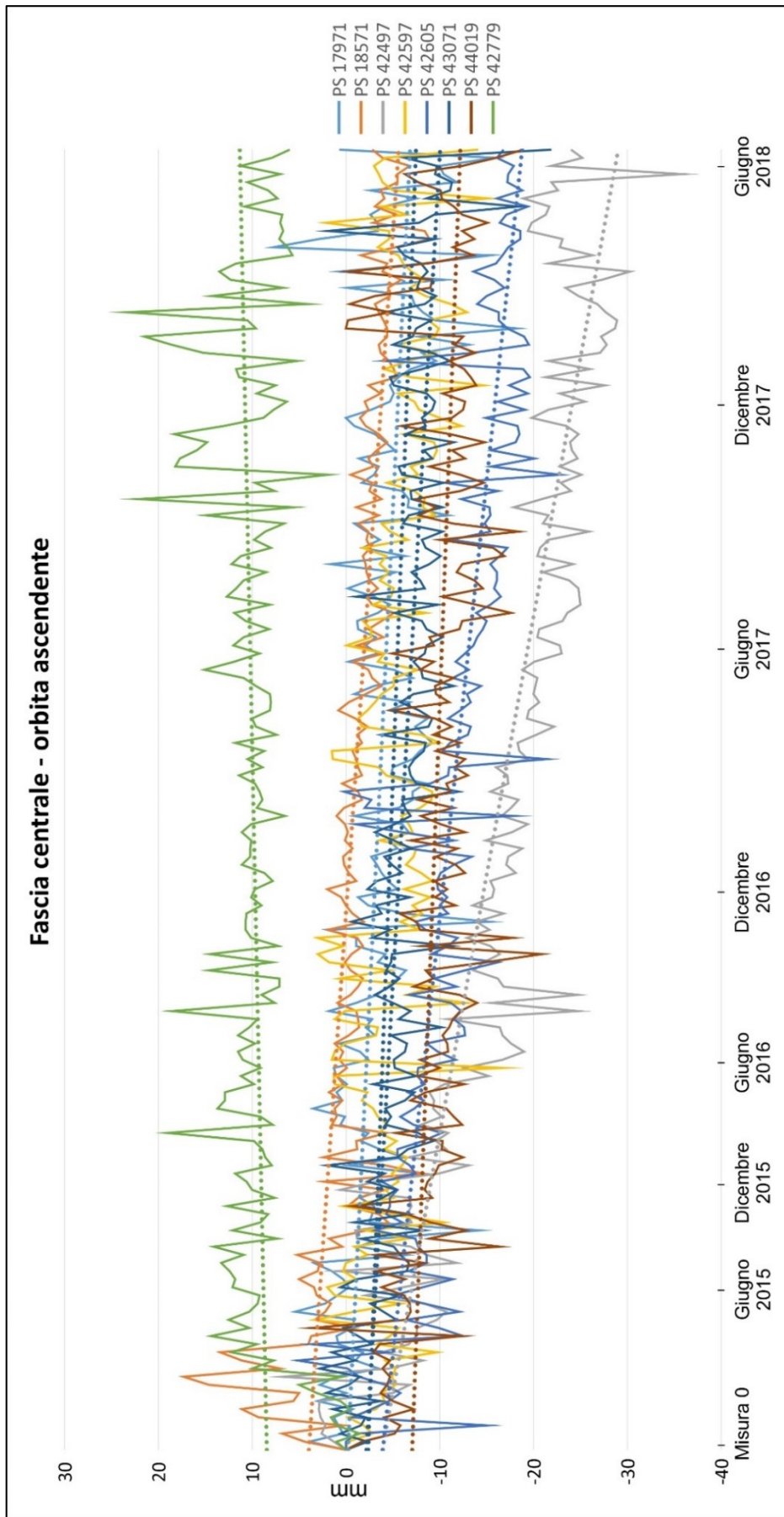


Fig. 5.84 - Serie temporali dei PS ubicati nella fascia centrale del graben di San Leonardello – Orbita ascendente.

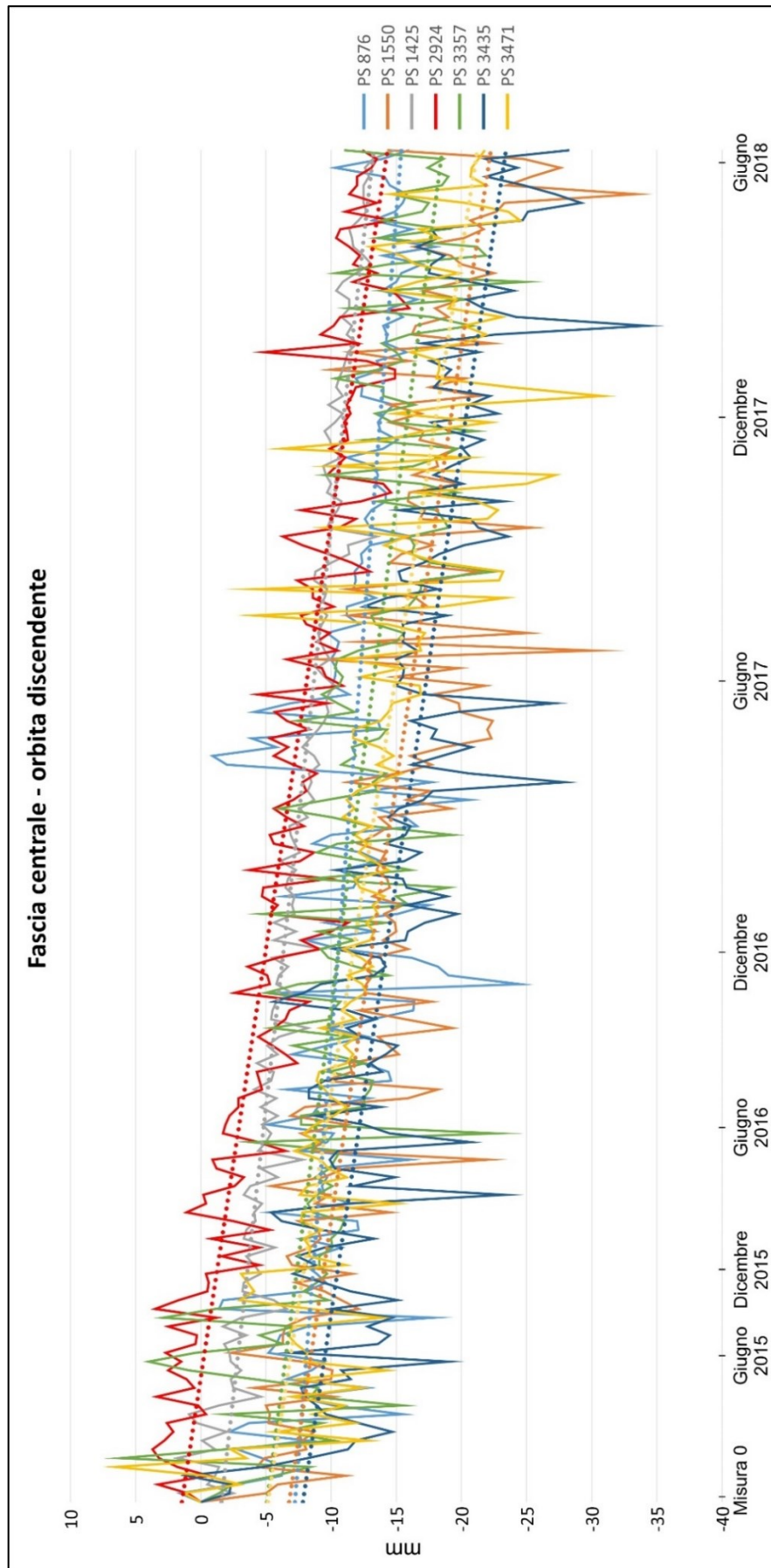


Fig. 5.85 - Serie temporali dei PS ubicati nella fascia centrale del graben di San Leonardello – Orbita discendente.

### 5.6.3 Mappe 3D della deformazione in funzione del tempo

Per rappresentare i dati sullo spostamento in maniera areale, il periodo di acquisizione che va da Ottobre 2014 a giugno 2018 è stato suddiviso in intervalli temporali di sei mesi, ottenendo dati di deformazione cumulati per semestre rispetto alla misura zero.

Sono stati aggiunti nuovi campi (uno per ogni semestre) alla tabella attributi dei PS delle due orbite, copiando l'ultimo valore di spostamento disponibile alla fine di ogni semestre (Fig. 5.86).

RANGE	DEV STD	VLOS ASS	Misura zero	S 2014 2	S 2015 1	S 2015 2	S 2016 1	S 2016 2	S 2017 1	S 2017 2	S 2018 1
-0.5	-0.5	0.5	0	-9.5	-8.3	-11.4	-15.5	-14.1	-12.3	-10.9	-19.3
0	0	0	0	-25.5	-10.2	-12.1	-19.6	-11.9	-15.6	-12.9	-11.5
-2	-2	2	0	-4.4	-4.5	-9.7	-19	-11.3	-11.8	-9	-25.6
-0.5	-0.5	0.5	0	-0.7	-1.4	-1.3	-0.8	-4	-2.5	-3.3	0
-0.5	-0.5	0.5	0	-0.7	1.1	0.5	0.5	-0.1	-3.1	-1.8	-1.3
0.5	0.5	0.5	0	1.7	0.9	-0.3	4.2	5.6	1	-0.3	0.8
-0.5	-0.5	0.5	0	2	3.3	-0.1	5.2	11.9	2.7	0.8	2.6
0.5	0.5	0.5	0	1.4	-0.2	1.7	6.1	2	0.6	0.7	9.2
0	0	0	0	20	3.2	8.9	10.8	11.3	3.3	6.2	19.8
2	2	2	0	9.6	15.4	12.6	18.1	10.3	8.6	9.1	9.5
0	0	0	0	0	-2.7	-1.4	-0.1	2.6	-3.4	-1	-3.2
1	1	1	0	-0.5	6.5	0.3	6.5	5.8	8.4	1.6	5.7

Fig. 5.86 – Calcolo del valore di deformazione raggiunto alla fine di ogni semestre.

Il campo “S\_2015\_1” si riferisce ad esempio all'ultimo valore di spostamento disponibile nel primo semestre del 2015, mentre “S\_2015\_2” indica l'ultimo valore del secondo semestre del 2015. Eseguendo un'interpolazione IDW dei valori presenti in questi campi si ottengono dei *raster* dello spostamento cumulati per ogni semestre; tale operazione è stata automatizzata creando un *tool* denominato “IDW semestri” (Fig. 5.87).

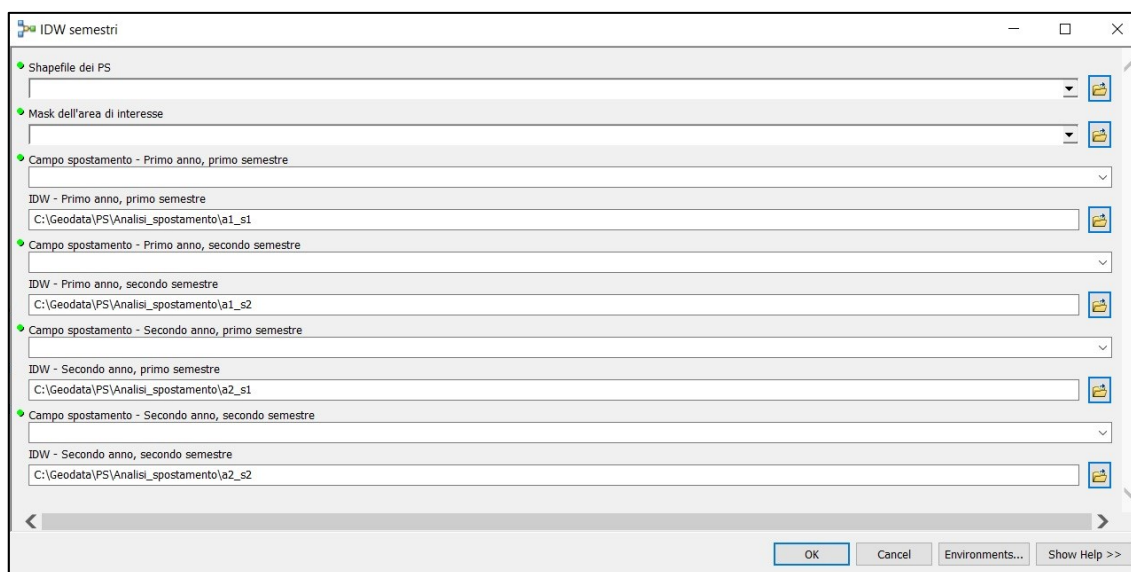


Fig. 5.87 – Schermata d'avvio del tool “IDW semestri”.

I dati di *input* da inserire sono lo *shapefile* dei PS dell'orbita da analizzare e lo *shapefile* poligonale che delimita l'area di studio; nei menu successivi si selezionano i campi relativi ai valori semestrali da interpolare, fino ad un massimo di 4 semestri. In maniera facoltativa, è possibile modificare nome e percorso dei file, che di *default* è stato impostato all'interno della *directory* "C:\Geodata\PS\Analisi\_spostamento".

Le interpolazioni sullo spostamento semestrale possono essere visualizzate anche in 3D, sfruttando il software *ArcScene* (<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/3d-analyst/3d-analyst-and-arcscene.htm>) presente all'interno del pacchetto di *ArcGIS*. I *raster* vengono modellati in base al loro valore di spostamento, inteso qui come valore Z; le altezze sono state poi amplificate di un ordine di grandezza rispetto a quelle reali per enfatizzare la morfologia finale.

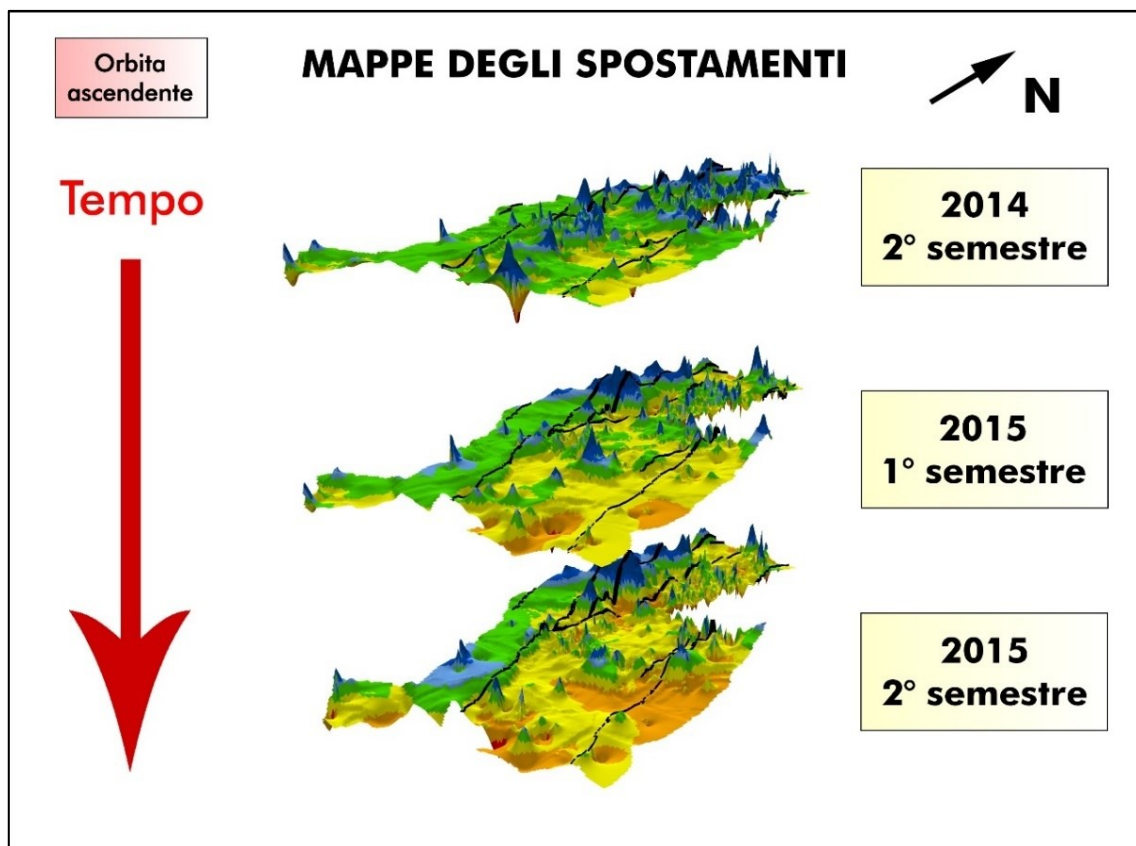


Fig. 5.88 – Mappe 3D degli spostamenti da Ottobre 2014 a Dicembre 2015 – Orbita ascendente (Gaben di S. Leonardello).

In orbita ascendente, già a partire dai primi 3 semestri di osservazione (Fig. 5.88), si nota un lieve allontanamento dal satellite della zona centrale e della zona a est della faglia di Trepunti – Stazzo. Deformazioni di grande entità si hanno solo a partire dal

secondo semestre del 2016 (Fig. 5.89 e Fig. 5.90), quando vengono superati valori di -10 mm nell'area sud orientale del *graben* e di -13/-15 mm in alcune zone, circostanziate in prossimità della faglia di S. Leonardello e più estese nella zona sud orientale vicino alla faglia Trepunti – Stazzo.

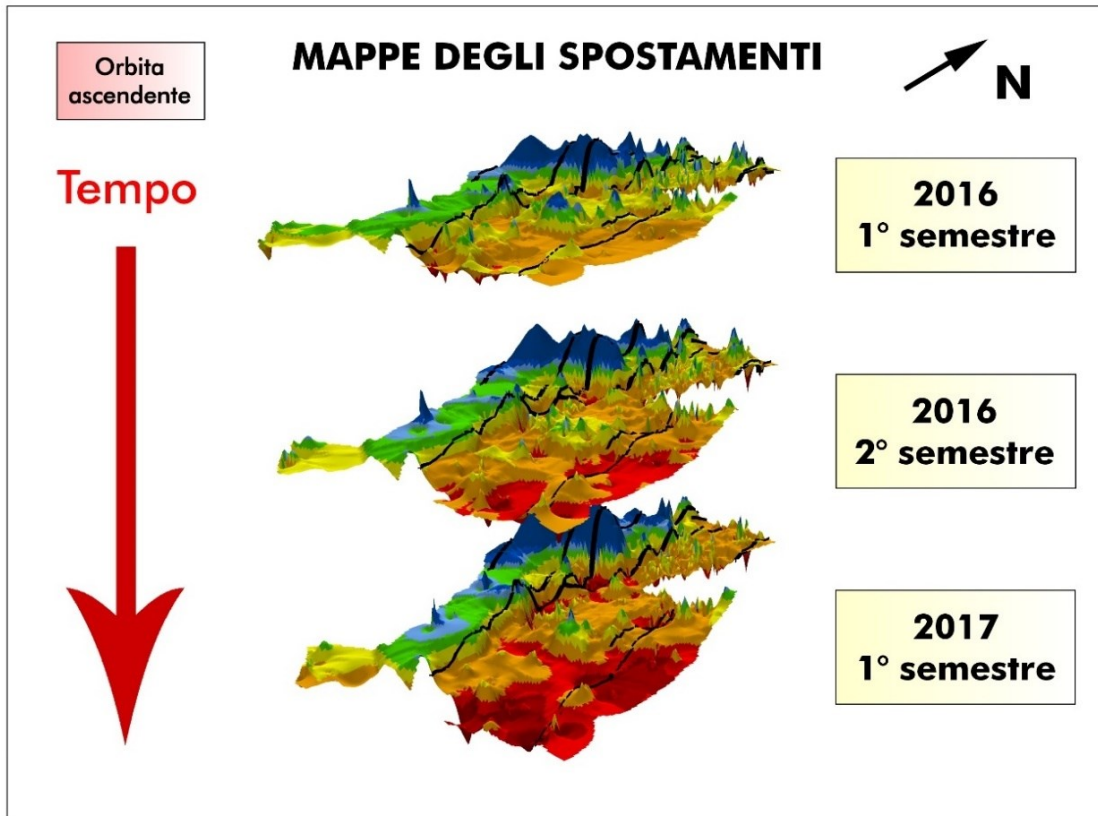


Fig. 5.89 - Mappe 3D degli spostamenti da Gennaio 2016 a Giugno 2017 – Orbita ascendente (Graben di S. Leonardello).

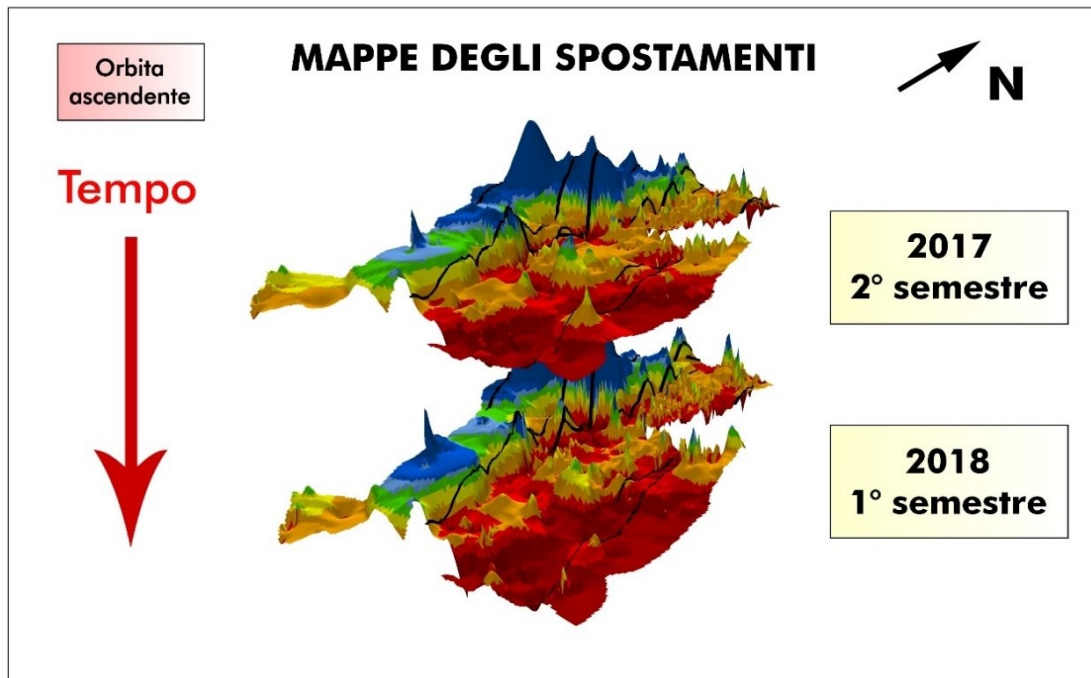


Fig. 5.90 - Mappe 3D degli spostamenti da Luglio 2017 a Giugno 2018 – Orbita ascendente (Graben di S. Leonardello).

La zona ad ovest della faglia di S. Leonardello risulta invece in lieve sollevamento, con valori che si avvicinano via via al campo di stabilità procedendo da nord verso sud.

In orbita discendente si registrano valori significativi di deformazione in allontanamento dal satellite già a partire dal secondo semestre del 2015 (Fig. 5.91), che testimoniano la presenza di una velocità media di deformazione decisamente più alta rispetto alle immagini precedenti.



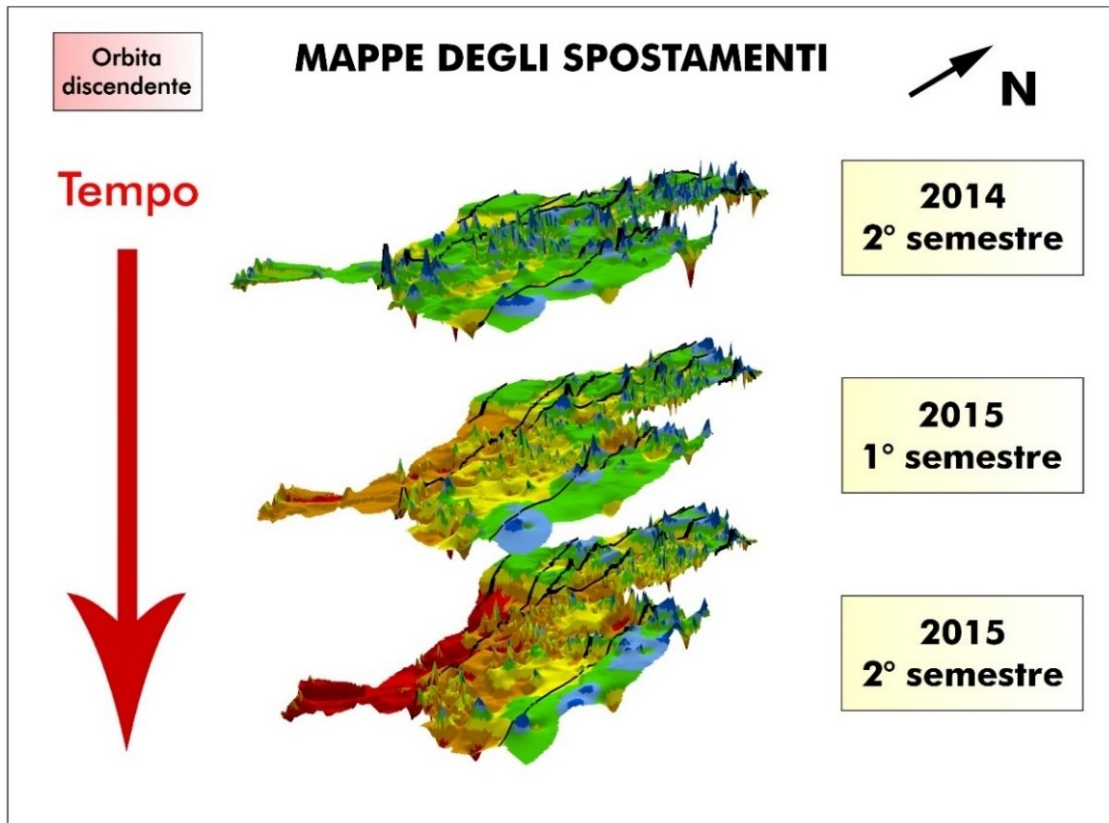


Fig. 5.91 - Mappe 3D degli spostamenti da Ottobre 2014 a Dicembre 2015 – Orbita discendente (Graben di S. Leonardello).

La deformazione sembra interessare dapprima la zona sud – ovest al di fuori del *graben* per poi spostarsi in maniera più massiva anche nella zona centrale a partire dal 2017 (Fig. 5.92), quando l'area in allontanamento si estende fino al confine con la faglia di Trepunti – Stazzo; a est di quest'ultima permane una situazione di stabilità fino alla fine del periodo di osservazione, ad eccezione di alcuni picchi molto localizzati in lieve avvicinamento. Alla fine del periodo di osservazione (Fig. 5.93) vengono raggiunti valori molto elevati di allontanamento in tutta la zona centrale del *graben* e ad ovest della faglia di S. Leonardello.

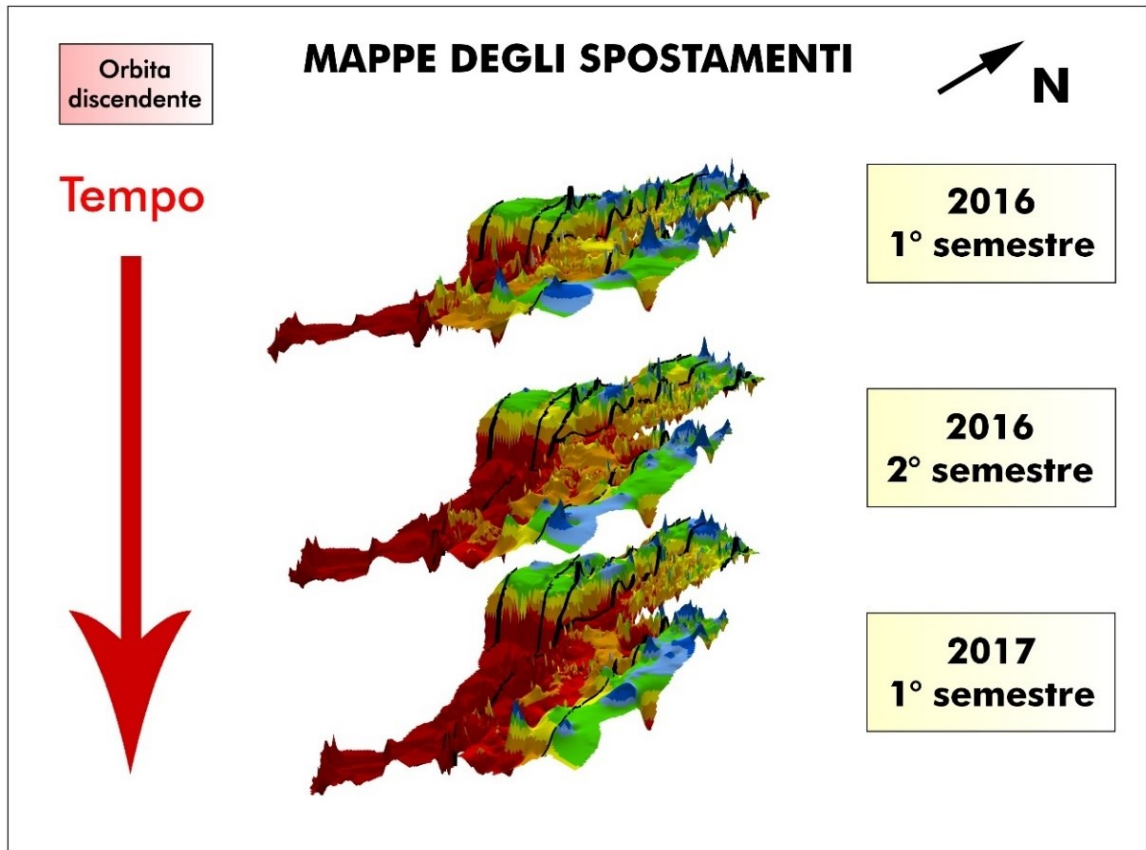


Fig. 5.92 - Mappe 3D degli spostamenti da Gennaio 2016 a Giugno 2017 – Orbita discendente (Graben di S. Leonardello).

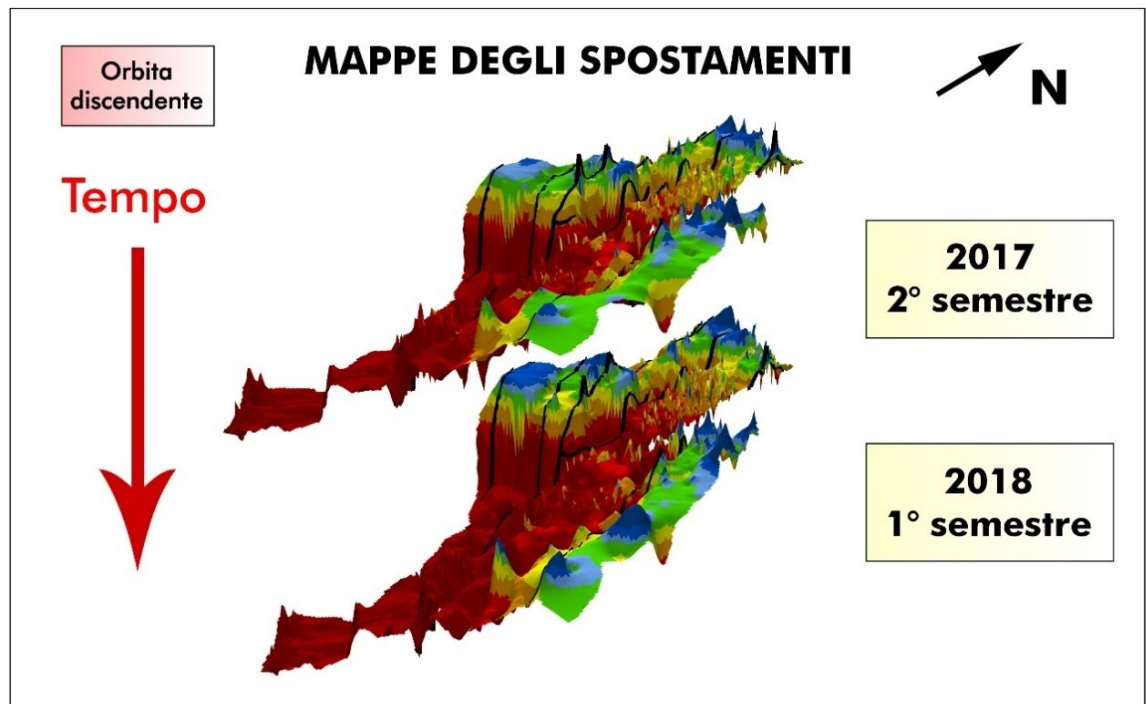


Fig. 5.93 - Mappe 3D degli spostamenti da Luglio 2017 a Giugno 2018 – Orbita discendente (Graben di S. Leonardello).

Se in orbita ascendente si raggiungono valori massimi intorno ai -16 mm, in questo caso si oltrepassano in maniera abbastanza omogenea i -40/-50 mm. La combinazione dei valori differenti di allontanamento delle due geometrie potrebbe suggerire la presenza di una componente di movimento verso ovest, maggiormente visibile dalle misurazioni effettuate in geometria discendente.

#### *5.6.4 Profili della VLos e dello spostamento*

Per meglio analizzare il comportamento della zona in subsidenza sono stati realizzati una serie di profili che prendono in esame l'andamento della VLos e della deformazione in funzione del tempo: dovendo utilizzare i dati continui forniti dalle interpolazioni IDW per la realizzazione dei profili, la scelta della loro ubicazione è stata influenzata dalla distribuzione dei PS nelle due geometrie di acquisizione, tenendo a mente che l'accuratezza dell'algoritmo IDW utilizzato si fa via via minore allontanandosi dalle zone ad alta densità di PS.

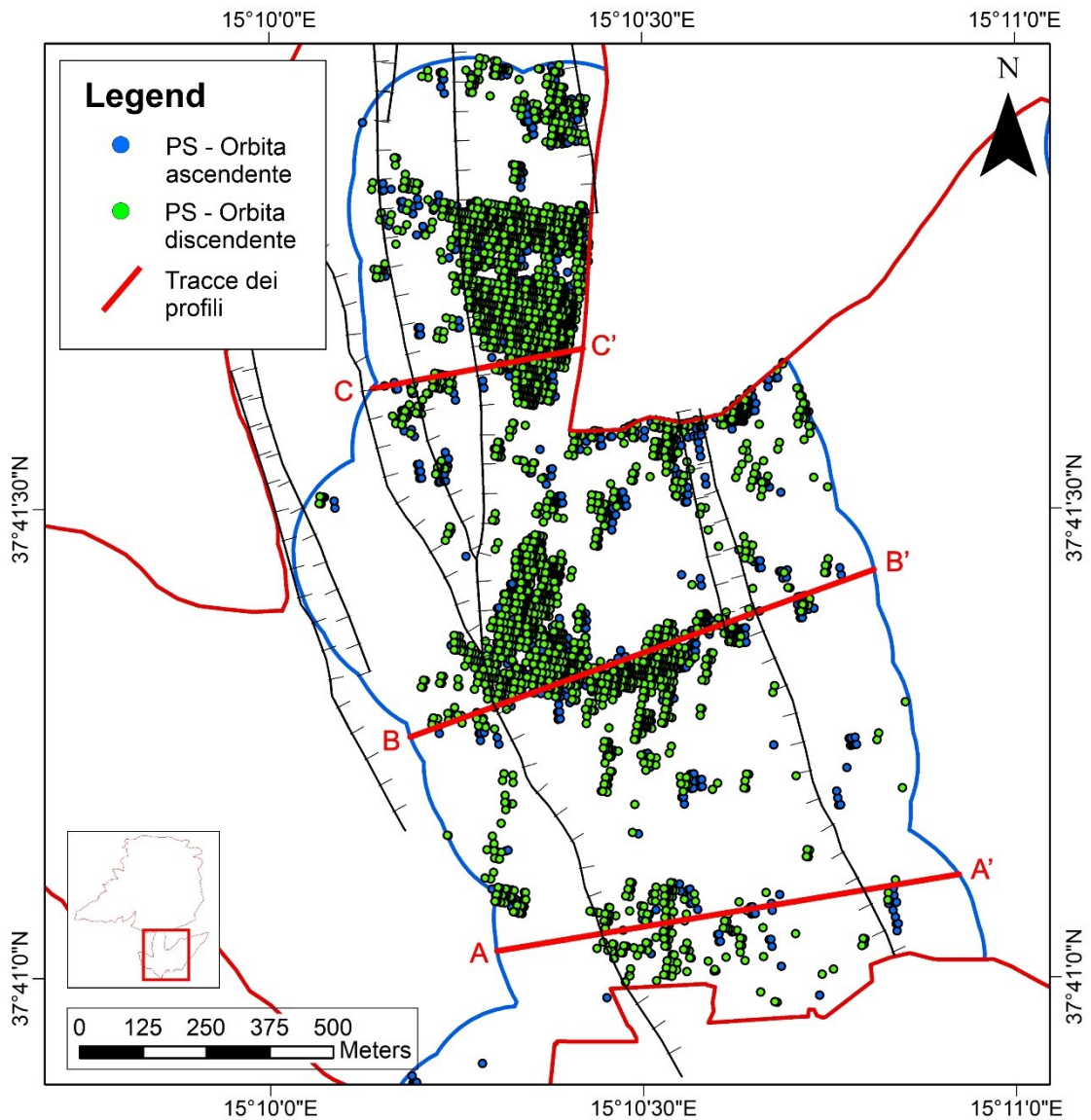


Fig. 5.94 – Ubicazione delle tre tracce dei profili di velocità e spostamento.

Le tre tracce scelte (Fig. 5.94) si collocano nella zona centrale (che dalle analisi delle serie temporali sembra essere quella più interessata da fenomeni deformativi), nella zona meridionale e in quella settentrionale dell'area in subsidenza. La direzione dei profili è stata mantenuta quanto più trasversale possibile alle faglie di San Leonardello e Trepunti – Stazzo, avendo però come vincolo il passaggio dalle zone a maggior densità di PS.

Sono stati realizzati due tipi di profili per ogni traccia e per entrambe le geometrie di acquisizione:

- Andamento della VLos lungo la traccia del profilo;
- Andamento dello spostamento in funzione del tempo.

#### 5.6.4.1 Andamento della VLos lungo le tracce dei profili

In questo caso le tracce dei profili, in *shapefile* lineari separati, vengono intersecate con i valori di VLos presenti nelle interpolazioni IDW in entrambe le geometrie. Il *tool* creato per l'occasione, denominato "Profili VLos - D", permette di generare una tabella all'interno di un *Geodatabase*, convertita successivamente attraverso l'operazione *Table to dBase* in un file .dbf, più facilmente gestibile tramite *software* esterni come *Microsoft Excel* (Fig. 5.95).

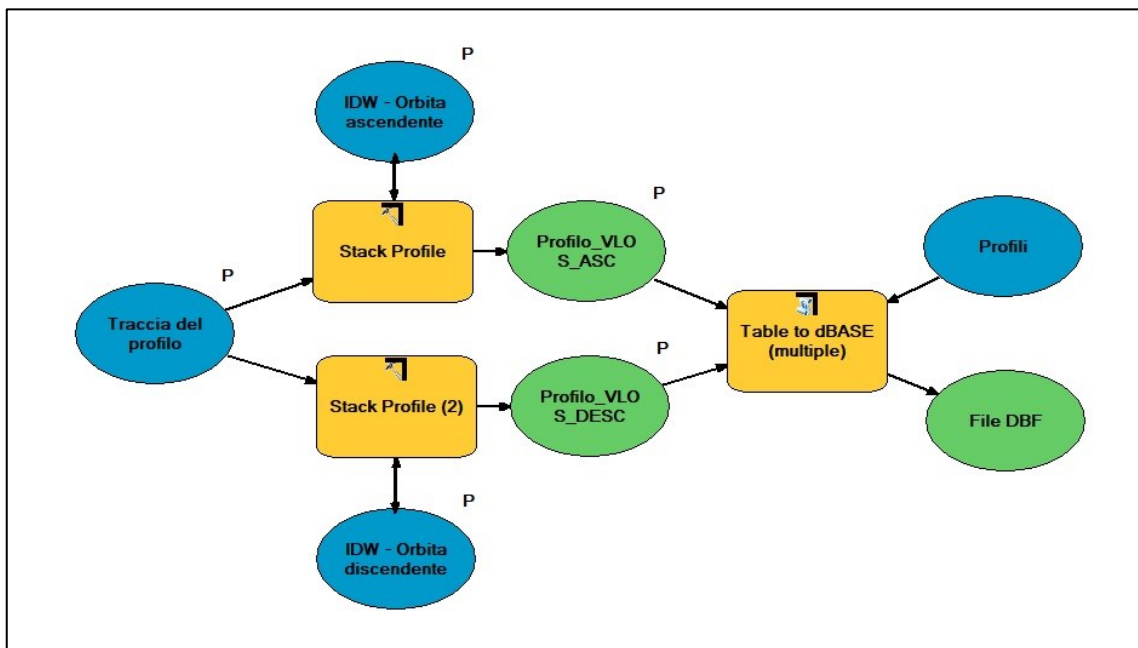


Fig. 5.95 – Struttura del tool per la creazione dei file Excel con i dati necessari alla generazione dei profili.

Il *tool* genera automaticamente 2 file .DBF, uno per ogni geometria di acquisizione, a partire da un'unica traccia che si interseca contemporaneamente alle due interpolazioni IDW della VLos: il file generato ha dunque una colonna delle ascisse con i valori D relativi allo spostamento lungo la traccia del profilo, e una colonna delle ordinate con i valori di VLos ereditati dall'interpolazione in quel determinato punto della traccia.

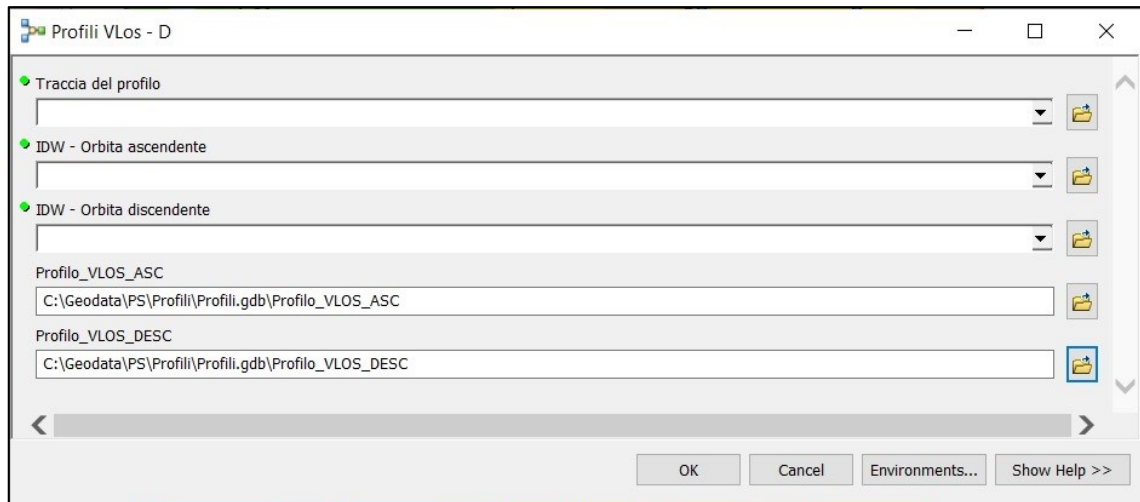


Fig. 5.96 – Schermata d’avvio del tool “Profili VLos – D”.

I dati di *input* richiesti sono lo *shapefile* lineare contenente la traccia del profilo e le due interpolazioni IDW nelle due geometrie di acquisizione.

Il profilo A – A’ (Fig. 5.97), il più a sud dei tre, evidenzia il diverso comportamento dei PS nelle due geometrie soprattutto all’esterno della zona in subsidenza, a ovest della faglia di San Leonardello e ad est di quella di Trepunti – Stazzo. Nel settore 1 del profilo i PS appaiono stabili in orbita ascendente e in forte allontanamento in orbita discendente, combinazione che indica un movimento relativo della zona verso ovest. Nel settore 2 i PS di entrambe le orbite si allontanano dal satellite con velocità simili e indicano quindi una subsidenza generalizzata dell’intera area compresa tra le due faglie. Nel settore 3 il comportamento nelle due geometrie è opposto a quello del settore 1, evidenziando un movimento relativo verso est ma con velocità probabilmente inferiori a quelle del settore 1.

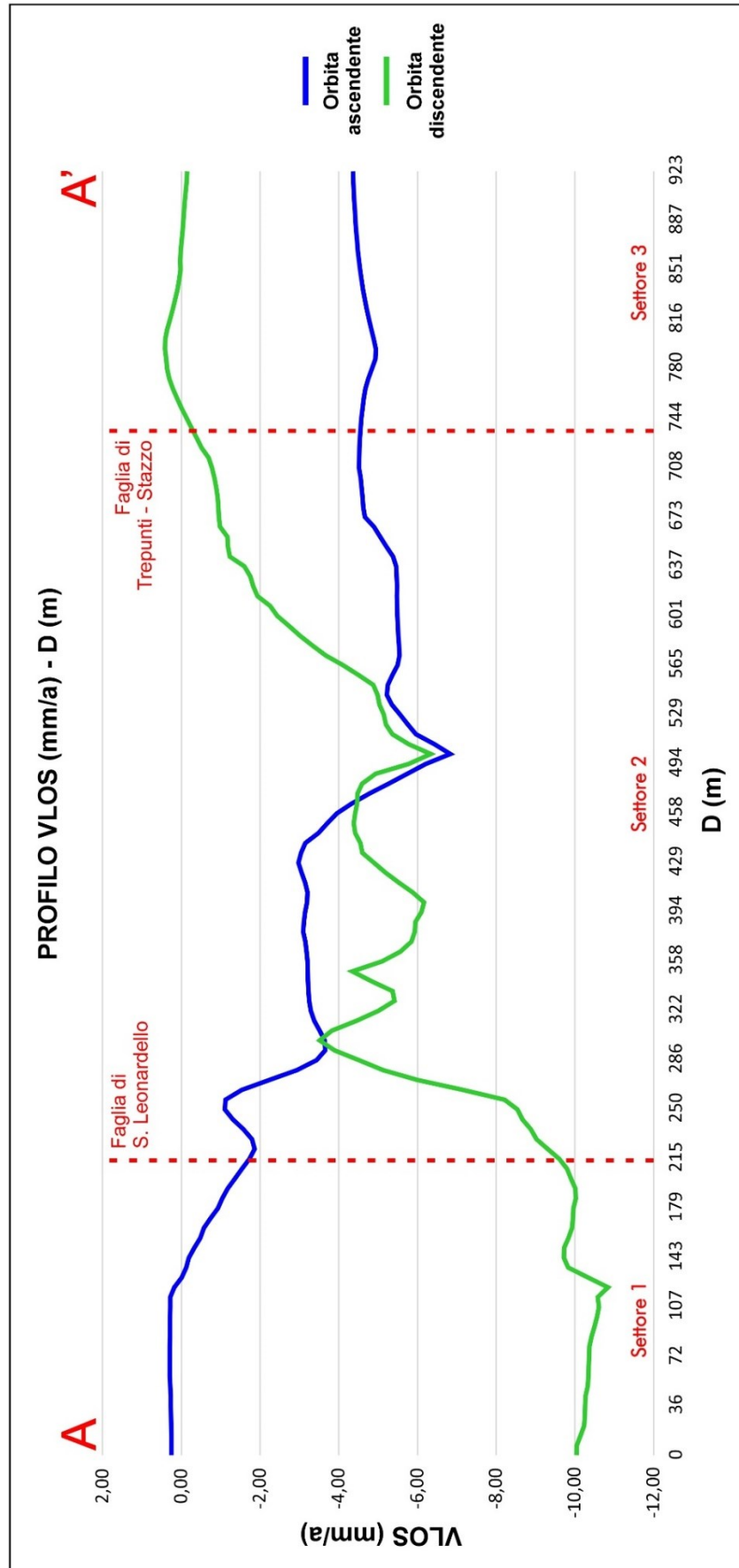


Fig. 5.97 – Andamento della VLos lungo la traccia A - A'.

Il profilo B – B' (Fig. 5.98) attraversa invece la zona centrale del *graben*. Anche in questo caso si possono distinguere tre settori a comportamento sensibilmente differente: un movimento relativo verso ovest nel settore 1, uno di subsidenza nel settore 2 e un movimento relativo verso est nel settore 3; tutti i settori hanno quindi un comportamento simile ai corrispettivi settori del profilo A – A'. Le maggiori differenze si riscontrano nel settore 2, dove le velocità raggiungono valori superiori rispetto al profilo sottostante, toccando picchi vicini ai -10 mm/a in orbita discendente. In entrambi i profili è possibile notare come i valori più alti di velocità si raggiungano entro 70 – 100 m di distanza a est della faglia di San Leonardello, per poi stabilizzarsi su valori compresi generalmente tra i -2 e i -6 mm/a.

Il profilo C -C' (Fig. 5.99) interessa la parte nord del *graben* e si estende per circa 400 m di lunghezza. Il settore 1 evidenzia una situazione prossima alla stabilità, con velocità molto basse in avvicinamento al satellite solo in orbita ascendente che possono indicare un leggerissimo movimento relativo verso ovest. All'interno del settore 2, oltrepassata la faglia Codavolpe – S. Leonardello, vi è un progressivo aumento dei valori di velocità in allontanamento dal satellite, che si fa più marcato negli ultimi 20 – 30 m prima di raggiungere la faglia Cutuli – S. Leonardello. Il settore 3 mostra una chiara situazione di subsidenza, con variazioni di velocità minime e sempre comprese tra i -3 e i -4 mm/a in entrambe le geometrie di acquisizione. I tassi di subsidenza tendono quindi a diminuire notevolmente procedendo dalla zona centrale verso nord, come confermato anche dalle analisi delle serie temporali.



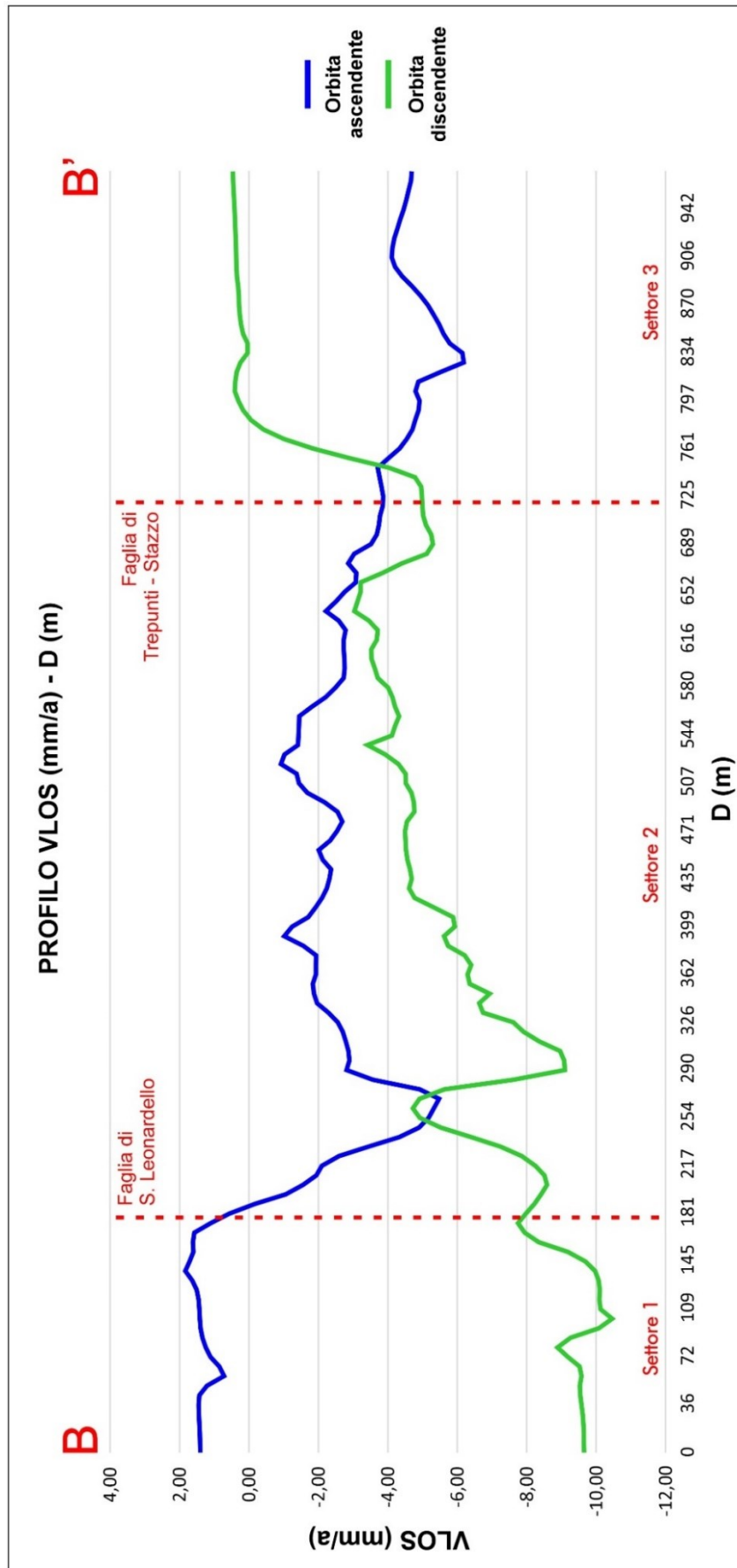


Fig. 5.98 - Andamento della VLos lungo la traccia B - B'.

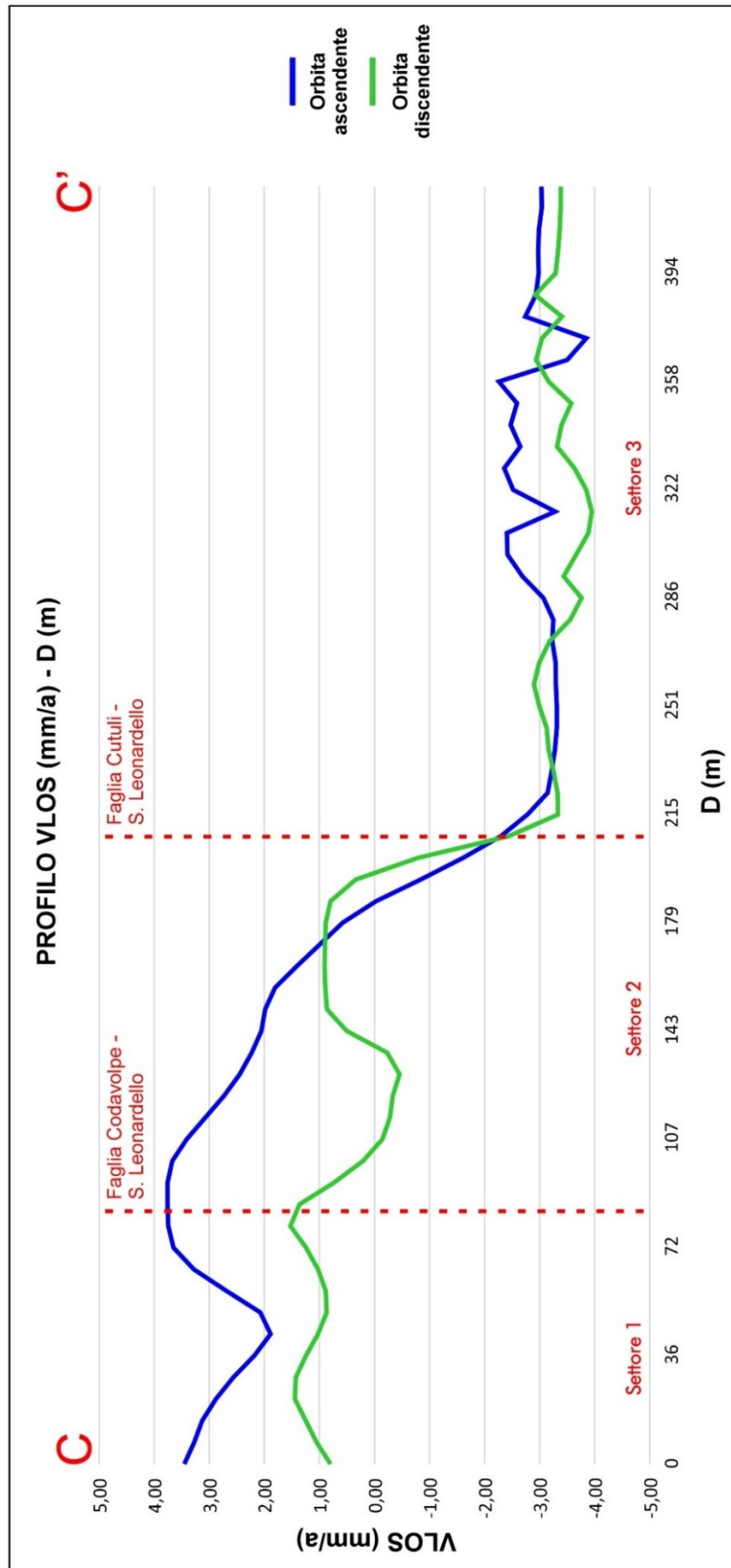


Fig. 5.99 - Andamento della VLos lungo la traccia C - C'.

#### 5.6.4.2 Andamento dello spostamento in funzione del tempo lungo le tracce dei profili

I profili di questo tipo sono realizzati a partire dalle interpolazioni IDW sui valori cumulati nei diversi semestri (Fig. 5.86). In questo caso viene indicato il valore di spostamento (S) in mm in ordinata, la distanza (D) in m percorsa lungo la traccia del profilo in ascissa, mentre il parametro tempo viene esplicitato attraverso curve di diverso colore che rappresentano l'andamento cumulato dello spostamento per ogni semestre.

La differenza sostanziale che intercorre tra questi profili e quelli mostrati nel Par. 5.6.4.1 è che questi ultimi permettono di identificare le variazioni di velocità solo lungo la traccia del profilo ma basandosi su un valore di VLos annuo mediato per tutto l'arco temporale di acquisizione dei dati. Non ci sono quindi indicazioni temporali su quando è avvenuto un determinato cambiamento di velocità ma solo indicazioni spaziali su dove è avvenuto. Con i profili di spostamento in funzione del tempo, invece, è possibile non solo individuare eventuali variazioni di velocità lungo la traccia del profilo, ma anche identificare il periodo in cui sono avvenute, comparando i diversi andamenti delle curve relative ai singoli semestri. Da questo punto di vista tali profili forniscono informazioni paragonabili alle analisi delle serie temporali effettuate sui singoli PS, ma distribuite lungo un profilo lineare che attraversa l'intera zona analizzata.

Analizzando il profilo A – A' (Fig. 5.100 e Fig. 5.101), l'area, come nei precedenti profili, è stata suddivisa in tre settori, delimitati dalla presenza delle due faglie: il settore 1, sia in orbita ascendente che discendente, è costituito da un andamento costante nel tempo, con un generale allontanamento dal satellite visibile maggiormente in orbita discendente fino ad arrivare ad un valore di -40 mm; il settore 2, in orbita ascendente, evidenzia la presenza di un cambiamento netto dei valori di spostamento, e quindi di velocità, a 400 m e a 500 m di distanza dal punto A (cerchi rossi in Fig. 5.100). In queste porzioni di profilo il *trend* della curva relativa al primo semestre del 2016 si discosta notevolmente da quella del precedente semestre e da quella del primo semestre del 2015. Anche in questo caso la causa è probabilmente l'evento di *creep* datato marzo – maggio 2016. Nel settore 3, in orbita ascendente, è visibile invece un'accelerazione avvenuta tra il primo semestre del 2016 e il secondo semestre del 2016 (cerchio nero in Fig. 5.100), mentre in orbita discendente vi è una situazione di stabilità costante, con valori di deformazione quasi prossimi allo zero.

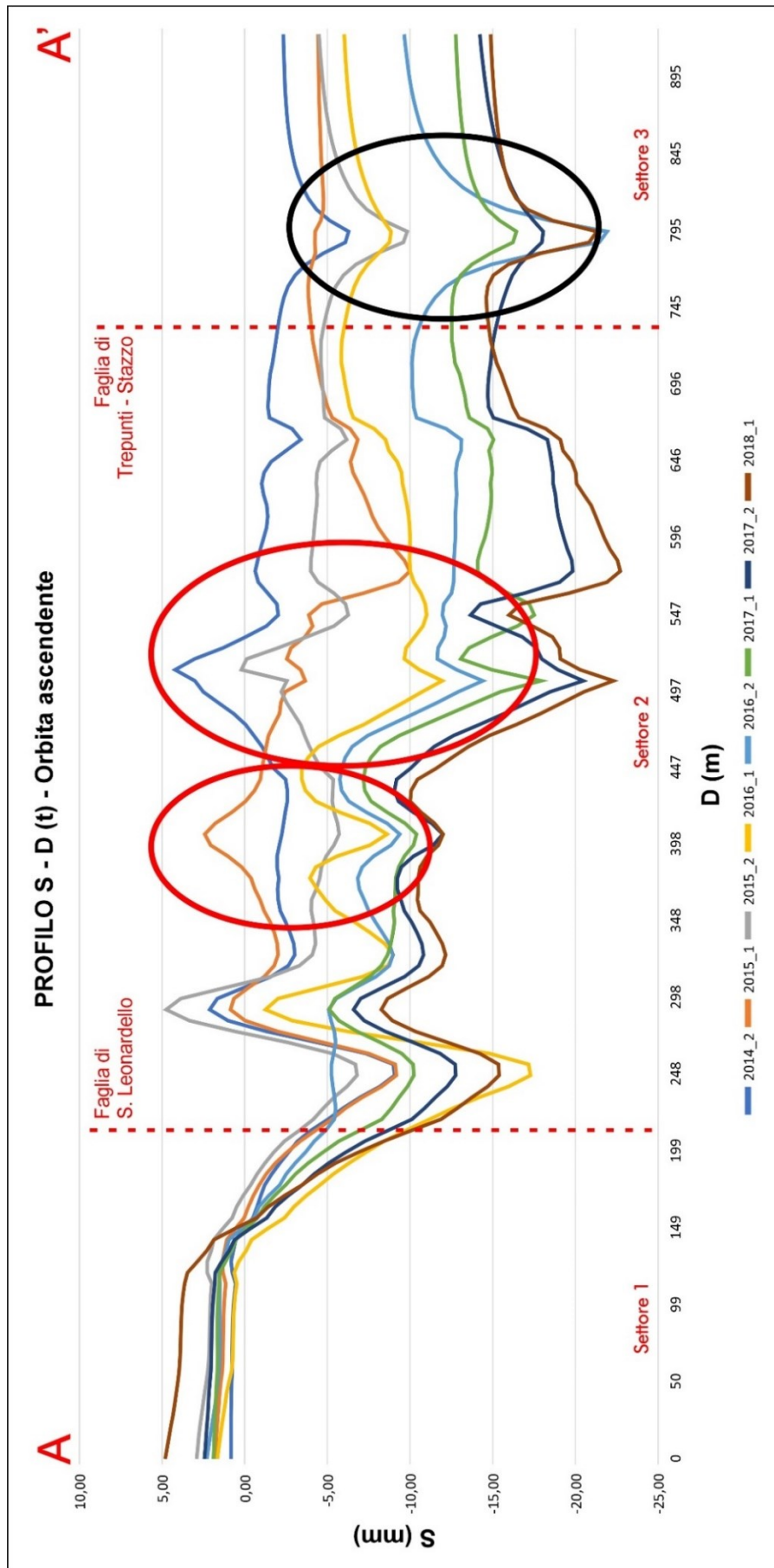


Fig. 5.100 – Andamento dello spostamento in funzione del tempo lungo la traccia A - A' – Orbita ascendente.

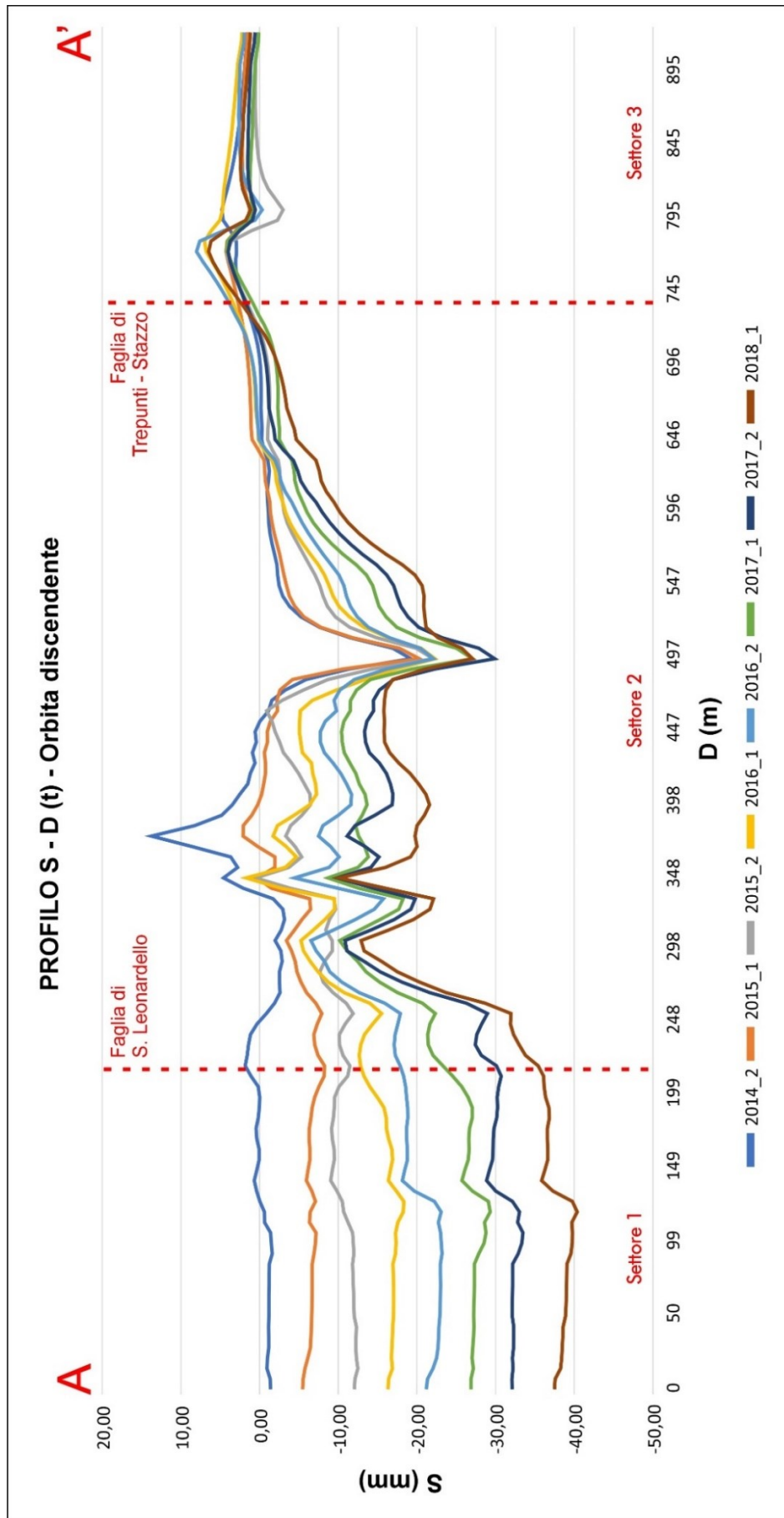


Fig. 5.101 - Andamento dello spostamento in funzione del tempo lungo la traccia A - A' – Orbita discendente.

Per quanto riguarda il profilo B – B', in orbita ascendente (Fig. 5.102) si nota subito il progressivo aumento della deformazione a est della faglia di San Leonardello (settore 2) con alcuni picchi negativi che si fanno via via sempre più accentuati. In alcuni punti in orbita ascendente, a circa 260 m e 500 m di distanza dal punto B, si evidenziano accelerazioni tra la fine del 2015 e il primo semestre del 2016 (cerchi rossi); in orbita discendente (Fig. 5.103) la stessa variazione di velocità si registra tra i 270 m e i 350 m (cerchio rosso). Il settore 1 mostra un avvicinamento al satellite costante col passare del tempo in orbita ascendente, con una piccola accelerazione tra il secondo semestre del 2017 e il primo semestre del 2018 (cerchio nero), mentre in orbita discendente vi è un costante e progressivo movimento in allontanamento.

Il settore 3 evidenzia una situazione di stabilità in orbita discendente e un costante movimento in allontanamento dal satellite in orbita ascendente, con alcune piccole perturbazioni nell'andamento delle curve tra la fine del 2015 e la fine del 2016 (cerchio verde).

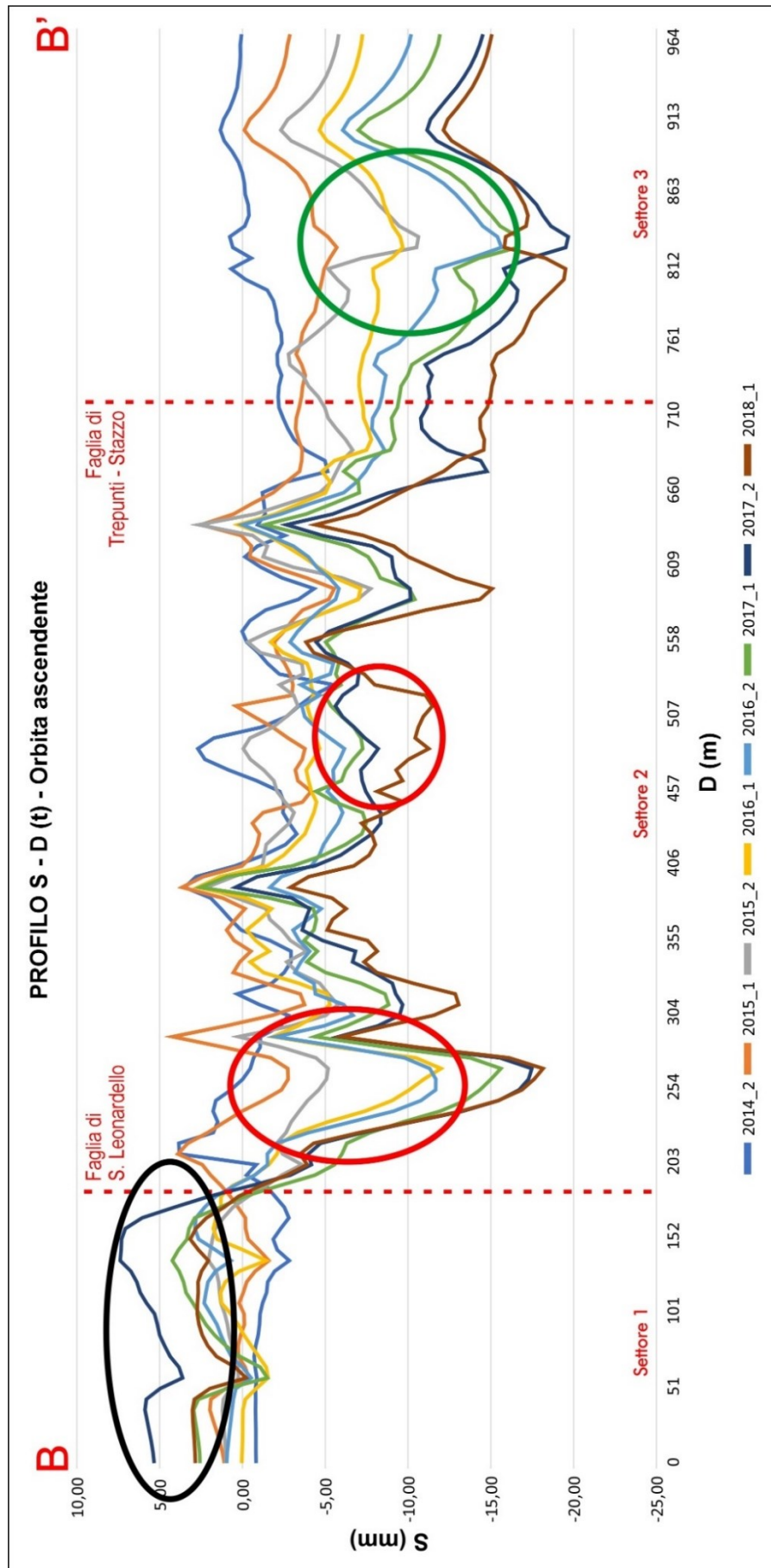


Fig. 5.102 - Andamento dello spostamento in funzione del tempo lungo la traccia B - B' – Orbita ascendente.

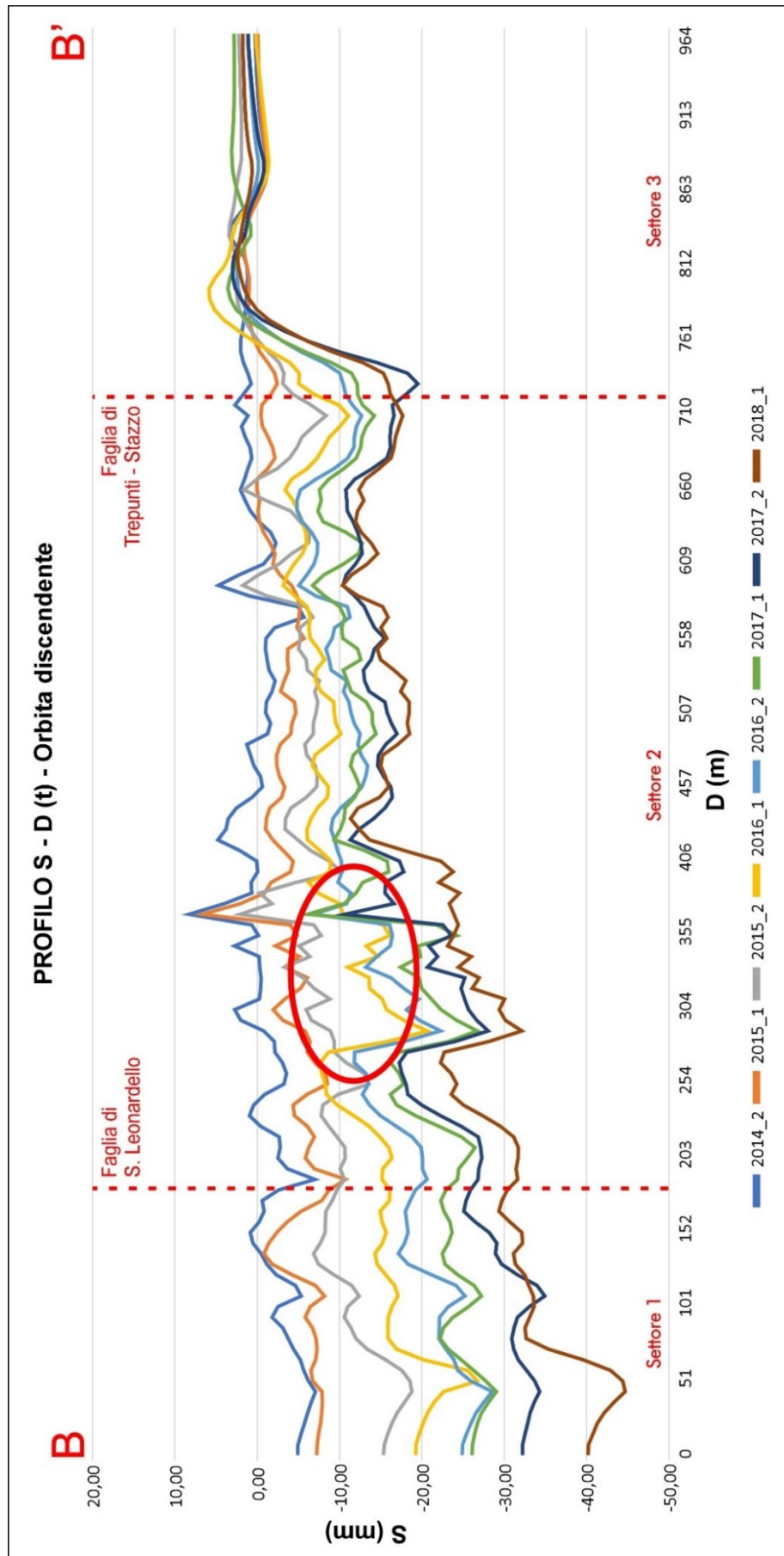


Fig. 5.103 - Andamento dello spostamento in funzione del tempo lungo la traccia B - B' – Orbita discendente.



Nei profili C – C', il settore 1 evidenzia sia in orbita ascendente che discendente un progressivo movimento in avvicinamento al satellite, che si fa più repentino al passaggio tra il secondo semestre del 2017 e il primo semestre del 2018 (cerchi rossi in Fig. 5.104 e Fig. 5.105). Il movimento in avvicinamento è visibile nel settore 2 in entrambe le geometrie, fino a interrompersi in prossimità della faglia Cutuli – S. Leonardello, dai 180 m ai 200 m di distanza dal punto iniziale C (cerchi neri in Fig. 5.104 e Fig. 5.105).

Nel settore 3, in entrambe le geometrie di acquisizione, risulta visibile un movimento di allontanamento dal satellite costante a partire dal primo semestre, suggerendo che la subsidenza generale dell'area ha interessato solo la porzione più a est della faglia Cutuli – S. Leonardello. Si segnala la presenza di un picco negativo nel valore di deformazione (cerchio verde) in orbita ascendente a circa 360 m e un picco positivo in orbita discendente a circa 290 m (cerchio blu), probabilmente dovuti a fenomeni molto localizzati e legati a determinate infrastrutture che fungono da bersagli *radar*.

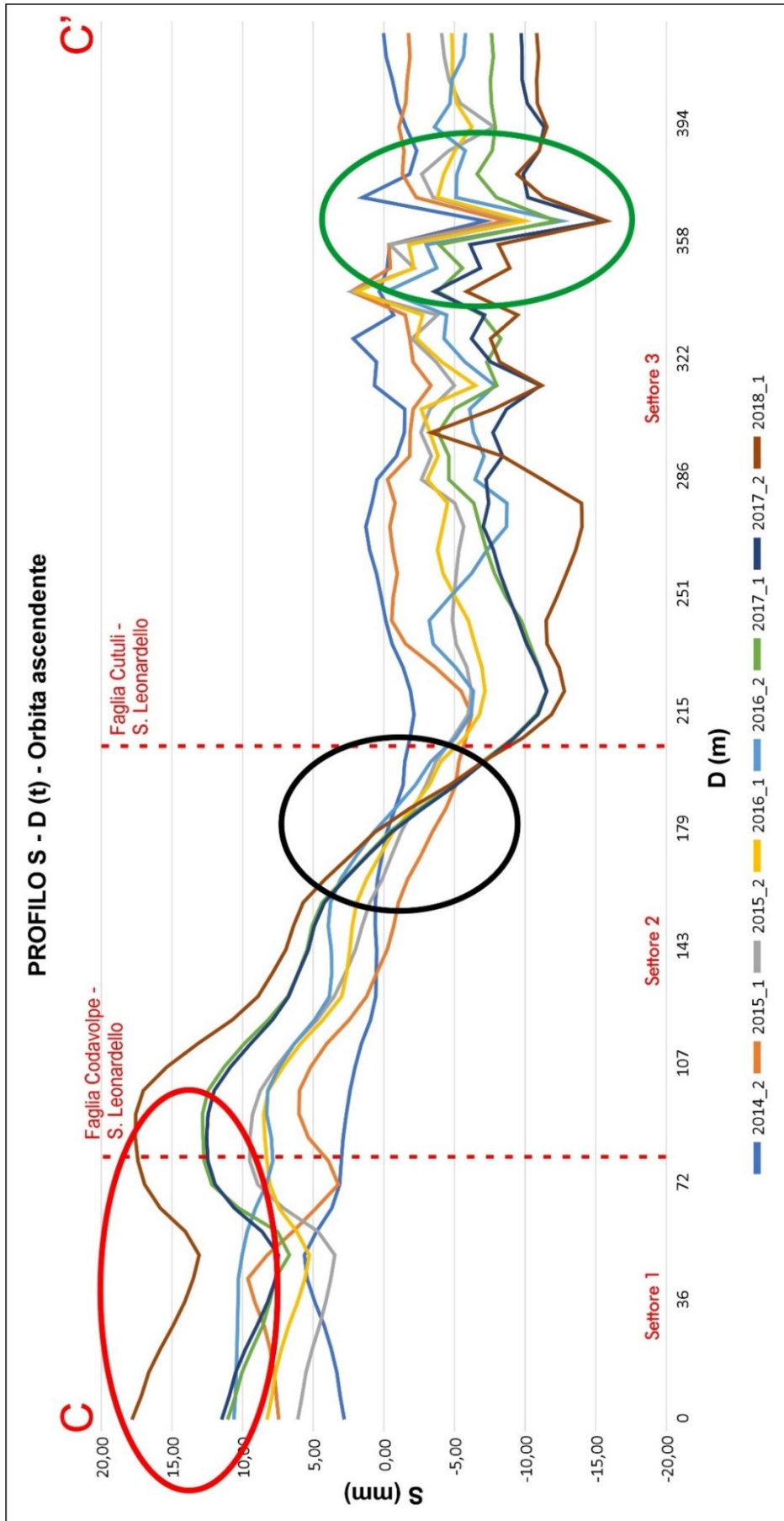


Fig. 5.104 - Andamento dello spostamento in funzione del tempo lungo la traccia C - C' – Orbita ascendente.

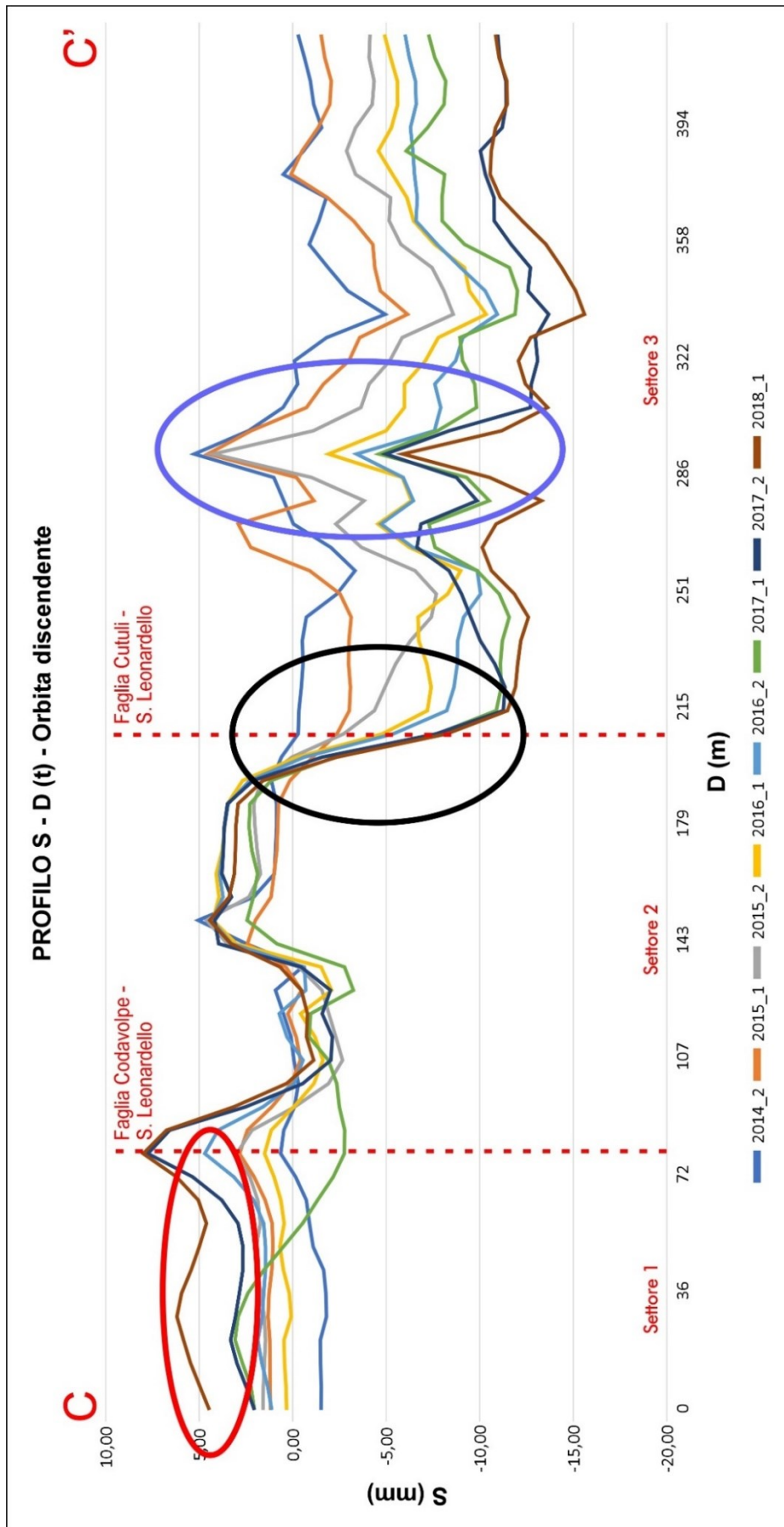


Fig. 5.105 - Andamento dello spostamento in funzione del tempo lungo la traccia C - C' – Orbita discendente.

La procedura per la realizzazione di questi profili è stata in parte automatizzata con la creazione del *tool* denominato “Profili S – D (t)” (Fig. 5.106).

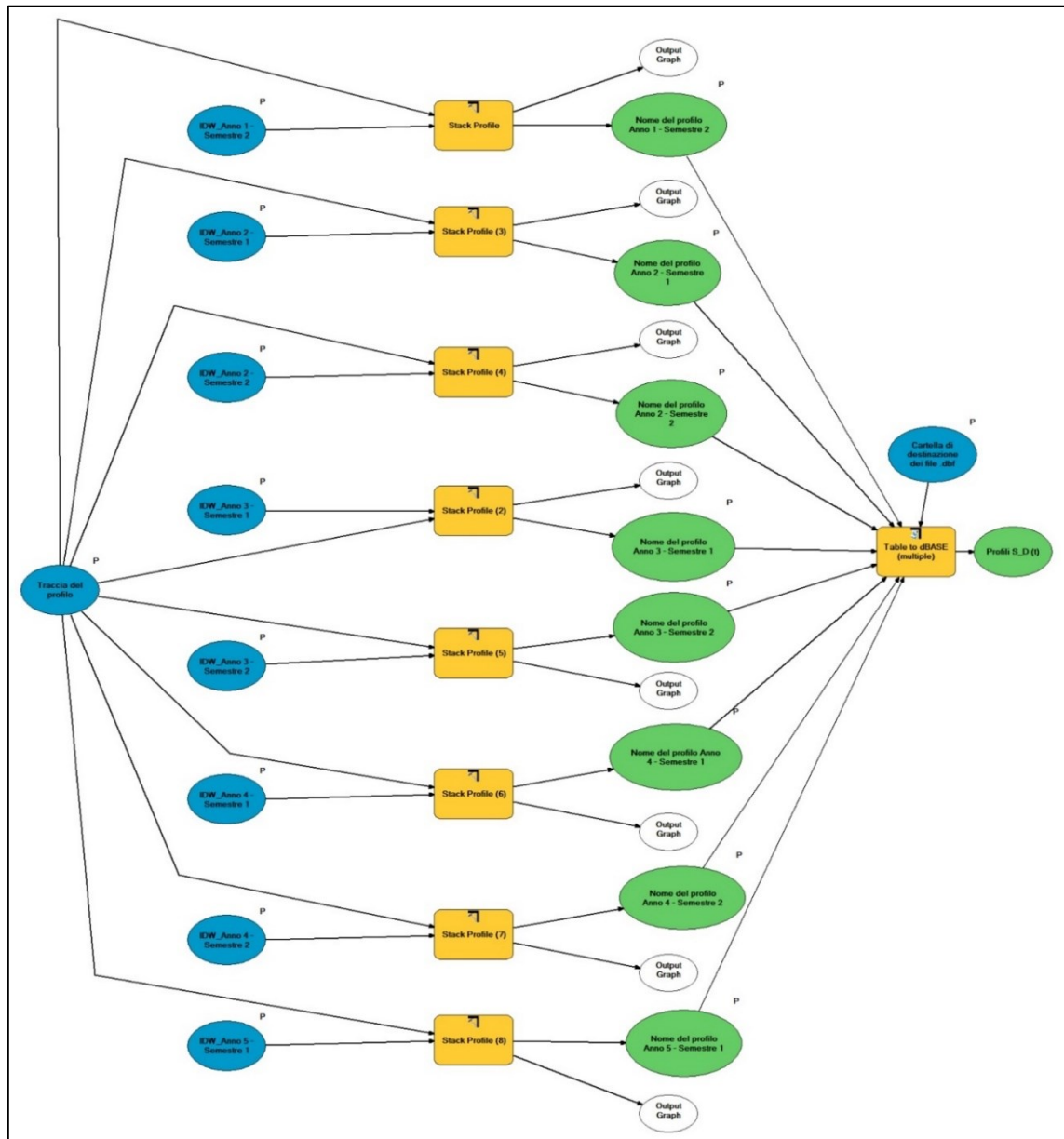


Fig. 5.106 – Struttura del tool per la realizzazione dei profili dello spostamento in funzione del tempo.

Il *tool* funziona in maniera del tutto simile a quello realizzato per i “profili VLos – D” visto in Fig. 5.95, effettuando in questo caso i profili per singolo semestre, basati su una traccia scelta dall’utente e sulle interpolazioni IDW dei valori di spostamento dei singoli semestri, ottenibili anch’essi in maniera semiautomatizzata tramite il *tool* “IDW semestri”. Viene quindi realizzata una serie di file con estensione .dbf, uno per semestre, che possono essere poi riuniti ed elaborati tramite *software* esterni.

Il *tool* è stato ottimizzato per elaborare otto profili, essendo le misurazioni disponibili distribuite in 4 anni totali, ma può in ogni momento essere modificato con facilità per permettere di elaborare più o meno profili, a seconda delle esigenze.

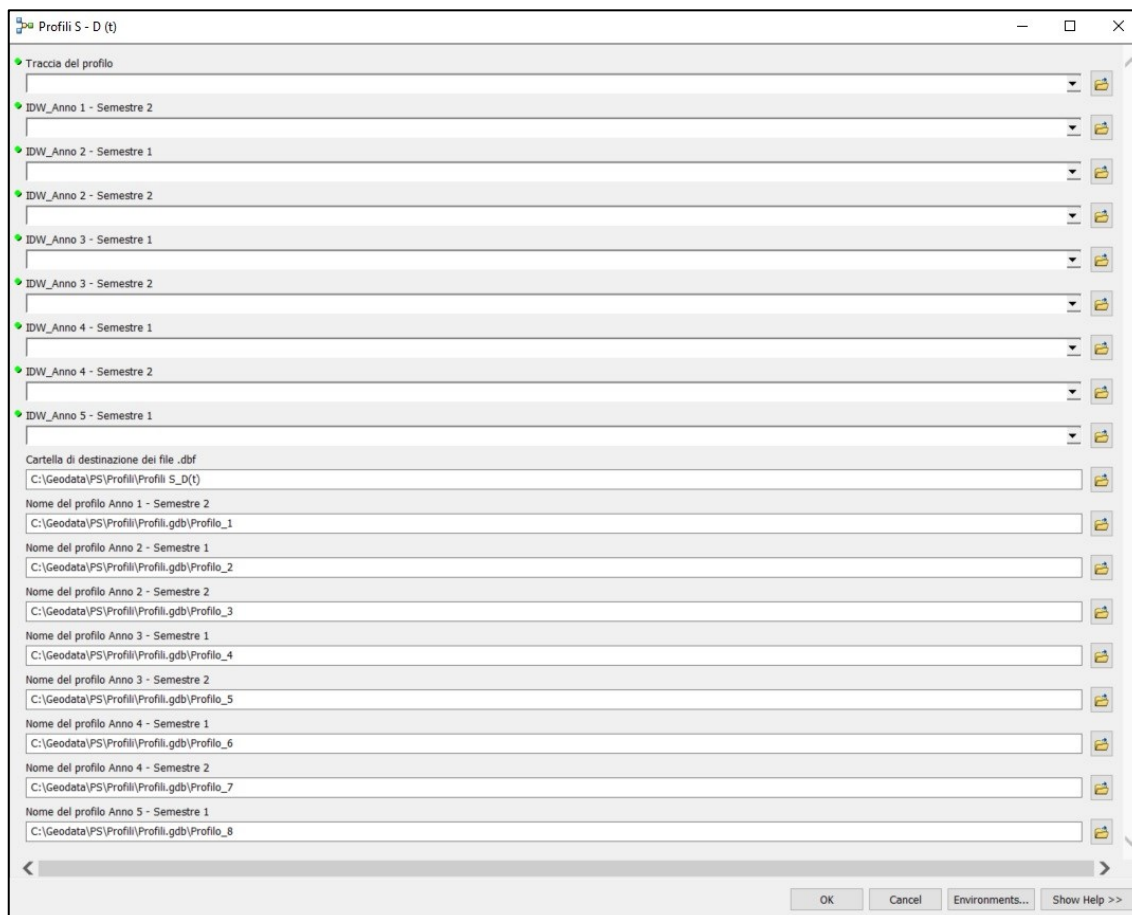


Fig. 5.107 – Schermata d’avvio del tool “Profili S – D (t)”.

Avviato il *tool* (Fig. 5.107), è necessario innanzitutto selezionare la traccia del profilo sulla quale effettuare l’operazione e successivamente aggiungere le interpolazioni effettuate sui singoli semestri. Bisogna poi scegliere una cartella di destinazione per i file .dbf e il nome dei singoli profili, la cui versione tabellare, prima della conversione in .dbf, verrà salvata di *default* in un *Geodatabase* creato all’interno della *directory* “C:\Geodata”.

## 6 Pericolosità totale

L'ottenimento di un tematismo unico che raccolga tutte le pericolosità finora analizzate si rende necessario per il calcolo finale di un singolo valore di rischio che serva da riferimento per la fase di monitoraggio e l'eventuale messa in sicurezza di determinate porzioni della rete viaria. L'obiettivo è quindi quello di fornire un singolo valore numerico che allerti gli uffici di competenza ogni qualvolta viene superato una certa soglia di rischio.

La pericolosità geologica è, per definizione, la probabilità di occorrenza di un fenomeno naturale potenzialmente dannoso in uno specifico intervallo di tempo e in una data area (UNDRO – *United Nations Disaster Relief Office*, 1979).

Facendo riferimento agli studi di probabilità, i fenomeni potenzialmente dannosi riferiti alle singole pericolosità possono essere definiti "compatibili e indipendenti": due o più eventi si dicono "compatibili" quando il verificarsi di uno di essi non esclude il verificarsi degli altri e possono quindi verificarsi anche contemporaneamente; due o più eventi si dicono invece "indipendenti" quando il verificarsi di uno di essi non influisce sulle probabilità che si verifichino gli altri.

Si definisce "somma di due o più eventi" (in questo caso  $A + B + C + D$ ) l'evento E che consiste nel verificarsi degli eventi A, B, C, D o di combinazioni di essi. La probabilità dell'evento E è descritta come:

$$P(E) = P(ABCD) = P(A + B + C + D) = P(A \text{ o } B \text{ o } C \text{ o } D)$$

Ne deriva che la pericolosità totale è data dalla somma delle singole pericolosità, variabile da 1 a 4; il *range* di possibili valori per il tematismo finale varia dunque da 1 (nel caso in cui in una determinata area insista una singola pericolosità di grado 1) a 16 (nel caso in cui un'area sia interessata da tutte e quattro le pericolosità analizzate e tutte con grado 4).

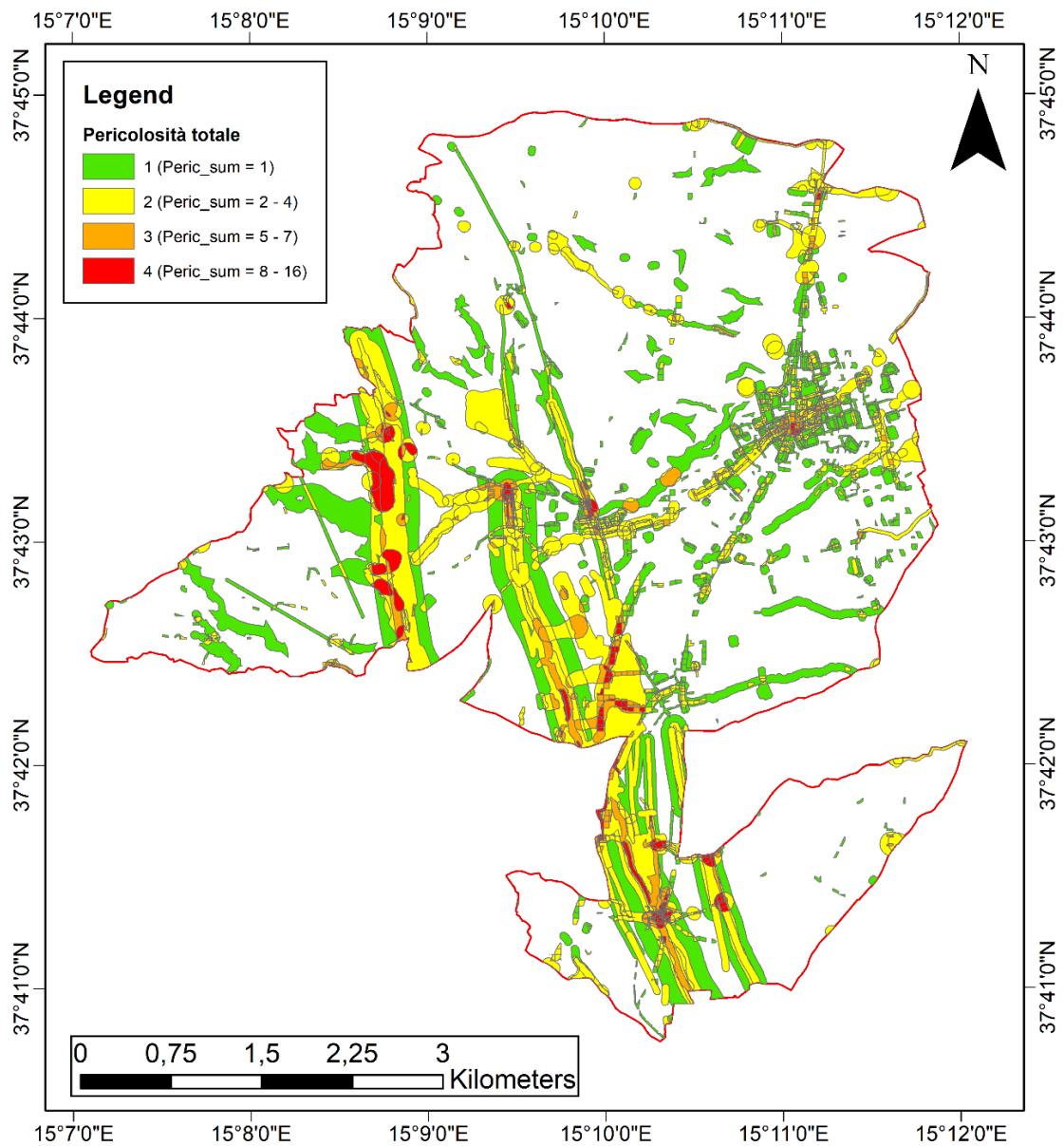
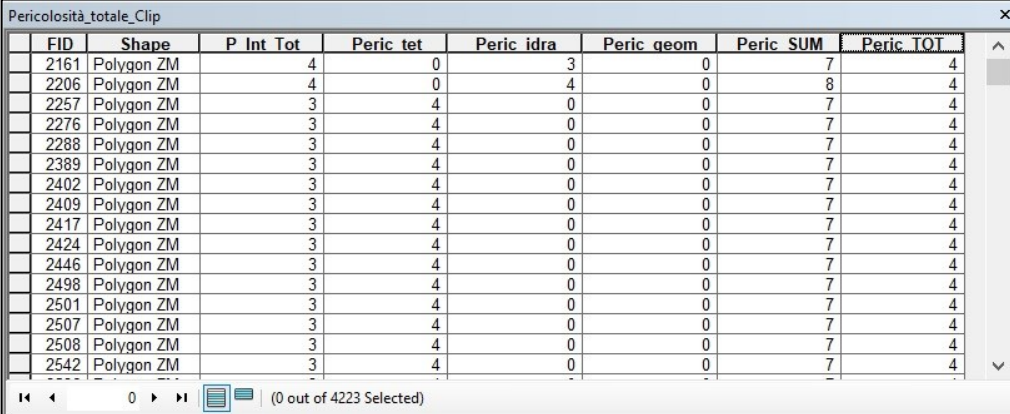


Fig. 6.1 - Mappa della pericolosità totale (Pericolosità idraulica + pericolosità tettonica + pericolosità idraulica + pericolosità da dati interferometrici).

Nel caso specifico del territorio di Giarre sono stati ottenuti valori variabili da 1 a 11, categorizzati secondo la consueta scala colore dal verde al rosso in quattro classi di pericolosità (Fig. 6.1):

- Valore 1 = Grado 1
- Valori da 2 a 4 = Grado 2
- Valori da 5 a 7 = Grado 3
- Valori da 8 a 11 = Grado 4

È fondamentale inoltre che le informazioni sulle pericolosità specifiche che hanno generato il valore finale visualizzato in carta non vadano perse. Nella tabella attributi rimangono quindi consultabili i valori delle singole pericolosità (Fig. 6.2), oltre al campo contenente la somma delle pericolosità e il grado finale utilizzato per la categorizzazione.



FID	Shape	P Int Tot	Peric tet	Peric idra	Peric geom	Peric SUM	Peric TOT
2161	Polygon ZM	4	0	3	0	7	4
2206	Polygon ZM	4	0	4	0	8	4
2257	Polygon ZM	3	4	0	0	7	4
2276	Polygon ZM	3	4	0	0	7	4
2288	Polygon ZM	3	4	0	0	7	4
2389	Polygon ZM	3	4	0	0	7	4
2402	Polygon ZM	3	4	0	0	7	4
2409	Polygon ZM	3	4	0	0	7	4
2417	Polygon ZM	3	4	0	0	7	4
2424	Polygon ZM	3	4	0	0	7	4
2446	Polygon ZM	3	4	0	0	7	4
2498	Polygon ZM	3	4	0	0	7	4
2501	Polygon ZM	3	4	0	0	7	4
2507	Polygon ZM	3	4	0	0	7	4
2508	Polygon ZM	3	4	0	0	7	4
2542	Polygon ZM	3	4	0	0	7	4

Fig. 6.2 - Tabella attributi del layer della pericolosità totale.

Il procedimento utilizzato per la somma delle pericolosità è stato automatizzato con la creazione del *tool* “Calcolo della pericolosità totale”, che necessita come file di *input* i quattro *shapefile* delle pericolosità e l’indicazione sul percorso e sul nome dell’*output* finale (Fig. 6.3).

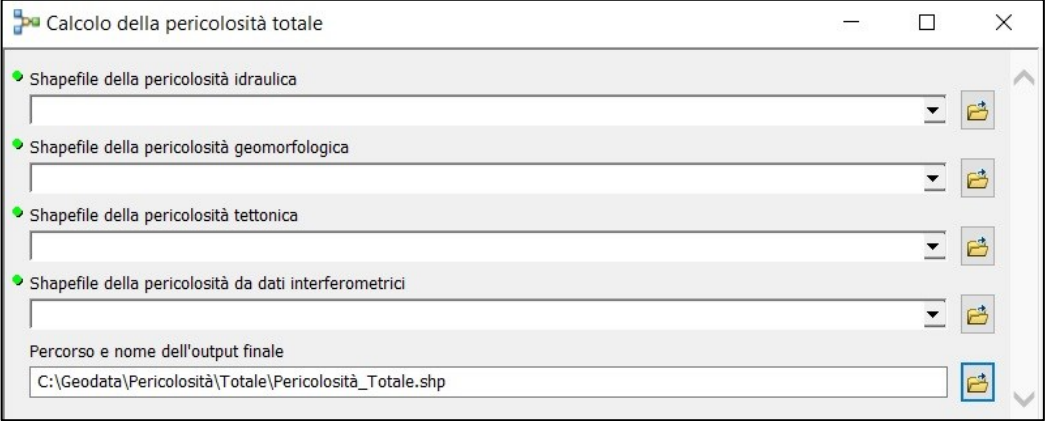


Fig. 6.3 - Schermata di avvio del tool per il calcolo della pericolosità totale.

Il *tool* prevede un’operazione di *Union* tra i quattro *shapefile* iniziali e l’aggiunta di alcuni campi numerici: “Peric\_SUM”, la somma aritmetica dei valori numerici delle singole pericolosità; “Peric\_TOT”, un valore numerico variabile da 1 a 4 che viene



assegnato agli intervalli definiti di "Peric\_SUM" per ottenere il grado finale di pericolosità su cui si basa la categorizzazione finale.

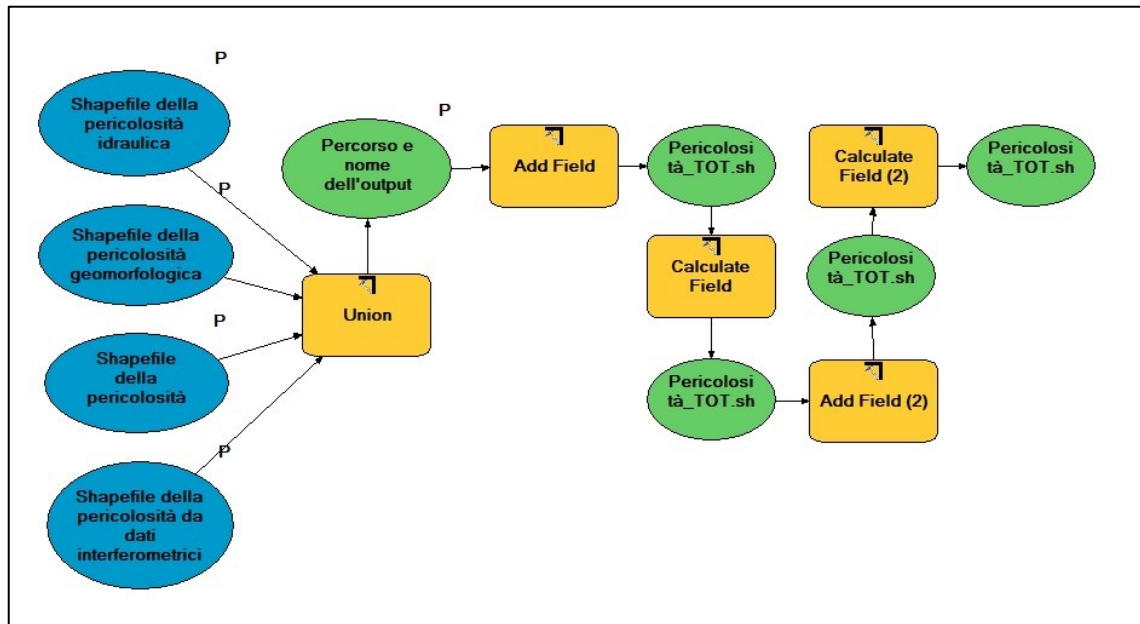


Fig. 6.4 - Struttura del tool per il calcolo della pericolosità totale.

Per il calcolo del campo relativo alla pericolosità totale (Calculate field 2) è stato utilizzato lo *script* originale *Python* mostrato in Cod. 6.1.

```
#Calcolo della pericolosità totale

def peric_totale(somma):
    if somma == 1:
        value = 1
    elif somma >= 2 and somma <= 4:
        value = 2
    elif somma >= 5 and somma <= 7:
        value = 3
    elif somma >= 8:
        value = 4
    else:
        value = 0
    return value

#Expression: peric_totale(!Peric_SUM!)
```

Cod. 6.1 - Script Python per il calcolo del campo "Peric\_TOT".

La visualizzazione secondo la scala colore dal verde al rosso avviene in maniera automatica grazie al file di stile .lyr salvato nella *directory* "C:\Geodata\Lyr\_files".

## 7 Esposizione

L'esposizione rappresenta un parametro fondamentale nel calcolo del rischio e incide in maniera significativa sul suo valore finale; qualsiasi livello di pericolosità, anche elevato, può non rappresentare un rischio se in una determinata area non vi sono elementi esposti a quella determinata situazione di pericolosità.

Nella definizione classica di rischio geologico ( $\text{Rischio} = \text{Pericolosità} \times \text{Vulnerabilità} \times \text{Esposizione}$ ), l'esposizione è intesa come valore economico o numero delle unità degli elementi a rischio in una data area: è espressa quindi, oltre che in termini di numero o di quantità di elementi esposti, anche in termini monetari in funzione del tipo di elemento a rischio, ad esempio il numero di presenze umane o il valore di un'infrastruttura (terreno, costruzione, ecc.), la capacità produttiva di una certa area (industrie, aziende agricole, ecc.), la presenza di beni culturali, di risorse naturali ecc.

Nel presente lavoro, in cui il rischio geologico l.s. si riferisce alle infrastrutture viarie, gli elementi a rischio corrispondono di fatto alle persone (insieme ai loro mezzi) che usufruiscono delle arterie stradali, e in maniera collaterale anche tutte le attività economiche/commerciali, servizi pubblici e beni culturali che si trovano in prossimità di esse.

In riferimento alla rete stradale, il concetto di pericolosità non è da intendere solo come probabilità che un individuo che usufruisce di una arteria viaria possa subire un danno fisico di una certa entità, ma può riferirsi anche al pericolo che un certo tratto di strada venga limitato nelle sue funzionalità e/o interrotto, causando dei peggioramenti nella viabilità o delle limitazioni nel raggiungimento di determinati punti di interesse. In questo caso le strade a più elevato volume di traffico sono quelle che, a causa di un determinato evento pericoloso, possono arrecare il maggior danno all'intera rete in caso di malfunzionamento o interruzione.

L'unico modo per avere un'idea degli elementi esposti al pericolo in una certa zona è quindi quello di conoscere il numero di veicoli che utilizzano le varie arterie stradali del territorio comunale.

Lo studio dell'esposizione è stato eseguito durante il primo semestre del secondo anno di dottorato presso l'impresa locale *Street Solutions S.r.l.* ([www.streetsolutions.it](http://www.streetsolutions.it)), specializzata nel coadiuvare le Pubbliche Amministrazioni per la fornitura sia a noleggio

che in vendita di strumenti per il controllo elettronico del territorio (con particolare riferimento alla rete stradale) e la risoluzione delle problematiche relative all'informatizzazione dei vari settori della pubblica amministrazione.

L'obiettivo della collaborazione è stato lo studio dei valori di esposizione delle diverse arterie stradali, tramite la raccolta e l'immagazzinamento nel *Geodatabase* dei dati riguardanti il flusso viario e la localizzazione geografica di attività commerciali, pubbliche, di interesse culturale e altri punti di particolare interesse.

Essendo il flusso veicolare un dato dinamico e soggetto a cambiamenti nel tempo (come ad esempio i giorni della settimana), è stato preso in considerazione anche un parametro che esprime la variabilità del flusso in determinate strade, permettendo di valutare l'attendibilità nel tempo del valore di rischio finale calcolato.

### 7.1 La cartografia stradale vettoriale

La *basemap* di tutte le operazioni di calcolo di pericolosità e rischio effettuate all'interno del progetto è rappresentata da un file vettoriale dell'intera rete stradale del comune di Giarre. La fonte più completa e immediata per tale tipo di informazione è costituita sicuramente dall'enorme *database* messo a disposizione gratuitamente da *OpenStreetMap* ([www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org)).

#### 7.1.1 Il progetto OpenStreetMap

*OpenStreetMap* (OSM) è sicuramente la più nota ed importante fonte di geodati liberi disponibile sul web. Nata e cresciuta come progetto collaborativo in cui tutti possono contribuire per registrare ed aggiornare i dati in essa presenti, in molti casi è l'unica risorsa disponibile per ottenere gratuitamente informazioni sulle diverse entità geografiche (strade, edifici, monumenti, stazioni, sorgenti, ecc.) che costituiscono una determinata area geografica.

L'intero funzionamento di OSM è garantito dal lavoro di una moltitudine di volontari sparsi per il mondo che aggiornano continuamente i dati partendo da rilevamenti sul campo (tramite rilevazioni dirette e punti GPS) oppure da immagini aeree e satellitari. La restante parte dei dati invece provengono da donazioni di enti governativi e di organizzazioni commerciali che consentono talvolta l'utilizzo di

cartografie proprietarie, ortofoto ed elementi di mappa, come ad esempio *Bing* (Ciepluch et al., 2010).

Pur non essendo dati ufficiali, garantiti e certificati da enti pubblici, alcuni studi hanno dimostrato tramite confronti di alcune aree test con cartografie ufficiali che la loro affidabilità è mediamente buona. OSM si basa sul meccanismo della condivisione e del controllo reciproco per quanto riguarda i dati digitalizzati e creati dai vari utenti (Mooney & Menghini, 2017; Mooney & Corcoran, 2010; Mooney & Corcoran, 2014).

Ovviamente, essendo un progetto portato avanti da volontari, non tutte le aree geografiche sono coperte con lo stesso livello di qualità, sia perché varia il numero di utenti sia perché varia la loro capacità/esperienza di mappare.

È possibile usare i dati *OpenStreetMap* per qualsiasi scopo, anche quelli commerciali, con il solo vincolo di citare il progetto (*OSM attribution*) e usare la stessa licenza per eventuali dati derivati. Inizialmente le condizioni d'uso di OSM erano dettate dalla licenza *CC-BY-SA 2.0 (creative Commons)*; dal 2012 per i dati si è passati alla licenza *ODbL (Open Database License 1.0)* mentre per la cartografia rimane valida la vecchia *CC-BY-SA*. Con la licenza *ODbL*, letteralmente "Licenza aperta per banche dati", si è liberi di copiare, distribuire, trasmettere e adattare i dati, finché vengono attribuiti a *OpenStreetMap* e ai suoi contributori.

In OSM gli elementi base utilizzati per modellizzare gli oggetti e le entità reali presenti nel territorio sono: nodi, singoli punti geografici individuati da una coppia di coordinate (Lat, Long); percorsi (*way*), interconnessioni ordinate di almeno 2 ed al massimo 2000 nodi (vere e proprie polilinee); relazioni (*relation*), un raggruppamento di diversi elementi quali nodi, percorsi e in alcuni casi anche di altre relazioni, che insieme definiscono delle entità geografiche più o meno articolate sul terreno.

Le informazioni associate ai singoli elementi topologici sono espresse in OSM tramite i cosiddetti *tag*, i quali descrivono una famiglia di caratteristiche che poi viene specificata dal valore associato. I *tag* sono assimilabili ai tipici attributi dei dati vettoriali.

Non esiste un numero fissato di *tag* da usare per descrivere un dato elemento (nodo, linea, area o relazione), anche se esistono delle pratiche consigliate.

I dati geografici di OSM sono mantenuti in un *database PostgreSQL* e possono essere esportati in diversi formati vettoriali, a seconda del metodo o del *tool* con cui si esegue l'operazione.

Il formato originario è il .osm: un formato simile a XML (indicato infatti anche come OSM XML), realizzato con lo scopo di permetterne facilmente la trasmissione in rete. Diversi *tools* di esportazione effettuano automaticamente una conversione dal formato .osm originale ad altri formati vettoriali (per es. *shapefile*, *GeoJSON*, ecc.) più immediati da trattare.

Sul sito principale di OSM esiste la possibilità di esportare i dati ma non sono presenti particolari opzioni e l'unico formato dati disponibile per l'esportazione è appunto il .osm. Per questo motivo è risultato più opportuno ricorrere a servizi esterni al sito principale.

Uno dei servizi di esportazione di dati OSM più completi e ricchi di funzionalità è *Overpass Turbo* (<https://overpass-turbo.eu/>), che permette moltissime opzioni di esportazione: oltre a poter scegliere l'area geografica da cui estrarre i dati, è possibile definire dei filtri per l'estrazione adoperando le *overpass query* tramite un compositore automatico che genera le richieste sulla base di alcune parole chiave; i dati sono esportabili in diversi formati: OSM XML, *GeoJSON*, GPX e KML.

Il metodo utilizzato invece in questo caso è il download diretto degli *shapefiles* tramite il servizio *GeoFabrik downloads* (<http://www.geofabrik.de>), un servizio gratuito che mantiene una copia aggiornata dei dati di OSM e permette di scaricarli selezionandoli per area geografica direttamente in formato *shapefiles*. Essendo lo *shapefile* un formato vettoriale che permette di immagazzinare un solo tipo di geometria per volta (punti, linee o poligoni), per ogni area geografica verranno scaricati tanti *shapefile* differenti: *buildings* (case, edifici, costruzioni, ecc.), *landuse* (uso del suolo), *natural* (aree naturali: boschi, parchi, laghetti, ecc.), *places* (località: città, paesi, sobborghi, ecc.), *points* (punti d'interesse di qualsiasi tipo: negozi, incroci, fermate, fontane, ecc.), *railways* (ferrovie), *roads* (strade di diversi tipi), *waterways* (fiumi, torrenti, canali, ecc.).

### 7.1.2 Creazione del file vettoriale della rete viaria

Lo *shapefile* vettoriale con la rete viaria (*roads*) che viene scaricato dal servizio sopracitato è quindi costituito da *features* di tipo lineare, caratterizzate da molteplici attributi tra cui: nome della strada, velocità massima di percorrenza, riferimento per le *labels* e la chiave *highway* che indica il tipo di strada.

*Highway* è la chiave principale per etichettare le strade e per fornire una prima generica descrizione della sezione e dell'importanza della stessa nella rete stradale (Fig. 7.1). La suddivisione in gruppi e sottogruppi presente sui database OSM attraverso la chiave *Highway* è molto complessa e stratificata (<https://wiki.openstreetmap.org/wiki/IT:Key:highway>).

Chiave	Valore	Elemento	Spiegazione	Rappresentazione / Rendering	Foto
<b>Strade (roads).</b>					
Questi sono i valori principali per la rete stradale. Sono elencati in ordine di importanza decrescente.					
highway	motorway		<b>Autostrade</b> a pagamento o gratuite, compresi i raccordi autostradali come le tangenziali di Milano e il Grande Raccordo Anulare di Roma. Equivalente alle Freeway, Autobahn, ecc...		
highway	trunk		Strade che si pongono a metà strada tra Autostrade/Tangenziali e le Statali. Può anche essere classificato così il tratto di svincolo di un'autostrada-tangenziale che porta al centro città. Per segnalare l'esistenza di restrizioni di accesso simili a quelle in vigore per le autostrade, usare <code>motorroad=yes</code> . Le cosiddette <b>superstrade</b> potrebbero essere marcate come due corsie denotate da <code>highway=trunk</code> per distinguerle dalle autostrade.  Le strade extraurbane ad una sola corsia per senso di marcia, che però non presentano incroci sul loro percorso e abbiano accessi ed uscite mediati da corsie di ac/de-celerazione potrebbero essere marcati da <code>highway=trunk</code> , per distinguerle da altre strade che potrebbero presentare incroci e rotonde.		
highway	primary		<b>Strade di importanza nazionale e regionale</b> che non godono della classificazione di autostrada, tangenziale o superstrada. Collegano tra loro le città principali. Normalmente sono classificate come SS (Strade Statali) o SR (Strade Regionali), tuttavia esistono eccezioni come per esempio in piccoli centri montani dove la strada SS attraversa il paese ma la strada primaria è una tangenziale di moderna costruzione che evita il centro abitato.  In ambito urbano normalmente formano il primo anello della città (vedi Milano) e normalmente sono classificate come Viali.		
highway	secondary		<b>Strade di importanza regionale e provinciale.</b> Collegano tra loro i principali comuni di una regione. Sono normalmente classificate come SP (Strade provinciali) ma esistono eccezioni.  In ambito urbano normalmente sono classificate come vie importanti anche a due corsie per senso di marcia.		
highway	tertiary		<b>Strade di importanza locale o comunale.</b> Collegano tra loro i comuni più piccoli. In ambito urbano sono le strade laterali a primarie e secondarie con un discreto flusso di traffico.		

Fig. 7.1 - Esempio di categorizzazione OSM dei valori presenti nella chiave "Highway".

La categorizzazione è stata semplificata rispetto a quella originaria, raggruppando tutte le sottocategorie presenti in 9 macrocategorie identificate e presenti nel *layer* finale, di cui vengono fornite di seguito le definizioni (in ordine di importanza decrescente):

- "Autostrada" (*tag* originali: *motorway*, *trunk*, *motorway link*, *trunk link*): autostrade a pagamento o gratuite, compresi i raccordi autostradali; strade che si pongono a metà strada tra autostrade/tangenziali e le statali, compresi i tratti di svincolo di un'autostrada-tangenziale che porta al centro città; tratti di collegamento (svincoli/rampe) tra un'autostrada ed un'altra autostrada o altra strada di classificazione inferiore; tratti di collegamento (svincoli/rampe) tra un *trunk* e un altro o altra strada di classificazione inferiore.
- "Linea ferroviaria" (*railways*): ogni tipo di elemento riconducibile alla rete ferroviaria.

- “Strada primaria” (*primary, primary link*): strade di importanza nazionale e regionale che non godono della classificazione di autostrada, tangenziale o superstrada. Collegano tra loro le città principali; normalmente sono classificate come SS (Strade Statali) o SR (Strade Regionali); tratti di collegamento (svincoli/rampe) tra una strada di importanza nazionale (*primary*) ed un'altra strada di importanza nazionale o altra strada di classificazione inferiore.
- “Strada secondaria” (*secondary, secondary link*): strade di importanza regionale e provinciale che collegano tra loro i principali comuni di una regione. Sono normalmente classificate come SP (Strade provinciali) ma esistono eccezioni. In ambito urbano normalmente sono classificate come vie importanti anche a due corsie per senso di marcia; tratti di collegamento (svincoli/rampe) tra una strada di importanza regionale/provinciale (*secondary*) ed un'altra strada di importanza regionale/provinciale o altra strada di classificazione inferiore.
- “Strada terziaria” (*tertiary, tertiary link*): strade di importanza locale o comunale che collegano tra loro i comuni più piccoli. In ambito urbano sono le strade laterali a primarie e secondarie con un discreto flusso di traffico; tratti di collegamento (svincoli/rampe) tra una strada di classificazione *tertiary* ed un'altra strada di classificazione *tertiary* o inferiore.
- “Strade non classificate” (*unclassified, road, path*): classificazione per il livello minimo della rete stradale extraurbana. In ambito urbano sono utilizzate per raggiungere destinazioni nelle immediate vicinanze e il flusso del traffico è relativamente più basso che in strade di classificazione superiore. Spesso collegano villaggi e borghi; strade la cui classificazione non è nota; sentieri non pensati per un uso specifico.
- “Strade in zone residenziali” (*residential, living street*): strade situate in zone residenziali per l'accesso alle abitazioni, senza funzione di collegamento tra diversi insediamenti e spesso fiancheggiate da case; strade a prevalente uso pedonale dove il limite di velocità è particolarmente basso, i pedoni hanno la precedenza sugli automezzi ed è facile che bambini giochino per strada.
- “Zone e strade pedonali” (*pedestrian, footway, sidewalk, crossing*): aree pedonali (strade o piazze in aree urbane), accessibili principalmente o esclusivamente ai pedoni; percorsi costruiti appositamente per i pedoni:

passaggi pedonali urbani, percorsi nei parchi pubblici, anche sentieri se fortemente mantenuti e non allo stato naturale; percorsi costruiti appositamente per i pedoni tra cui passaggi pedonali urbani, percorsi nei parchi pubblici e sentieri, se fortemente mantenuti e non allo stato naturale.

- “Strade ad uso agricolo-forestale” (*track*): carreggiabili ad uso prevalentemente agricolo o forestale, spesso sconnesse e non pavimentate.
- “Strade di servizio” (*service*): strade di accesso o interne ad aree di servizio, spiagge, campeggi, complessi industriali, centri commerciali, residenze, posteggi, discariche, installazioni, ecc.

Per ogni categoria è stata individuata (a campione) la sezione media della carreggiata utilizzando la funzione “righello” di *Google Earth Pro*, aggiunta in un campo creato all’interno della tabella attributi dello *shapefile* (Fig. 7.2).

type	Note OSM	Buffer
STRADA SECONDARIA	"Secondary": Importanza regionale e provinciale. Collegano i comuni	11
STRADE TERZIARIE	"Tertiary": Importanza locale o comunale. Collegano i comuni più picc	9
STRADE IN ZONE RESIDENZIALI	"Residential": Strade situate in zone residenziali. Spesso finacheggia	8
STRADA PRIMARIA	"Primary": Importanza nazionale e regionale. Collegano le città princi	20
NON CLASSIFICATE	"Unclassified": Livello minimo della rete extraurbana. Flusso del traffic	16
STRADE DI SERVIZIO	"Service": Strade di accesso o interne ad aree di servizio come spiaq	10
STRADE AD USO AGR-FOREST	"Track": Carreggiabili ad uso prevalentemente agricolo o forestale, spe	5
ZONE E STRADE PEDONALI	"Living street", "Pedestrian", "Footway", "Steps": Zone e strade ad us	10
AUTOSTRADA	"Motorway" "Trunk" e "Motorway Link": Autostrade a pagamento o gr	23

Fig. 7.2 – Campo “buffer” con l’informazione sulla sezione media della carreggiata per ogni categoria di strada.

Essendo il *tag Highway* un indizio dell’importanza della strada, il numero associato ad ogni categoria è in qualche modo assimilabile al grado di esposizione presunta, seppur in via preliminare.

Si è poi ricorso alla funzione *buffer* di *ArcGIS* al fine di trasformare lo *shapefile* lineare originario in uno *shapefile* di tipo poligonale, da utilizzare come base per le future elaborazioni permettendone l’intersezione con i dati di pericolosità digitalizzati ed elaborati nella fase precedente del progetto. Come valore di *buffer* è stato ovviamente scelta la sezione media della carreggiata assegnata ad ogni macrocategoria.



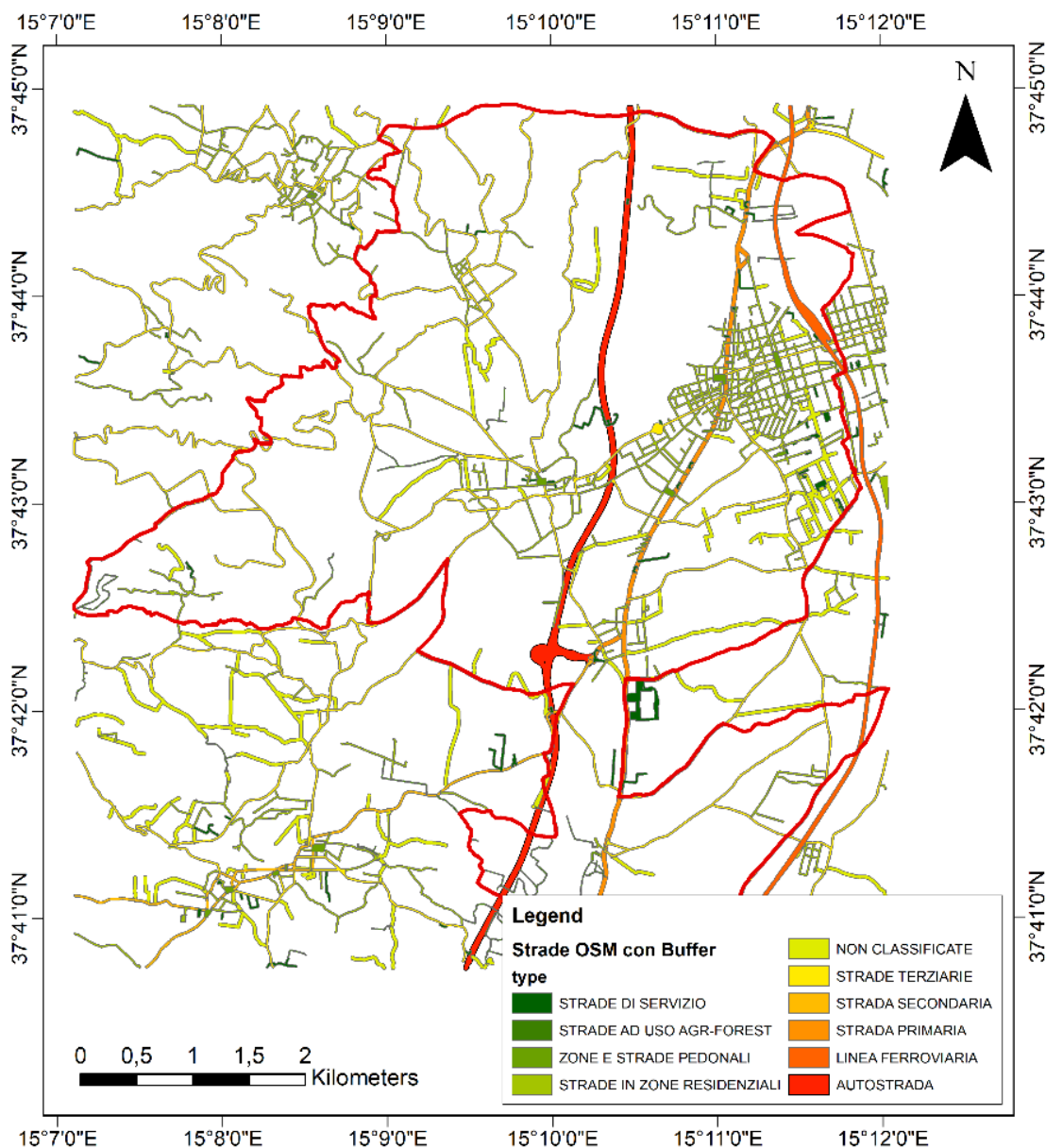


Fig. 7.3 - Categorizzazione del layer poligonale ottenuto in funzione della macrocategoria di riferimento con una scala colore dal verde al rosso (in funzione dell'importanza crescente nella rete stradale).

Si ottiene quindi uno *shapefile* poligonale (Fig. 7.3) categorizzato in funzione del tipo di strada, con una scala colore dal verde (strada meno importante ed esposizione presunta più bassa) al rosso (strada più importante ed esposizione presunta maggiore).

OBJECTID *	Shape *	type	Shape Length	Shape Area	Grado esposizione presunto	Grado strade numerico
5	Polygon	STRADE AD USO AGR-FOREST	0,362139	0,000018	Molto basso	1
6	Polygon	STRADE DI SERVIZIO	0,281729	0,000029	Molto basso	1
2	Polygon	NON CLASSIFICATE	1,096743	0,000171	Basso	2
9	Polygon	ZONE E STRADE PEDONALI	0,069316	0,000008	Basso	2
4	Polygon	STRADA SECONDARIA	0,171651	0,000019	Medio	3
10	Polygon	LINEA FERROVIARIA	0,161282	0,000034	Medio	3
3	Polygon	STRADA PRIMARIA	0,166242	0,000036	Alto	4
7	Polygon	STRADE IN ZONE RESIDENZIALI	1,972386	0,000162	Alto	4
8	Polygon	STRADE TERZIARIE	2,086656	0,000191	Alto	4
1	Polygon	AUTOSTRADA	0,159323	0,000053	Molto alto	5

Fig. 7.4 - Campo testuale e numerico in riferimento al grado di esposizione presunto in funzione del tag "Highway".

## 7.2 Elaborazione della mappa demografica e sviluppo del tool dedicato

Un'altra elaborazione fondamentale per la creazione dei modelli di esposizione è la costruzione della mappa demografica del Comune di Giarre. A tal fine sono stati utilizzati i dati presenti sul sito *ISTAT* (<https://www.istat.it/it/archivio/104317#accordions>) aggiornati all'ultimo censimento completo del 2011.

*ISTAT* aggiorna e diffonde i dati geografici relativi alla demografia attraverso:

- Le basi territoriali (in formato *shapefile*), cioè l'insieme delle partizioni e zonizzazioni a fini statistici del territorio italiano. Aggiornate dall'*ISTAT* nel corso dei due decenni a partire dal 1991 sono state inizialmente create con l'obiettivo di ottimizzare le rilevazioni delle variabili censuarie; l'intero territorio nazionale è suddiviso in sezioni di censimento, piccole aree alle quali è possibile associare l'intero set di variabili statistiche raccolte durante le operazioni censuarie.

Al sistema delle basi territoriali, oltre ai dati censuari riferiti agli anni 1991 e 2001 sono disponibili i dati delle variabili rilevate con l'ultimo censimento della popolazione del 2011.

- Le variabili censuarie (in formato tabellare .csv) che costituiscono i dati del censimento generale della popolazione, delle abitazioni, dell'industria e dei servizi, associabili mediante codici di collegamento (campi chiave), alle zonizzazioni presenti nelle basi territoriali. Sono presenti diversi fogli csv, distinti per regioni e località.

Grazie alla capillarità con la quale le sezioni censuarie suddividono l'Italia, esse possono essere utilizzate non solo per studi geografici socio-demografici ma anche come base cartografica per l'elaborazione di tematismi molto diversificati, come nel caso del modello qui creato.

Le variabili (Fig. 7.5) del comune di Giarre sono contenute nel foglio con codice regionale "CODREG" 19, mentre il codice relativo al comune "PROCOM" è 87017; il campo che indica invece la sezione considerata all'interno del comune si chiama "SEZ2011".

Esistono diversi tipi di parametri che possono essere presi in considerazione (Fig. 7.5).

NOME CAMPO	DEFINIZIONE
P1	Popolazione residente - Totale
P2	Popolazione residente - Maschi
P3	Popolazione residente - Femmine
P4	Popolazione residente - Celibi/nubili
P5	Popolazione residente - Coniugati/e (+ separati/e di fatto)
P6	Popolazione residente - Separati/e legalmente
P7	Popolazione residente - Vedovi/e
P8	Popolazione residente - Divorziati/e
P9	Popolazione residente - Maschi celibi
P10	Popolazione residente - Maschi coniugati o separati di fatto
P11	Popolazione residente - Maschi separati legalmente
P12	Popolazione residente - Maschi vedovi
P13	Popolazione residente - Maschi divorziati
P14	Popolazione residente - età < 5 anni
P15	Popolazione residente - età 5 - 9 anni
P16	Popolazione residente - età 10 - 14 anni
P17	Popolazione residente - età 15 - 19 anni

Fig. 7.5 - Elenco parziale delle variabili censuarie diffuse con il censimento del 2011.

Il parametro preso in considerazione per la mappa demografica è quello della popolazione residente totale, indicato nel campo “P1”.

Una volta aggiunte le basi territoriali e le variabili censuarie come tabella .xls al progetto GIS, è stato eseguito un *join* tra lo *shapefile* e la tabella, sfruttando il campo primario “SEZ2011”, solo per i *record* contenenti il codice ISTAT 87017 (identificativo del comune di Giarre) nel campo “PRO\_COM”.

È stato successivamente aggiunto allo *shapefile* risultante un nuovo campo numerico per il calcolo tramite *Field Calculator* della densità abitativa per chilometro quadrato: il risultato è dato dal rapporto tra la variabile censuaria “P1” (numero totale degli abitanti) e l’area in chilometri quadrati (“Shape\_Area/1000000”), conteggiata a partire dalle geometrie rappresentate dalle basi territoriali (Fig. 7.6).

The screenshot shows a software window titled 'Table' with a sub-window 'Sezioni\_censuarie'. The table contains the following data:

P1	SEZ2011	Superficie	Densità abitativa Kmq	Densità abitativa mq
361	870170000084	0,037325	9671,759	0,009672
1504	870170000026	0,227737	6604,106	0,006604
470	870170000015	0,071559	6567,971	0,006568
1007	870170000030	0,243309	4138,77	0,004139
79	870170000059	0,033524	2356,519	0,002356
470	870170000040	0,171527	2740,093	0,00274
429	870170000006	0,062308	6885,202	0,006885
85	870170000099	0,04427	1920,042	0,00192
814	870170000023	0,092584	8792,044	0,008792
475	870170000025	0,064631	7349,466	0,007349
283	870170000001	0,039013	7253,949	0,007254
587	870170000002	0,052211	11242,83	0,011243
1001	870170000016	0,189025	5295,604	0,005296
6	870170000116	0,023647	253,7362	0,000254

The interface also shows a status bar at the bottom indicating '(0 out of 70 Selected)' and a scroll bar on the right side of the table.

Fig. 7.6 – Campi della tabella attributi adibiti al calcolo della densità abitativa.

Il *layer* è stato poi categorizzato in funzione di questo nuovo campo, suddividendolo in cinque classi tramite un algoritmo di tipo *quantile*. A queste classi così ottenute è stato assegnato un valore numerico da 1 a 5 (da densità molto bassa a densità molto alta).

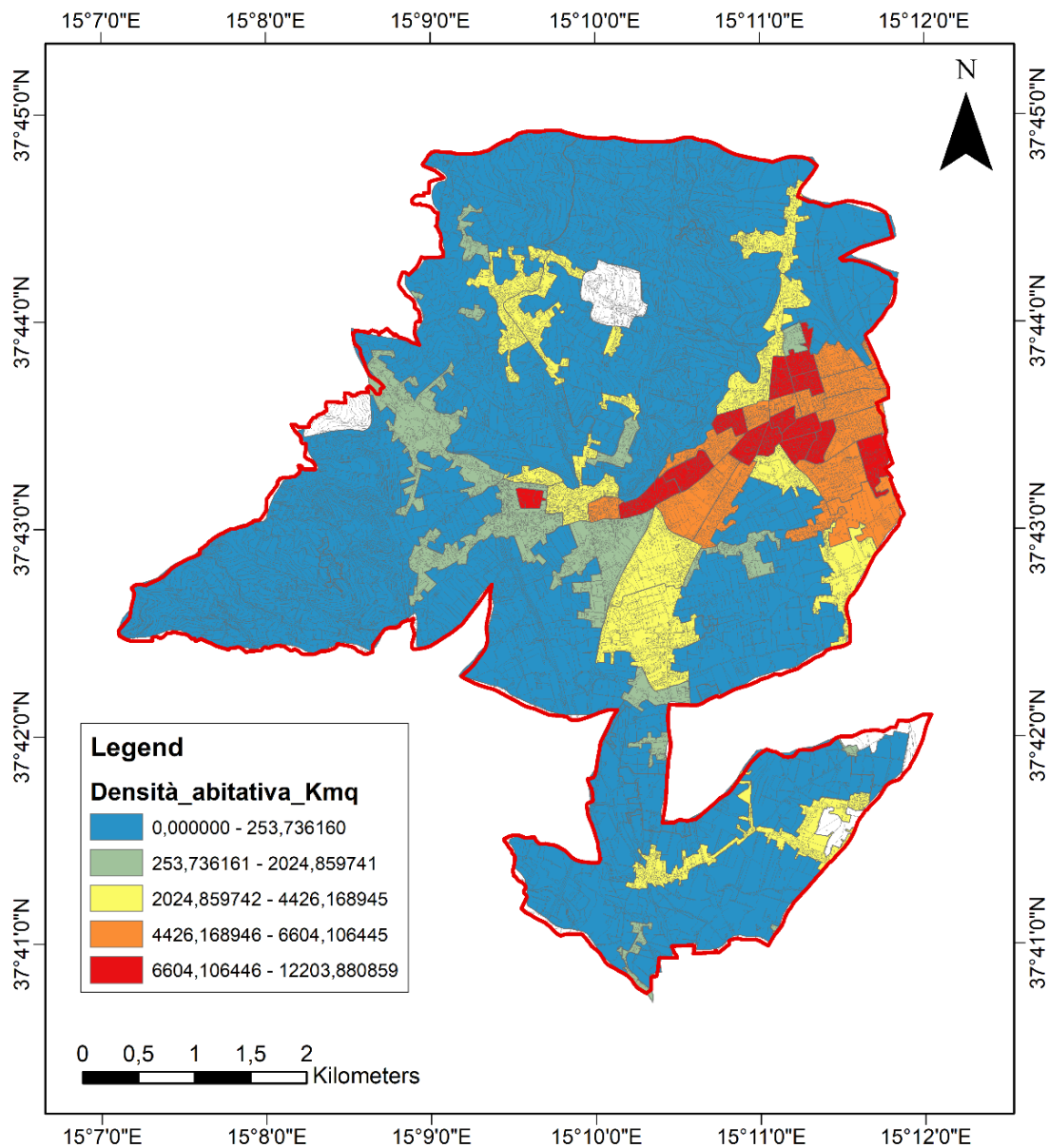


Fig. 7.7 – Mappa demografica finale espressa in funzione della densità abitativa per Km<sup>2</sup>.

La creazione della mappa demografica in Fig. 7.7 è stata automatizzata attraverso un apposito *tool*, denominato “Mappa demografica”.

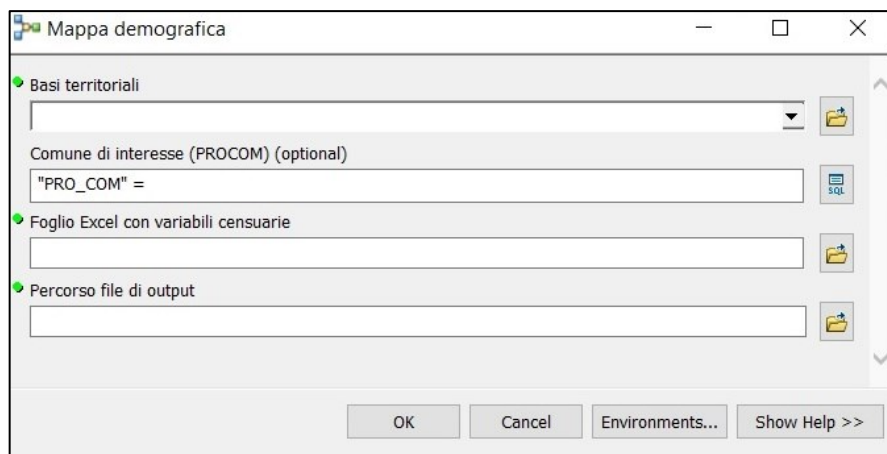


Fig. 7.8 - Schermata di avvio del tool per la creazione della mappa demografica.

Il tool (Fig. 7.8 e Fig. 7.9) permette di produrre una mappa demografica specificando i seguenti file di *input*: lo *shapefile* con le basi territoriali, il codice ISTAT del comune di interesse (da scrivere subito dopo la stringa “PRO\_COM” =), il foglio *Excel* contenente le variabili censuarie del comune, il nome e il percorso del file di *output* finale.

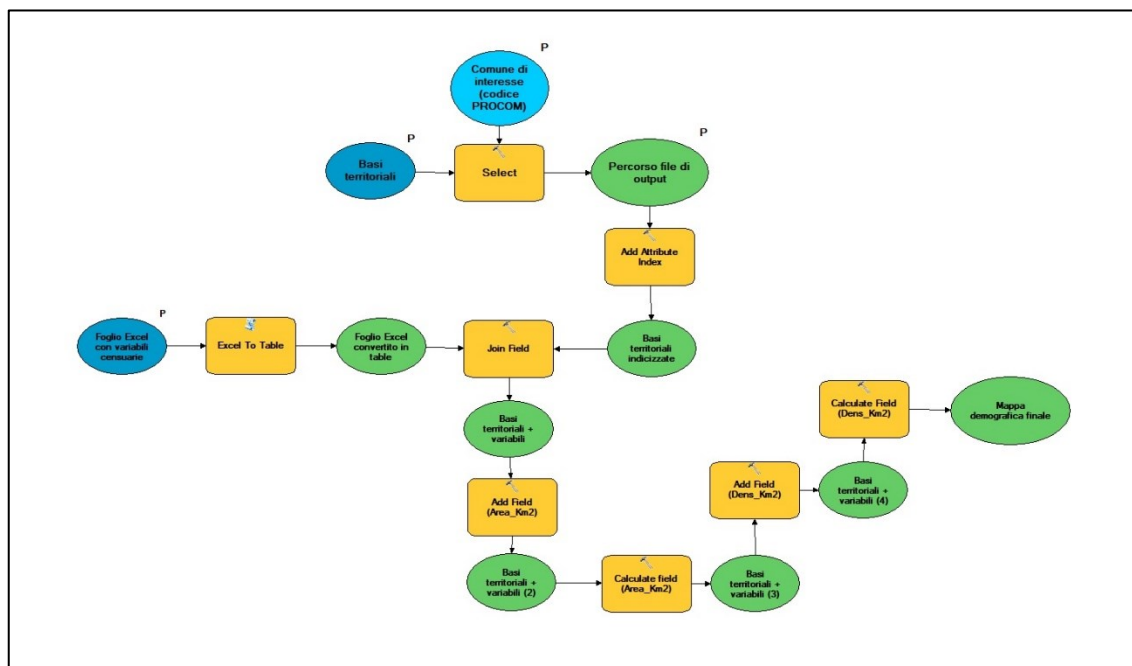


Fig. 7.9 - Struttura del tool per la creazione della mappa demografica.

È necessario innanzitutto che lo *shapefile* venga preliminarmente indicizzato e ripulito da tutti i *record* che non corrispondono al comune da analizzare e che il foglio *Excel* venga convertito in un formato tabellare supportato nativamente dal *software* (es: .xls); successivamente all’operazione di *join* attraverso il campo chiave “SEZ2011”

vengono poi aggiunti i campi (formato *float*) in cui calcolare l'area in Km<sup>2</sup> di ogni poligono e la densità di popolazione tramite le operazioni con il *Field Calculator*.

La mappa finale viene aggiunta alla *table of contents* e tematizzata automaticamente grazie ad un file .lyr presente nella *directory* "C:\Geodata\Lyr\_files".

### 7.3 Modelli per il calcolo dell'esposizione

Per il calcolo dell'esposizione lungo la rete viaria si è fatto ricorso allo sviluppo di due diversi modelli complementari tra loro e che assolvono a due differenti funzioni: il primo, basato su uno studio dettagliato dei vari punti di interesse presenti nel comune, si ispira ai modelli basati su matrici origine-destinazione (matrici O/D) e serve a generare la mappa dell'esposizione vera e propria; il secondo, basato sui dati tipici di *Google Traffic* (Ali et al., 2021; Mehta et al., 2019) disponibili su *Google Maps* (<https://www.google.it/maps>), serve sia da validazione per il modello precedente che come base per il calcolo di un nuovo parametro relativo alla variabilità del flusso durante la settimana.

#### 7.3.1 Modello Origine – Destinazione (modello O/D)

Il modello ideato per il calcolo del flusso viario, semplificando notevolmente alcuni calcoli e considerazioni, si ispira ai modelli basati su matrici O/D, tipici di materie ingegneristiche come "Sistemi di trasporto e Pianificazione dei trasporti" (Bera & Rao, 2011; Brenner et al., 1958; Cascetta & Nguyen, 1988).

Le matrici Origine/Destinazione sono supporti fondamentali per esaminare le interrelazioni spaziali determinate dai movimenti pendolari tra diversi centri e punti di interesse; in esse sono infatti rappresentati tutti i movimenti che avvengono tra le varie unità spaziali considerate. Lo scopo delle indagini O/D è quello di conoscere l'intensità della domanda esistente tra tutte le possibili coppie di zone interne all'area di studio, e tra tutte le zone e l'esterno.

Trattandosi di un modello, e quindi di una rappresentazione virtuale e semplificata di una realtà più complessa, sono state operate alcune semplificazioni e generalizzazioni per la riuscita finale del calcolo. La modellizzazione è necessaria soprattutto per comprendere il funzionamento della rete viaria con indagini limitate, in

assenza di grandi disponibilità di dati e informazioni dirette sul fenomeno indagato. Di solito, i modelli adibiti alla pianificazione dei trasporti assumono delle teorie di riferimento, ossia degli approcci atti a spiegare il fenomeno con le opportune reazioni analitiche. Una delle maggiori semplificazioni attuate è assumere che la domanda di spostamento dipenda per larga parte dalle attività e dai punti di interesse sparse sul territorio. C'è poi una sostanziale differenza nella costruzione dei modelli tra trasporto pubblico e privato: il trasporto pubblico è in genere "continuo e simultaneo"; il trasporto privato è invece "discontinuo e non contemporaneo". In questo caso studio è stato preso in considerazione prevalentemente il trasporto privato, causa del flusso più importante all'interno della rete di un piccolo comune come Giarre.

Il modello di domanda più usato in ingegneria dei trasporti è il cosiddetto "modello a quattro stadi", che si articola in quattro sotto-modelli:

- Il "sotto-modello di generazione/attrazione", mediante il quale si cerca di interpretare la nascita e il motivo degli spostamenti;
- Il "sotto-modello di distribuzione", che fornisce la frazione di utenti che, spostandosi dalla zona origine per un determinato motivo e in una certa fascia oraria, sono diretti ad una certa zona di destinazione;
- Il "sotto-modello di ripartizione modale" (scelta modale, o taglio modale) che fornisce la frazione di utenti che, spostandosi tra la zona origine e la zona destinazione per un determinato motivo e in una certa fascia oraria, usano un determinato modo di trasporto;
- Il "sotto-modello di assegnazione" (scelta del percorso) che fornisce la frazione di utenti i quali, spostandosi tra la zona origine e la zona destinazione in una certa fascia oraria usando il modo scelto, seguono un determinato percorso.

Nella realtà l'utente sceglie lo spostamento in maniera "globale", ossia considerando allo stesso tempo tutte e quattro le scelte proprie dei sotto-modelli ma, per semplificare il processo di modellazione, si è costretti a considerare gli stadi come separati. In questo caso, seppur in maniera più descrittiva e meno matematica, si è cercato di rispondere a questi quesiti, dando un'interpretazione di tre dei quattro sotto-modelli previsti; non è stato preso in considerazione il sotto-modello di ripartizione modale, in quanto è stata considerata come unica scelta il trasporto privato.



Si è partiti dal presupposto che i flussi veicolari più elevati si originino dalle zone più densamente abitate per dirigersi verso quelle che offrono la maggior quantità di punti di interesse o che contengono i punti di interesse maggiormente attrattivi (bar, ristoranti, negozi, centri commerciali, scuole, ospedali, medici, farmacie, banche, cinema, attrazioni, edifici di interesse culturale ecc.) e viceversa.

A partire dalla mappa demografica illustrata in Fig. 7.7, sono state estratte le sezioni censuarie appartenenti alle due categorie con più alta densità abitativa (rappresentate in arancione e rosso) e ne sono stati calcolati i centroidi di riferimento, che vanno così a costituire una parte dei punti di origine (Fig. 7.10).

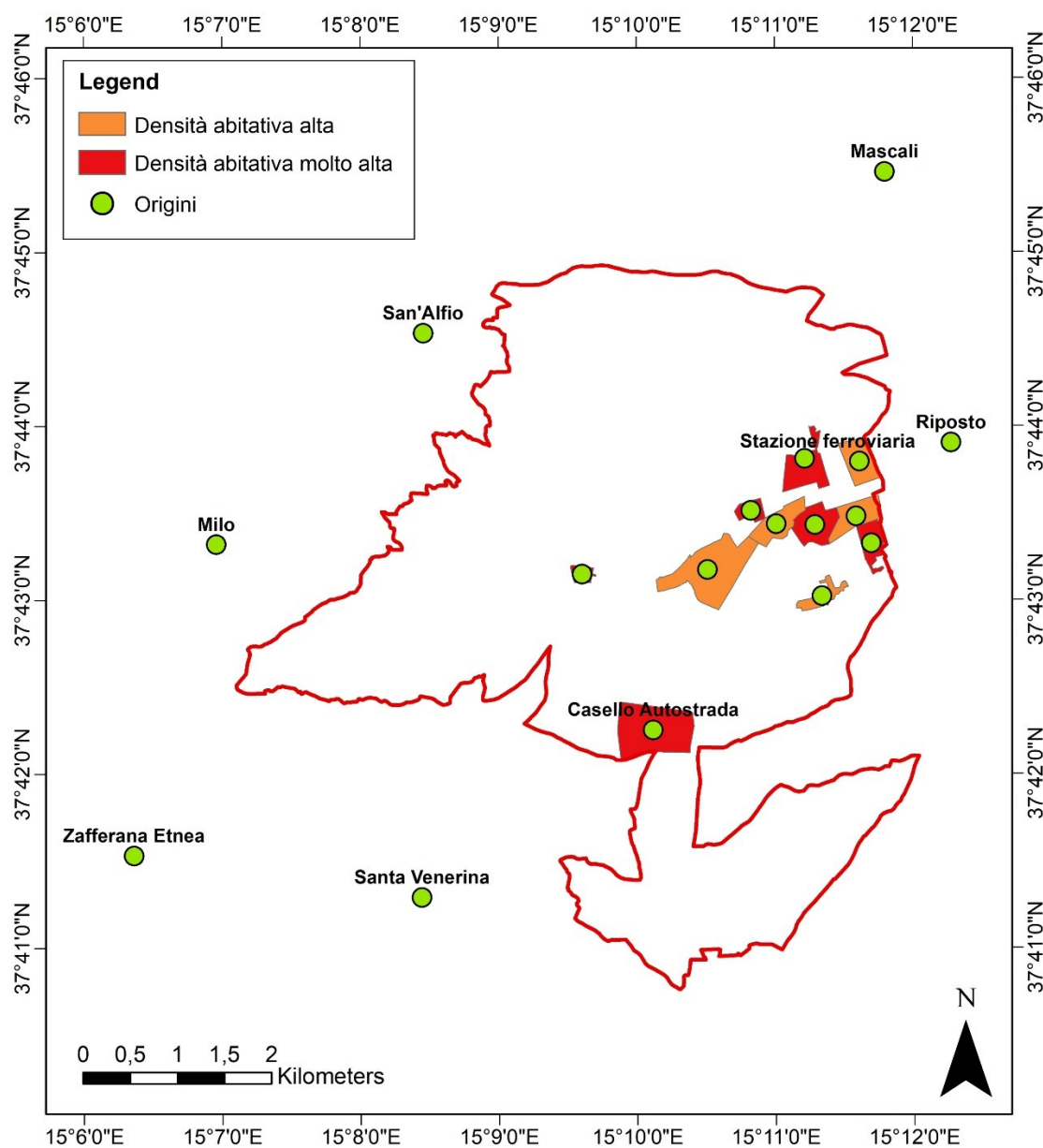


Fig. 7.10 - Ubicazione dei punti di origine a partire da: dati sulla densità abitativa (mappa demografica); presenza di paesi e città vicini; stazione ferroviaria e casello autostradale

Oltre alle zone densamente abitate, sono stati aggiunti ulteriori punti di origine sconnessi dai parametri demografici: sette punti in corrispondenza di paesi e città limitrofe (Zafferana Etnea, Santa Venerina, Acireale/Catania, Riposto, Mascali, Sant’Alfio), verso cui gli utenti della rete viaria possono spostarsi; due punti presso la stazione ferroviaria (nei pressi del confine con Riposto) e il casello autostradale (non troppo distante dal centro città). Per entrare nel merito del “sotto-modello di distribuzione” servono dei riferimenti anche per quanto riguarda le destinazioni dei flussi che partono dai punti di origine appena estrapolati.

Si è quindi ricorso all’aiuto del servizio online *MyMaps* di *Google* (<https://www.google.com/intl/it/maps/about/mymaps/>), che permette di costruire delle mappe personalizzate e, in questo caso, di salvare tutti i possibili punti di interesse all’interno del comune (Fig. 7.11).

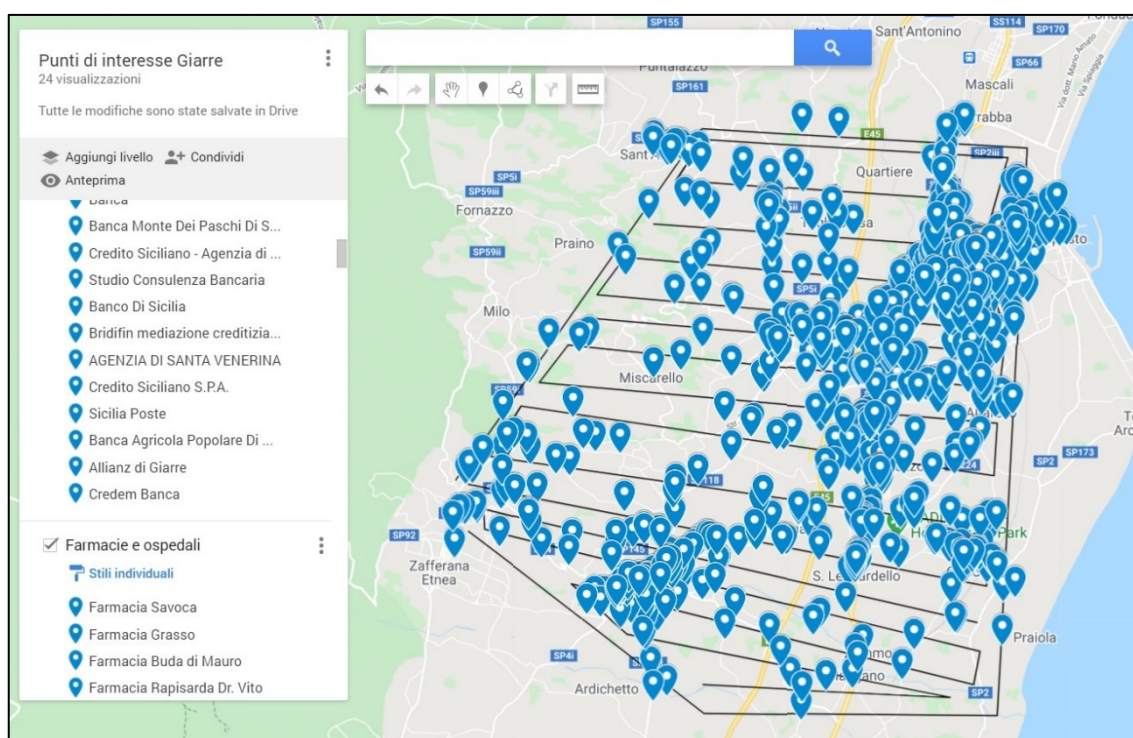


Fig. 7.11 - Ubicazione e salvataggio manuale dei punti di interesse tramite il servizio “MyMaps” di Google.

Il numero e la tipologia dei punti da selezionare devono essere ben calibrati: con pochi punti si rischia di costruire modelli poco aderenti alla realtà; con troppi punti il tempo richiesto per la raccolta dati potrebbe diventare ingente, con il pericolo oltretutto di sovrastimare il possibile apporto di utenti in alcune zone rispetto ad altre.

I punti scelti su *MyMaps* possono essere facilmente esportati in formato KML e successivamente convertiti in formato *shapefile*, conservando tutte le informazioni originarie, come ad esempio il tipo di servizio che offrono (bar, ristoranti, negozi, centri commerciali, scuole, ospedali, studi medici, farmacie, poste e banche, cinema, attrazioni varie a scopo ricreativo come sale bingo e teatri, edifici di interesse culturale o della pubblica amministrazione, ecc.).

Si inserisce qui il “sotto-modello di generazione/attrazione”: i numerosi punti di interesse non possono essere considerati tutti allo stesso modo, ma vanno pesati in funzione di un parametro che ne determini la quantità di flusso che sono in grado di generare (un bar ad esempio non può generare lo stesso flusso veicolare di un centro commerciale; allo stesso modo una stazione di rifornimento non genera lo stesso flusso di un ufficio postale o un ospedale, non tanto per il numero effettivo di persone che usufruisce del servizio, ma perché spesso il rifornimento non costituisce il vero e unico motivo dello spostamento ma solo una sosta lungo lo spostamento che avviene verso un altro punto di interesse).

È stato quindi assegnato un valore di attrattività specifico (da 1 a 4) ad ogni tipologia di punto (Tab. 7.1):

<b>TIPOLOGIA DI PUNTO</b>	<b>GRADO DI ATTRATTIVITÀ</b>
Punti di interesse culturale	1
B&B e Hotel	1
Stazioni di rifornimento carburante	1
Ristoranti, agriturismi, panifici, trattorie, bar	2
Cinema, Bingo, ecc.	2
Supermercati e centri commerciali	3
Farmacie, ospedali, studi medici	3
Poste e banche	3
Negozi vari	3
Scuole	4

Tab. 7.1 - Valori di attrattività scelti (da 1 a 4) per ogni categoria di punto individuata.

Sono stati presi in considerazione anche alcuni punti di interesse che risiedono leggermente al di fuori dei limiti comunali perché in alcuni casi, soprattutto per gli abitanti delle zone periferiche della città, possono costituire motivo e destinazione del viaggio (Fig. 7.12).

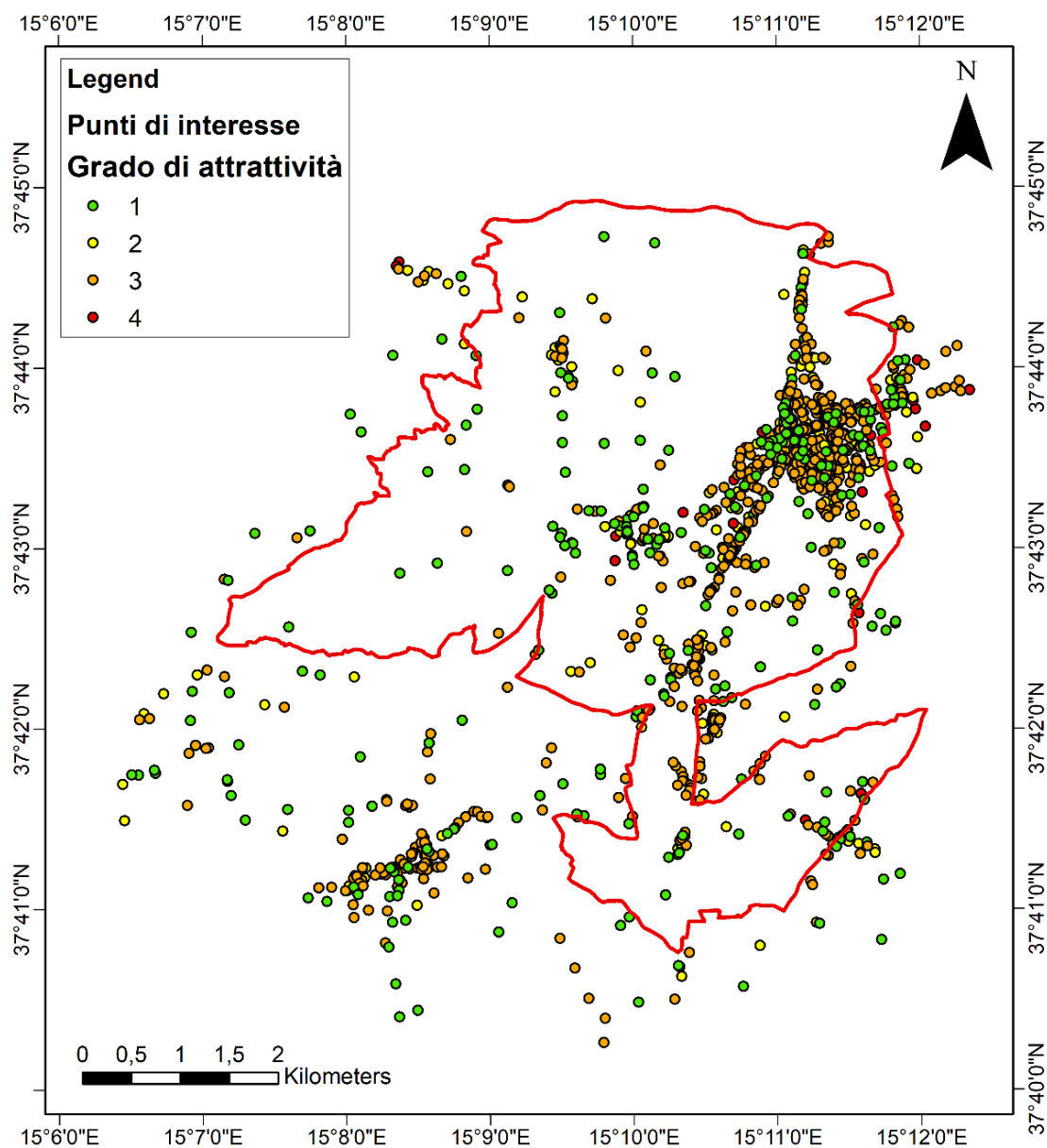


Fig. 7.12 - Distribuzione spaziale dei punti di interesse all'interno del territorio comunale, categorizzati in funzione del loro grado di attrattività.

Data l'impossibilità di costruire una matrice degli spostamenti prendendo in considerazione tutti i punti di interesse aggiunti al progetto (1273 punti) e le loro relazioni con tutti i punti di origine individuati, si è proceduto al calcolo di una mappa di

densità dei punti di destinazione (così come nel caso dei punti di origine si è ricorso ai centroidi delle sezioni di censimento), visibile in Fig. 7.13.

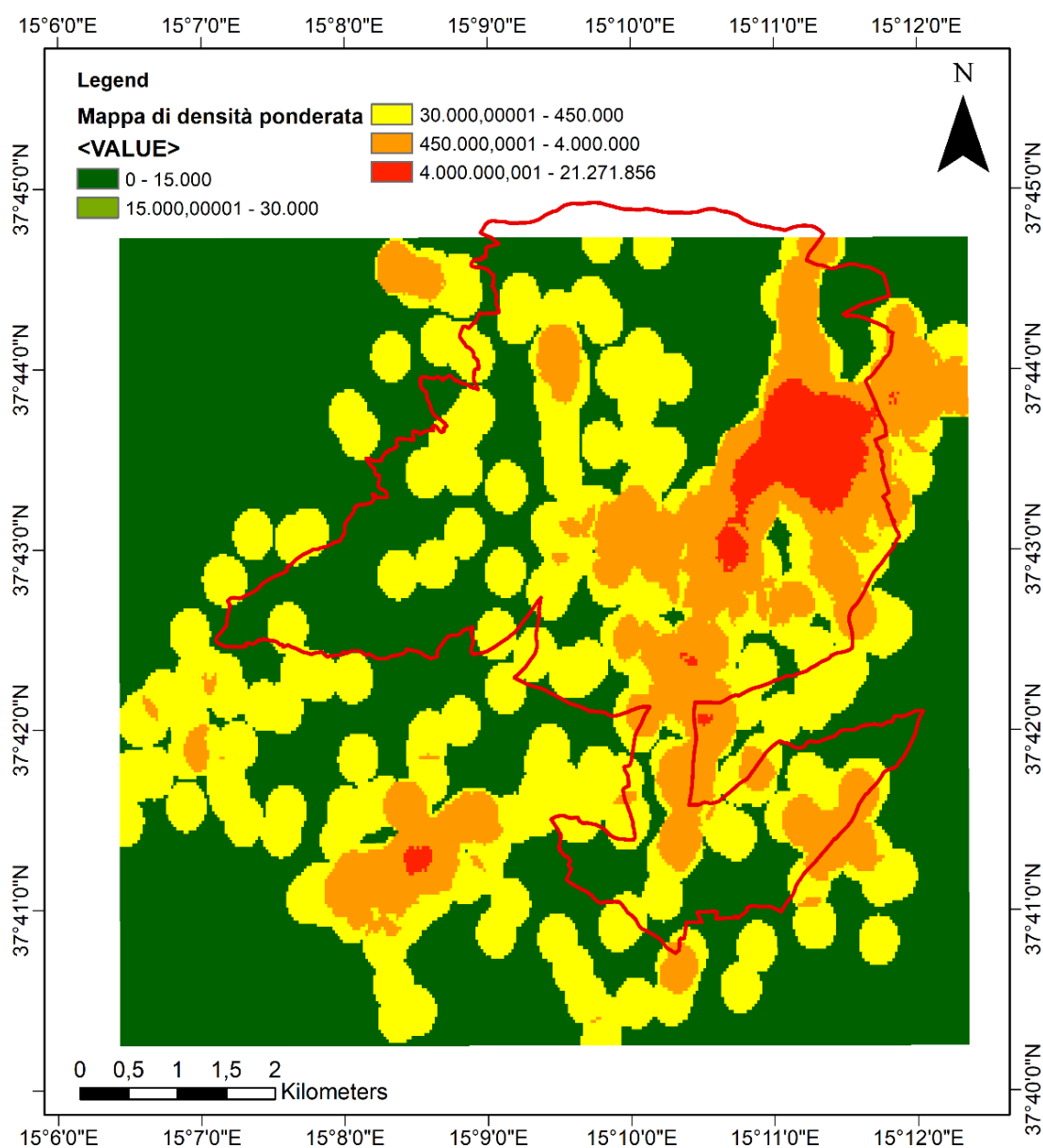


Fig. 7.13 - Mappa di densità dei punti di interesse, ponderata in funzione del grado di attrattività.

Utilizzando il tool *Kernel density* di *ArcGIS* è stato possibile realizzare una mappa di densità specificando un *Population field* corrispondente al valore di attrattività di ogni specifico punto; tale campo permette di attribuire un peso diverso agli oggetti presenti in mappa, in funzione dei valori espressi all'interno del campo indicato: un punto con attrattività uguale a 2 verrà ad esempio considerato come una coppia di punti di valore 1 posizionata nelle stesse coordinate geografiche, in maniera sovrapposta.

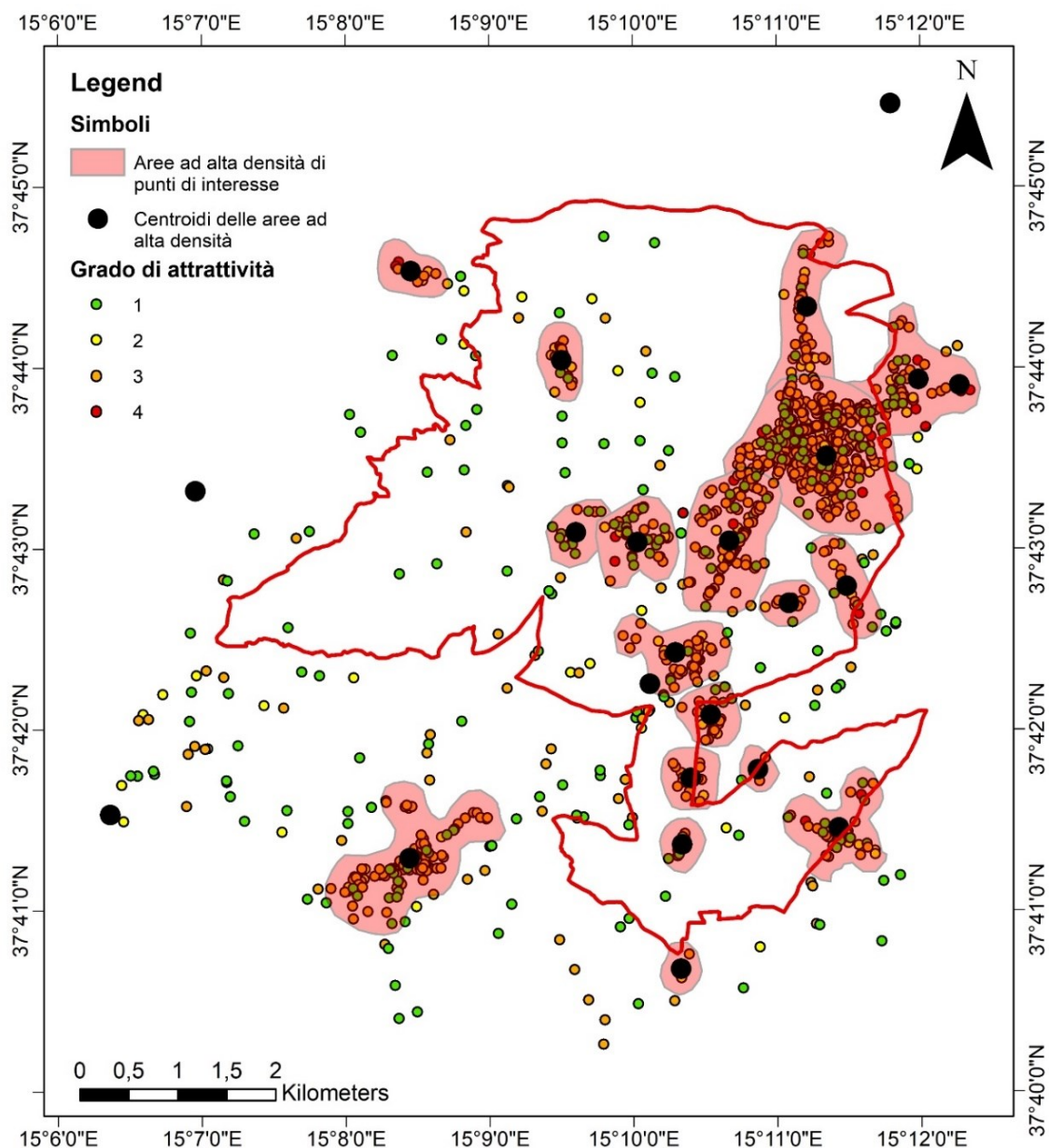


Fig. 7.14 - Aree ad alta densità di punti di interesse e relativi centroidi.

Le zone ad alta densità (le zone arancioni e rosse in Fig. 7.13) sono state digitalizzate calcolandone i centroidi di riferimento, che rappresentano i punti di destinazione finali; a questi sono stati aggiunti ulteriori punti in corrispondenza delle città confinanti, presso la stazione ferroviaria e il casello autostradale (come nel caso dei punti di origine). Questi ultimi punti sono stati quindi considerati sia come possibili punti di origine che come possibili punti di destinazione del flusso veicolare (Fig. 7.14).

Entrando nel merito del “sotto-modello di assegnazione o di scelta del percorso”, la maggior parte delle persone tendono a spostarsi da un punto A ad un punto B scegliendo il percorso più breve tra i due punti. Uno specifico utente potrebbe decidere

però di deviare dal percorso più breve per vari motivi, tra cui la presenza di traffico lungo una determinata strada o la necessità di usufruire di un altro servizio C che necessita di una deviazione dal percorso principale. La semplificazione è però necessaria per non incappare in modellazioni matematiche molto complesse e, probabilmente, non idonee allo scopo reale del progetto. È vero altresì che, statisticamente, la scelta del percorso più breve sia quella più comunemente adottata dalla maggior parte degli utenti.

Utilizzando il servizio *MyMaps* di *Google*, sono stati calcolati tutti i possibili percorsi (più brevi) tra ogni punto di origine e ogni punto di destinazione, esportando successivamente su *ArcGIS* tramite KML e conversione in *shapefile* (Fig. 7.15).

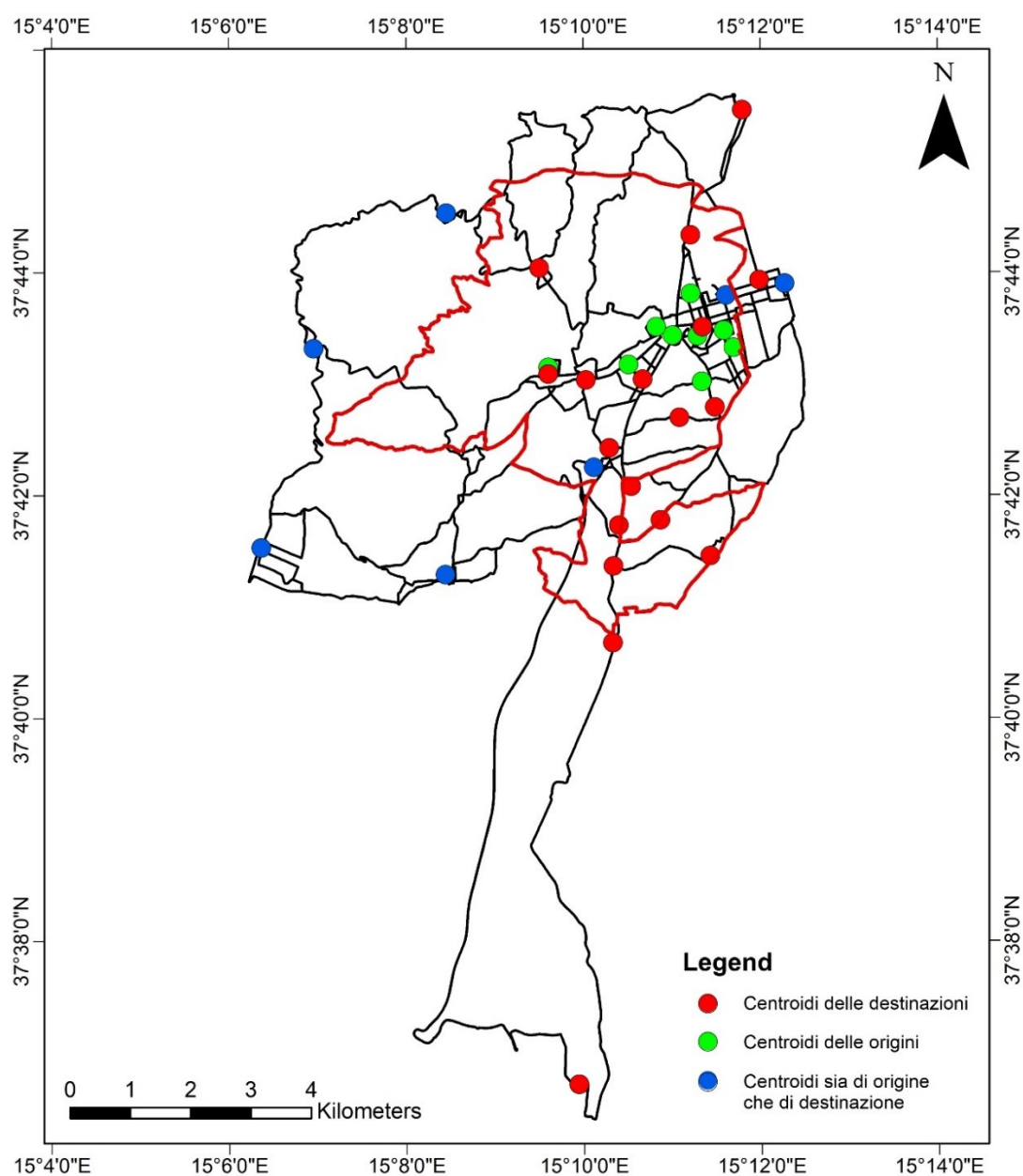


Fig. 7.15 - Percorsi più brevi da ogni punto di origine verso ogni punto di destinazione.

In questo caso è necessario considerare le sovrapposizioni esistenti tra i vari percorsi, per ovvi motivi non visibili in Fig. 7.15, che possono essere comuni per alcuni tratti o anche per la loro interezza; un percorso tra una determinata coppia di punti può essere infatti in parte utilizzato per compiere un tragitto tra un'altra coppia di punti. Se nel caso dell'algoritmo *Kernel density* il peso di ogni singolo punto veniva assegnato tramite il valore di attrattività (in modo tale da simulare la presenza contemporanea di più punti sovrapposti), in questo caso la sovrapposizione è reale ed esistente a priori, senza la necessità di pesare la successiva elaborazione in funzione di un valore tabellare, ma solo in funzione della reale presenza di più o meno oggetti sovrapposti.

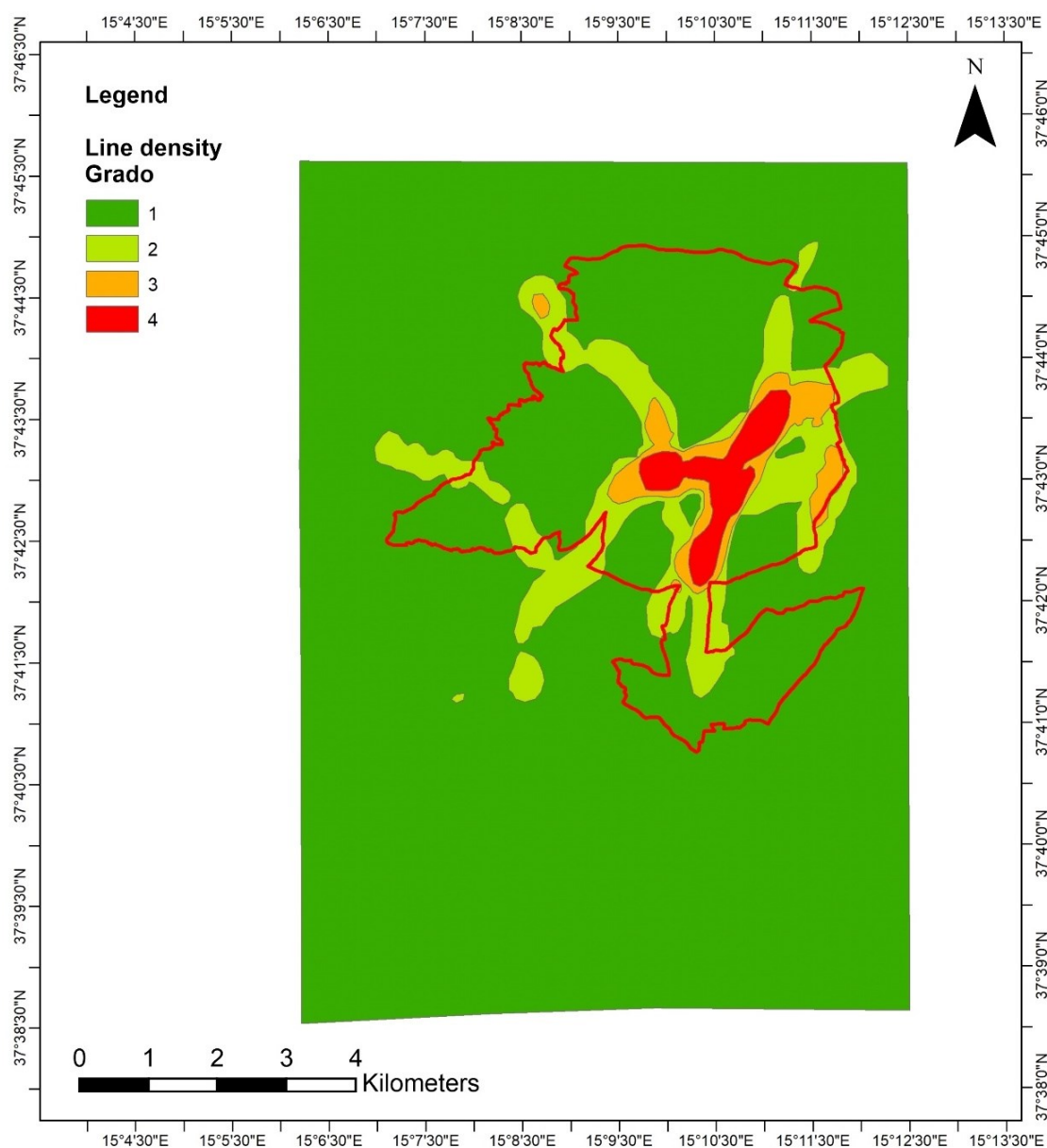


Fig. 7.16 – Risultato dell'applicazione dell'algoritmo "Line density" ai diversi percorsi tra punti di origine e destinazione.



Attraverso il *tool Line density* è stata costruita una mappa di densità per calcolare le zone a più alto traffico, intese come le zone in cui coesiste il maggior numero di percorsi generati dalle varie coppie di punti (Fig. 7.16). I valori sono stati poi suddivisi in quattro categorie utilizzando l'algoritmo *quantile*; il *raster* è stato poi digitalizzato in formato *shapefile* per l'interazione con la rete viaria.

A questo punto si è reso necessario effettuare un'operazione di *Intersect*, che permette di intersecare geometricamente la *features* della rete stradale e la *features* dell'esposizione.

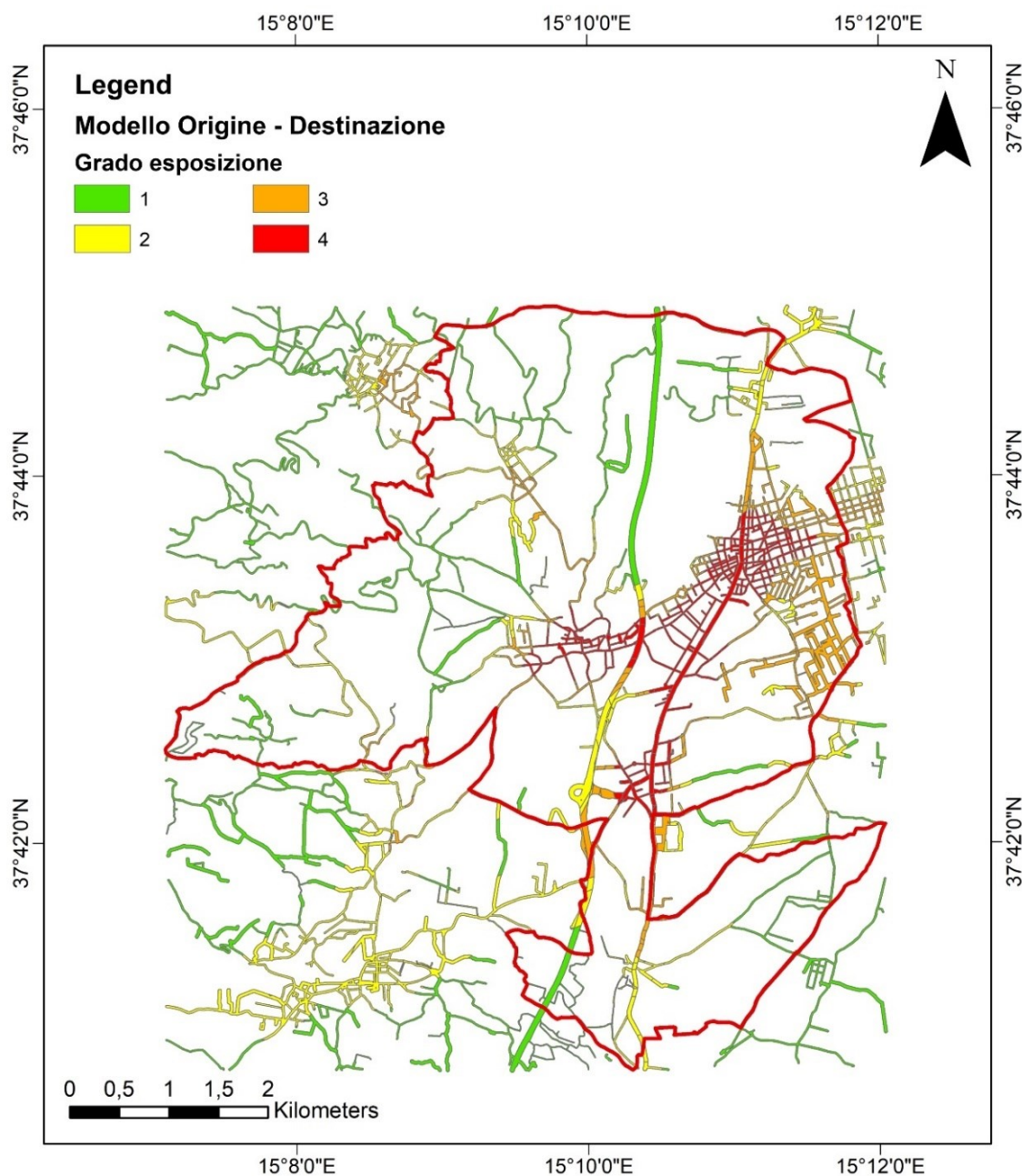


Fig. 7.17 - Mappa dell'esposizione calcolata a partire dall'applicazione del modello semplificato Origine - Destinazione.

La Fig. 7.17 rappresenta l'*output* finale dell'esposizione calcolata attraverso l'applicazione del modello Origine-Destinazione, ispirato al modello a quattro stadi di natura ingegneristica applicata ai sistemi di trasporto.

### 7.3.2 Modello di variabilità tramite Google Traffic

In genere, per semplificare l'analisi di domanda e offerta in una rete viaria, si ricorre all'ipotesi di "stazionarietà della domanda", anche se nella realtà si hanno ben tre elementi di variabilità:

- Il "*trend* di lungo periodo", che tiene conto dell'evoluzione della domanda negli anni in base a dati di crescita socioeconomica;
- la "variabilità intraperiodale", come ad esempio la differenza della domanda tra le ore meno trafficate della mattina e quelle più trafficate delle ore serali;
- la "variabilità interperiodale", ossia la differenza della domanda tra periodi dello stesso tipo in tempi diversi, come ad esempio le differenze tra i giorni della settimana.

Al fine di introdurre all'interno del modello il fattore di variabilità del flusso, si è ricorso ai dati di traffico offerti dal servizio *Google Traffic* in *Google Maps* (Wu et al., 2007). All'interno della famosa *App* e *Web App* di *Google* è possibile visualizzare il livello di congestionamento stradale attraverso i diversi colori con cui si presentano le strade nella città: una linea verde indica un traffico scorrevole, una linea arancione corrisponde ad un traffico meno scorrevole del previsto, una linea rossa indica la presenza di un ingorgo o comunque un traffico estremamente rallentato.

Per questo calcolo *Google Maps* utilizza come riferimento i limiti di velocità delle strade confrontandoli con la velocità di percorrenza effettiva in un dato momento: se il limite è 50 km/h e si viaggia a 40 km/h, la strada sarà contrassegnata come verde o al massimo arancione; se il limite è 90 km/h e si viaggia a 40 km/h, la strada sarà contrassegnata col colore rosso o rosso scuro (suddivisione in quattro categorie). La velocità reale di percorrenza viene trasmessa direttamente dagli *smartphone* con l'*app Google Maps* accesa, che inviano costantemente dati anonimi sulla loro posizione ai *server* di *Google*. Questi dati vengono poi combinati e incrociati con eventuali altri dati

disponibili dai satelliti, dai sensori posizionati sulla strada e da altre infrastrutture di rilevamento alle quali *Google* può accedere.

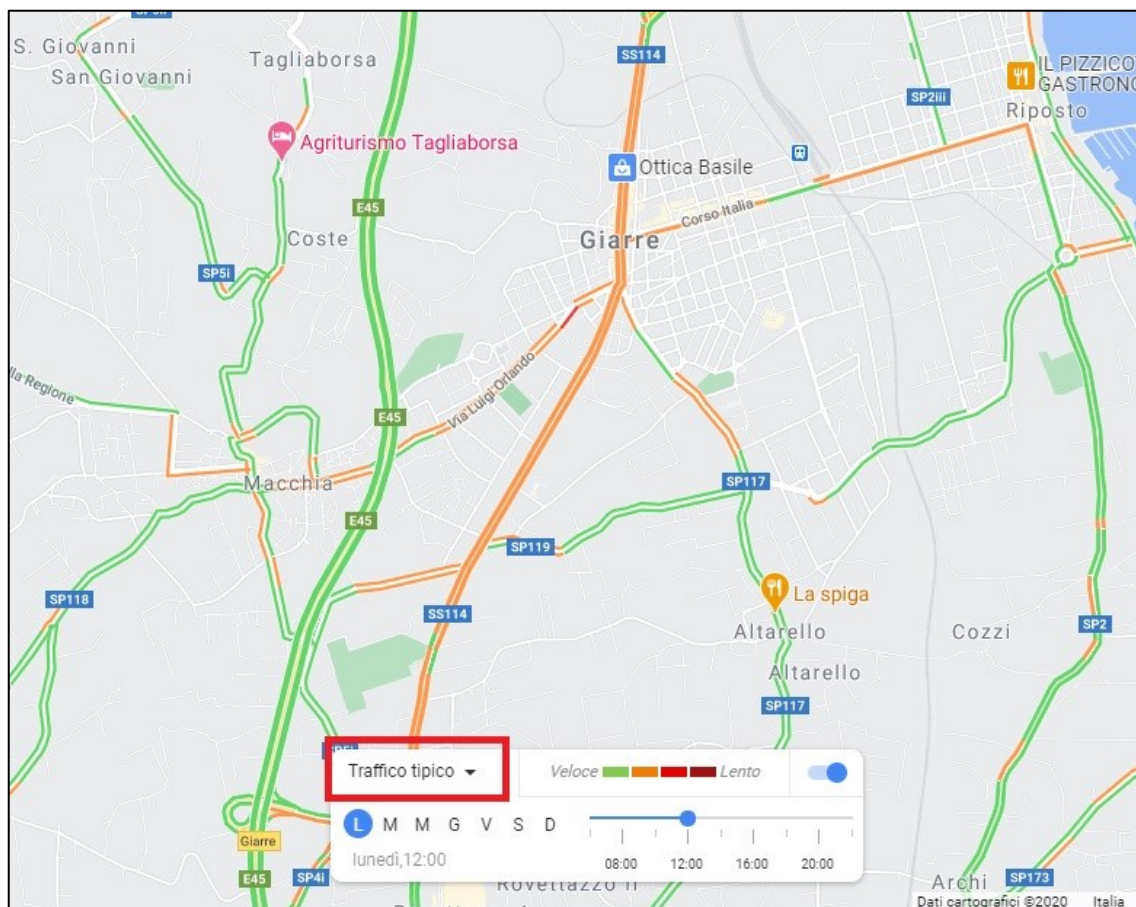


Fig. 7.18 - Visualizzazione dei dati di "traffico tipico" per il centro di Giarre.

Su *Google Maps* è possibile visualizzare sia i dati di traffico in tempo reale, sia i dati tipici, che indicano quanto è trafficata tipicamente una zona in determinati giorni e ore della settimana (Fig. 7.18).

Per mantenersi in sicurezza con la valutazione dell'esposizione sono stati quindi presi in considerazione i dati tipici del traffico, ai due orari più trafficati della giornata: le ore 12 e le ore 18.

Data l'impossibilità di scaricare in maniera diretta i dati di traffico da *Google*, è stata eseguita una serie di *screenshot* delle varie schermate, poi digitalizzate all'interno di *ArcGIS*, mantenendo la suddivisione originaria in quattro categorie di traffico.

Un altro problema di questo approccio è rappresentato dal fatto che le informazioni sul traffico non sono disponibili per tutte le strade del comune, ma solo per quelle considerate più importanti all'interno della rete. Questo è uno dei principali

motivi per cui il modello di traffico principale si è basato su un modello di tipo O/D e non sui dati reali presenti sui *server Google*, relegando questi ultimi alla funzione di validazione statistica del modello e al calcolo di un indice di variabilità del traffico.

Sono state quindi digitalizzate sette carte (una per ogni giorno della settimana) per le ore 12 e altre sette carte per le ore 18. Lavorando sempre per fasce orarie differenti, sono state poi sovrapposte le carte relative alle diverse giornate raccogliendo i dati in un unico *shapefile* (uno per le ore 12 e uno per le ore 18) ottenendo una tabella di questo tipo:

Media traffico ore 12														
Lunedì	Martedì	Mercoledì	Giovedì	Venerdì	Sabato	Domenica	Media ore 12	Freq. Grado 1	Freq. Grado 2	Freq. Grado 3	Freq. Grado 4	Costi_max	Variabilità	Indice di variabilità
3	3	3	3	3	3	3	3	0	7	0	0	7	1	0,142857
1	1	1	2	2	1	1	1,285714	5	2	0	0	5	2	0,4
1	1	1	1	1	2	2	1,285714	5	2	0	0	5	2	0,4
1	1	1	1	1	1	1	1	7	0	0	0	7	1	0,142857
1	1	1	1	1	1	1	1	7	0	0	0	7	1	0,142857
1	1	1	1	1	1	2	1,142857	6	1	0	0	6	2	0,333333
1	1	2	1	1	2	3	1,571429	4	2	1	0	4	3	0,75
1	2	1	1	1	1	1	1,142857	6	1	0	0	6	2	0,333333
1	1	1	1	1	1	1	1	7	0	0	0	7	1	0,142857
3	3	3	2	4	3	1	2,714286	1	1	4	1	4	4	1
3	3	3	2	4	3	4	3,142857	0	1	4	2	4	3	0,75
3	2	2	1	2	3	3	2,285714	1	3	3	0	3	3	1
4	1	2	1	2	3	2	2,142857	2	3	1	1	3	4	1,333333
2	2	1	1	1	1	2	1,428571	4	3	0	0	4	2	0,5
2	2	1	1	1	1	1	1,285714	5	2	0	0	5	2	0,4
2	1	1	1	1	1	1	1,142857	6	1	0	0	6	2	0,333333
2	2	1	2	2	2	2	1,857143	1	6	0	0	6	2	0,333333

Fig. 7.19 - Tabella attributi relativa ai dati tipici delle ore 12 per ogni giorno della settimana.

La tabella attributi delle ore 12 (Fig. 7.19) contiene un riepilogo del grado di traffico per ogni singolo giorno della settimana; sono stati aggiunti poi dei campi contenenti calcoli statistici per studiare la variabilità del fenomeno: il campo "Media\_ore\_12" è la media aritmetica del valore di traffico giornaliero mediato per tutta la settimana; i successivi quattro campi denominati "Freq\_Grado\_1", "Freq\_Grado\_2", "Freq\_Grado\_3" e "Freq\_Grado\_4" indicano per quanti giorni (da 0 a 7), durante la settimana, si è presentato il valore indicato da quel campo; il campo "Cost\_max" (costanza massima) indica il grado di costanza dei valori durante la settimana, ossia il numero massimo di giorni in cui si è presentato lo stesso identico valore di traffico; il campo "Variabilità" indica il numero di cambiamenti del valore di traffico durante la settimana.

L'ultimo campo, l'indice di variabilità, è il valore finale di variabilità calcolato sulla base del rapporto tra la variabilità e la costanza massima.

Con un'intersezione ulteriore tra i due *shapefile* relativi ai due orari di punta è stato ottenuto un unico *shapefile* contenente gli indici calcolati sulla variabilità relativi a entrambi gli orari (Fig. 7.20).

	FID	Shape *	ID	Media Ore12	Media Ore18	Indice Ore12	Indice Ore18	Indice TOT
	0	Polygon	0	1	1	0,142857	0,142857	0,285714
	1	Polygon	1	1	1,14286	0,142857	0,333333	0,47619
	2	Polygon	2	1	1,28571	0,142857	0,333333	0,47619
	3	Polygon	3	1	1,28571	0,142857	0,4	0,542857
	4	Polygon	4	1	1,42857	0,142857	0,5	0,642857
	5	Polygon	5	1	1,42857	0,142857	0,6	0,742857
	6	Polygon	6	1	1,57143	0,142857	0,4	0,542857
	7	Polygon	7	1	1,57143	0,142857	0,75	0,892857
	8	Polygon	8	1	1,71429	0,142857	0,75	0,892857
	9	Polygon	9	1	1,71429	0,142857	1	1,14286
	10	Polygon	10	1	1,85714	0,142857	0,5	0,642857
	11	Polygon	11	1	1,85714	0,142857	1	1,14286
	12	Polygon	12	1	2	0,142857	1	1,14286
	13	Polygon	13	1	2,14286	0,142857	0,5	0,642857
	14	Polygon	14	1	2,28571	0,142857	0,75	0,892857
	15	Polygon	15	1	2,42857	0,142857	0,4	0,542857

Fig. 7.20 - Shapefile riepilogativo delle medie e degli indici di variabilità (singoli e totale) per ogni tratto di strada.

Gli indici delle ore 12 e delle ore 18 sono stati sommati per ricavare l'indice di variabilità totale, ottenendo una carta della variabilità totale su tutte le strade considerate. L'indice è stato poi suddiviso in 4 categorie, contrassegnate da un valore numerico variabile da 1 a 4.

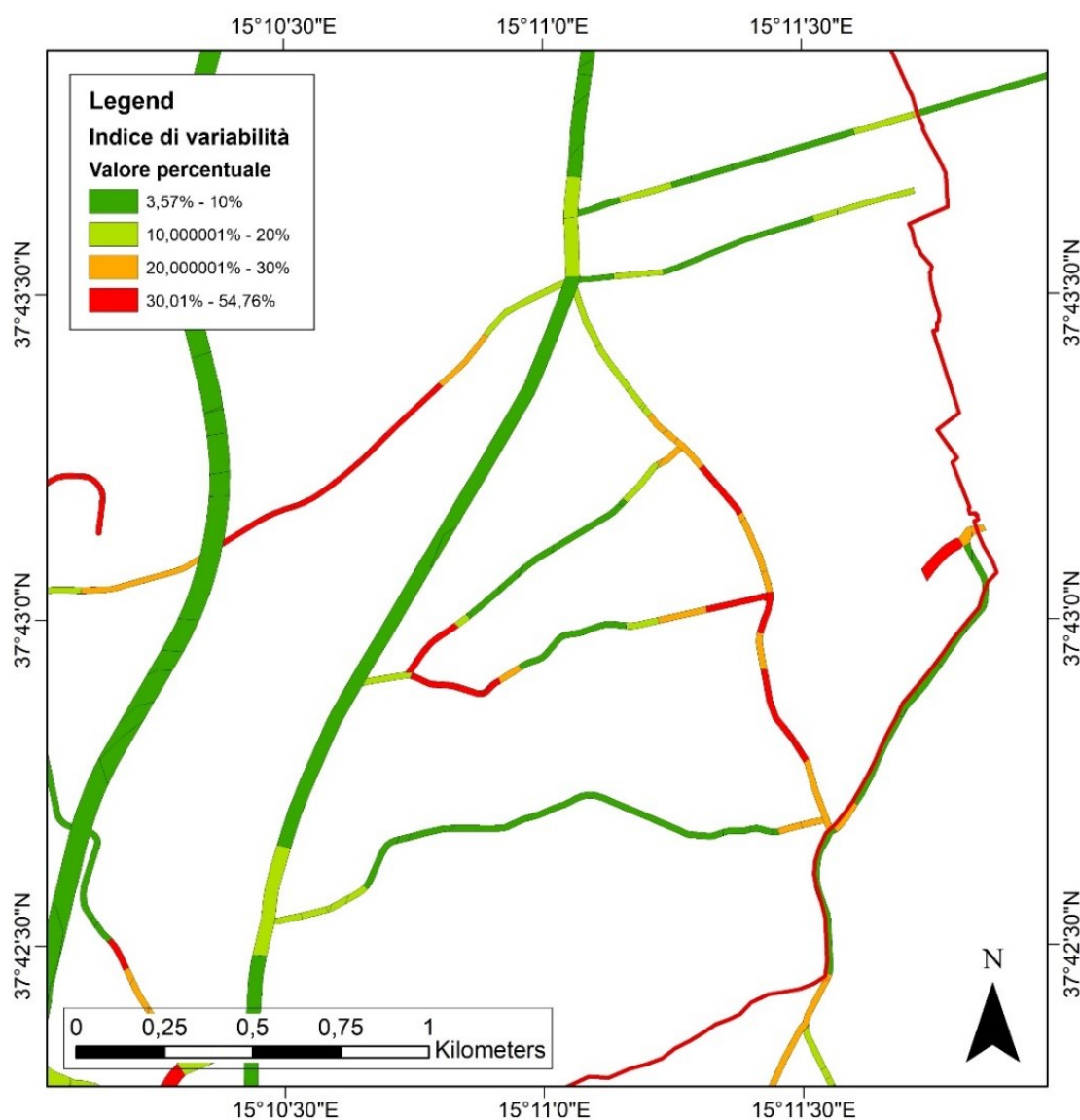


Fig. 7.21 - Rappresentazione grafica dell'indice di variabilità (scala colore dal verde al rosso). L'indice è stato normalizzato a 100 ed espresso in valori percentuali.

Il valore minimo che l'indice può assumere è di 0,142857 (con una variabilità di 1 e una costanza di 7), mentre il valore massimo è di 4 (con una variabilità di 4 e una costanza di 1). In Fig. 7.21 è possibile osservare un dettaglio della zona centrale di Giarre. L'indice è stato normalizzato a 100 ed espresso in %, applicando la seguente formula tramite *Field Calculator*:

$$(((Indice_{TOT}) - 0.142857) * 100)/4$$

I valori percentuali ottenuti variano da un minimo di 3,57% ad un massimo di 54,76 % nelle zone a più alta variabilità di traffico; quest'ultime si concentrano in alcune particolari zone: in prossimità del casello autostradale (Fig. 7.22a), lungo la strada di raccordo che sfocia nel viale Don Luigi Sturzo; per un lungo tratto della SP117 e di alcune vie di raccordo a partire dalla Via Callipoli (Fig. 7.22b); lungo la Via Luigi Orlando che, andando dal centro di Giarre verso la zona di Macchia, cambia nome in Via Principe di Piemonte (Fig. 7.22c); lungo le strade che portano dal centro di Giarre verso le zone di Carruba-San Leonardello (Fig. 7.22d).

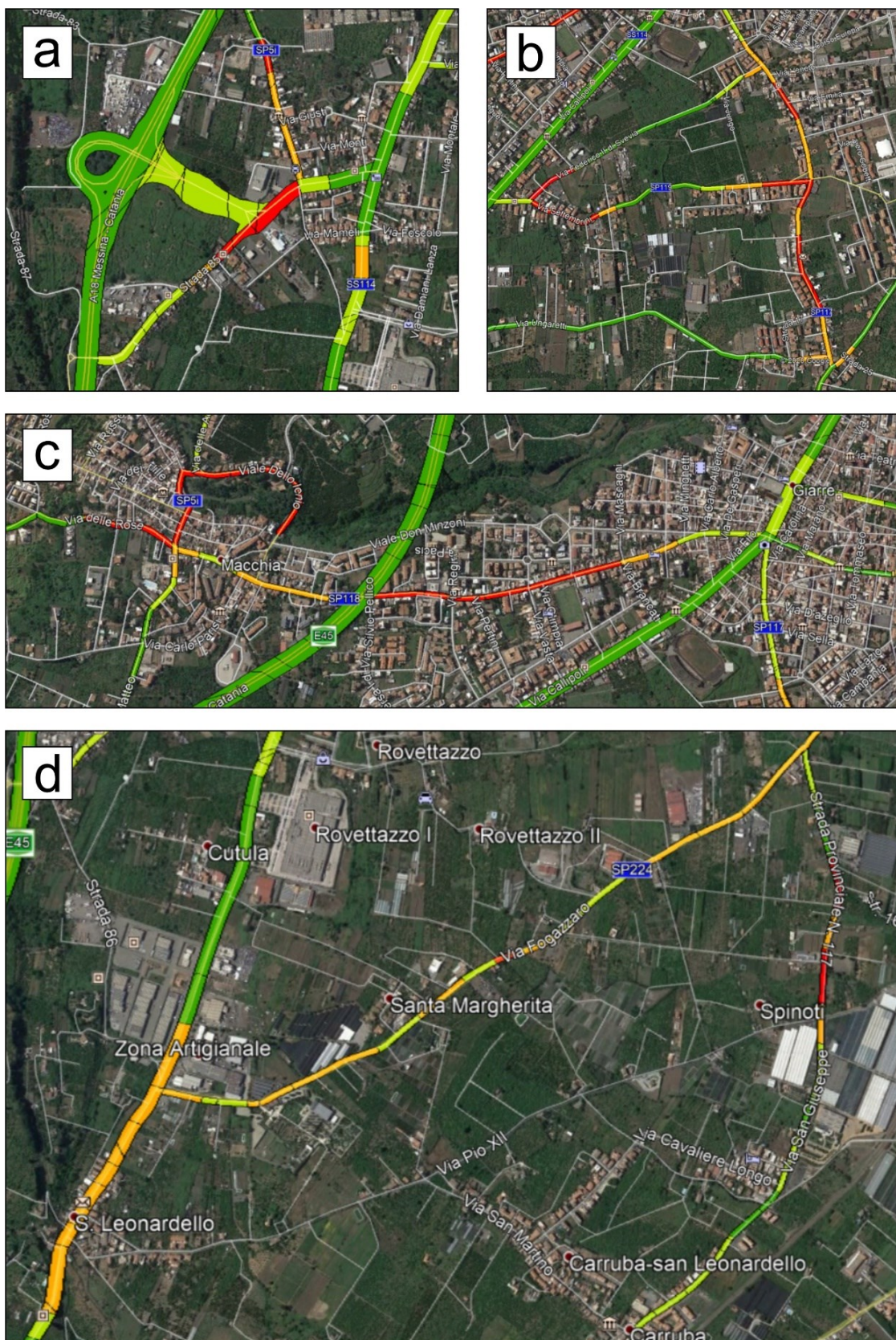


Fig. 7.22 - Dettaglio delle zone a più alta variabilità di traffico.



### 7.3.3 Confronto tra i due modelli

Nonostante i dati di *Google* non siano purtroppo presenti in tutte le strade del comune, si è deciso di effettuare un confronto tra il primo modello (modello O/D) e il secondo (dati tipici di *Google Traffic*), al fine di tentare una validazione dei risultati ottenuti con il calcolo statistico dei percorsi tramite matrice O/D.

È stato così creato un singolo *shapefile* contenente i dati relativi ai due modelli considerati. Per il primo modello era già stato calcolato il grado di esposizione suddiviso in quattro categorie (Fig. 7.23), mentre per il secondo sono state allo stesso modo ricavate quattro categorie di esposizione, dopo aver sommato il valore relativo ai due orari (ore 12 e ore 18).

Index 12	Media 18	Index 18	Media TOT	Sum 12 18	Index TOT	Grado Google traffic (SUM)	Grado modello calcolato (KERNEL)	Shape Area	Match
0.142857	1	0.142857	1	2	0.285714	1	1	207936.33333	SI
0.142857	1.28571	0.333333	1.14286	2.28571	0.47619	1	1	2864.709157	SI
0.333333	2.14286	0.333333	1.64286	3.28572	0.666666	2	2	2853.601202	SI
0.333333	1	0.142857	1.14286	2.28571	0.47619	1	1	2520.465806	SI
0.333333	1.28571	0.333333	1.28571	2.57142	0.666666	1	1	188.934753	SI
0.333333	1.28571	0.4	1.28571	2.57142	0.733333	1	1	3561.850637	SI
0.4	1.14286	0.333333	1.21429	2.42857	0.733333	1	1	2803.565334	SI
0.4	1.71429	0.75	1.5	3	1.15	1	1	2114.919192	SI
0.4	1.85714	0.75	1.57142	3.14286	1.15	2	2	7644.851754	SI
0.4	1.85714	0.75	1.57142	3.14286	1.15	2	2	2719.479748	SI
0.4	1.57143	0.5	1.57143	3.14286	0.9	2	2	1944.480801	SI
0.4	1.71429	0.75	1.64286	3.28572	1.15	2	2	4028.364613	SI
0.4	1.85714	1	1.71428	3.42857	1.4	2	2	1347.253918	SI
0.4	2.14286	0.5	1.85714	3.71429	0.9	3	3	3697.575863	SI
0.75	1.14286	0.333333	1.35715	2.71429	1.08333	1	1	1796.64626	SI
0.75	1.57143	0.5	1.57143	3.14286	1.25	2	2	78.257674	SI
0.75	1.42857	0.5	1.57143	3.14286	1.25	2	2	3047.159884	SI
0.75	1.71429	1	1.71429	3.42858	1.75	2	2	1110.891883	SI
1	1.57143	0.5	1.64286	3.28572	1.5	2	2	948.720765	SI
0.333333	2	0.6	1.92857	3.85714	0.933333	3	3	2102.326802	SI

Fig. 7.23 - Tabella attributi del layer con i dati relativi ai due modelli. Confronto tra i gradi assegnati attraverso le due metodologie.

Confrontando i valori di esposizione dei due modelli è stata calcolata una percentuale di corrispondenza di circa il 65% (Fig. 7.23).

### 7.3.4 Modello di esposizione definitivo per la rete viaria

Lo *shapefile* definitivo con i dati di esposizione (Fig. 7.24) contiene quindi le seguenti informazioni:

- Il grado di esposizione calcolato con il primo modello;
- Il grado di esposizione calcolato attraverso *Google Traffic*;
- Il traffico mediato delle ore 12, delle ore 18 e la loro somma (solo per le strade coperte dal servizio di *Google*);
- L'indice di variabilità (solo per le strade coperte dal servizio di *Google*);

- Il valore booleano all'interno del campo "Match", che indica la corrispondenza o meno tra il grado del primo modello e quello del secondo (solo per le strade coperte dal servizio di Google).

Lo *shapefile* verrà successivamente incrociato con i dati derivanti dal calcolo della pericolosità per ottenere gli *output* finali del rischio lungo la rete viaria.

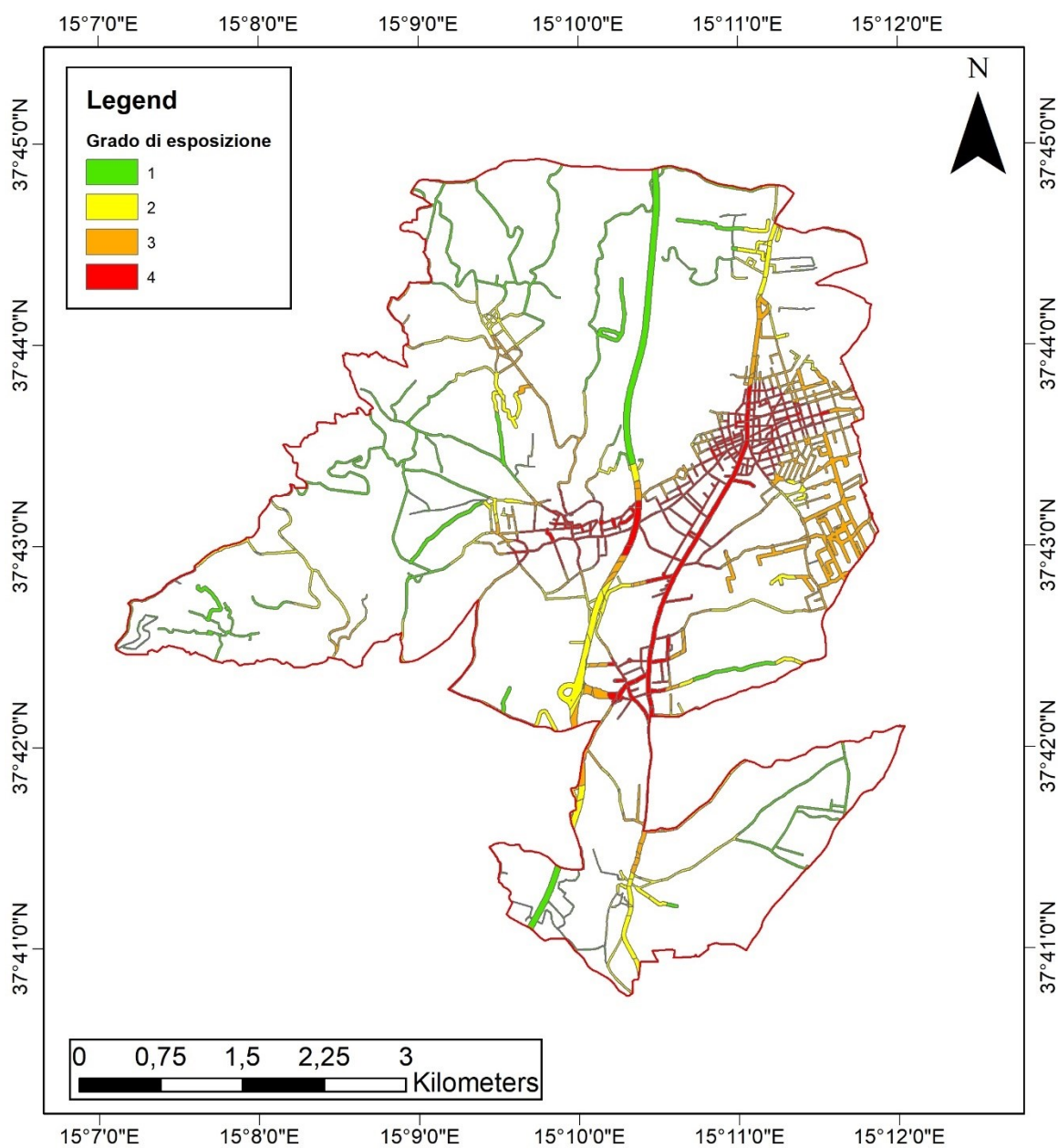


Fig. 7.24 – Mappa finale dell'esposizione della rete viaria.

### 7.3.5 Modello di esposizione per gli edifici

Avendo a disposizione il *layer* degli edifici presenti nel territorio comunale, oltre a quello della rete viaria, si è deciso di estendere il calcolo dell'esposizione, e successivamente del rischio, anche agli edifici.

In questo caso è possibile introdurre un ulteriore parametro che va a concorrere al calcolo dell'esposizione. Sebbene sia fondamentale avere una chiara visione della distribuzione della popolazione all'interno del comune (grazie alla mappa demografica in Fig. 7.7), è altresì importante avere un'idea del valore commerciale degli edifici (abitativi e non) e della loro dislocazione sul territorio. L'esposizione o valore esposto può essere infatti il risultato di molteplici fattori, come ad esempio la presenza di vite umane, ma anche di parametri squisitamente economici come il prezzo medio degli edifici in una data area. È chiaro che, nel caso delle vite umane, non possano esserci differenze di valore tra un caso e l'altro, limitando il calcolo al concetto di densità demografica; nel caso degli edifici però è possibile pesare in maniera differente i diversi elementi esposti a rischio in base al loro valore economico sul mercato.

A partire dagli anni 2000, grazie al contributo dell'Osservatorio del Mercato Immobiliare dell'Agenzia delle Entrate (OMI), si è registrato un notevole miglioramento in termini di qualità e quantità dell'informazione economica relativa al mercato immobiliare

(<https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/web/guest/schede/fabbricatiterreni/omi>).

L'Osservatorio si articola su due livelli che riguardano:

- la produzione di dati statistici sul mercato immobiliare sulla base delle banche dati del Catasto, dei Registri della proprietà immobiliare e dell'amministrazione finanziaria in generale (avviata sin dal 2001);
- la gestione della banca dati delle quotazioni immobiliari, il cui l'avvio è avvenuto a partire dal 1° gennaio 2004, in esito ad un periodo progettuale e di sperimentazione esplicitosi in circa un triennio.

La Banca Dati delle quotazioni immobiliari (BDQ OMI) fornisce con cadenza semestrale, per ogni delimitata zona territoriale, un intervallo minimo - massimo dei valori di mercato e di locazione, per unità di superficie, basato su: tipologia immobiliare, stato di manutenzione e stato di conservazione.

Ovviamente le quotazioni OMI non forniscono una stima puntuale del valore del singolo immobile, ma si riferiscono ad un valore medio delle unità immobiliari in una data area considerata omogenea (escluse tutte le quotazioni riferite a immobili di particolare pregio, edifici in grave stato di degrado o, più in generale, tutti gli immobili che presentano caratteristiche non ordinarie).

Al fine di garantire la rappresentatività dei dati statistici, i dati dell'OMI vengono strutturati in una serie di aggregazioni omogenee, come ad esempio le fasce e le zone.

La "fascia" è un'aggregazione di zone omogenee contigue. Essa rappresenta un'area territoriale con precisa collocazione geografica nel comune e rispecchia una collocazione urbanistica consolidata. Il territorio comunale viene quindi ripartito nelle seguenti fasce: Centrale, Semicentrale, Periferica, Suburbana, Extraurbana.

La "zona" rappresenta invece una porzione della fascia territoriale che riflette un comparto omogeneo del mercato immobiliare locale, nel quale si registra una sostanziale uniformità di apprezzamento per condizioni economiche e socio-ambientali. Tale uniformità viene tradotta in omogeneità dei valori di mercato delle unità immobiliari compresi in un intervallo con uno scostamento tra valore minimo e valore massimo, di regola, non superiore al 50%.

Ogni zona è poi distinta in base alla destinazione d'uso in: residenziale, con destinazione d'uso abitativa; commerciale; terziaria, con destinazione d'uso direzionale; produttiva.

Sul sito istituzionale dell'Agenzia delle Entrate è consentita la consultazione libera della banca dati OMI da parte di tutti gli utenti, sia consultando le quotazioni filtrate per semestre, Provincia, Comune, zona OMI e destinazione d'uso, o attraverso una mappa interattiva con il servizio GEOPOI ([https://www.agenziaentrate.gov.it/geopoi\\_omi/index.php](https://www.agenziaentrate.gov.it/geopoi_omi/index.php)).

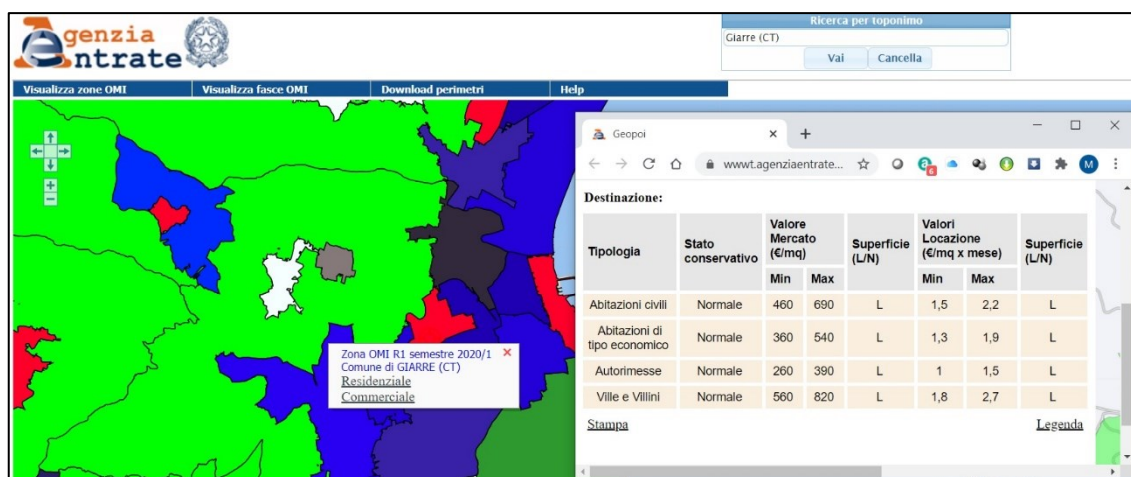


Fig. 7.25 - Portale per la consultazione della banca dati OMI (Agenzia delle Entrate).

Le quotazioni si riferiscono a tutte le destinazioni d'uso presenti all'interno di ogni zona e comprendono i campi: "tipologia", "stato conservativo", "valore di mercato minimo e massimo", "valori di locazione" e "superficie" (Fig. 7.25).

Il sito mette a disposizione anche i perimetri delle zone OMI di ogni comune, i quali sono stati opportunamente scaricati in formato KML, convertiti in *shapefile* e digitalizzati nel progetto GIS, strutturando il *database* in modo tale da ospitare le informazioni presenti in Fig. 7.26.

Zona_OMI	Fascia_OMI	Descr_zona	Semestre	Val_min (Euro/m <sup>2</sup> )	Val_Max (Euro/m <sup>2</sup> )	Tipol_prev	Destinazio	Grado_val
R1	Extraurbana	Zona rurale a nord e a ovest del centro abitato (Contrada Miscarelo)	1 2020	378	688	Non presente	Non presente	1
E3	Suburbana	Frazioni di San Leonardello e Carruba	1 2020	463,75	690	Abitaz. di tipo economico	Residenziale	2
E2	Suburbana	Frazione di San Giovanni Montebello	1 2020	486,25	715	Abitaz. di tipo economico	Residenziale	2
E1	Suburbana	Frazione di Santa Maria la Strada	1 2020	507,14	750	Abitaz. di tipo economico	Residenziale	3
D5	Periferica	Frazione Altarello - Via delle Province - Via Settembrini - Via Trieste	1 2020	544	788	Abitazioni civili	Residenziale	3
D6	Periferica	Frazioni di Macchia di Giarre - Sciera - Trepunti	1 2020	541,11	794,44	Abitaz. di tipo economico	Residenziale	3
D6	Periferica	Frazioni di Macchia di Giarre - Sciera - Trepunti	1 2020	541,11	794,44	Abitaz. di tipo economico	Residenziale	3
D6	Periferica	Frazioni di Macchia di Giarre - Sciera - Trepunti	1 2020	541,11	794,44	Abitaz. di tipo economico	Residenziale	3
D3	Periferica	Periferica est. Viale Libertà - C.so Europa - Via Emilia - Via N.Martoglio	1 2020	558,75	845	Abitazioni civili	Residenziale	4
D3	Periferica	Periferica est. Viale Libertà - C.so Europa - Via Emilia - Via N.Martoglio	1 2020	558,75	845	Abitazioni civili	Residenziale	4
D3	Periferica	Periferica est. Viale Libertà - C.so Europa - Via Emilia - Via N.Martoglio	1 2020	558,75	845	Abitazioni civili	Residenziale	4
D4	Periferica	Periferica sud-ovest. Via A.Moro - Via Don Luigi Sturzo - Via S.Pellico	1 2020	577	893	Abitazioni civili	Residenziale	4
B1	Centrale	Nucleo storico. C.so Italia - Via Callipoli - Via F.Turati	1 2020	591,11	935,55	Abitaz. di tipo economico	Residenziale	4

Fig. 7.26 - Tabella attributi del layer delle zone OMI.

In Tab. 7.2 sono stati mediati i valori minimi e massimi (espressi in euro/m<sup>2</sup>) riscontrati in ogni zona, permettendo di discriminare cinque categorie differenti, contraddistinte da specifici *range* di valori minimi e massimi:

VALORE OMI	Range valori Min.	Range valori Max
1	378	568
2	463,75 – 486,25	690 - 715
3	507,14 – 541	750 – 794,44
4	558,75 - 577	845 - 893
5	591,11	935,55

Tab. 7.2 - Range di valori minimi e massimi caratteristici di ogni categoria identificata

Categorizzando le zone in funzione del valore OMI ricavato si ottiene una distribuzione di questo tipo (Fig. 7.27):

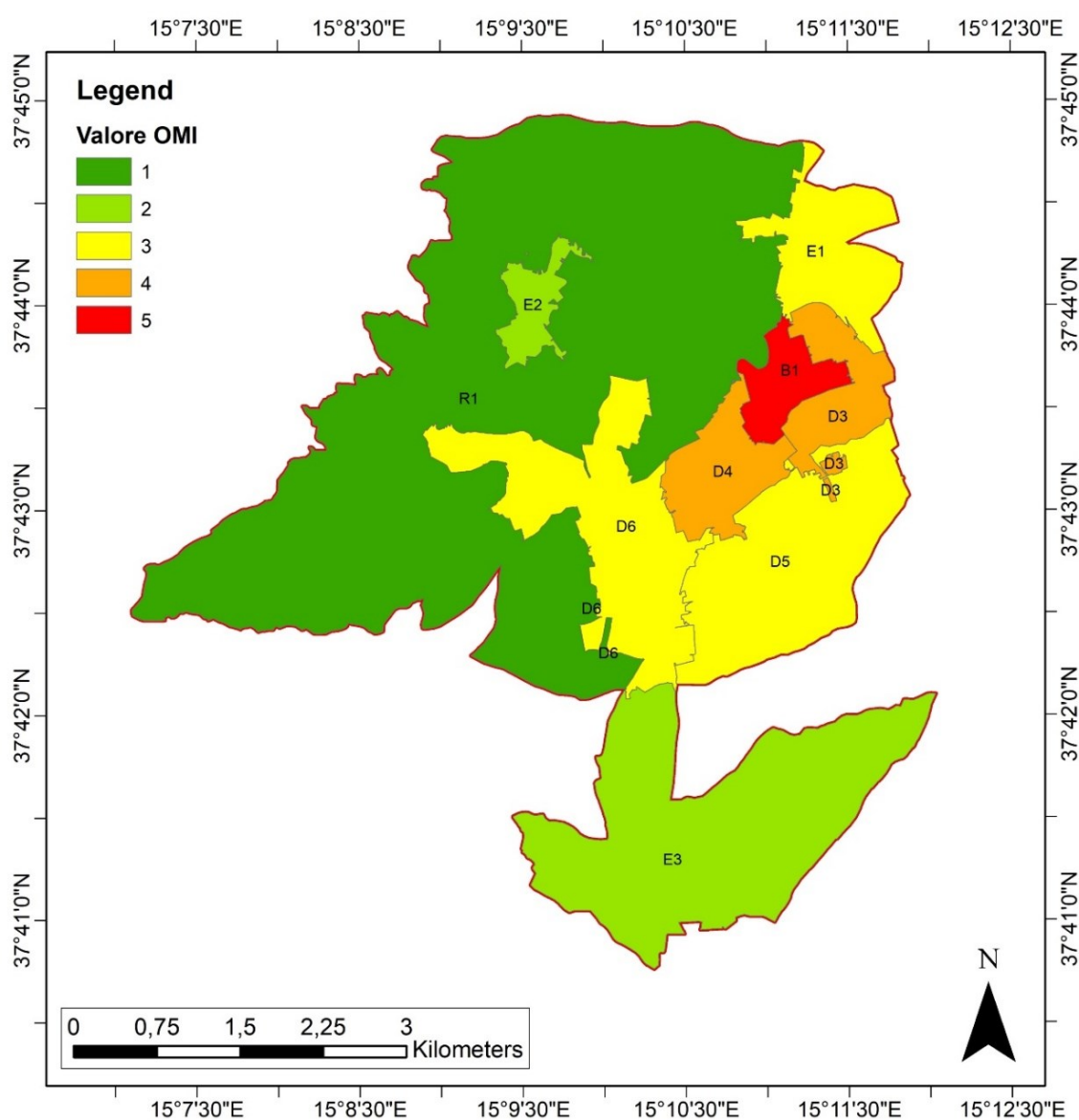


Fig. 7.27 – Mappa con categorizzazione in funzione del valore OMI attribuito ad ogni zona.

Successivamente, tramite l'esecuzione del *tool Union* è stato intersecato lo *shapefile* relativo alla densità demografica con quello dei valori OMI, ottenendo un totale di 23 combinazioni di valori. I valori ISTAT e OMI sono stati sommati per ottenere un singolo valore di esposizione (Fig. 7.28), variabile da un minimo di 2 ad un massimo di 10, e corrispondente, come facilmente prevedibile, al centro storico della città (C.so Italia, Via Callipoli, Via F. Turati).

FID	Zone	Descr zona	Zona	Grado OMI	Grad ISTAT	ISTAT OMI (sum)
9	21	Zona rurale a nord e a ovest del centro abitato (Contrada Miscareello)	R1	1	1	2
4	12	Frazioni di San Leonardello e Carruba	E3	2	1	3
9	20	Zona rurale a nord e a ovest del centro abitato (Contrada Miscareello)	R1	1	2	3
0	2	Frazione Altarello: Via delle Province - Via Settembrini - Via Trieste	D5	3	1	4
4	13	Frazioni di San Leonardello e Carruba	E3	2	2	4
9	22	Zona rurale a nord e a ovest del centro abitato (Contrada Miscareello)	R1	1	3	4
0	3	Frazione Altarello: Via delle Province - Via Settembrini - Via Trieste	D5	3	2	5
3	11	Periferica est: Viale Libert� - C.so Europa - Via Emilia - Via N.Martoglio	D3	4	1	5
4	14	Frazioni di San Leonardello e Carruba	E3	2	3	5
9	19	Zona rurale a nord e a ovest del centro abitato (Contrada Miscareello)	R1	1	4	5
0	1	Frazione Altarello: Via delle Province - Via Settembrini - Via Trieste	D5	3	3	6
1	9	Nucleo storico: C.so Italia - Via Callipoli - Via F. Turati	B1	5	1	6
5	17	Periferica sud-ovest: Via A.Moro - Via Don Luigi Sturzo - Via S.Pellico	D4	4	2	6
9	18	Zona rurale a nord e a ovest del centro abitato (Contrada Miscareello)	R1	1	5	6
0	0	Frazione Altarello: Via delle Province - Via Settembrini - Via Trieste	D5	3	4	7
1	6	Nucleo storico: C.so Italia - Via Callipoli - Via F. Turati	B1	5	2	7
5	16	Periferica sud-ovest: Via A.Moro - Via Don Luigi Sturzo - Via S.Pellico	D4	4	3	7
0	4	Frazione Altarello: Via delle Province - Via Settembrini - Via Trieste	D5	3	5	8
1	8	Nucleo storico: C.so Italia - Via Callipoli - Via F. Turati	B1	5	3	8
2	10	Periferica est: Viale Libert� - C.so Europa - Via Emilia - Via N.Martoglio	D3	4	4	8
1	7	Nucleo storico: C.so Italia - Via Callipoli - Via F. Turati	B1	5	4	9
5	15	Periferica sud-ovest: Via A.Moro - Via Don Luigi Sturzo - Via S.Pellico	D4	4	5	9
1	5	Nucleo storico: C.so Italia - Via Callipoli - Via F. Turati	B1	5	5	10

Fig. 7.28 – Somma algebrica tra i valori ISTAT e quelli OMI.

Combinando l'ultimo *layer* con quello degli edifici è stato possibile associare un valore di esposizione totale ad ogni singolo edificio del territorio comunale in base al suo valore ISTAT, dovuto all'appartenenza ad una zona con una determinata densità demografica, e al suo valore OMI, dovuto al valore degli immobili in quella determinata area. Nei casi in cui un edificio si è trovato suddiviso tra più zone a valore diverso di esposizione è stato assegnato il valore massimo di esposizione intercettato, indipendentemente dalla superficie appartenente all'uno o all'altro valore di esposizione.

Il *layer* finale di esposizione per quanto riguarda gli edifici è illustrato in Fig. 7.29.

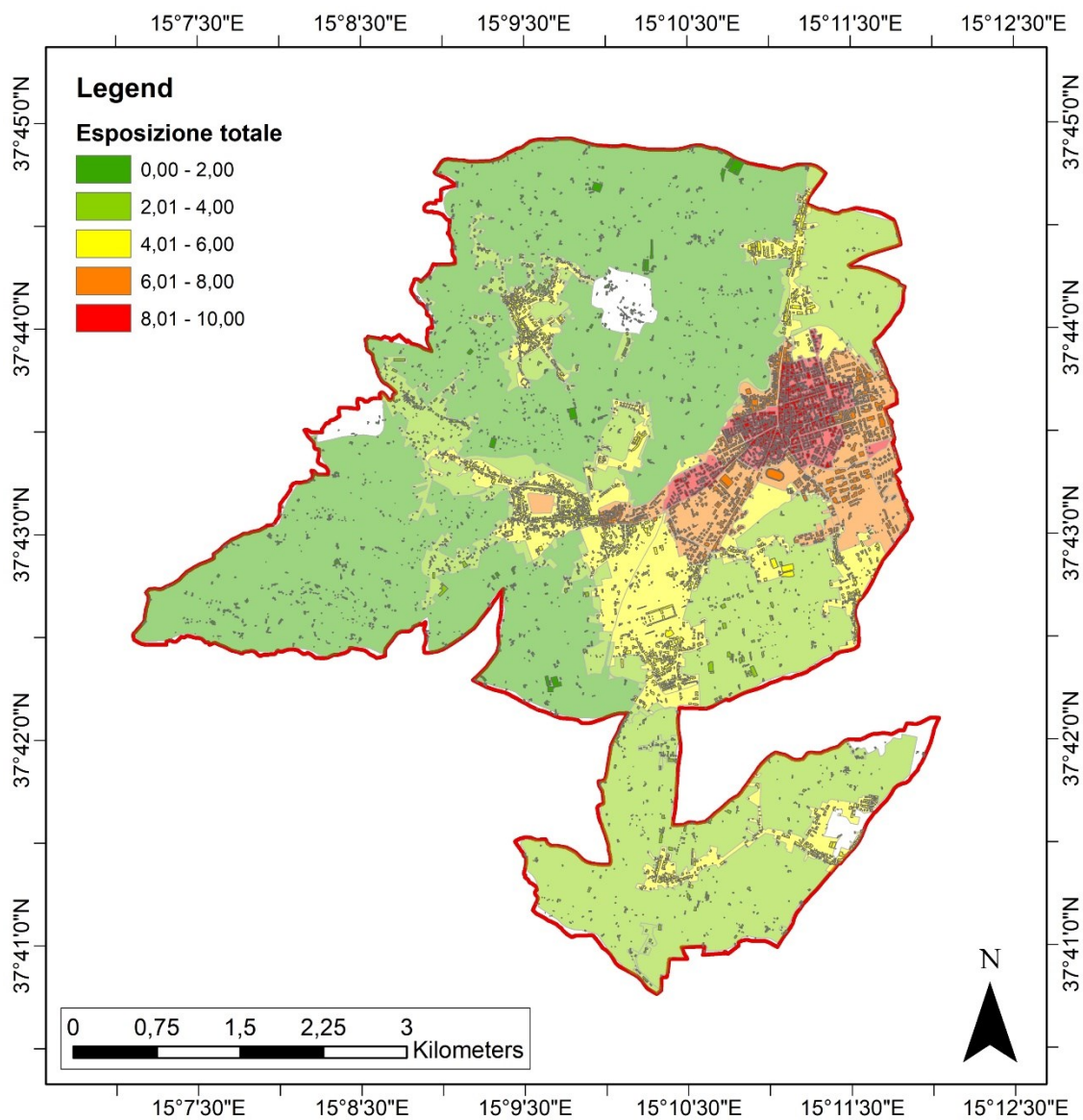


Fig. 7.29 - Categorizzazione finale del layer degli edifici in funzione dell'esposizione calcolata sulla base dei valori OMI e ISTAT.

Come nel caso della mappa demografica è stato creato un *tool* per velocizzare il processo di creazione della mappa di esposizione finale degli edifici (Fig. 7.30 e Fig. 7.31).

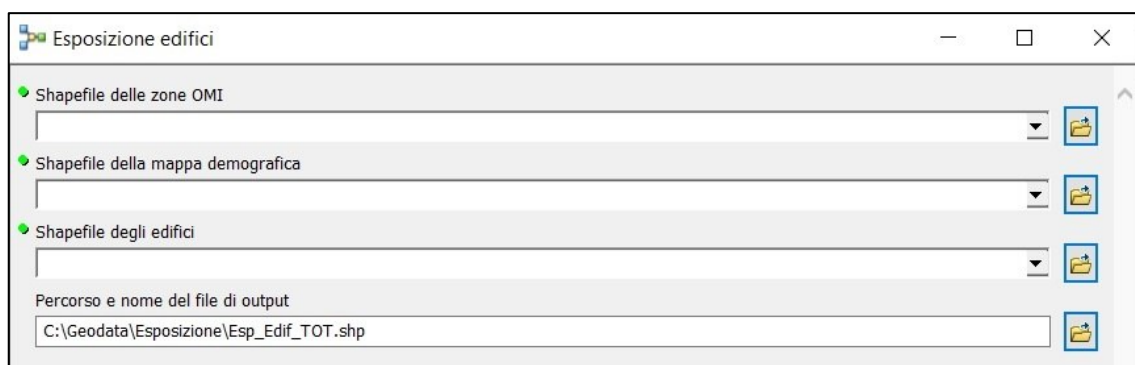


Fig. 7.30 - Schermata di avvio del tool per il calcolo della mappa dell'esposizione relativa agli edifici.



In *input* vengono richiesti (Fig. 7.30):

- lo *shapefile* poligonale delle zone OMI, che deve necessariamente avere un campo di nome “Grado\_OMI” con un valore numerico variabile da 1 a 5;
- lo *shapefile* poligonale della mappa demografica, il quale deve contenere un campo di nome “Grad\_ISTAT” con un valore numerico variabile da 1 a 5;
- lo *shapefile* poligonale degli edifici, che deve avere il nome “Edifici.shp”.

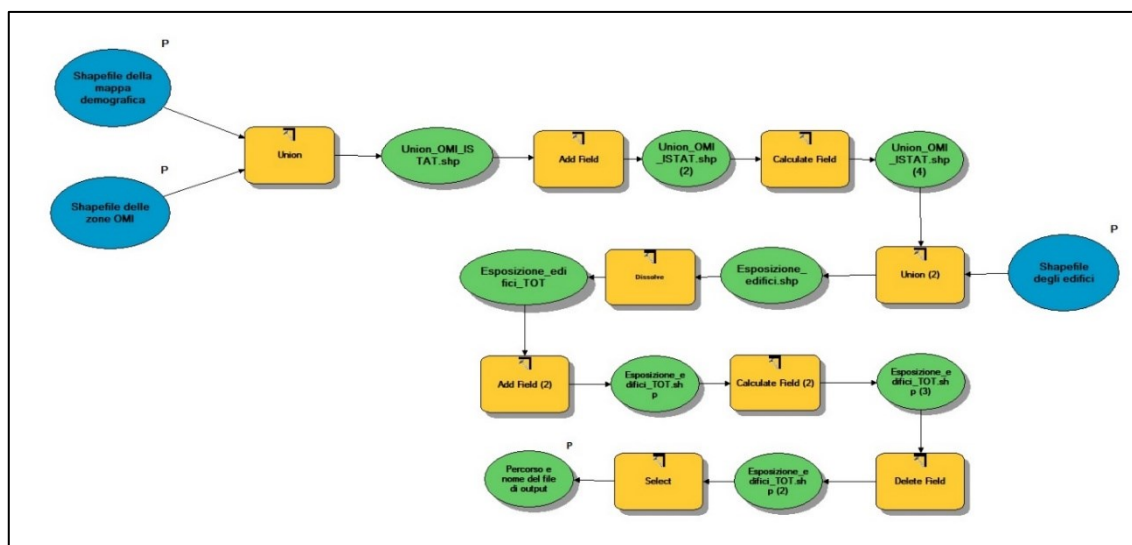


Fig. 7.31 – Struttura del tool “Esposizione edifici”.

L’*output* finale viene visualizzato con la categorizzazione e lo stile visto in Fig. 7.29, grazie al file .lyr immagazzinato nella *directory* “C:\Geodata\Lyr\_files”.

## 8 Rischio

L'intera attività di ricerca si è focalizzata sul concetto di rischio e sull'analisi di due importanti fattori che contribuiscono alla sua definizione: pericolosità ed esposizione.

Nel caso della rete viaria, la pericolosità è stata associata alla presenza di possibili fenomeni di dissesto, alle condizioni idrauliche, geomorfologiche e tettoniche e alle evidenze di deformazioni del suolo misurate tramite la tecnica interferometrica *PSInSAR*. Per lo studio della pericolosità si è fatto quindi ricorso: alla consultazione della cartografia pregressa (PAI, piano regolatore, catalogo IFFI, Protezione Civile); alla fotointerpretazione mediante *Google Earth Pro* e *Street View* (per identificare le criticità derivanti dalla rete idrografica, dai fenomeni di instabilità, dalla situazione geomorfologica e tettonica); alla realizzazione di nuove carte derivate in formato digitale, come carta geolitologica, carte delle varie pericolosità, carta geomorfologica e dei dissesti, carta clivometrica, modello TIN, *output 3D* (mediante *ESRI ArcScene*; analisi del *displacement* (deformazione) della superficie terrestre attraverso la tecnica di interferometria differenziale SAR.

L'esposizione è stata invece calcolata a partire da un modello atto a simulare la densità di flusso veicolare all'interno delle varie arterie della rete stradale e integrata con i dati sulla variabilità ottenuti da *Google Traffic*.

La costruzione della *Cyberinfrastructure* ha quindi lo scopo di amalgamare i dati su pericolosità ed esposizione ottenuti e renderli informativi, restituendo un'informazione riguardo il rischio che permetta di categorizzare le varie arterie viarie comunali e di rappresentarle attraverso delle mappe tematiche, promuovendo e contribuendo allo sviluppo di una politica che si concentri soprattutto sulla prevenzione del rischio geologico e sulla mitigazione tramite interventi che, l'amministrazione comunale insieme agli uffici preposti, possono così calibrare in funzione del grado di rischio presente.

### 8.1 [Il concetto di rischio](#)

La definizione di rischio è stata a lungo studiata e modificata nel corso degli anni, assumendo connotazioni leggermente differenti a seconda del tipo di rischio analizzato

(sismico, vulcanico, idrogeologico, ecc.). Uno degli errori commessi più frequentemente è confondere il concetto di rischio con quello profondamente diverso di pericolosità, che rappresenta non un suo sinonimo, bensì uno dei fattori che incide in maniera maggiormente significativa nel calcolo dello stesso. Il pericolo, infatti, è rappresentato dall'evento calamitoso che può colpire una certa area (la causa), il rischio è rappresentato dalle sue possibili conseguenze, cioè dal danno che ci si può attendere (l'effetto).

Ai fini di Protezione Civile ([http://www.protezionecivile.gov.it/pagine-servizio/dettaglio-approfondimenti/-/asset\\_publisher/default/content/che-cos-e-il-rischio-#:~:text=Ai%20fini%20di%20protezione%20civile,un%20determinato%20periodo%20di%20tempo.](http://www.protezionecivile.gov.it/pagine-servizio/dettaglio-approfondimenti/-/asset_publisher/default/content/che-cos-e-il-rischio-#:~:text=Ai%20fini%20di%20protezione%20civile,un%20determinato%20periodo%20di%20tempo.)), ad esempio, il rischio è rappresentato dalla possibilità che un fenomeno naturale, o indotto dalle attività dell'uomo, possa causare effetti dannosi sulla popolazione, gli insediamenti abitativi e produttivi e le infrastrutture, all'interno di una particolare area e in un determinato periodo di tempo.

In linea generale, il calcolo del rischio può essere approssimato con la seguente formula:

$$R = P \times V \times E$$

Dove:

- R = Rischio;
- P = Pericolosità = probabilità che un fenomeno di una determinata intensità si verifichi in un certo periodo di tempo, in una data area;
- V = Vulnerabilità = vulnerabilità di un elemento (persone, edifici, infrastrutture, attività economiche) e quindi la propensione a subire danneggiamenti in conseguenza delle sollecitazioni indotte da un evento di una certa intensità;
- E = Esposizione o valore esposto = numero di unità (o "valore") di ognuno degli elementi a rischio presenti in una data area, come le vite umane o gli insediamenti.

Risulta importante però contestualizzare le varie definizioni all'ambito della rete viaria, "adattando" i vari termini e i loro significati.

La pericolosità è stata quindi associata alla presenza di possibili fenomeni di dissesto lungo i versanti limitrofi alla rete viaria di interesse, alle condizioni idrauliche, geomorfologiche e tettoniche. In riferimento alla rete stradale, il concetto di pericolosità non è da intendere solo come probabilità che un individuo che usufruisce di una arteria viaria possa subire un danno fisico di una certa entità, ma può riferirsi anche al pericolo che un certo tratto di strada venga limitato nelle sue funzionalità e/o interrotto, causando dei peggioramenti nella viabilità o delle limitazioni nel raggiungimento di determinati punti di interesse. In questo caso le strade generalmente a più elevato volume di traffico sono quelle che, a causa di un determinato evento pericoloso, potrebbero arrecare un maggior danno all'intera rete. L'unico modo, quindi, per avere un'idea degli elementi esposti al pericolo in una certa zona, è conoscere il numero di veicoli che attraversano le varie arterie stradali del territorio comunale.

L'esposizione è espressa invece, oltre che in termini di numero o di quantità di elementi esposti, anche in termini monetari in funzione del tipo di elemento a rischio, che corrispondono alle persone (insieme ai loro mezzi) che usufruiscono delle varie arterie stradali. Essa dipende principalmente dalla densità del flusso nelle varie parti di una rete stradale.

La vulnerabilità, nel caso del presente lavoro, dipende fortemente dalle condizioni e dalla qualità delle infrastrutture viarie presenti nel territorio. Essa rappresenta, di fatto, un parametro difficile da calcolare senza un'approfondita analisi di natura ingegneristica su ogni singolo tratta della rete viaria. Il presente lavoro si limita quindi a estrapolare un valore di rischio che esula dal calcolo della vulnerabilità.

Anche in quest'ottica, i vari *step* del lavoro, come si è visto nei precedenti capitoli, sono stati in larga parte automatizzati con la creazione di *tools* dedicati da usare in ambiente GIS che permettono una replica veloce di determinate operazioni di calcolo, consentendo in futuro l'aggiunta di parametri derivanti da altri tipi di analisi, sia su pericolosità ed esposizione, sia per quanto riguarda il discorso vulnerabilità.

L'aggiunta del parametro vulnerabilità comporterebbe solamente il ricalcolo delle mappe finali di rischio, non andando a modificare in nessun modo tutto il lavoro svolto in precedenza. È altresì vero che il concetto stesso di vulnerabilità può assumere una connotazione differente da quella classica se applicato all'intera rete viaria e non più alla singola strada. Con questa accezione, la vulnerabilità non è più intesa come la

propensione al danneggiamento di un'infrastruttura dipendentemente dalle sue caratteristiche (materiali, stato, usura, ecc.), ma è funzione interamente del corretto funzionamento delle singole arterie appartenenti alla rete (Berdica, 2002; Jenelius, 2009; Nagurney & Qiang, 2007). In questo caso la rete viaria può essere definita più o meno vulnerabile in funzione del grado di pericolosità che insiste nelle strade a più alto traffico, quelle cioè che in caso di interruzione a causa di un evento pericoloso, potrebbero causare più danni al funzionamento dell'intera rete. Intesa in questo modo, la vulnerabilità risulta essere, in un certo senso, già insita nei parametri di esposizione e di pericolosità già calcolati in precedenza.

In questo capitolo vengono quindi presentate le mappe di rischio, ottenute a partire dal prodotto tra le singole pericolosità analizzate e i dati di esposizione; il rischio quindi, in mancanza del parametro vulnerabilità, viene inteso come rischio potenziale. Le mappe di rischio singole (rischio idraulico, tettonico, geomorfologico e quella derivata dai dati interferometrici) saranno poi successivamente combinate tra loro per ottenere la mappa di rischio totale, che prende in considerazione simultaneamente tutti i rischi esistenti nell'area comunale in riferimento alla rete viaria.

## 8.2 Calcolo delle mappe di rischio singole

Il grado finale di rischio è stato ottenuto dalla moltiplicazione tra il grado di pericolosità singolo (variabile da 1 a 4) e il valore di esposizione calcolato con il modello O – D (anch'esso variabile tra 1 e 4). Ne consegue che ogni *record* all'interno della tabella attributi del *layer* di rischio può avere un grado di rischio variabile da un minimo di 1 (pericolosità bassa – esposizione bassa) a un massimo di 16 (pericolosità molto alta – esposizione molto alta).

FID	Shape	Grado PAI	Grado nodi	Grado eson	Peric idra	OD matrix	Index perc	Risc idra	R Idra N
183	Polygon	3	2	0	3	4	21,4286	12	3
184	Polygon	3	2	0	3	4	13,0952	12	3
188	Polygon	3	4	0	4	3	0	12	3
201	Polygon	3	1	0	3	4	0	12	3
207	Polygon	3	1	0	3	4	21,4286	12	3
264	Polygon	3	2	0	3	4	0	12	3
265	Polygon	3	1	0	3	4	0	12	3
268	Polygon	3	2	0	3	4	8,33333	12	3
269	Polygon	3	1	0	3	4	8,33333	12	3
270	Polygon	3	2	0	3	4	21,4286	12	3
271	Polygon	3	1	0	3	4	21,4286	12	3
272	Polygon	3	2	0	3	4	13,0952	12	3
273	Polygon	3	1	0	3	4	13,0952	12	3
7	Polygon	3	0	0	3	3	0	9	3
8	Polygon	3	0	0	3	3	0	9	3
9	Polygon	3	0	0	3	3	0	9	3
10	Polygon	3	0	0	3	3	0	9	3
14	Polygon	3	0	0	3	3	3,57142	9	3
16	Polygon	3	0	0	3	3	8,33333	9	3

Fig. 8.1 - Tabella attributi del rischio idraulico: il campo "Risc\_idra" riporta il prodotto tra pericolosità idraulica ("Peric\_idra") e grado di esposizione ("OD\_matrix"); il campo "R\_Idra\_N" rappresenta il grado finale di rischio dopo la suddivisione in categorie del valore precedentemente calcolato.

Sulla base del valore ottenuto dal prodotto tra pericolosità ed esposizione sono state assegnate le seguenti categorie di rischio (Fig. 8.1):

- Da 1 a 4: Rischio basso (grado 1)
- Da 5 a 8: Rischio medio (grado 2)
- Da 9 a 12: Rischio alto (grado 3)
- Da 13 a 16: Rischio molto alto (grado 4)

Il nuovo grado di rischio (variabile da 1 a 4) è stato calcolato all'interno di un nuovo campo, per facilitare le operazioni di categorizzazione e visualizzazione del *layer* nelle fasi successive.

Il processo di creazione delle mappe di rischio singole a partire dai dati di pericolosità ed esposizione, è stata automatizzata nel *tool* denominato "Calcolo delle mappe di rischio singole", disponibile in due versioni, sia per le strade che per gli edifici (Fig. 8.2 e Fig. 8.3).

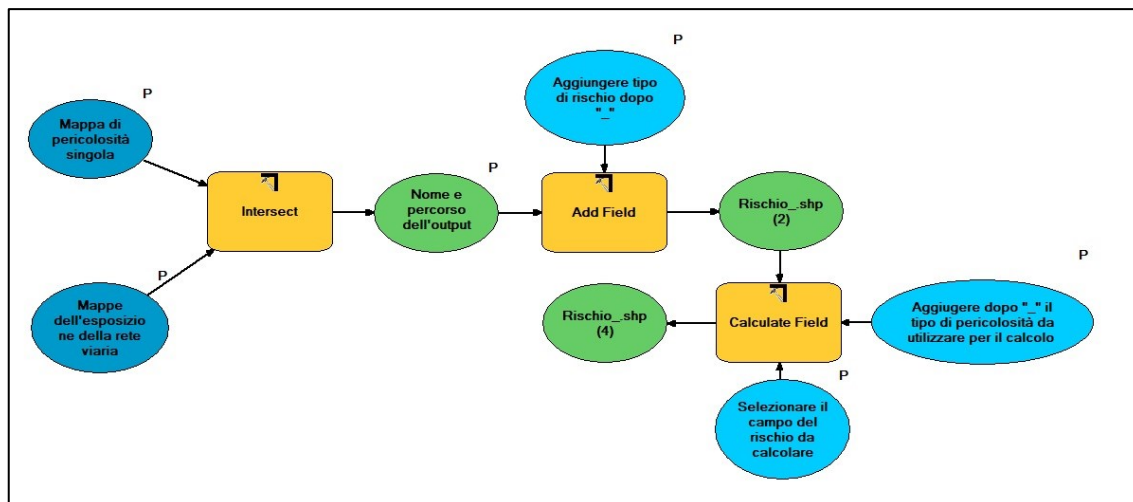


Fig. 8.2 - Struttura del tool per il calcolo delle mappe di rischio singole.

Tutto parte dall'operazione di *Intersect* tra lo *shapefile* del modello di esposizione e lo *shapefile* di pericolosità scelto. Al *layer* risultante viene poi aggiunto un campo per il calcolo del rischio ("Peric\_idra" x "OD\_matrix"), utilizzato per effettuare la categorizzazione finale.

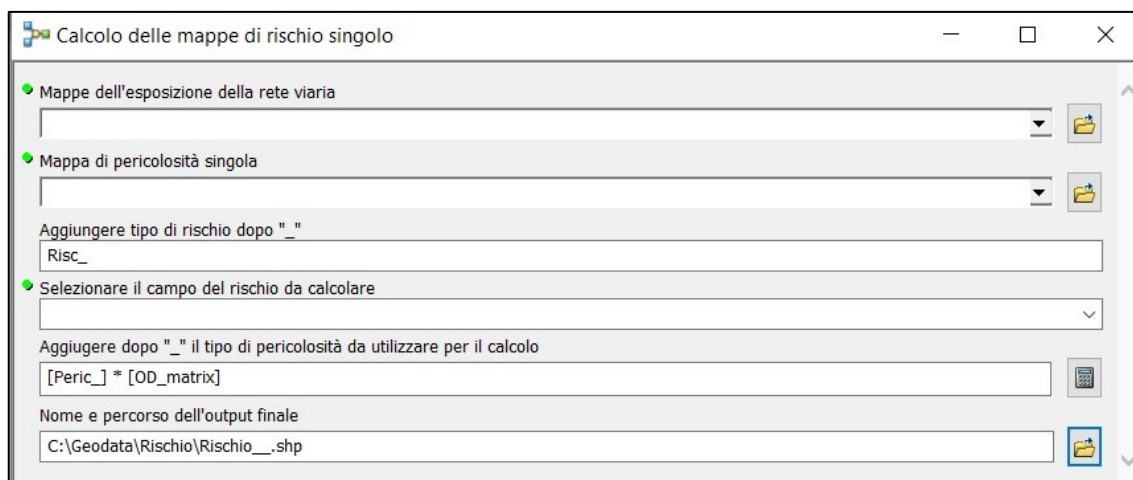


Fig. 8.3 - Schermata di avvio del tool per il calcolo delle mappe di rischio singole.

I file di *input* richiesti sono quello della pericolosità e dell'esposizione. All'utente che utilizza il *tool* viene richiesto anche di specificare: il tipo di rischio che si sta calcolando; il campo all'interno del quale verrà calcolato il prodotto (che cambia a seconda del tipo di rischio che si vuole calcolare); il nome del campo da cui viene prelevato il valore di pericolosità (ad esempio "Peric\_idra" nel caso del rischio idraulico); il nome e il percorso di *output* del file finale.

### 8.2.1 *Mappa del rischio idraulico*

Il primo *output* calcolato è quello del rischio idraulico (Fig. 8.4).

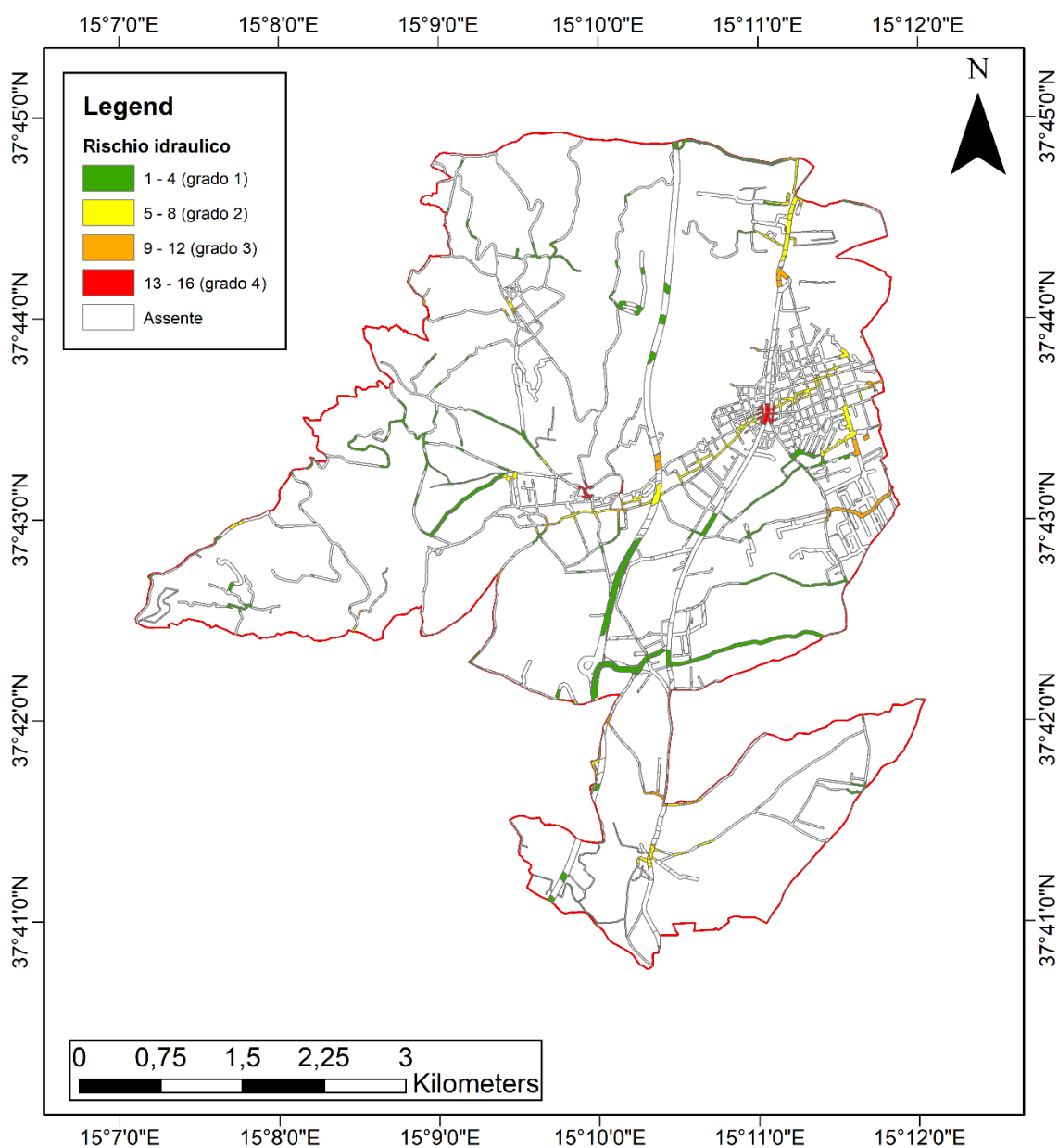


Fig. 8.4 - Mappa del rischio idraulico.

La presenza di una grande quantità di aree a rischio testimonia come quello idraulico sia particolarmente rilevante nell'area di Giarre, probabilmente a causa della notevole presenza di aste torrentizie e di intersezioni, spesso non regimate, con la rete viaria.

Le acque meteoriche spesso non confluiscono all'interno di ricettori naturali e vengono affidate alla rete viaria. La conformazione della rete viaria giarrese è

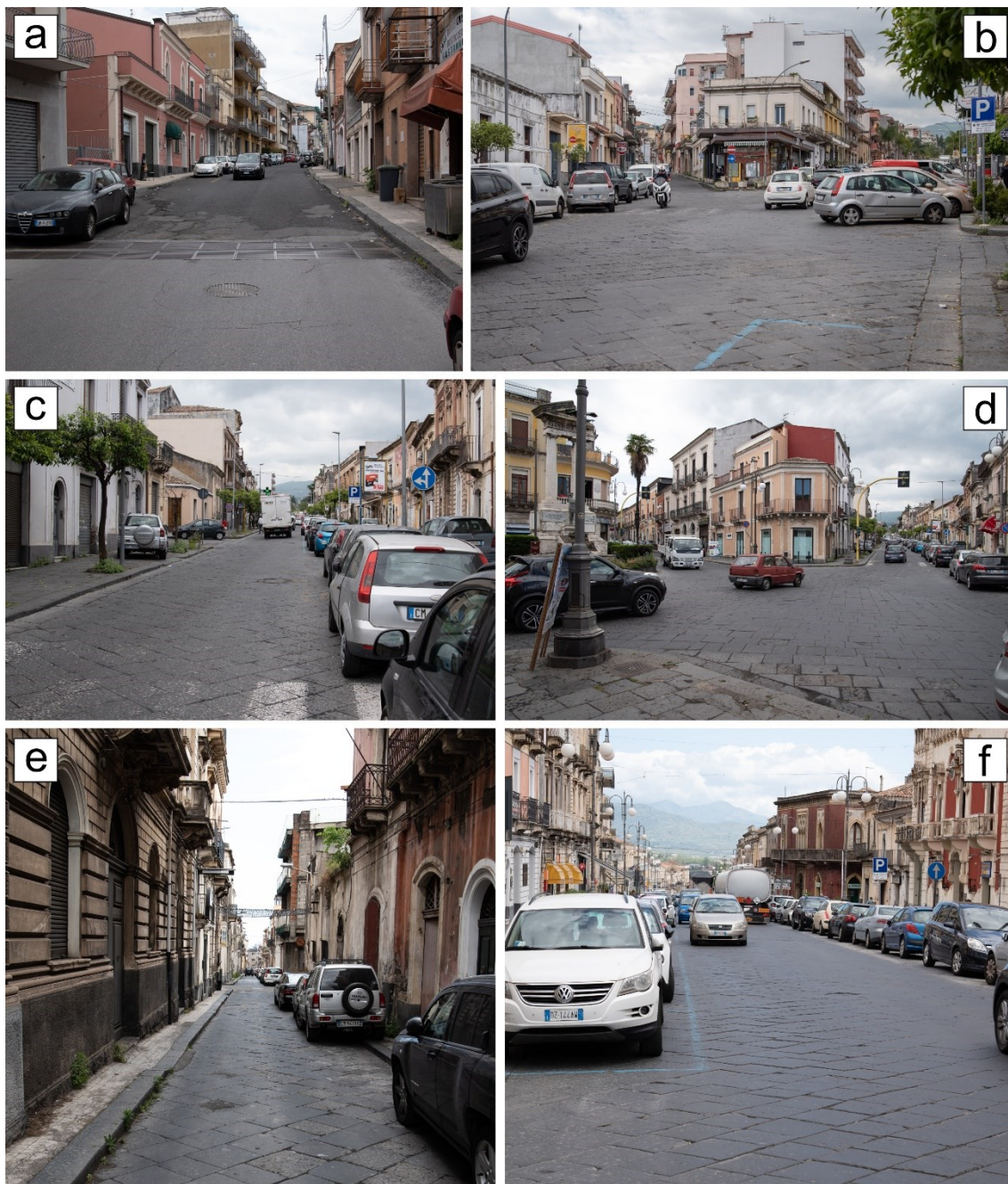


generalmente sviluppata in senso monte-valle, con lo sviluppo di molte strade che coincidono con le pendenze naturali del territorio. La rete viaria, infatti, è in parte impostata o interagente con incisioni torrentizie che costituiscono delle direttrici preferenziali di drenaggio nello smaltimento delle acque. La notevole inclinazione di alcune di queste strade determina l'afflusso veloce di acque meteoriche verso le principali zone urbanizzate, creando i presupposti di una condizione di alto rischio.

Di seguito verranno elencate le situazioni più chiare di rischio identificate all'interno del comune di Giarre.

Una situazione ad alto rischio è da segnalare proprio nel centro di Giarre, nella piazza Monsignor Alessi (Fig. 8.5d), che costituisce l'incrocio tra la Via Callipoli (Fig. 8.5f), la via Luigi Pirandello (Fig. 8.5c), in cui a nord confluisce la via Luigi Orlando (Fig. 8.5b), e la via Calderai (Fig. 8.5e). La situazione di rischio deriva da un rischio di grado 3 segnalato dal P.A.I. e un nodo idraulico di grado 4, combinato con un alto livello di traffico con indice di variabilità superiore al 10 %. La via Luigi Orlando è caratterizzata da un percorso sub-rettilineo da Macchia verso Giarre con una moderata pendenza (intorno ai 3°) e costituisce il collettore delle acque che provengono da un bacino molto vasto a monte dell'abitato di Macchia. Le acque che si incanalano lungo l'autostrada A18 si riversano spesso dal ponte di Macchia dell'autostrada sulla via Luigi Orlando, con la formazione di vere e proprie cascate d'acqua. Tale strada confluisce a sud nella via Luigi Pirandello e quindi nella piazza Monsignor Alessi.

La strada statale 114, che prende il nome di via Luigi Sturzo e via Callipoli, convoglia anch'essa le acque dalla frazione Trepunti verso la piazza Monsignor Alessi, sommandosi a quella proveniente dalla via Pirandello, rendendolo pertanto il punto a maggior rischio idraulico nella parte centrale della città.



*Fig. 8.5 – Area a maggior rischio idraulico del centro città: a) via Luigi Orlando che riceve le acque dal ponte di Macchia dell’A18; b) Zona di confluenza tra la via Luigi Orlando (a sinistra) e la via Pirandello (a destra); c) Parte bassa della via Pirandello; d) Piazza Monsignor Alessi che riceve le acque provenienti dalla Via Pirandello e dalla Via Callipoli; e) via Calderai, che si sviluppa verso est oltre la piazza secondo una direzione quasi parallela alla via Pirandello; f) la via Callipoli, una delle maggiori arterie viarie cittadine, che convoglia le acque verso il sopracitato nodo idraulico (ubicazione foto in Fig. 8.9).*

Altro punto critico nel centro cittadino è l’area intorno al parco Jungo; da segnalare in questo caso: l’intersezione tra il viale Federico II di Svevia (un tempo Torrente Jungo) e la via delle Province; il corso Europa che costeggia gli Istituti Alberghiero e IPSIA fino all’incrocio con via Trieste.

In particolare, la via Trieste (nei pressi del torrente Jungo), ha problemi di viabilità soprattutto nel raggiungimento delle case popolari ubicate tra la via Liguria ed il torrente, il cui alveo è ubicato a soli 40 m dalle abitazioni.



Fig. 8.6 – Area critica nei dintorni del parco Jungo: a) corso Europa all'altezza di parco Jungo, verso cui confluiscono le acque che si incanalano lungo l'ex torrente Jungo, attualmente occupato dalla via Federico II di Svevia; b) Continuatione di corso Europa verso nord-est; c) Incrocio tra corso Europa e via Trieste; d) Fine di corso Europa e incrocio con Francesco di Pino lungo il confine comunale con Riposto (ubicazione foto in Fig. 8.9).

Poco più a nord di quest'area, un'altra situazione critica è rappresentata dalla via Martiri di via Fani (Fig. 8.7), tornante molto stretto e con elevata pendenza in prossimità dell'istituto ITIS "Enrico Fermi" (caratterizzato quindi anche da elevati valori di esposizione). L'avvallamento dell'asfalto sotto il ponte causa dei fenomeni di allagamento in caso di piogge intense, come da segnaletica stradale visibile poco prima della curva.



Fig. 8.7 – Zona a rischio lungo via Martiri di via Fani (ubicazione foto in Fig. 8.9).

Nella zona di Altarello sono due le vie interessate da problemi idraulici: la via Luigi Settembrini più a nord e la via Ungaretti a sud.

La via Settembrini (Fig. 8.8) si imposta quasi esclusivamente sul percorso segnato dal Torrente Vallone del Babbo, fortemente modificato dall'azione antropica. Nonostante quindi il Vallone del Babbo abbia perso nel tempo la sua funzione di asta torrentizia, continua a rappresentare tuttavia un asse di drenaggio preferenziale nel quale convergono le acque meteoriche. Come indicato anche nel P.R.G., la messa in esercizio di batterie di caditoie di sbarramento in prossimità dell'incrocio con il viale delle province ha determinato la drastica riduzione di flussi idrici superficiali anche in occasione di piogge particolarmente intense, ma rimane comunque una zona da monitorare con attenzione. La strada si sviluppa secondo una direzione pressoché ovest-est (Fig. 8.8a), con una moderata pendenza e con la presenza di avvallamenti del manto

stradale in prossimità di due piccoli viadotti (Fig. 8.8b e Fig. 8.8c) vicino al confine comunale con Riposto.



Fig. 8.8 – La via Luigi Settembrini nella zona di Altarello: a) Inizio della via Settembrini con pendenza verso est (manto stradale molto rovinato); b) Zona di canalizzazione delle acque in prossimità del primo viadotto; c) Secondo viadotto (ubicazione foto in Fig. 8.9).

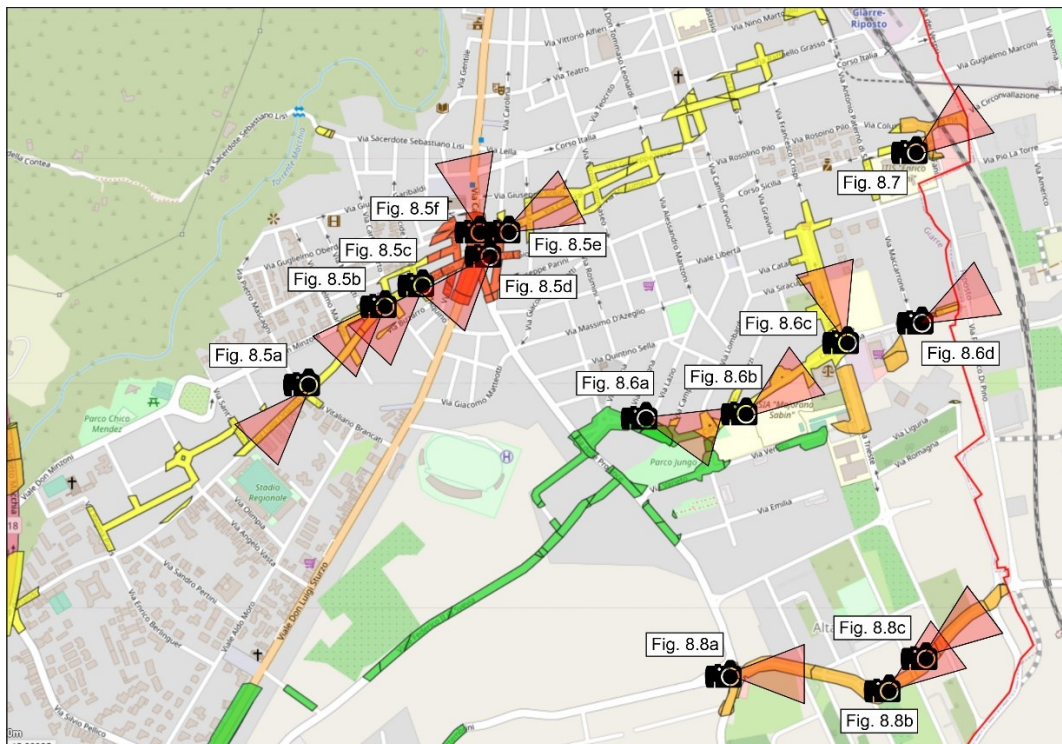


Fig. 8.9 - Ubicazione delle foto di scatto nel centro di Giarre e nella frazione di Altarello – Rischio idraulico.

Anche la via Ungaretti (Fig. 8.10) è stata costruita lungo l'incisione causata da un ex torrente (Torrente Cozzi). Il percorso si sviluppa in maniera sub-parallela a quella della via Settembrini, con una pendenza a tratti elevata che causa l'aumento di velocità delle acque superficiali. Il rischio di flussi d'acqua significativi è testimoniato dalla presenza a distanza regolare di feritoie nel terreno per il drenaggio. La situazione di rischio permane fino all'incrocio con la via delle Province.



*Fig. 8.10 – La via Ungaretti nella zona di Altarello, impostata sull'alveo dell'ex torrente Cozzi (ubicazione foto in Fig. 8.12).*

In zona Trepunti, la via Ugo Foscolo (Fig. 8.11a) si comporta in maniera simile alle precedenti due, impostandosi sul vecchio alveo dell'ex torrente Babbo, determinando situazioni di rischio analoghe a quelle citate precedentemente. In questo caso però, è da segnalare la presenza di feritoie completamente otturate (Fig. 8.11b), che perdono così qualunque tipo di funzione di drenaggio.

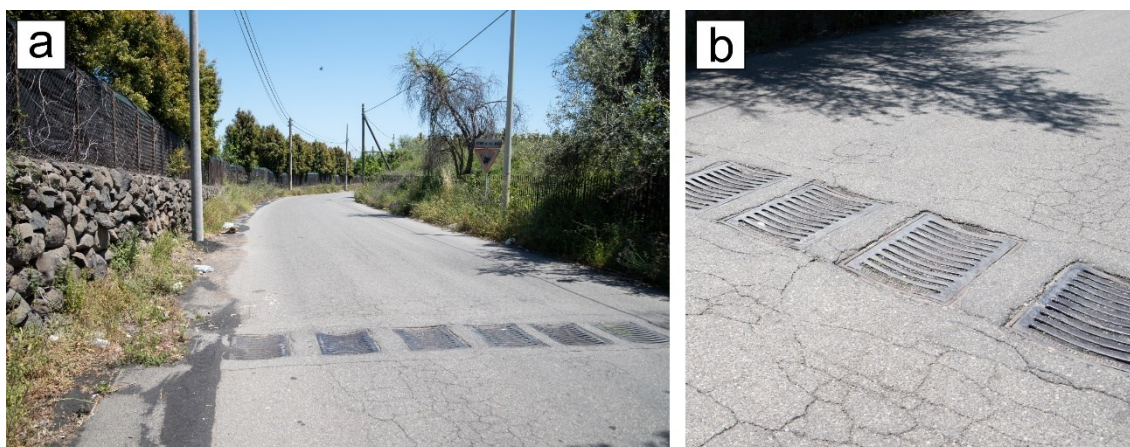


Fig. 8.11 – La via Ugo Foscolo in zona Trepunti: a) inizio della via in prossimità della via Don Luigi Sturzo; b) Feritoie otturate (ubicazione foto in Fig. 8.12).

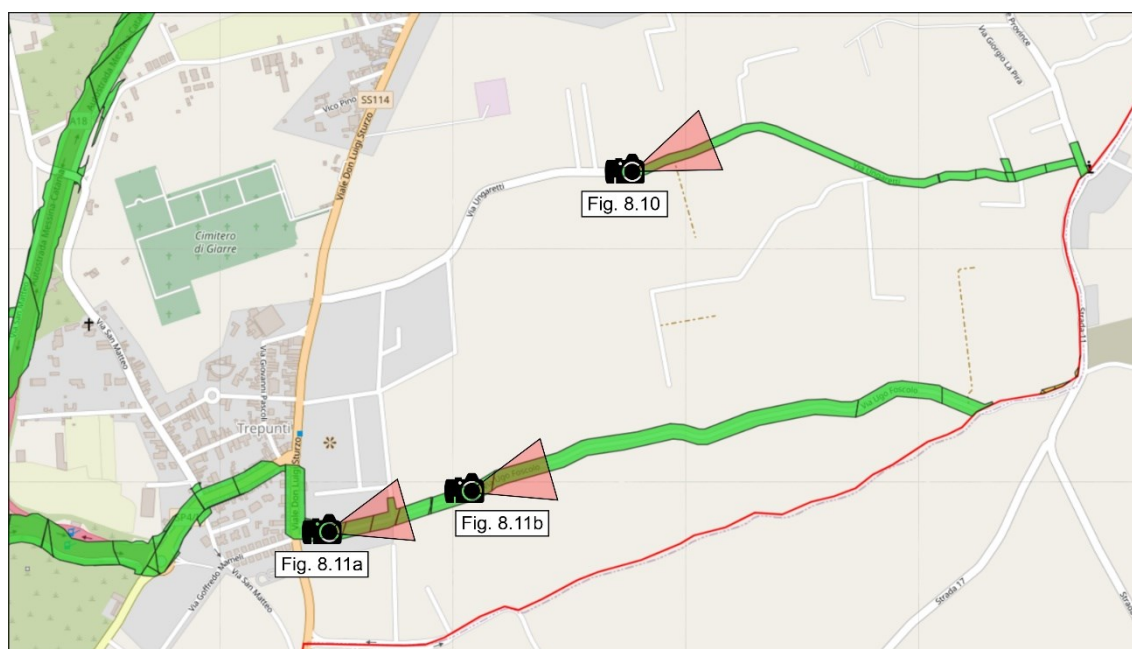


Fig. 8.12 - Ubicazione delle foto con direzione di scatto in via Ungaretti e via Foscolo – Rischio idraulico.

Nella frazione di Santa Maria la Strada, la Via Ruggero I (Fig. 8.13b) costituisce un importante asse di collegamento tra Giarre e i comuni più a nord come Mascali, Nunziata e Fiumefreddo di Sicilia, è interessata dall'attraversamento sia del torrente Macchia (Fig. 8.13a) che del torrente Corso d'acqua – Conticella (Fig. 8.13c) e dall'invasione delle acque che provengono dal bacino del Torrente Vallonazzo -Salto del Corvo in territorio di Mascali, il quale interrotto dalla colata lavica del 1928, ha determinato un'anomalia idraulica non tenuta in considerazione dal successivo sviluppo urbanistico. In questa zona da segnalare anche: la via Mascali – Riposto lungo il confine comunale nord – est, che corre parallela al torrente Corso d'acqua; la via Conticella, che si dirige verso

Nunziata (Fig. 8.13d); la via Cutula (Fig. 8.13e), caratterizzata però da bassi livelli di esposizione.

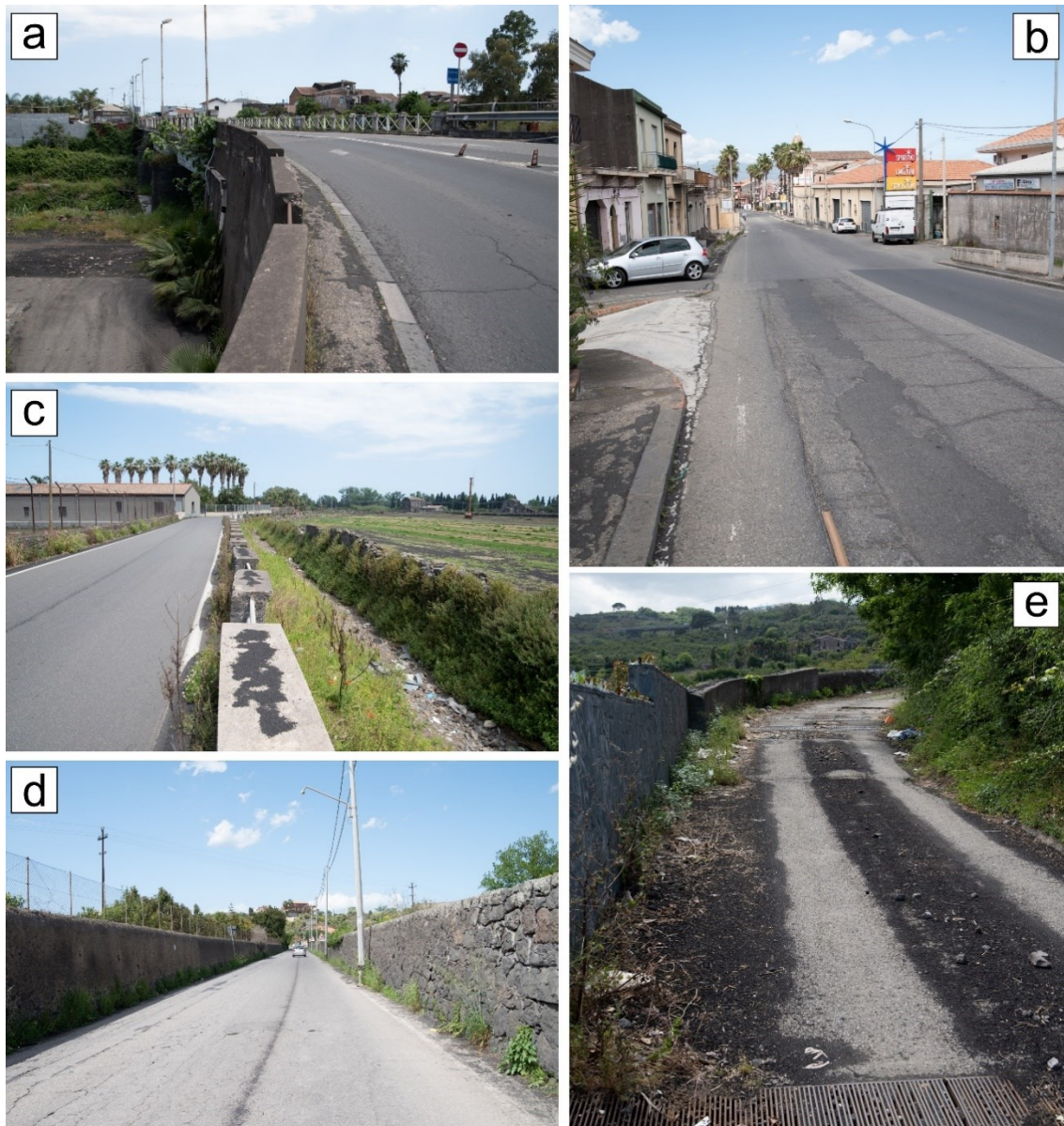


Fig. 8.13 – Zone a rischio idraulico nella frazione di S. Maria la Strada: a) Ponte sul torrente Macchia; b) via Ruggero I; c) Via Mascali – Riposto a fianco del torrente Corso d’acqua; d) Via Conticella; e) Via Cutula (ubicazione foto in Fig. 8.14).



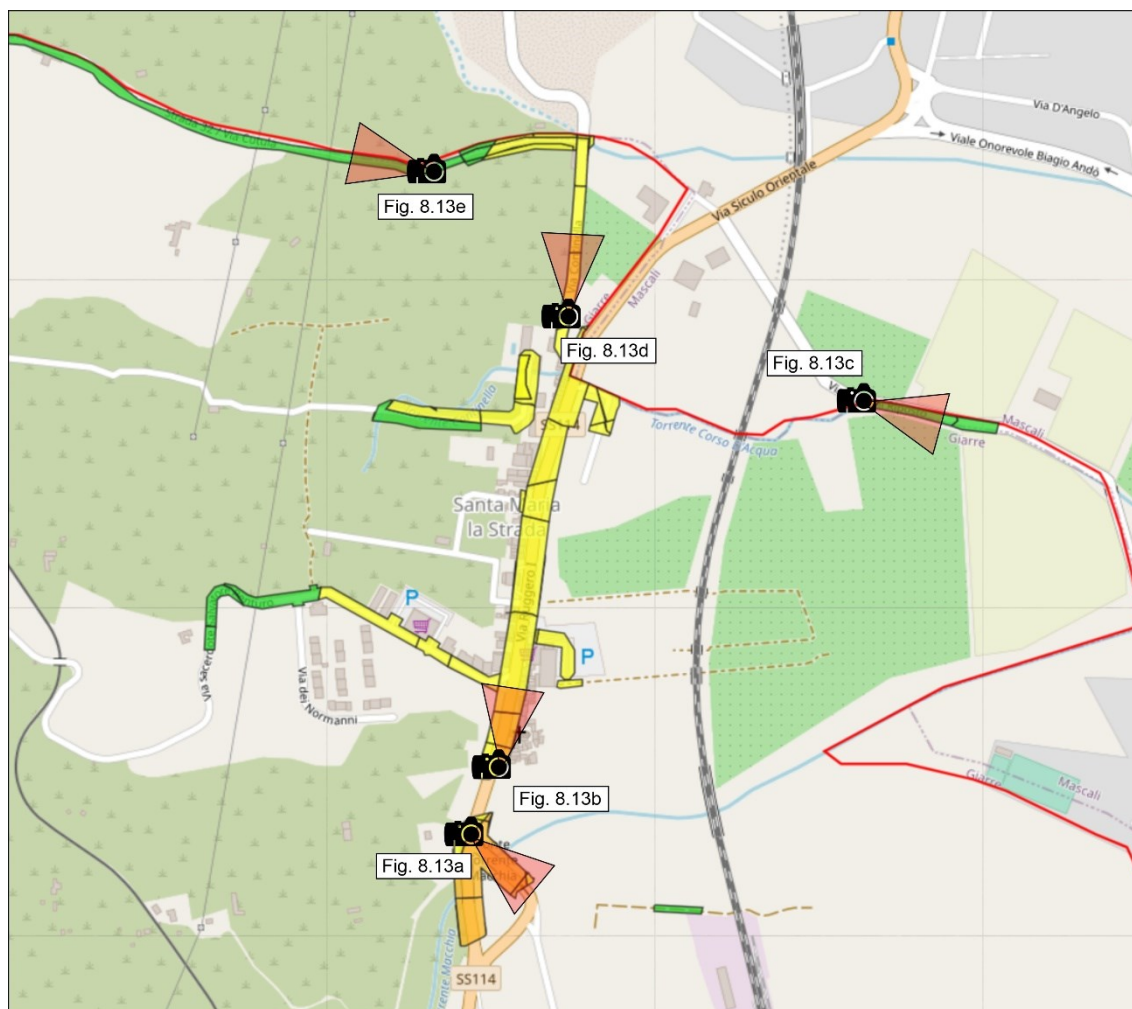


Fig. 8.14 - Ubicazione delle foto con direzione di scatto nella frazione di Santa Maria la Strada – Rischio idraulico.

il reticolo idrografico di Giarre risulta molto influenzato dal network di strutture tettoniche (faglie e relative zone di fratturazione). Alcune incisioni fluviali presentano infatti lungo il loro corso brusche variazioni di direzione (anche ad angolo retto) dovute alla maggiore erodibilità delle zone di fratturazione e alla presenza di alti e bassi morfostutturali (*Horst e Graben*), che determinano scarpate morfologiche opposte alle direzioni di deflusso, il quale viene progressivamente deviato verso sud.

Un esempio di questo tipo di variazione di direzione si può notare nel Vallone San Leonardello (località S. Margherita), che a causa dell'omonimo e modesto *graben* (80 m di larghezza), subisce una deviazione verso SSE per circa 400 m (Fig. 8.15), parallelamente alla direzione della struttura, per poi riaccordarsi con il Vallone Carruba in corrispondenza della via Pio XII (strada di collegamento S. Leonardello-Carruba, Fig. 8.16a), riacquistando una direzione circa ESE - ONO.

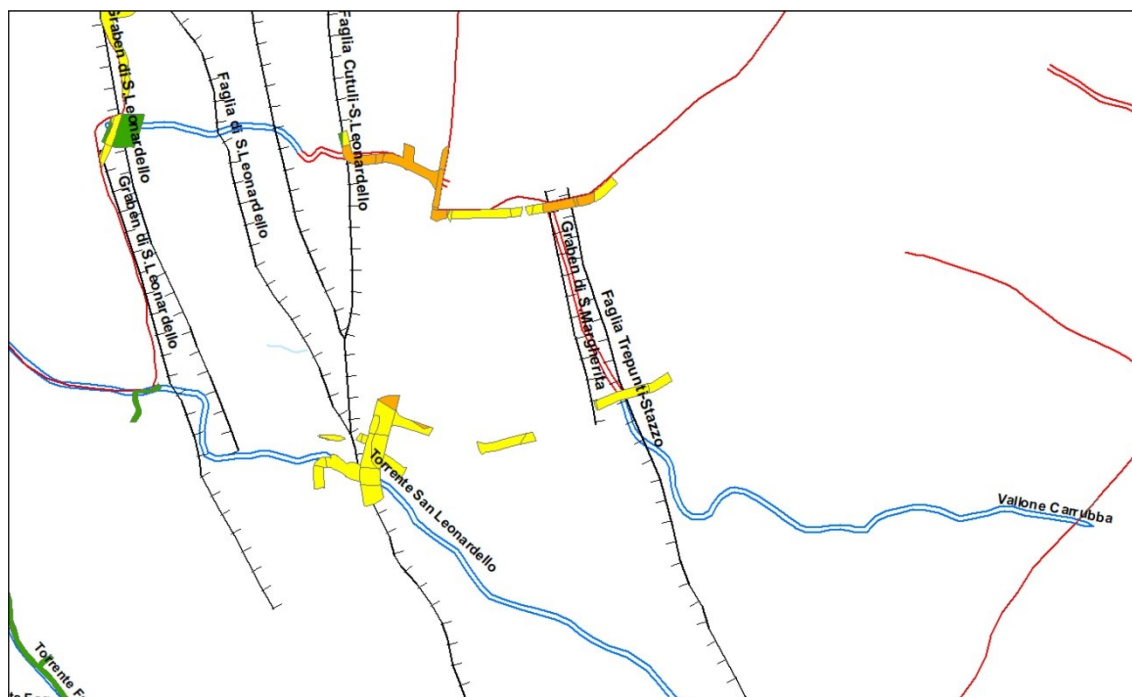


Fig. 8.15 – Deviazione del reticolo idrografico a causa degli elementi tettonici nella frazione di San Leonardello.

Più a sud la stessa situazione si verifica nei pressi del *graben* di S. Leonardello, con il torrente San Leonardello (Fig. 8.16b) che assume una direzione N-S per circa 100 m prima di ritornare alla sua naturale direzione ESE – ONO (Fig. 8.15).



Fig. 8.16 – Situazione idraulica nella frazione di San Leonardello: a) la via Papa Pio XII; b) Passaggio del torrente San Leonardello nel centro della frazione omonima (ubicazione foto in Fig. 8.17).

Anche nella strada 86 Codavolpe – San Leonardello e nella via Papa Pio XII si registrano condizioni di rischio di grado 2 o 3.

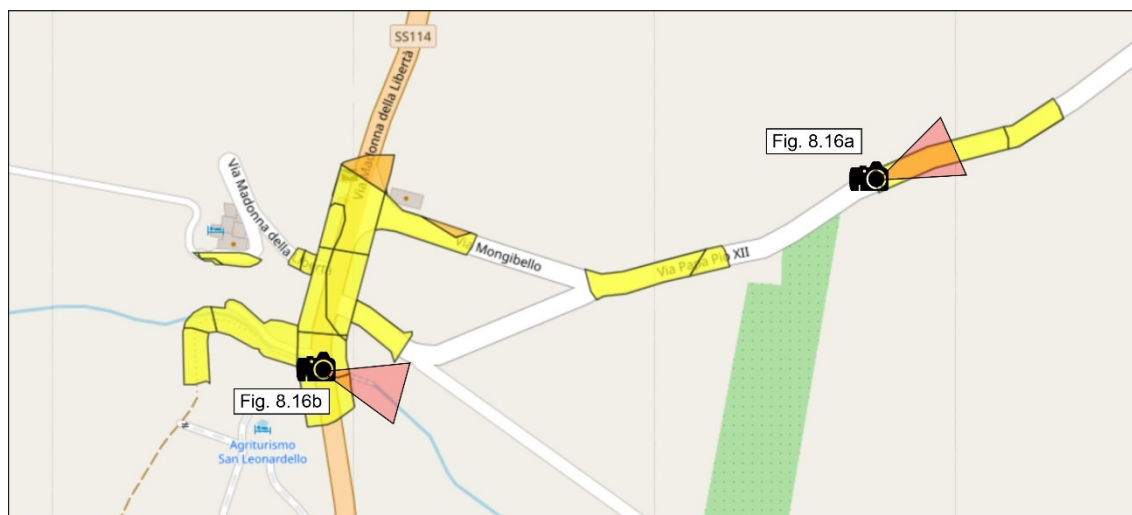


Fig. 8.17 - Ubicazione delle foto con direzione di scatto nella frazione di San Leonardello – Rischio idraulico.

Come segnalato nel P.R.G., un'altra pronunciata deviazione di un corso d'acqua si ha nell'abitato di Macchia (Fig. 8.18), dove il tratto iniziale del torrente omonimo viene deviato dalla faglia di S. Giovanni-Codavolpe, causando l'ampia spianata alluvionale di Fondo Macchia presente a monte, dovuta probabilmente a diverse concause: presenza di alluvioni di sbarramento in seguito ai movimenti verticali della stessa faglia; messa in posto delle colate laviche del 1284-85 con conseguente sovralluvionamento della parte a monte; forte sollevamento relativo della porzione a monte delle Timpe di Miscarello, con la conseguente ripresa dell'incisione dei torrenti che solcano trasversalmente le stesse Timpe con la deposizione di alluvioni nella spianata di Fondo Macchia.



Fig. 8.18 – Passaggio del torrente Macchia presso il centro della frazione di Macchia di Giarre.

Nella frazione di Macchia di Giarre esistono molteplici punti interessati da situazioni di rischio idraulico: i nodi idraulici (segnalati anche dal P.A.I.) in prossimità dell'incrocio tra la via Principe di Piemonte (via peraltro molto trafficata), via Marsala e via Carlo Parisi (Fig. 8.19a) e dell'incrocio tra la via Principe di Piemonte e via delle Rose; la via Firenze (Fig. 8.19b) e la via Zinghirino (Fig. 8.19c); vari punti di via Risorgimento, via della Regione e via Damasco (avvicinandosi alla frazione di Sciarra).



Fig. 8.19 – Situazioni di rischio idraulico nella frazione di Macchia di Giarre: a) Incrocio tra la via Principe di Piemonte e via Carlo Parisi; b) Viadotto in via Firenze; c) via Zinghirino; d) Fine di via Risorgimento e inizio di via della Regione. (Ubicazione foto in Fig. 8.21).

Tra la fine di via Risorgimento e l'inizio di via della Regione è da segnalare la presenza del letto fluviale (laddove il torrente Macchia si dirama in torrente Guddi e torrente delle Cave) a pochi metri di distanza sia dalla sede viaria che dagli edifici (Fig. 8.19d).

Ultima zona a rischio idraulico è la frazione di San Giovanni Montebello, interessata dal passaggio del torrente Tagliaborse e del torrente Carbonaro – Ciapparo. Le vie più a rischio (con un grado variabile da 2 a 3) sono: Via dei Paoli (Fig. 8.20a); il bivio tra via Amedeo di Savoia e via Roma (Fig. 8.20b); la via Cimitero (Fig. 8.20c), al confine comunale con Sant'Alfio. Rischio minore, a causa del minor volume di traffico,

si riscontra nell'incrocio tra via Filippo Meda e via Giacinto Carini (Fig. 8.20d) e lungo la prosecuzione di quest'ultima.



*Fig. 8.20 – Situazioni di rischio idraulico nella frazione di San Giovanni Montebello: a) Via dei Paoli; b) Bivio tra via Roma (a destra) e via Amedeo di Savoia (a sinistra) nei pressi della piazza S. Giovanni battista; c) Via Cimitero al confine comunale con Sant’Alfio; d) Via Giacinto Carini. (Ubicazione foto in Fig. 8.21).*



pressi del Parco giardino di Macchia (già interessata da un rischio idraulico di grado 4), ed è dovuta ad alti valori di traffico e al passaggio della faglia S. Giovanni Montebello – Codavolpe.

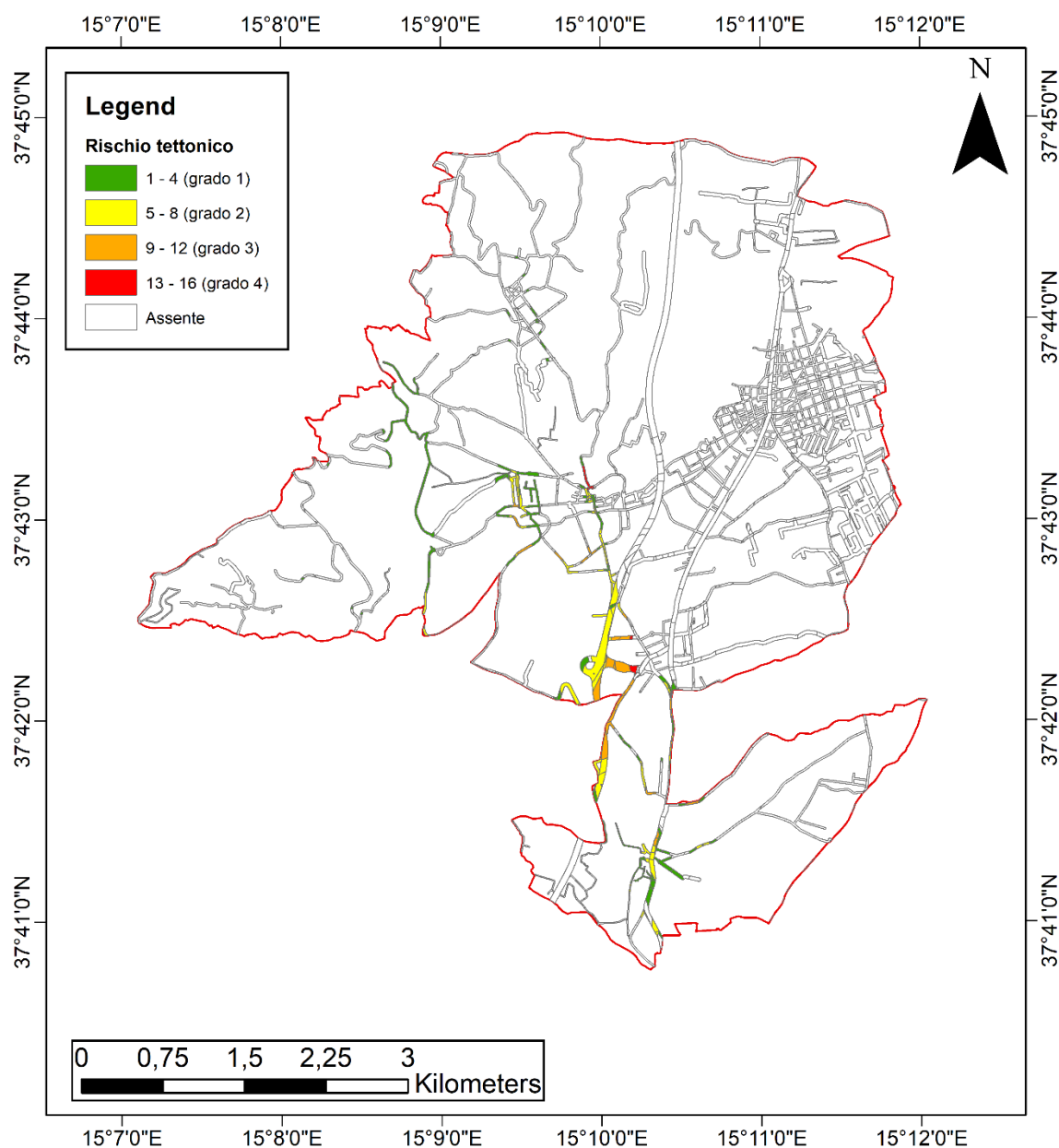


Fig. 8.22 – Mappa del rischio tettonico.

Per quanto riguarda la frazione di San Leonardello, risultano ben evidenti i segni dovuti alla presenza dell'omonima faglia, sia sul manto stradale che sugli edifici. Lungo la Via Madonna della libertà, vicino alla chiesa di Maria SS. della Libertà, l'asfalto è fratturato in maniera trasversale alla direzione del flusso viario (Fig. 8.23), generando un

piccolo dosso visibile anche lungo il muretto che delimita la carreggiata, in modo simile a quanto visibile nel tratto dell'autostrada A18 interessato dal passaggio della faglia.



*Fig. 8.23 – Fratturazione dell'asfalto lungo la via Madonna della Libertà nella frazione di San Leonardello (ubicazione foto in Fig. 8.27).*

La chiesa sopra menzionata, dichiarata inagibile nel 1998, è stata in passato messa in sicurezza tramite un'inferriata esterna che nel corso degli anni ha però cominciato a cedere. Sia lungo la facciata (Fig. 8.24a) che sul retro dell'edificio (Fig. 8.24b) sono ben visibili delle lunghe fratture verticali che testimoniano l'instabilità strutturale dovuta all'azione della faglia.

Sempre sul retro della chiesa, si segnala la presenza di un piccolo edificio con lo stesso tipo di fessurazione verticale (Fig. 8.24c), con un'apertura che raggiunge valori di diversi cm di larghezza.

La presenza di edifici con gravi problemi di instabilità è chiaramente visibile anche dalla mappa di rischio totale per gli edifici in Fig. 8.46.



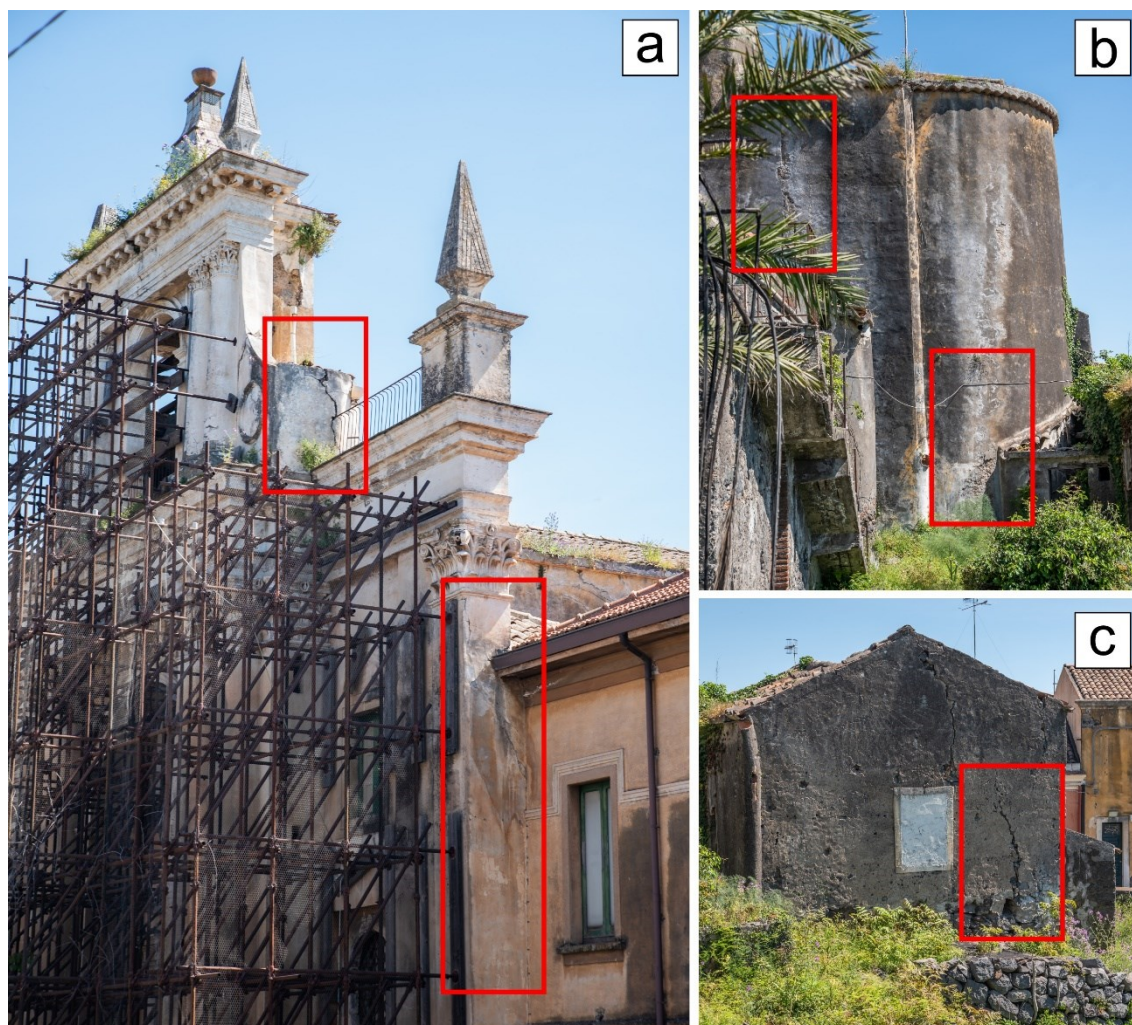


Fig. 8.24 – Fratture verticali in alcuni edifici nella frazione di San Leonardello: a) facciata della chiesa di Maria SS. della Libertà; b) zona posteriore della chiesa; c) piccolo edificio limitrofo alla chiesa (ubicazione foto in Fig. 8.27).

Poco più a est, lungo la via Papa Pio XII è presente un tratto di strada leggermente sconnesso con la formazione di un piccolo dosso (Fig. 8.25).



Fig. 8.25 – Strada sconnessa con dosso lungo la via Papa Pio XII (ubicazione foto in Fig. 8.27).

Un altro fenomeno di fratturazione al suolo è presente percorrendo la via Madonna della Libertà verso nord e imboccando la strada 17 che collega la frazione di San Leonardello a quella di Altarello (Fig. 8.26), quest'ultima risultata problematica soprattutto per motivi idraulici, come visto nel Par. 8.2.1.



Fig. 8.26 – Fratturazione al suolo lungo la strada 17 (ubicazione foto in Fig. 8.27).

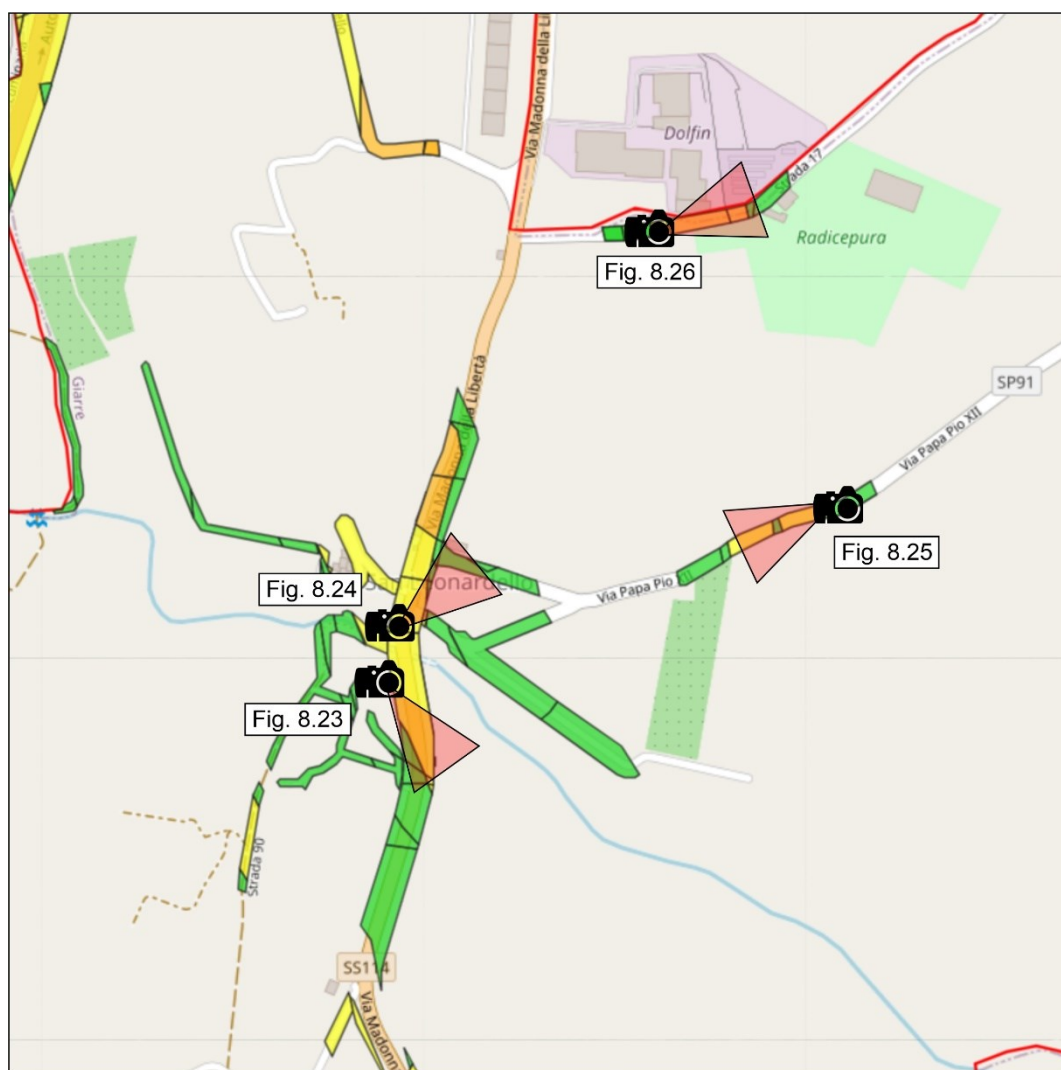


Fig. 8.27 – Ubicazione delle foto con direzione di scatto nella frazione di San Leonardello – Rischio tettonico.

Anche la frazione di Macchia di Giarre risulta essere interessata in più punti da problemi di tipo tettonico; il centro abitato è infatti attraversato da due allineamenti tettonici distinti: la faglia di San Leonardello a ovest e la faglia di San Giovanni Montebello - Codavolpe a est.

La prima delle due faglie interseca la rete viaria secondo una direzione N-S in Via delle Rose, via Alfio Russo, via delle Magnolie e via Palermo, generando poligoni con grado finale di rischio pari a 3 e 4 (Fig. 8.28).



Fig. 8.28 – Aree di Macchia di Giarre interessate dal passaggio della faglia San Leonardello: a) Via delle Rose; b) Incrocio tra la via Pacinotti e via Palermo; c) via delle Magnolie. (Ubicazione foto in Fig. 8.30).

La seconda interseca la rete viaria: lungo quasi tutta la via San Matteo, che collega Macchia alla frazione di Trepunti e Rovettazzo; nell'incrocio tra Viale Mediterraneo e la via Carlo Parisi (Fig. 8.29a); nel centro di Macchia in via delle Acacie (Fig. 8.29b), in prossimità di Piazza San Vito e del Parco Giardino di Macchia.



Fig. 8.29 – Aree di Macchia di Giarre interessate dal passaggio della faglia San Giovanni Montebello – Codavolpe: a) Incrocio tra Viale Mediterraneo e via Carlo Parisi; b) parte iniziale di via delle Acacie, caratterizzata da asfalto in pessime condizioni; sullo sfondo, verso ovest, si intravedono le Timpe di Miscarello. (Ubicazione foto in Fig. 8.30).

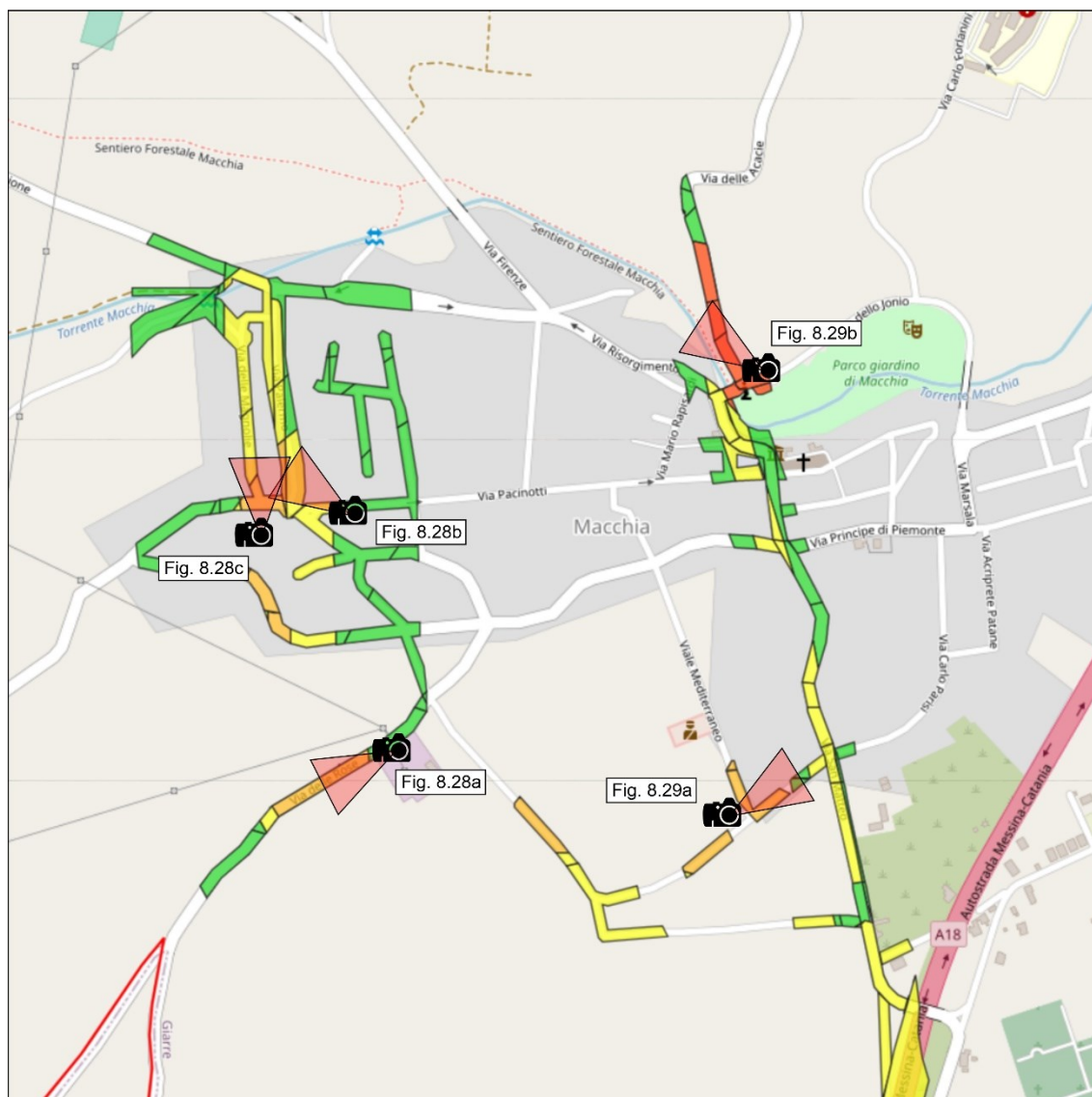


Fig. 8.30 - Ubicazione delle foto con direzione di scatto nella frazione di Macchia di Giarre – Rischio tettonico.

### 8.2.3 Mappa del rischio geomorfologico

Il rischio geomorfologico è presente quasi esclusivamente con valori bassi (grado 1) in corrispondenza delle zone a pendenze più elevate causate dalla presenza delle “Timpe” (Timpe di Miscarello, le Timpe di S. Giovanni e la Timpa di S. Leonardello), importanti scarpate di natura tettonica che determinano dislivelli fino a 150 m (nel caso delle Timpe di Miscarello) e pendenze molto elevate.

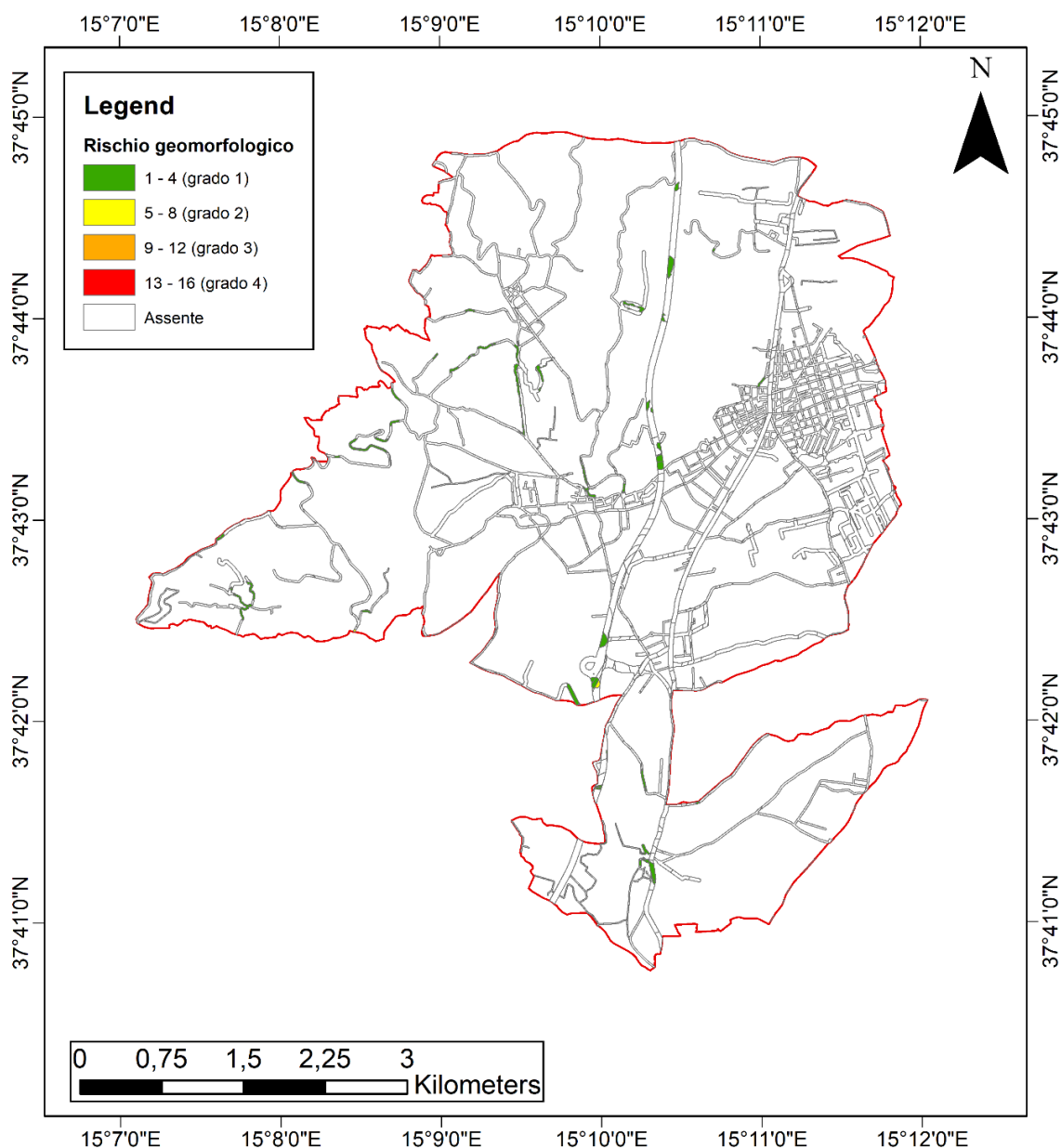


Fig. 8.31 – Mappa del rischio geomorfologico.

Come già detto nel capitolo della pericolosità geomorfologica (Cap. 4), i motivi di innesco di fenomeni di instabilità derivano soprattutto da fenomeni parossistici connessi allo smaltimento delle acque in occasione di eventi meteorici eccezionali o da eventi sismici rilevanti dovuti all'attività delle strutture tettoniche della Faglia delle Timpe di Miscarello e della Faglia di S. Leonardello. Quindi i principali punti sensibili sono riconducibili alle scarpate tettoniche delle Timpe (Timpe di S. Giovanni Montebello, Timpe di Miscarello, Timpa di S. Leonardello) e agli alvei incassati di alcuni torrenti con sponde particolarmente acclivi (torrente Macchia e torrente S. Leonardello) che attraversano la cittadina (Fig. 8.16b e Fig. 8.18).

Spesso però tali aree non si intersecano con la rete viaria e, quando lo fanno, si tratta di zone periferiche a basso traffico; è questo il caso della via della Regione, della via Damasco e della via del Santuario (attualmente chiusa per frana), tutte situate nella zona tra Macchia, Sciara e San Giovanni Montebello (area di pertinenza delle Timpe di Miscarello).



*Fig. 8.32 – Situazioni di rischio geomorfologico: a) Aspetto delle Timpe di Miscarello; b) Via Damasco; c) Via della Regione alla base delle Timpe. (Ubicazione foto in Fig. 8.33).*

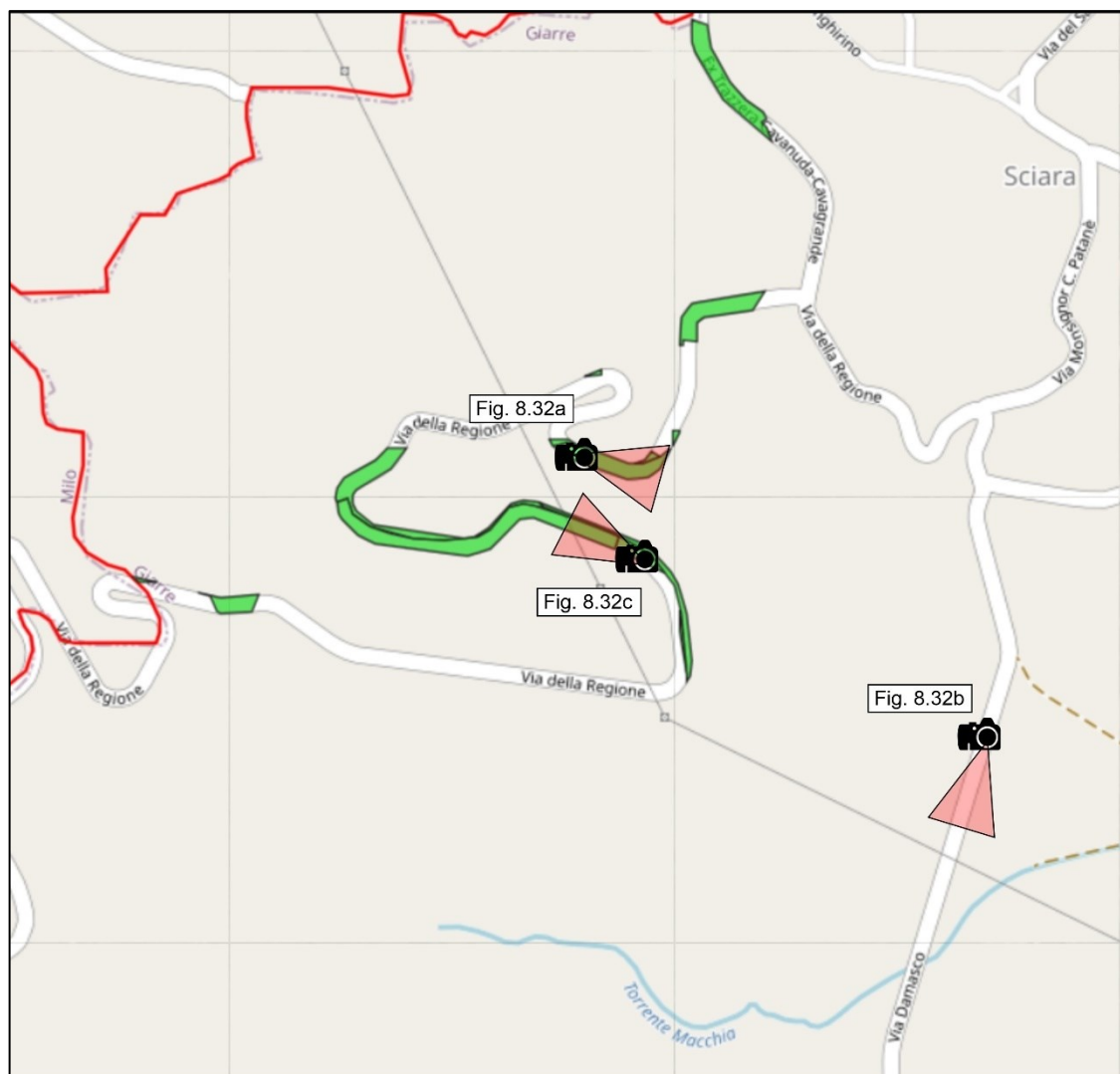


Fig. 8.33 - Ubicazione delle foto con direzione di scatto nella frazione di Sciara e Macchia di Giarre – Rischio geomorfologico.

#### 8.2.4 Mappa del rischio da dati interferometrici

La mappa di rischio calcolata a partire dai dati interferometrici è senza dubbio la più complessa. Essa deriva dall'intersezione tra la pericolosità dovuta ai valori di VLos registrati nel periodo di acquisizione, quella derivante dall'eventuale crollo di edifici e i valori di esposizione della rete viaria.



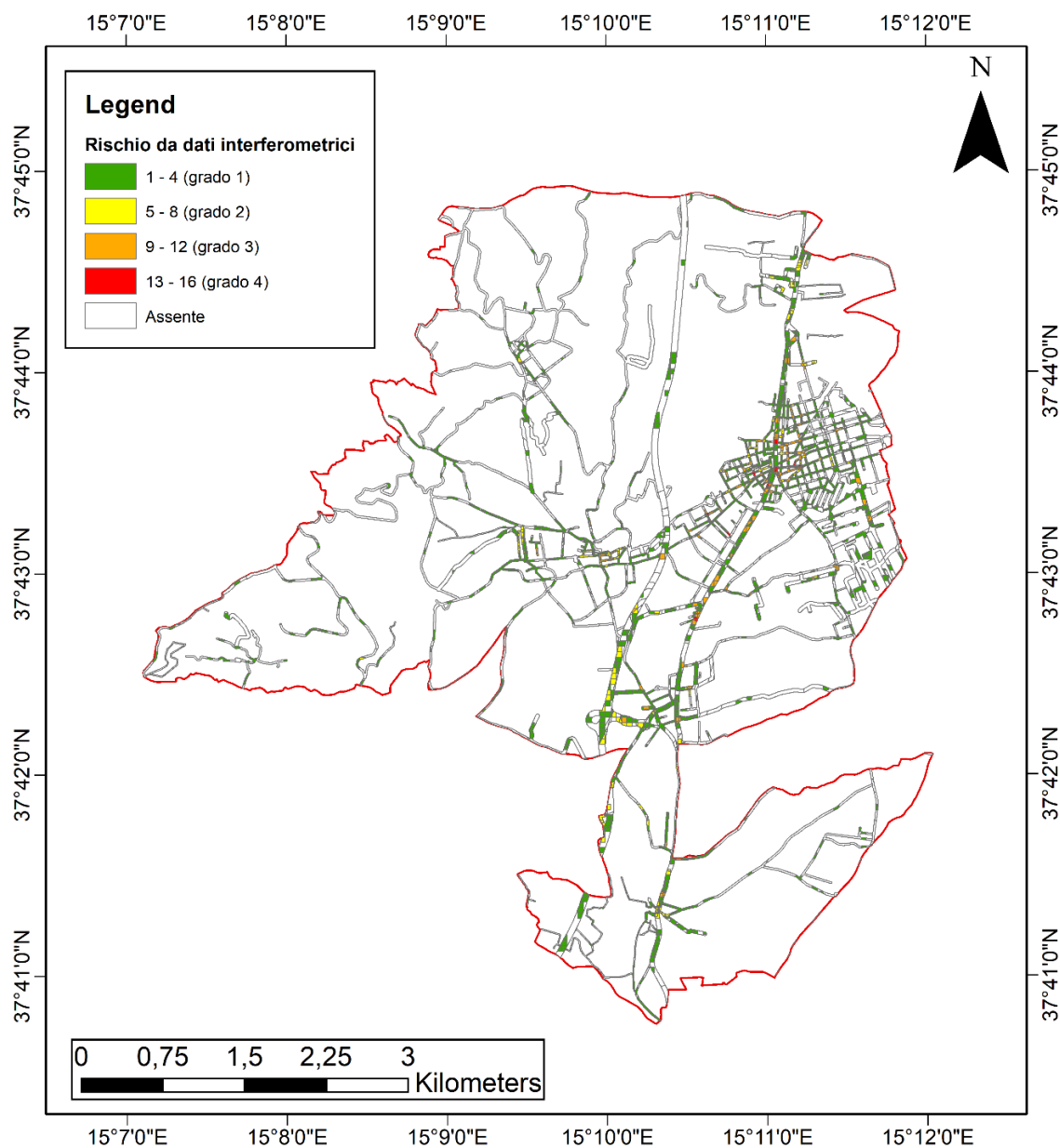


Fig. 8.34 - Mappa del rischio da dati interferometrici.

La zona più a rischio è come prevedibile quella del centro storico della città (Fig. 8.35), dove l'elevata densità di edifici in prossimità delle strade fa crescere la pericolosità da crollo. In questa zona si snodano poi alcune tra le strade più trafficate della città: la Via Callipoli, densa di uffici e attività commerciali; il Corso Italia, importante asse viario che collega Giarre al vicino comune di Riposto e permette l'accesso alla zona della stazione ferroviaria; la Via delle Province, che collega il centro cittadino alla frazione di Altarello.

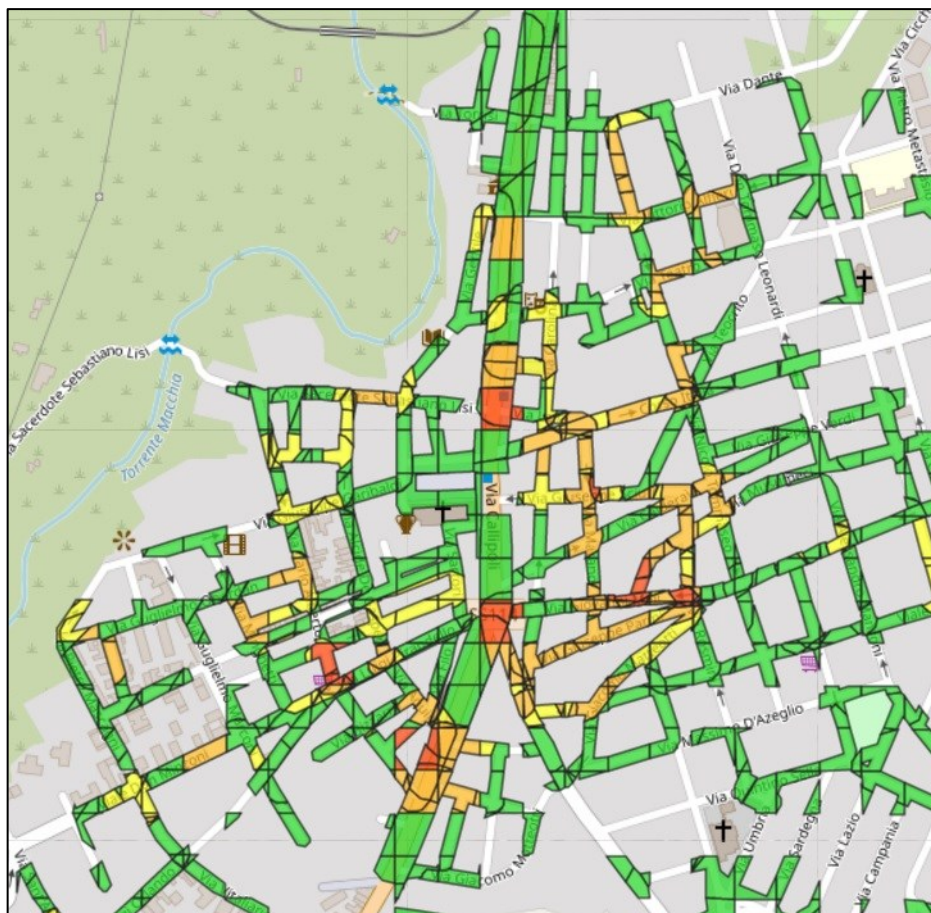


Fig. 8.35 – Dettaglio della situazione di rischio da dati interferometrici nel centro città.

### 8.3 Calcolo della mappa di rischio totale per la rete viaria

La mappa complessiva del rischio ha origine dalla somma algebrica dei valori relativi a ogni tipologia di rischio esaminata. L'obiettivo è quello di ottenere una singola mappa cumulativa con una serie di valori soglia sulla base dei quali categorizzare le diverse arterie viarie comunali.

Sommando quattro tipologie di rischio differenti (ognuno dei quali variabile da 1 a 16, essendo il prodotto tra una pericolosità variabile da 1 a 4 e un valore di esposizione anch'esso variabile tra 1 e 4), i poligoni risultanti possono assumere valori da un minimo di uno (se si escludono quindi i poligoni a rischio assente) a un massimo di 64 (nel raro caso in cui tutte le pericolosità hanno valore massimo in corrispondenza di una strada con valore massimo di esposizione). Relativamente al caso studio, si ottengono poligoni che assumono valori da un minimo di 1 a un massimo di 40, che rappresenta così il livello di rischio più elevato riscontrabile nel comune di Giarre.

Il processo di creazione della mappa totale di rischio a partire dalle mappe dei singoli rischi può essere fatto grazie all'ausilio di un *tool* originale denominato "Calcolo del rischio totale" (Fig. 8.36 e Fig. 8.37).

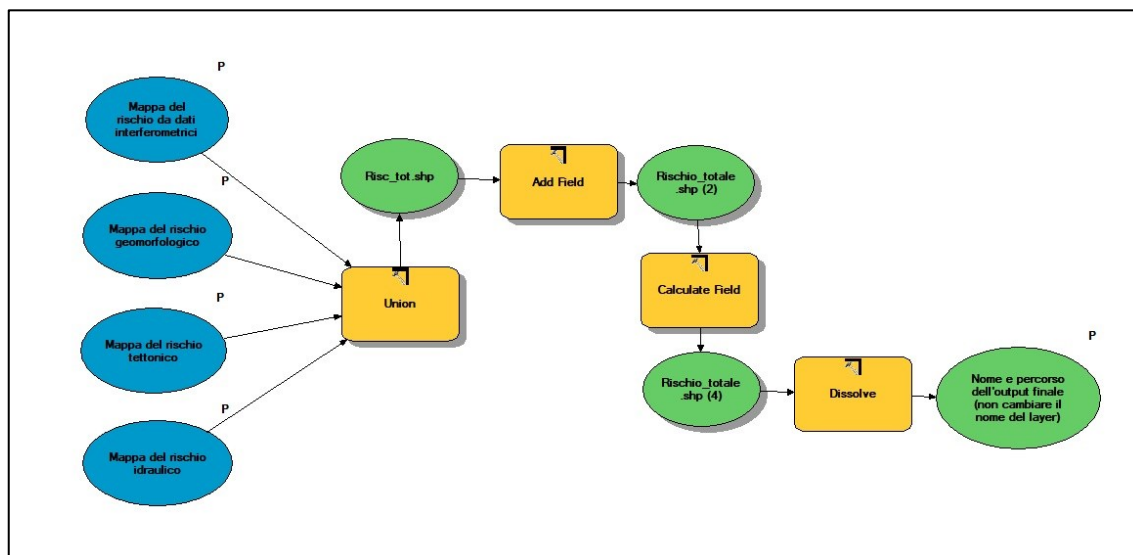


Fig. 8.36 – Workflow del tool per il calcolo della mappa di rischio totale.

Un processo di *Union* (Fig. 8.36) mette in correlazione le quattro mappe iniziali generando un singolo *shapefile* contenente tutte le informazioni originarie. Poi in un nuovo campo viene calcolata la somma dei singoli valori di rischio ("Risc\_int" + "Risc\_geom" + "Risc\_tet" + "Risc\_idra").

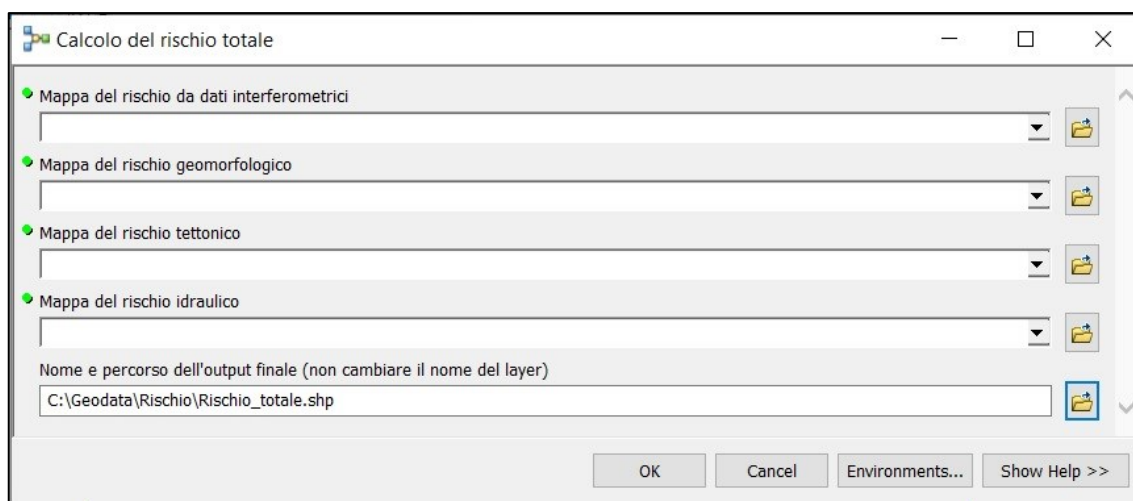


Fig. 8.37 - Schermata di avvio del tool per il calcolo della mappa di rischio totale.

Come dati di *input* vengono quindi richiesti solo i quattro *layers* relativi alle diverse tipologie di rischio. Con l'ultima opzione è possibile scegliere invece la *directory* di *output* per il *layer* finale e il suo nome (Fig. 8.37).

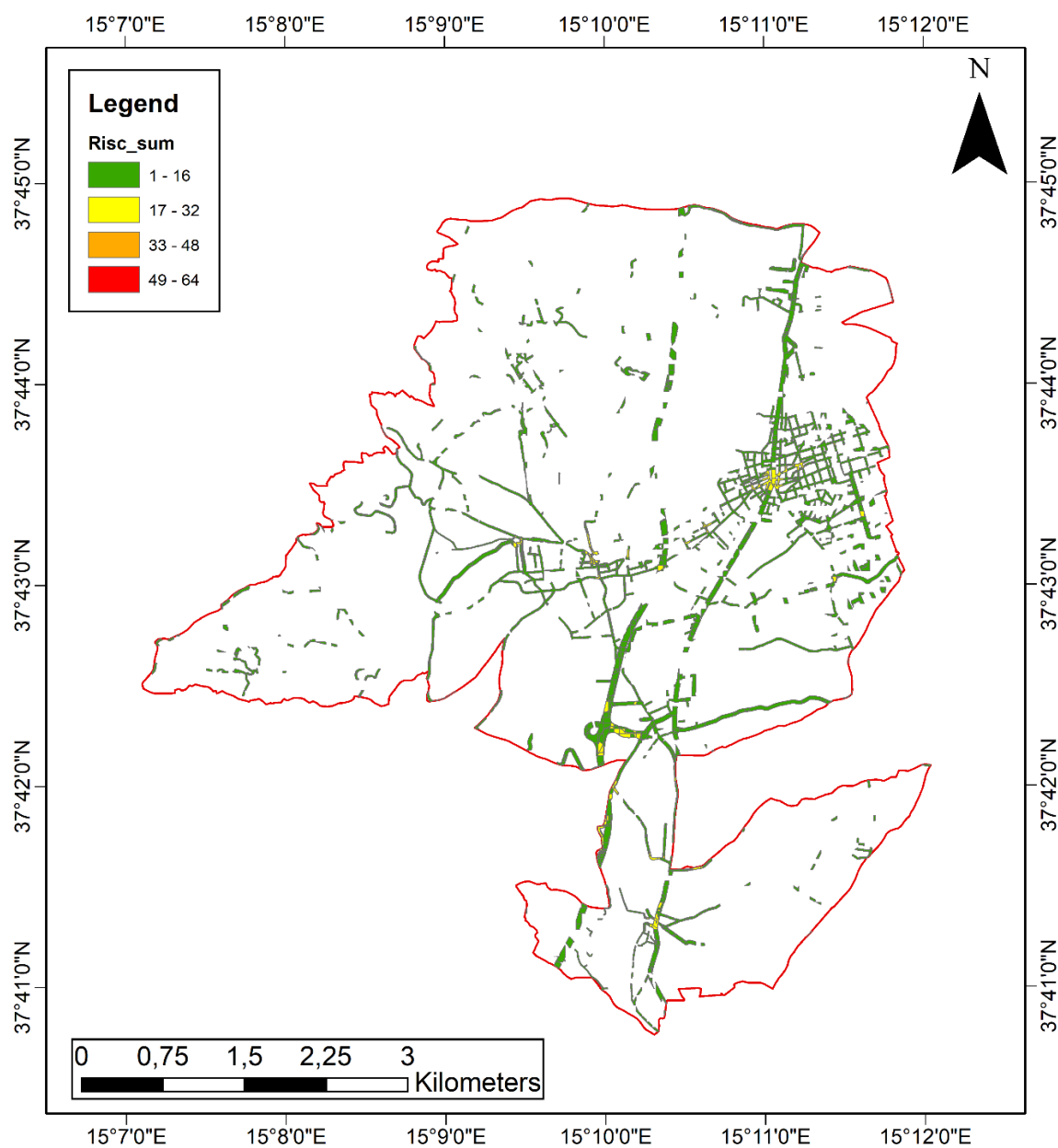
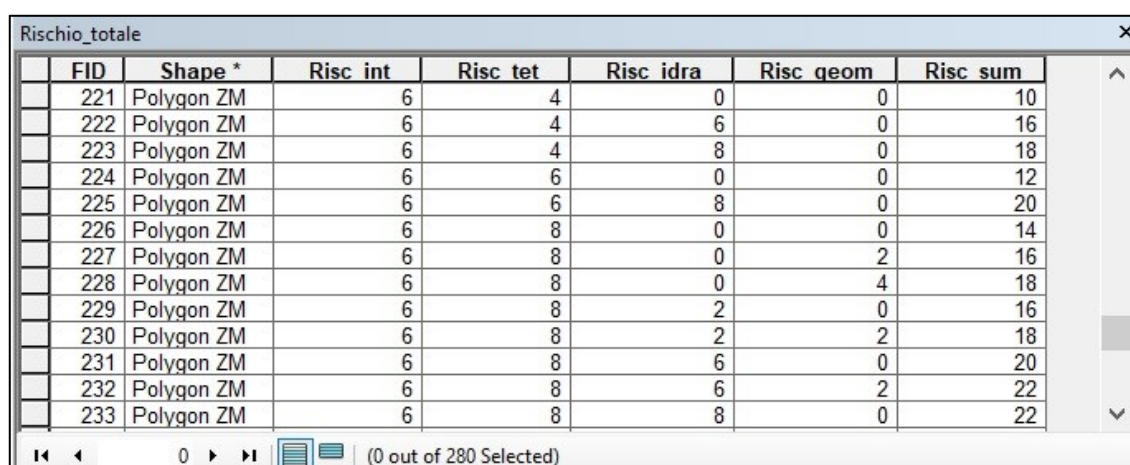


Fig. 8.38 - Mappa del rischio totale categorizzata in funzione del campo "Risc\_sum" (somma dei singoli valori di rischio).

Categorizzando il *layer* del rischio totale sulla base della somma dei singoli valori di rischio (Fig. 8.38) e creando una scala colore dal verde al rosso suddivisa in quattro classi, si ottiene però una mappa che, dal punto di vista visivo, non restituisce un'idea delle reali condizioni di rischio che insistono in determinate zone del comune, e che si possono invece apprezzare all'interno delle mappe di rischio singole.

Questo perché è veramente difficile trovare strade, o porzioni di esse, soggette contemporaneamente a tutti i tipi di rischio esaminati e caratterizzate da elevati valori di esposizione. Ne consegue che la mappa generata tende, dal punto di vista visivo, a sottostimare le condizioni di rischio in determinate zone, assegnando un grado di rischio di tipo 1 (colore verde, con somma da 1 a 16) a buona parte dell'area comunale. Per questo motivo all'interno della tabella attributi vengono comunque conservate le informazioni relative ai valori di rischio singoli originari (Fig. 8.39).



FID	Shape *	Risc int	Risc tet	Risc idra	Risc geom	Risc sum
221	Polygon ZM	6	4	0	0	10
222	Polygon ZM	6	4	6	0	16
223	Polygon ZM	6	4	8	0	18
224	Polygon ZM	6	6	0	0	12
225	Polygon ZM	6	6	8	0	20
226	Polygon ZM	6	8	0	0	14
227	Polygon ZM	6	8	0	2	16
228	Polygon ZM	6	8	0	4	18
229	Polygon ZM	6	8	2	0	16
230	Polygon ZM	6	8	2	2	18
231	Polygon ZM	6	8	6	0	20
232	Polygon ZM	6	8	6	2	22
233	Polygon ZM	6	8	8	0	22

Fig. 8.39 - Tabella attributi dello shapefile del rischio totale.

È possibile quindi in ogni momento risalire ai valori di ogni tipo rischio di cui un poligono è caratterizzato. I 280 poligoni finali sono il risultato dell'unione dei *record* risultanti tramite un processo di *Dissolve*, al fine di ottenere solo i *record* costituiti da combinazioni univoche dei valori di rischio nei vari campi.

Per ottenere quindi una mappa del rischio totale maggiormente informativa si è fatto ricorso a una categorizzazione relativa e non assoluta, considerando come valori minimo e massimo quelli riscontrati realmente all'interno del caso studio (Min=1, Max=40). È altresì difficile scegliere dei valori soglia fissi per la suddivisione delle classi senza ottenere una sottostima o sovrastima di determinate categorie. È stato quindi scelto di rappresentare la mappa sfruttando un metodo di categorizzazione arbitrario basato sulla distribuzione e sulle caratteristiche della popolazione di dati come quello di tipo *quantile*, suddividendo i risultati in quattro classi. La mappa ottenuta (Fig. 8.40) risulta così decisamente più chiara e leggibile.

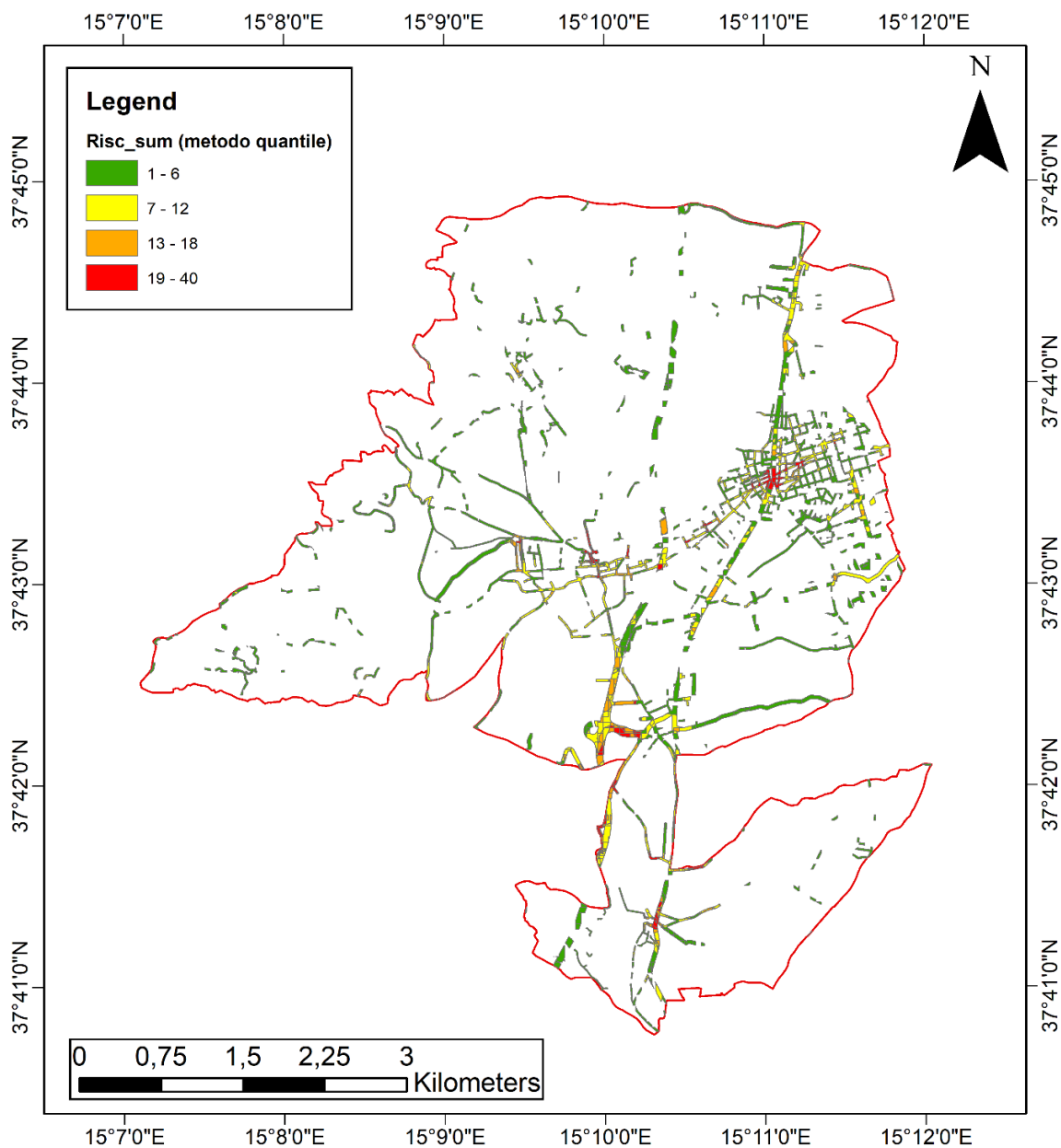


Fig. 8.40 - Mappa del rischio totale categorizzata in funzione del campo "Risc\_sum" con il metodo "quantile" considerando i valori minimo e massimo relativi.

Uno degli obiettivi del progetto, come detto in precedenza, è quello di stabilire un valore che costituisca una soglia di allerta e che consenta all'amministrazione comunale (o all'azienda) di monitorare e identificare quali porzioni della rete viaria all'interno di una determinata zona sono più soggette a rischio di altre, in modo da eseguire interventi di prevenzione mirati, in funzione della priorità espletata dalla mappa di rischio. È stato quindi deciso di lasciare libertà all'utente che utilizza l'infrastruttura di *tools* e procedure nello scegliere i valori di volta in volta più funzionali tramite l'utilizzo di soglie mobili.

A questo determinato scopo sono stati creati tre differenti *tools* (“Mappa del rischio totale – 10%”, “Mappa del rischio totale – 25%”, “Mappa del rischio totale – 50%”) che permettono di evidenziare in rosso soltanto una determinata percentuale dei poligoni più rischiosi.

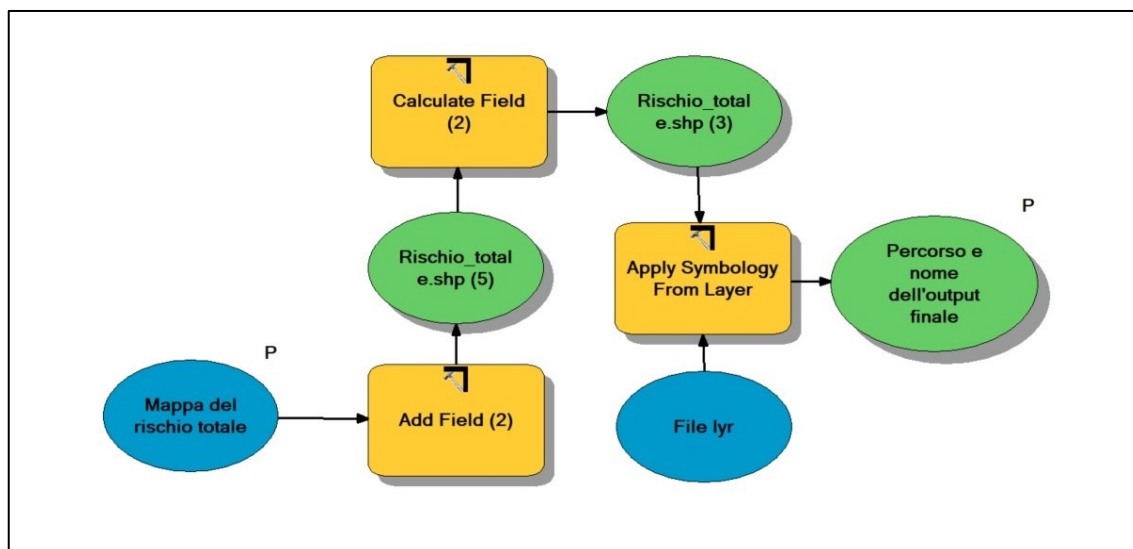


Fig. 8.41 - Workflow del tool “Mappa del rischio totale – 50%”.

Tutti e tre i *tools* aggiungono un nuovo campo chiamato “Risc\_perc”, che rappresenta il valore percentuale di rischio normalizzato sulla base dei valori minimo e massimo riscontrati all’interno della colonna “Risc\_sum”; il calcolo viene effettuato attraverso l’applicazione di uno *script Python* all’interno del nuovo campo (Cod. 8.1).

```
def percentuale (campo):
    import arcpy
    cursor = arcpy.da.SearchCursor('Rischio_totale', 'Risc_sum')
    tot = float(max([c[0] for c in cursor]))
    return (campo/tot)*100

#percentuale(!Risc_sum!)
```

Cod. 8.1 - Script Python all’interno della toolbox (Calculate field 2). La variabile “campo” si riferisce alla colonna “Risc\_sum”.

Una volta ottenuti i valori percentuali viene applicata la simbologia corrispondente in funzione del *tool* scelto, sfruttando dei file .lyr differenziati presenti all’interno della *directory* “C:\Geodata\Lyr\_files”: ad esempio, avviando il *tool* “Mappa del rischio totale – 50%” (Fig. 8.42) verrà calcolata la percentuale e successivamente

applicato il file .lyr corrispondente, ottenendo una categorizzazione in quattro classi, in cui l'ultima classe (in rosso) corrisponderà al 50 % dei poligoni a rischio più elevato.

Ovviamente, trattandosi di una semplice categorizzazione e mantenendo il campo relativo alla percentuale all'interno della tabella attributi, è possibile poi scegliere altre soglie manuali diverse da quelle proposte di *default* tramite i *tools* (10%, 25% e 50%).

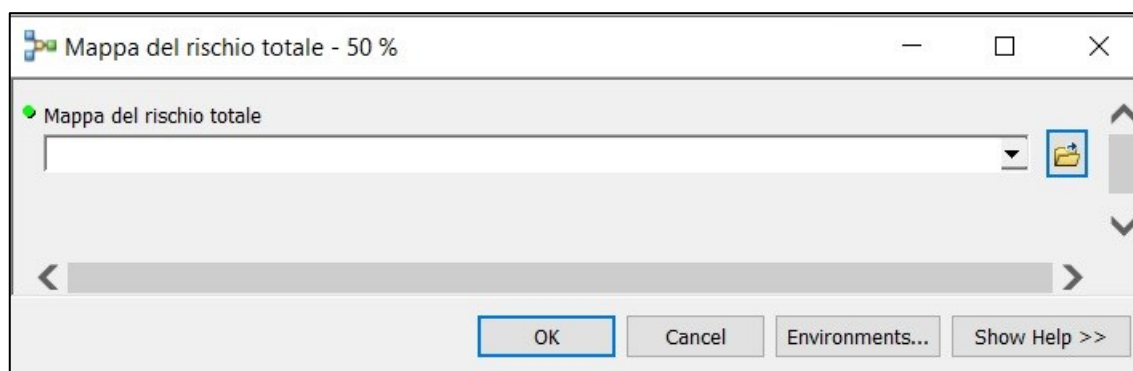


Fig. 8.42 - Schermata di avvio del tool "Mappa del rischio totale – 50%".

L'unico file di *input* richiesto è la mappa di rischio totale calcolata in precedenza (Fig. 8.42). È importante che il file di *input* si chiami esattamente "Rischio\_totale" per il corretto funzionamento dello *script Python* e che venga mantenuto il nome del campo contenente la somma algebrica dei rischi ("Risc\_sum").



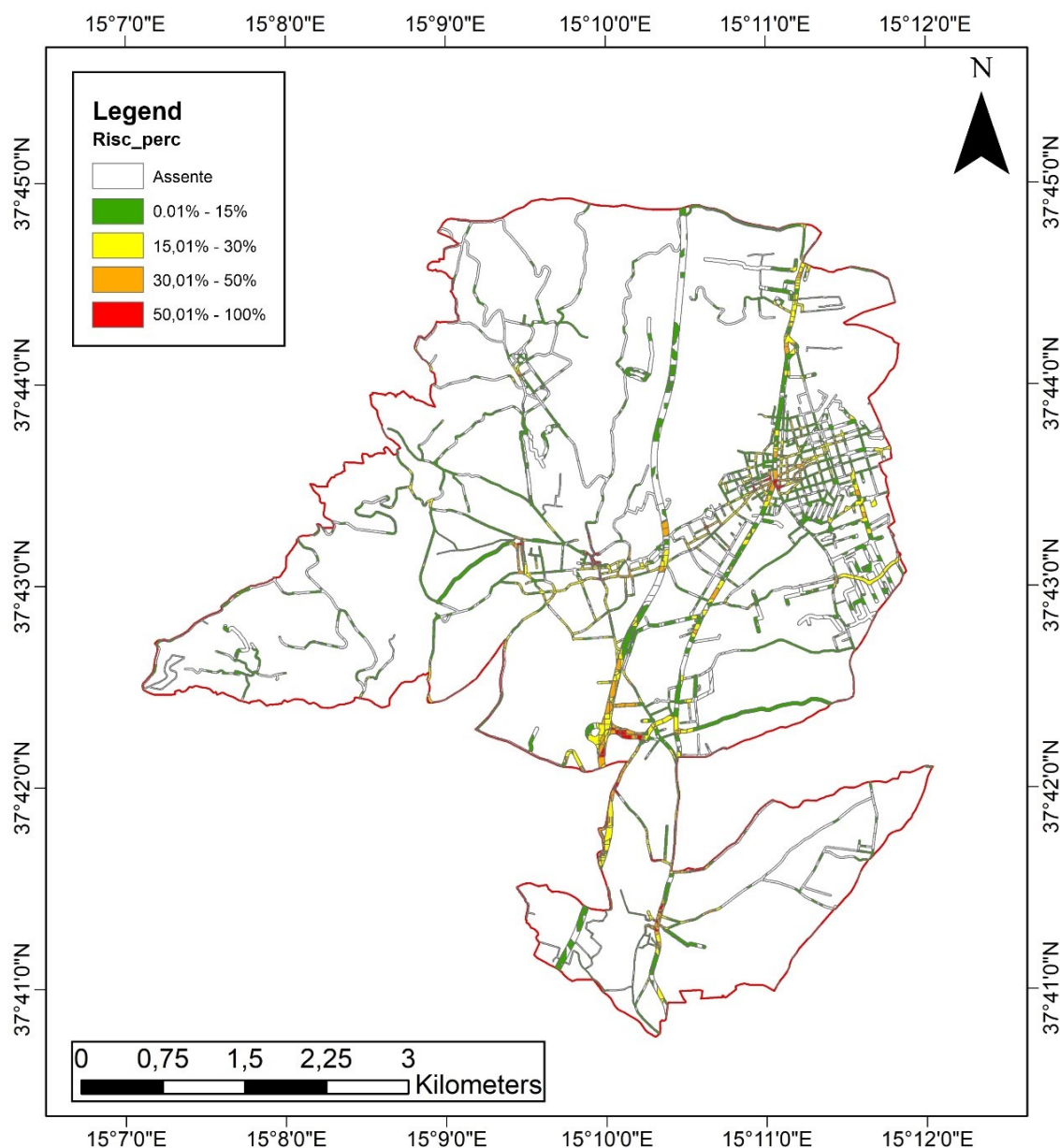


Fig. 8.43 - Mappa del rischio totale espressa in percentuale normalizzata rispetto ai valori minimo e massimo nella popolazione di dati (prodotta attraverso il tool "Mappa del rischio totale - 50%"). La categoria in rosso rappresenta il 50% delle porzioni della rete viaria a più alto rischio all'interno del comune di Giarre.

Le zone a più alto rischio (> 50 %) si concentrano in quattro aree principali:

- la zona di Macchia di Giarre (Fig. 8.44a), dove è importante l'incidenza del fattore idraulico a causa della presenza del Torrente Macchia e del fattore tettonico per il passaggio della faglia di S. Leonardello e della faglia di S. Giovanni - Codavolpe;
- il centro città (Fig. 8.44b), che continua a mantenersi a rischio elevato anche in questa rappresentazione, a causa dell'elevato contributo del fattore idraulico e dell'elevato grado di esposizione;

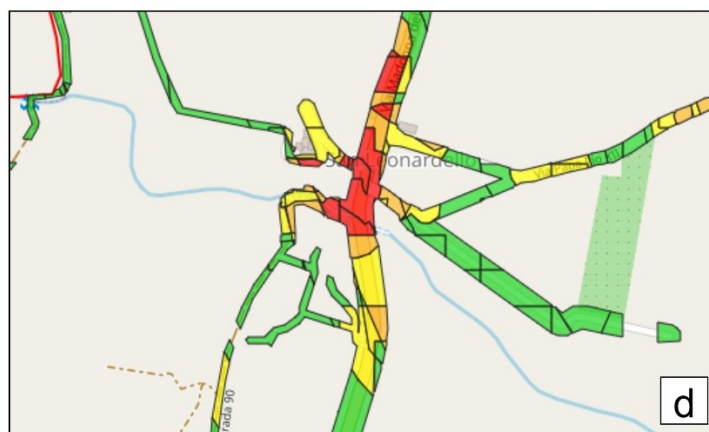
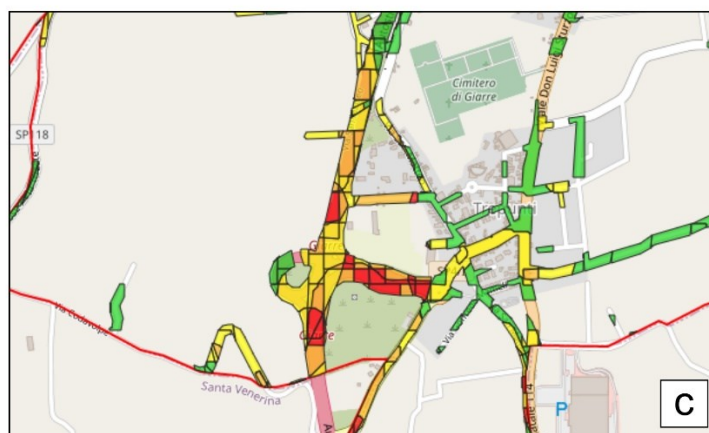
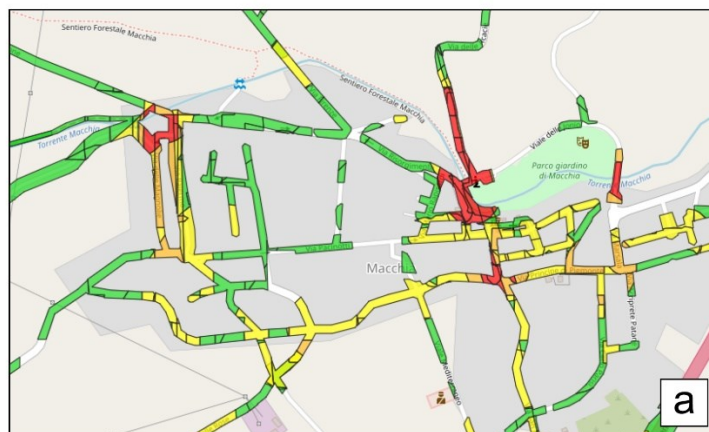


Fig. 8.44 – Zone a rischio elevato (>50 %).

- l'area intorno al casello autostradale (Fig. 8.44c) e, leggermente più a sud, alcune porzioni della Strada 85 Trepunti Luminaria;
- l'area di S. Leonardello (Fig. 8.44d), dove incidono sia il fattore tettonico (per il passaggio dell'omonima faglia) sia il fattore idraulico.

#### 8.4 Calcolo della mappa di rischio totale per gli edifici

Per dimostrare la versatilità dell'infrastruttura elaborata in questo lavoro, i concetti e i *tools* sviluppati per la rete viaria sono stati applicati anche agli edifici, di cui sono state calcolate in precedenza la mappa dell'esposizione (basata sui dati demografici e sui valori OMI) e le mappe di pericolosità (seguendo gli stessi criteri utilizzati per le strade). Sono stati utilizzati gli stessi *tools* per il calcolo del rischio applicati alle strade, con qualche piccola modifica dovuta ai nomi leggermente differenti dei vari campi che concorrono al calcolo di rischio finale. Utilizzando il *tool* "Mappa del rischio totale – 50%" per la rappresentazione finale, il risultato è quello mostrato in Fig. 8.46.

L'area più a rischio è, come ampiamente preventivabile, la zona del centro storico (Fig. 8.45), dove il valore OMI degli edifici è più elevato e la densità demografica è più rilevante rispetto alle zone periferiche, contribuendo alla crescita del valore di esposizione.

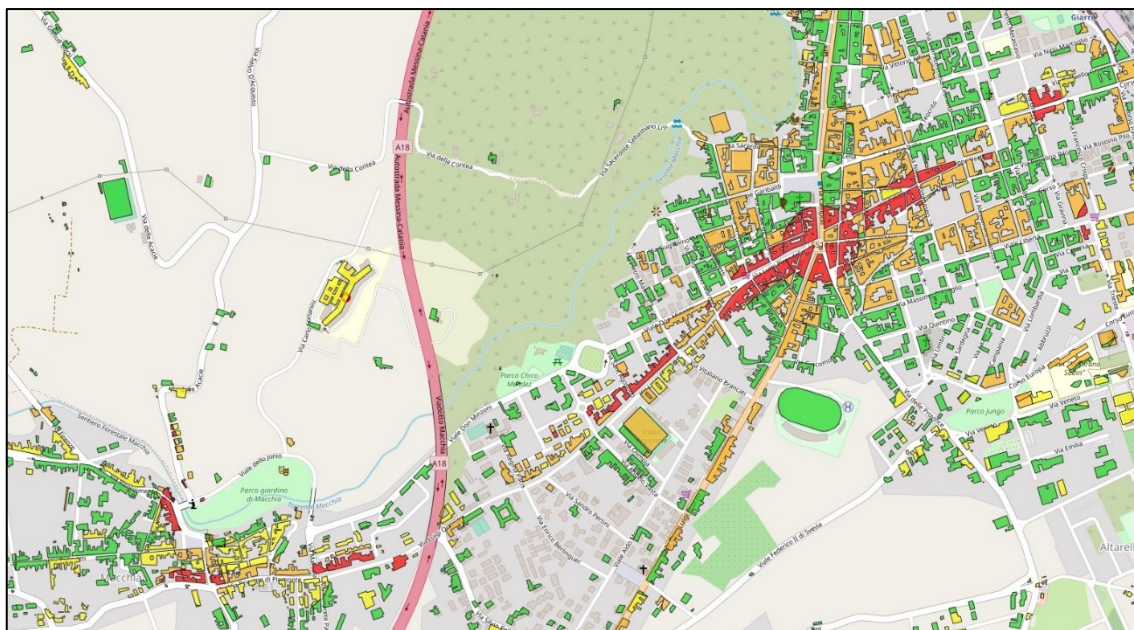


Fig. 8.45 – Situazione del rischio totale per gli edifici nel centro città.

Anche se in modo meno omogeneo, anche la zona di Macchia di Giarre risulta abbastanza rischiosa, sia a causa della presenza delle faglie che di rilevanti problemi idraulici.

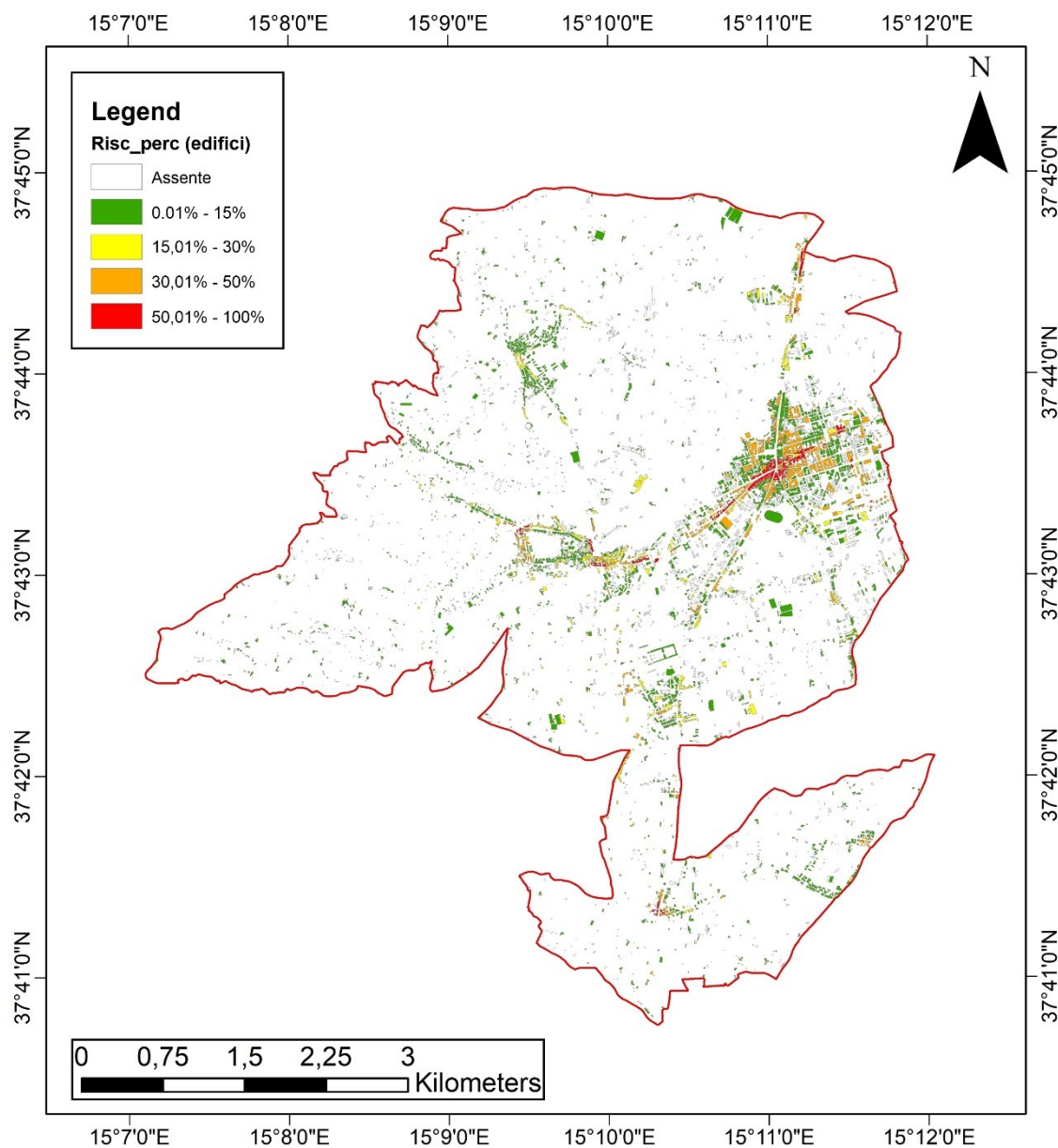


Fig. 8.46 - Mappa del rischio totale degli edifici espressa in percentuale normalizzata rispetto ai valori minimo e massimo nella popolazione di dati. In rosso rappresenta il 50% degli edifici a più alto rischio all'interno del comune di Giarre.

### 8.5 Calcolo del rischio totale con integrazione della vulnerabilità

Come già specificato in precedenza, la vulnerabilità non è stata calcolata in maniera diretta all'interno del progetto; essa semmai può essere considerata come una fase successiva al calcolo delle mappe finali. La difficoltà nel calcolare questo tipo di

parametro e l'ingente quantitativo di tempo nell'analizzarla per tutte le strade di un territorio comunale spinge a considerare *SecureGeoStreet* anche come una piattaforma per identificare i tratti di strada che necessitano di approfondimenti in tal senso.

Gli studi specialistici sulla vulnerabilità quindi, potranno essere tarati in maniera mirata solo su quelle strade che superano determinate soglie di pericolosità ed esposizione, risparmiando risorse sia in termini economici che di tempo impiegato.

L'aggiornamento della mappa finale di rischio (Fig. 8.43) potrà essere fatta in maniera speditiva utilizzando il *tool* "Calcolo del rischio totale con vulnerabilità" (Fig. 8.47).

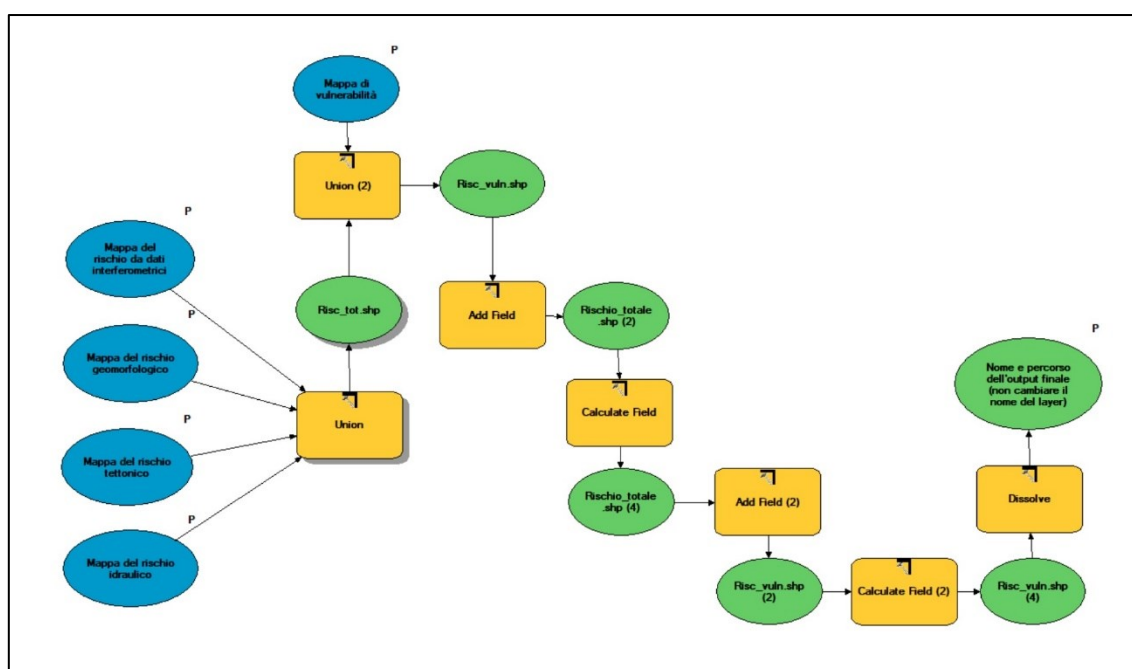


Fig. 8.47 - Workflow del tool "Calcolo del rischio totale con vulnerabilità".

La struttura del *tool* è simile a quella vista in Fig. 8.36, ma con la possibilità di aggiungere ai parametri di *input* anche la mappa di vulnerabilità; questa dovrà essere costituita da uno *shapefile* di tipo poligonale con all'interno un campo denominato "vulner", all'interno del quale inserire un valore numerico da 1 a 4 che andrà a moltiplicare il prodotto tra pericolosità e rischio calcolato in precedenza.

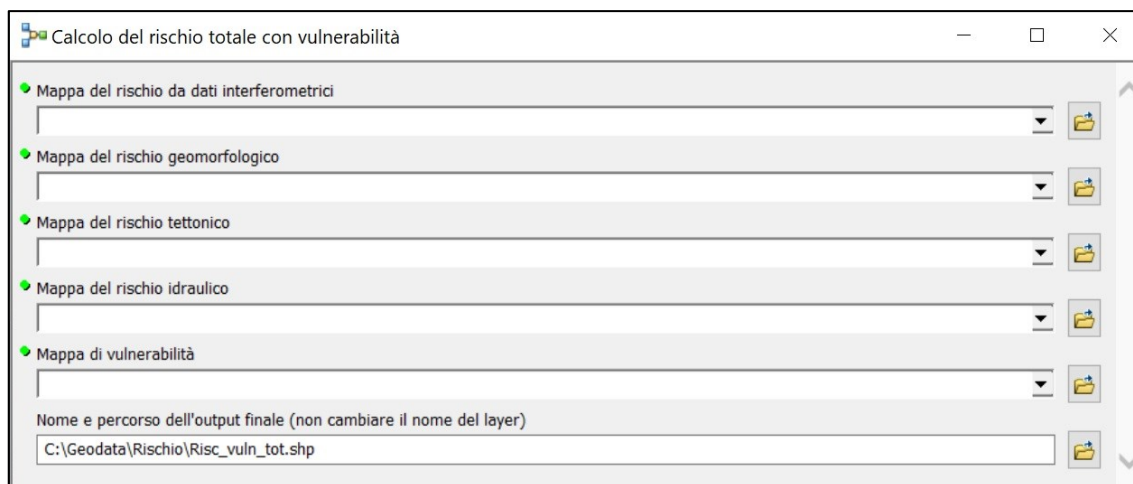


Figura 8.48 - Schermata di avvio del tool per l'integrazione della vulnerabilità nella mappa di rischio totale per la rete viaria.

## 9 WebGIS

Tra gli obiettivi prioritari del progetto vi la realizzazione di una serie di soluzioni *WebGIS* per rendere disponibili online le cartografie realizzate in ambiente GIS. La finalità più importante è la comunicazione e la condivisione delle informazioni geografiche con altri utenti, al fine di garantire una maggiore fruibilità della cartografia e dei dati ad essa associati. Tali strumenti costituiscono il fulcro di un eventuale collaborazione con l'Amministrazione Comunale nelle fasi di monitoraggio e manutenzione della rete stradale, permettendo la nascita di un sistema di monitoraggio e pre-allertaggio, da attivarsi nel caso in cui una strada del territorio comunale superi una soglia stabilita (livello di criticità) di rischio geologico l.s.

### 9.1 *WebGIS e Web Mapping*

Nell'ambito della geomatica, si sta assistendo negli ultimi anni all'ampia diffusione dei concetti di *WebGIS* e *Web Mapping* (Behncke, 2009; Borruso, 2013), termini a volte confusi tra loro e utilizzati per lo stesso scopo, ovvero indicare genericamente quei sistemi o strumenti necessari alla pubblicazione sul Web di mappe geografiche e tematismi, permettendo eventualmente all'utente di interagire con esse. Un *WebGIS* è essenzialmente un'estensione di un tradizionale *GIS desktop* (come *QGIS* o *ArcGIS*) che usa tecnologie *Web* per distribuire dati geografici sulla rete, permettendo a tutti gli utenti interessati di visionarli ed analizzarli.

Una delle definizioni più complete ed esaurienti di *WebGIS* proviene dall'Associazione italiana per l'informazione geografica libera (GFOSS, [www.gfoss.it](http://www.gfoss.it)): secondo GFOSS le applicazioni *WebGIS* sono quelle che permettono la distribuzione di dati geo-spaziali, in reti Internet e intranet (reti locali), sfruttando le analisi derivanti dai *software GIS* e che, per mezzo di classiche funzionalità di applicazioni *Web-based*, pubblicano informazioni geografiche nel *World Wide Web*. Un *sistema WebGIS* si basa su normali funzionalità *Client-Server*, come una classica architettura Web: il *client* può essere costituito da un qualsiasi *browser*, come ad esempio *Mozilla Firefox* o *Google Chrome*; il *server* consiste invece in un *Web-Server* (ad esempio *Apache* o *GeoServer*), con l'aggiunta eventuale di un *software WebGIS* (ad esempio *UMN MapServer*) che si

occupa di fornire le funzionalità di visualizzazione/interrogazione per l'interpretazione dei dati georeferenziati.

GFOSS schematizza il processo di funzionamento di un *WebGIS* nel seguente modo: l'utente, tramite un'apposita interfaccia web, invia dal proprio *client*, mediante un generico *browser*, una richiesta nella quale è definita l'area di interesse (estensione geografica della zona da visualizzare) e i contenuti a cui si vuole accedere (elenco dei *layers* di interesse); in base alla richiesta ricevuta, il motore *WebGIS* ricerca nel proprio archivio le informazioni richieste effettuando una connessione a un *database*, o mediante l'accesso ad altri *server* cartografici, ad esempio gli *OGC Web Services* (WMS, WFS, WMTS, WCS), estraendo la porzione di territorio specificata. Vengono quindi generate una o più immagini e inviate al *client* per la visualizzazione.

In modo simile avviene l'interrogazione dei dati: in questo caso il *client* invia al *server* una coppia di coordinate (nel caso di interrogazione puntuale) o un insieme di coordinate (per definire una regione) e il *server* interroga gli attributi degli oggetti cartografici presenti nella zona di interesse, restituendo un *report* con i valori estratti.

Un'altra definizione più sintetica afferma che i *WebGIS* sono dei GIS implementati attraverso la rete che permettono l'interazione con la cartografia e con i dati geo-spaziali ad essa associati, condividendo così queste informazioni con molti utenti.

Il termine *Web Mapping* invece non indica una semplice cartografia web, bensì un insieme di processi che prevedono sia un'attività di servizio che un'attività di utilizzo da parte dei fruitori delle mappe. Il termine era stato inizialmente adoperato per far riferimento a quelle applicazioni online che permettevano di visualizzare o creare le mappe su una piattaforma web, di solito con limitata o nessuna analisi GIS. La diffusione di questo tipo di servizi al grande pubblico ha preso piede con l'ampia diffusione di applicazioni come *Google Maps* e *Yahoo Maps*. Il *Web Mapping* quindi non prevede le attività di acquisizione, gestione, elaborazione e analisi dati tipiche di un GIS e realizzabili solo con architetture software più complesse, ma rappresenta solo una delle componenti di un *WebGIS*: quella dedicata alla visualizzazione sul web delle mappe.

Nonostante i due concetti quindi siano diversi tra di loro, col progredire della tecnologia molte delle odierne applicazioni di *Web Mapping* sono diventate sempre più



simili a dei *WebGIS*, consentendo agli utenti anche un certo grado di interazione con le mappe pubblicate e l'esecuzione di semplici analisi spaziali.

In altre parole, le applicazioni di *Web Mapping* hanno adesso caratteristiche che non consentono di distinguerle in maniera netta dai *WebGIS*; è per questi motivi che è ormai consuetudine, anche da parte degli esperti, usare i termini *WebGIS* e *Web Mapping* come veri e propri sinonimi.

Per la strutturazione di un *WebGIS* si possono distinguere tre diverse metodologie:

1. Configurazione dell'architettura *lato server*; in altre parole è necessario realizzare quello che viene anche denominato "Motore GIS". Si possono usare soluzioni come *GeoServer* e *MapServer*, entrambi *open source*.
2. Implementazione solo lato client, utilizzando servizi già disponibili che distribuiscono geodati e mappe di base, oppure sfruttando mappe prodotte in locale da un *GIS desktop*. In questi casi, per la pubblicazione sul web si utilizzano *framework* e librerie di *scripting* come *OpenLayers* e *Leaflet.JS*, delle API specifiche come quelle di *Google Maps*.
3. Utilizzo di *WebGIS* implementati da servizi di *cloud computing*. Tali servizi permettono di creare e gestire mappe su sistemi esterni (sistemi *cloud* appunto), ma registrate su un *account* personale. Queste mappe e le varie funzionalità associate, possono poi essere condivise o incluse su un sito web personale, integrando un link (*embed code*) che viene generato *ad hoc* dal servizio *cloud*. Alcuni tra i più noti sono: *ArcGIS online*, *GIS cloud*, *MapBox* e *CartoDB* che, pur essendo a pagamento, offrono tutti un'offerta base gratuita.

Tornando allo scopo precipuo del progetto, risulta necessario immagazzinare tutti i dati raccolti ed elaborati nelle precedenti fasi di ricerca all'interno di un *Geodatabase* appositamente creato su piattaforma *ArcGIS®*, in modo tale da facilitarne la consultazione e l'interrogazione da parte dei vari utenti.

Il database, progettato in modo da razionalizzare la gestione e l'aggiornamento delle informazioni e da permettere lo svolgimento di ricerche complesse tramite linguaggio SQL (*Standard Query Language*) direttamente su piattaforma *ESRI ArcGIS*, necessita però di una proiezione verso l'esterno, di essere cioè fruibile anche dagli utenti

che non possono accedere direttamente al computer locale in cui risiedono fisicamente i file (carte tematiche di pericolosità, di esposizione e di rischio) che sono stati elaborati.

Nell'ottica di coadiuvare al meglio le Amministrazioni Comunali dei territori presi in esame, nelle fasi di pianificazione territoriale, prevenzione e mitigazione del rischio geologico l.s., sono stati elaborati una serie di sistemi *WebGIS* per rendere disponibili i file sia all'interno della rete locale del Comune sia dall'esterno, tramite l'utilizzo di *software* GIS (come *QGIS* o *ArcGIS*), di un *app mobile* dedicata o di un semplice *browser* Internet.

Una delle vie percorse è stata quella di rendere disponibili online le carte tematiche strutturando un'architettura *Server-Client* tramite i cosiddetti *Web Services*, secondo lo standard OGC (*Open Spatial Consortium*), in modo tale da fornire un immediato supporto all'amministrazione comunale nelle fasi di monitoraggio e di pianificazione territoriale riguardo nuovi interventi, atti a limitare o eliminare, ove possibile, le condizioni di rischio presenti.

La strutturazione del "motore GIS" è stata quindi affidata al software *GeoServer* (<http://geoserver.org/>), mentre *lato client* ci si è affidati a diverse soluzioni ai fini di garantire la maggiore versatilità possibile: un prototipo di *app mobile Android* per la visualizzazione della mappa di rischio finale; le librerie di *scripting OpenLayers* (<https://openlayers.org/>) per la visualizzazione da *browser*; le librerie *Leaflet.JS* (<https://leafletjs.com/>) per la strutturazione di pagine in linguaggio HTML; i file KML.

I servizi WMS e WFS, di cui si parlerà nel paragrafo successivo, sono disponibili anche per la visualizzazione su *software* più complessi come *QGIS* o *ArcGIS*. Inoltre i KML, anch'essi disponibili online, possono essere utilizzati su software molto più diffusi e *user-friendly* come *Google Earth*.

In una fase successiva sono state sperimentate altre soluzioni che non prevedono l'utilizzo di *GeoServer*, ma che sfruttano servizi di *hosting* esterni (*Altevista.org*) e servizi di *cloud computing* (*ArcGIS Online*), senza la necessità quindi di un *server* perennemente in esecuzione su una macchina in locale. In quest'ottica è stato dunque scritto e sviluppato un sito Internet in linguaggio HTML, raggiungibile all'indirizzo [www.securegeostreet.it](http://www.securegeostreet.it), che raccoglie tutte le mappe di pericolosità, esposizione e rischio prodotte nell'ambito del progetto, integrate all'interno delle varie pagine grazie all'utilizzo delle librerie *Leaflet.JS*. *ArcGIS Online* invece ha permesso di creare un vero e

---

proprio geoportale, caricando i vari *layers* direttamente nel loro formato originario (*ESRI Shapefile*) e sfruttando lo spazio messo a disposizione per gli utenti registrati. Tramite *codice embed* è stato possibile poi includere il geoportale anche all'interno del sito internet sopra menzionato, oltre alla classica visualizzazione tramite link diretto ad *ArcGIS Online* all'indirizzo <https://mariopagano89.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=10185d2e8ead4b129337f12b889081b4>.

Inoltre, lo sviluppo di altre due *app Android* dedicate, permette di visualizzare il sopracitato portale e la mappa del rischio totale pubblicata sul sito tramite librerie *Leaflet.JS* anche sui dispositivi *Android* senza passare da un *web browser*.

## 9.2 *OGC (Open Spatial Consortium)*

OGC (*Open Geospatial Consortium*, <http://www.opengeospatial.org/>) è un consorzio internazionale a cui aderiscono organizzazioni, agenzie governative, aziende, università ed enti di ricerca che si impegnano a sviluppare, pubblicare e rendere disponibili specifiche ed interfacce standard per l'informazione geospaziale. La missione di OGC è sviluppare, approvare e mantenere norme per rendere le mappe e i dati geografici disponibili e condivisibili sul web. Questi servizi aperti e codifiche contribuiscono a migliorare la condivisione e l'interoperabilità delle informazioni geospaziali (Nogueras-Iso et al., 2005; de Souza Baptista, 2011).

Le specifiche definite sono "libere" e riguardano servizi e formati basati sul linguaggio universale XML con l'obiettivo di assicurare l'interoperabilità tra sistemi e *software* differenti, così da condividere numerose tipologie di informazioni geografiche.

Il concetto di *Web Services* sta velocemente rivoluzionando la diffusione delle informazioni geospaziali e possiede una grande rilevanza: dati non più fruibili come residenti in locale, possono così essere distribuiti e resi accessibili da remoto attraverso un *Web Server* dedicato, in genere un *WebGIS* o una infrastruttura di dati territoriali.

Questo tipo di approccio, se pensato a grande scala, è caratterizzato da una maggiore apertura verso il web rispetto ai metodi tradizionali, stabilendo una maggiore fruibilità del dato geografico e un aumento del bacino d'utenza dei dati stessi.

Se pensato a scala più ridotta, come nel caso del presente progetto, può essere d'aiuto a enti e organizzazioni più piccole, come ad esempio un'amministrazione

comunale, a condividere e visualizzare dati all'interno della propria rete locale, senza la necessità di accedere in maniera diretta al computer (o al *server*) in cui sono immagazzinati i dati.

In alternativa, è possibile impostare l'infrastruttura di rete in modo tale da poter accedere al PC o al *server*, collegato alla rete locale, anche da remoto; ciò implica una necessaria configurazione delle reti, del router e degli altri dispositivi per il *networking*.

I *Web Services* più diffusi e di maggiore interesse sono senza dubbio i servizi WMS (*Web Map Service*), i servizi WFS (*Web Feature Service*), i servizi WCS (*Web Coverage Service*) e i servizi WMTS (*Web Map Tile Service*).

Gli *Standard OGC* sono dei documenti tecnici che definiscono interfacce e codifiche. Gli sviluppatori usano questi documenti per costruire interfacce aperte e codifiche all'interno dei loro prodotti o servizi. Questi standard sono i "prodotti" principali dell'*Open Geospatial Consortium* e sono stati sviluppati dai suoi membri per realizzare specifici scenari di interoperabilità. Esistono diversi tipi di protocolli, ma quelli più utilizzati sono:

- Il *Web Map Service (WMS)* è un protocollo standard attraverso il quale gli utenti possono richiedere mappe georiferite mediante la rete Internet. La cartografia georiferita di tipo *raster* (restituita nei formati più diffusi JPEG, PNG, ecc.) può essere visualizzata all'interno di uno specifico visualizzatore oppure essere integrata nel *software* GIS in uso, eventualmente combinata con altri *layers* locali o servizi WMS; in tal modo, attraverso la modalità di interrogazione del *layer* si consente un accesso immediato all'informazione collegata all'immagine.
- Il *Web Feature Service (WFS)* è un servizio simile al WMS, ma offre un dato geospaziale vettoriale (*feature*) codificato in genere nel formato standard GML, oppure in altri formati come lo *shapefile*. Il dato è fornito generalmente in lettura, ma potrà essere interrogato, elaborato e scaricato. Attraverso il servizio WFS-T è permesso però l'accesso, la creazione e la modifica del dato.
- Il *Web Coverage Service (WCS)* fornisce oggetti e dati generalmente come immagini fotorestituite, foto satellitari e dati DEM, che rappresentano fenomeni variabili nello spazio; a differenza del WMS, sono fornite come vere e proprie griglie di dati georeferenziati. WCS fornisce i dati disponibili insieme alle loro descrizioni dettagliate; permette richieste complesse e restituisce i dati con

---

relativa semantica di origine (anziché le immagini) in modo da essere interpretato, estrapolato, ecc. e non solo disegnato.

- Il *Web Map Tile Service (WMTS)* è un protocollo standard per fornire servizi di pubblicazione di mappe a tessere (*Map Tiles*) georiferite su Internet; può essere considerato come un'evoluzione del protocollo WMS. Se da una parte lo standard WMS permette una grande flessibilità nella richiesta da parte del *client* ai fini di ottenere esattamente l'immagine finale desiderata, dall'altra non è raro dover attendere qualche secondo per la produzione della mappa da parte del *server* geografico, soprattutto per restituzioni di grandi dimensioni. Nel caso di pressanti richieste in parallelo, un utilizzo così intenso della CPU non è funzionale. Per superare il problema di *rendering* al volo, gli sviluppatori di applicazioni hanno iniziato a utilizzare riquadri di mappe *pre-renderizzati*, i cosiddetti *Map Tiles*.

### 9.3 [La piattaforma GeoServer](#)

Come accennato in precedenza il *software Geoserver* è stato utilizzato per la costruzione del "motore GIS" (Iacovella, 2017), ovvero dell'infrastruttura web *lato server* in grado di immagazzinare e distribuire i dati geografici. *Geoserver* è infatti un *sistema server* per la gestione, distribuzione e analisi di dati geospaziali, che permette di pubblicare *layers* sia vettoriali che *raster* tramite i più diffusi standard OGC (WMS, WFS, WCS e WMTS) (<http://geoserver.org/>).

Uno dei principali vantaggi di *GeoServer* è la facilità di installazione e di utilizzo; basta seguire le istruzioni presenti nel sito ufficiale per installarlo senza grosse difficoltà su qualunque sistema: *Windows*, *Linux* o *Mac OS*.

*GeoServer* è sviluppato in linguaggio *Java* (è necessario che sul computer sia già presente la macchina virtuale *Java*). Il supporto per questo linguaggio è essenzialmente disponibile in due modalità: il JDK (*Java Developer Kit*) e il JRE (*Java Runtime Environment*). Il JDK differisce dal JRE in quanto, oltre ad eseguire i programmi *Java*, dà la possibilità di sviluppare (include anche il JRE).

Una volta installato, la gestione avviene tramite l'interfaccia web di amministrazione: è possibile caricare mappe e *layers*, raggrupparli, collegarsi a *data-*

*source* nei formati più diffusi (*Shapefile*, *PostGIS*, *GeoJSON*, *GeoTiff*, ecc.), impostare gli stili di visualizzazione e distribuirli sul web.

*GeoServer* non funziona come un normale *software* eseguibile sul pc, ma è una vera e propria *Web Application*, opera cioè attraverso il protocollo HTTP del web; in altre parole, esso è implementato come *Servlet*, ovvero oggetti sviluppati in *Java* che operano all'interno di un *Web Server* (*server* HTTP) capace di eseguirli. Questi particolari *Web Server* vengono anche detti *Servlet Container* o *Servlet Engine* e i due più noti sono *Apache Tomcat* (o *Tomcat*) e *Jetty*. Oltre a *Java* quindi, l'altro prerequisito per far funzionare *GeoServer* è la presenza di uno dei due sopracitati *software*. Per il presente progetto è stato scelto di installare una versione di *GeoServer* contenente al suo interno il *Servlet Jetty*, sicuramente il meno esoso dei due dal punto di vista dei requisiti di sistema. I servizi che vengono forniti sul web si appoggiano a un protocollo di rete fondamentale: il TCP/IP. Per permettere di gestire più servizi su uno stesso canale fisico, vengono definiti dei "canali logici" differenti denominati "porte TCP/IP", contrassegnate da numeri variabili: 20, 21, 25, 80, ecc.



Fig. 9.1 – Impostazione della porta TCP/IP durante l'installazione di *GeoServer*.

Per *GeoServer* è stata indicata la porta 8080 (Fig. 9.1); attraverso essa il *software* fornisce i suoi servizi (WMS, WFS, ecc.) e permette di accedere all'interfaccia web

d'amministrazione. Più precisamente, si tratta della porta del *Servlet Engine* (in questo caso *Jetty*), che poi esegue a sua volta *GeoServer*.

*GeoServer* può essere installato come applicazione o come servizio di *Windows*. Avendo scelto di installare tutto come applicazione è necessario avviare e fermare il processo ogni qualvolta si accende e spegne il computer, attraverso gli appositi comandi nella barra delle applicazioni di windows (Fig. 9.2).

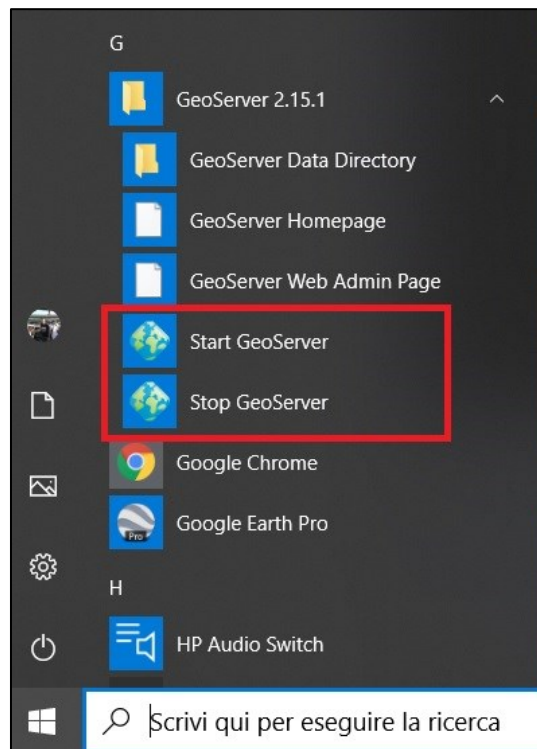


Fig. 9.2 - Comandi per l'avvio e l'arresto di *GeoServer* (se installato come applicazione).

All'avvio di *GeoServer*, viene mostrata una finestra della console di *Windows* (CMD) in cui è visualizzato il *log* della successione di operazioni che avviano il servizio (Fig. 9.3). Tale finestra deve rimanere aperta per tutto il tempo in cui si usa *GeoServer* o si vuole accedere ai file da esso gestiti; da qui la necessità di un dispositivo, su cui risiedono i file da pubblicare, perennemente online.

```

C:\Program Files (x86)\GeoServer 2.15.1>for /F "delims=" %i in ('dir /b/s "C:\Program Files (x86)\GeoServer 2.15.1\bin\..\webapps\geoserver\WEB-INF\lib\marlin*.jar"') do set MARLIN_JAR=%i

C:\Program Files (x86)\GeoServer 2.15.1>set MARLIN_JAR=C:\Program Files (x86)\GeoServer 2.15.1\webapps\geoserver\WEB-INF\lib\marlin-0.9.3.jar

C:\Program Files (x86)\GeoServer 2.15.1>if not "C:\Program Files (x86)\GeoServer 2.15.1\webapps\geoserver\WEB-INF\lib\marlin-0.9.3.jar" == "" set MARLIN_ENABLER=-Xbootclasspath/a:"C:\Program Files (x86)\GeoServer 2.15.1\webapps\geoserver\WEB-INF\lib\marlin-0.9.3.jar" -Dsun.java2d.renderer=org.marlin.pisces.MarlinRenderingEngine

C:\Program Files (x86)\GeoServer 2.15.1>call "C:\Program Files\Java\jre1.8.0_241\bin\java.exe" -Xbootclasspath/a:"C:\Program Files (x86)\GeoServer 2.15.1\webapps\geoserver\WEB-INF\lib\marlin-0.9.3.jar" -Dsun.java2d.renderer=org.marlin.pisces.MarlinRenderingEngine -DGEOSERVER_DATA_DIR="C:\Program Files (x86)\GeoServer 2.13.4\data_dir" -Xmx512m -DSTOP.PORT=8079 -DSTOP.KEY=geoserver -Djetty.base="C:\Program Files (x86)\GeoServer 2.15.1" -Djetty.logs="C:\Program Files (x86)\GeoServer 2.15.1\logs" -jar "C:\Program Files (x86)\GeoServer 2.15.1\start.jar" --module=http jetty.port=8080
2020-07-19 10:15:05.301:INFO:main: Logging initialized @1025ms to org.eclipse.jetty.util.log.StdErrLog
2020-07-19 10:15:05.677:WARN:oejx.XmlConfiguration:main: Property 'jetty.port' is deprecated, use 'jetty.http.port' instead
2020-07-19 10:15:05.679:WARN:oejx.XmlConfiguration:main: Property 'http.timeout' is deprecated, use 'jetty.http.idleTimeout' instead

```

Fig. 9.3 - Schermata del prompt dei comandi durante l'esecuzione di GeoServer.

Quando il processo di avvio è concluso, è possibile accedere all'interfaccia web di *GeoServer* con cui gestire tutto ciò che serve per la pubblicazione dei file. È possibile farlo o con l'apposita voce nell'elenco dei programmi o digitando in un *browser* l'indirizzo <http://localhost:8080/geoserver>, dove la stringa "localhost" sta ad indicare l'indirizzo IP del computer che si intende utilizzare come *server*.

### 9.3.1 Infrastruttura di rete per l'accesso ai file da remoto

Per poter accedere da remoto è necessario sostituire la stringa "localhost" con l'indirizzo IP pubblico corretto: per fare ciò è necessario impostare la propria infrastruttura di rete in modo da permettere l'accesso da una rete Internet esterna, e non solo all'interno della propria rete locale. È necessario quindi possedere conoscenze di base sul funzionamento e sulla configurazione delle reti, del router e dei dispositivi connessi alla rete.

L'operatore di telecomunicazioni (*provider*) assegna un IP pubblico ad ogni router, in modo da renderlo raggiungibile da qualunque sistema collegato alla rete Internet (Fig. 9.4). L'IP pubblico consente di raggiungere il router ovunque ci si trovi, anche a migliaia di chilometri di distanza, usando qualunque *provider*/dispositivo/modalità di connessione (collegamento WiFi, accesso diretto da postazione fissa via cavo Ethernet e collegamento *dial-up*, *xDSL*, *FTTx*, *WLAN*, utilizzo rete dati in mobilità ecc.).



Tutti i dispositivi collegati al router ricevono poi una serie di indirizzi IP locali, che possono essere statici o dinamici (Fig. 9.4). Nel caso di indirizzi dinamici, impostazione di *default* di tutte le reti casalinghe, un dispositivo che si riconnette alla stessa rete potrebbe non ricevere lo stesso indirizzo IP che aveva ottenuto nelle precedenti connessioni, non permettendo quindi di identificarlo con una stringa numerica sempre uguale a sé stessa.

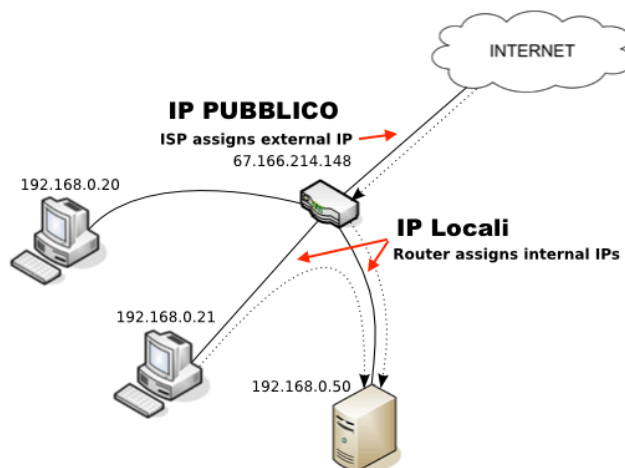


Fig. 9.4 – Differenza tra IP pubblico e IP locale.

Il primo passo per accedere da remoto a un dispositivo collegato alla propria rete LAN di casa o dell'ufficio consiste quindi nell'assegnare un IP privato, statico, a tale dispositivo. In questo caso è necessario impostare un indirizzo IP statico al computer su cui risiedono i file e su cui risultino attivi i processi di *GeoServer*.

Nel pannello di configurazione del dispositivo, o in alternativa dalla pagina di configurazione del router (Fig. 9.5), è necessario assegnare manualmente un IP privato che non possa mai essere utilizzato da altri dispositivi nell'ambito della rete locale (ad esempio 192.168.178.35); tale indirizzo IP statico non corrisponde all'indirizzo IP pubblico del router, che è invece un numero identificativo del router all'interno di tutta la rete Internet.

A questo punto, è importante verificare quali porte TCP/UDP devono essere aperte per assicurare l'accesso remoto al dispositivo e creare una regola per l'inoltro del traffico dati in arrivo sulle porte scelte (di solito attraverso la sezione "Port Forwarding" o "Inoltro/attivazione" del router). In questo caso la porta scelta è la numero 8080, la stessa su cui lavora il processo *GeoServer*.

È necessario dunque assegnare un nome al servizio che si sta configurando, definire il protocollo usato (TCP/UDP o entrambi), la porta scelta in precedenza, riportandola sia come porta esterna che come porta interna, e indicare l'IP privato assegnato al dispositivo (Fig. 9.5).

Fig. 9.5 - Impostazione delle porte TCP/IP per il corretto funzionamento di GeoServer nella pagina di configurazione del router.

A questo punto, ogni volta che il dispositivo risulterà acceso e connesso al router, esso sarà accessibile da remoto specificando l'indirizzo IP pubblico (quello assegnato dal provider al modem router) e la porta scelta per la comunicazione con il dispositivo (Fig. 9.6).

Dispositivo/Nome	Indirizzo IP	Abilitazioni	Porta assegnata esternamente IPv4
MARIO	192.168.178.35	● geoserver	8080

Fig. 9.6 - Assegnazione del servizio alla porta 8080 e a un determinato indirizzo IP.

Un problema è rappresentato però dall'indirizzo IP pubblico assegnato al router dal *provider*, che potrebbe cambiare ad ogni connessione. In questo caso è necessario ricorrere a un servizio DDNS (*Dynamic DNS*).

Il meccanismo alla base del funzionamento dei DDNS permette di comunicare a un *server* remoto il nuovo IP del router ogni volta che questo cambia. Usando i servizi DDNS è quindi possibile connettersi al router e al dispositivo configurato per l'accesso

da remoto, utilizzando un *hostname* simile a un indirizzo Internet (ad esempio "mariopagano89.addns.org"), che punta di volta in volta all'IP dinamico fornito dal *provider* di rete. Avendo un *hostname* sempre fisso e uguale a sé stesso è possibile inserirlo all'interno degli indirizzi WMS generati da *GeoServer*, che rimarranno unici e validi per sempre, anche se il router dovesse cambiare IP a causa di una riconnessione. Per poter sfruttare questa funzionalità è necessario possedere un router che supporti il *Dynamic DNS* e sottoscrivere un abbonamento (gratuito o a pagamento a seconda del dominio scelto per l'*hostname* e dal numero di *hostname* che si desidera creare) a uno dei tanti servizi DDNS presenti su Internet (ad esempio, in questo caso, <https://dyndns.it/>).

La questione sicurezza non deve essere trascurata: la porta o le porte aperte sull'IP pubblico risulteranno raggiungibili da chiunque per impostazione predefinita; scansioni operate su gruppi di IP pubblici da parte di terzi evidenzieranno la presenza di tali porte e di un componente *server* in ascolto per le richieste di connessione in ingresso. È quindi fondamentale che il dispositivo sia protetto adeguatamente mediante l'utilizzo di credenziali d'accesso "solide" (password lunga e complessa) ed è altrettanto importante installare eventuali aggiornamenti del *firmware* (che spesso risolvono problematiche e falle di sicurezza).

Nell'intento di studiarne il meccanismo di funzionamento, bisogna prestare attenzione al menu data all'interno della pagina di amministrazione di *GeoServer* (Fig. 9.7). In particolare, le voci "*Workspaces*", "*Stores*", "*Layers*" e "*Layer groups*" permettono di organizzare i vari file caricati sul *server* secondo una struttura gerarchica ramificata di cartelle e sottocartelle, ognuna dei quali con significato differente.

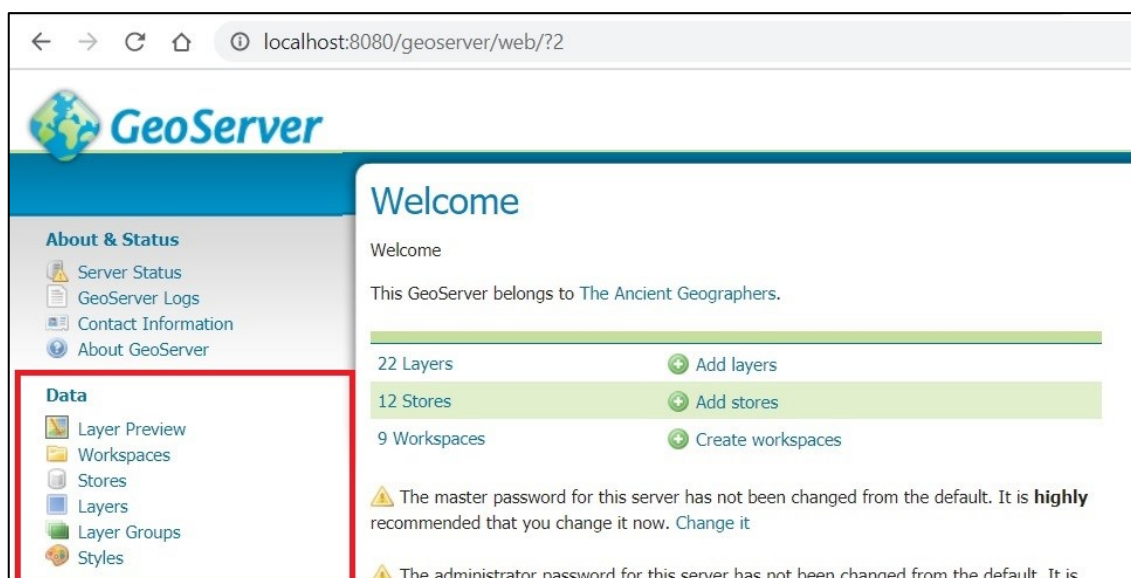


Fig. 9.7 - Homepage della pagina di amministrazione di GeoServer.

Un *Workspace* (Fig. 9.8) è un contenitore che raccoglie insieme tutti gli elementi (dati, *layers*, files) e le informazioni che riguardano uno stesso progetto; in maniera più semplicistica può essere paragonato a una normale *directory*. I vari *layers* che vengono caricati in *GeoServer* sono quasi sempre organizzati in *Workspaces*. In questa sede, dovendo pubblicare mappe relative a un singolo territorio comunale, si è deciso di creare un unico *Workspace* che prende il nome del comune di interesse (Giarre).

Per definire un nuovo *Workspace* è necessario indicare due parametri: il suo nome ed un URI (*Uniform Resource Identifier*). Entrambi possono essere scelti a piacere, ma l'URI deve essere univoco all'interno di *GeoServer*; l'URI si distingue dall'URL, cioè l'indirizzo web con cui i *layers* del *Workspace* vengono resi pubblici sul web, identificando in maniera univoca ogni entità presente all'interno del sistema. Nonostante questo, la documentazione ufficiale di *GeoServer* consiglia di utilizzare un formato "URL-like" per la compilazione dell'URI.

**New Workspace**

Configure a new workspace

Name  
SecureGeoStreet

Namespace URI  
http://localhost:8080/geoserver/SecureGeoStreet

The namespace uri associated with this workspace

Default Workspace

Isolated Workspace

Submit Cancel

Fig. 9.8 - Creazione di un nuovo workspace.

Seguendo tali indicazioni, è stato scelto “SecureGeoStreet” come nome del *Workspace* e “<http://localhost:8080/geoserver/SecureGeoStreet>” come URI, dove “localhost” fa riferimento all’indirizzo IP locale o all’*hostname* del computer in uso e “8080” si riferisce alla porta tramite cui opera *GeoServer*.

Uno *Store* è una connessione a una determinata fonte di geodati (vettoriali o *raster*) e, può essere: un singolo file, un gruppo di file, una tabella di *database*, un file *raster* o una *directory*; ogni *Workspace* può contenere quindi uno o più *Stores*.

Questa prima suddivisione all’interno del *Workspace* “SecureGeoStreet” può senza dubbio essere d’aiuto a raccogliere e organizzare in maniera distinta i vari tipi di tematismi che si intendono pubblicare. In questo senso si è proceduto alla suddivisione tra lo *Store* relativo alle carte di pericolosità, quello dell’esposizione e quello delle carte di rischio finale.

**New data source**

Choose the type of data source you wish to configure

**Vector Data Sources**

- Directory of spatial files (shapefiles) - Takes a directory of shapefiles and exposes it as a data store
- PostGIS - PostGIS Database
- PostGIS (JNDI) - PostGIS Database (JNDI)
- Properties - Allows access to Java Property files containing Feature information
- Shapefile - ESRI(tm) Shapefiles (\*.shp)
- Web Feature Server (NG) - Provides access to the Features published a Web Feature Service, and the ability to perform transactions on the server (when supported / allowed).

**Raster Data Sources**

- ArcGrid - Arc Grid Coverage Format
- GeoTIFF - Tagged Image File Format with Geographic information
- Gtopo30 - Gtopo30 Coverage Format
- ImageMosaic - Image mosaicking plugin
- WorldImage - A raster file accompanied by a spatial data file

**Other Data Sources**

- WMS - Cascades a remote Web Map Service

Fig. 9.9 – Possibili fonti di dati di ogni store.

Al momento della creazione di un nuovo *Store* (Fig. 9.9) è possibile scegliere che tipo di fonte si desidera connettere tra le diverse tipologie disponibili. Se si vuole connettere un singolo *shapefile* si può scegliere l'opzione *Shapefile*, ma avendo a disposizione più *layers* della stessa tipologia si è optato per la scelta dell'opzione *Directory of spatial files (shapefiles)* per tutti gli *Stores* pubblicati. In questo modo ci si riserva anche la possibilità di aggiungere in futuro ulteriori *shapefile* collocabili quindi nello stesso *Store*.

**New Vector Data Source**  
Add a new vector data source

Directory of spatial files (shapefiles)  
Takes a directory of shapefiles and exposes it as a data store

**Basic Store Info**

Workspace \*  
Giarre

Data Source Name \*  
Mappe di rischio

Description

Enabled

**Connection Parameters**

Directory of shapefiles \*  
file://C:\SecureGeoStreet [Browse...](#)

DBF files charset  
ISO-8859-1

Create spatial index if missing/outdated

Use memory mapped buffers (Disable on Windows)

Cache and reuse memory maps (Requires 'Use Memory mapped buffers' to be enabled)

[Save](#) [Cancel](#)

Fig. 9.10 - Creazione di uno store collegato a una "Directory of spatial files (Shapefiles)".

È innanzitutto necessario scegliere a quale *Workspace* dovrà appartenere lo *Store* che si sta creando (Fig. 9.10). Le altre informazioni necessarie sono il nome dello *Store*, una breve descrizione dello stesso e la cartella all'interno della quale si trovano i file che si intende pubblicare. L'opzione "enabled", da lasciare attivata, permette l'effettiva funzionalità dello *Store*. Utilizzando il computer stesso come *server*, i file di interesse si trovano all'interno della cartella del progetto, denominata "SecureGeoStreet".

Configurato il *data-source*, la fase successiva è la pubblicazione vera e propria dei *layers*: come precedentemente accennato, *GeoServer* non pubblica i geodati nel senso di renderli effettivamente disponibili su pagine web, ma si limita a distribuirli sulla rete tramite i servizi OGC; la finestra per la modifica dei *layers* prima della pubblicazione

è abbastanza complessa e ricca di parametri e impostazioni e risulta suddivisa in quattro schede: *Data*, *Publishing*, *Dimensions* e *Tile caching*.

All'interno della scheda "Data" (Fig. 9.11), il campo "Title" non è altro che un nome comprensibile per il *layer*, che di *default* corrisponde al nome del *layer* (in questo caso uno *shapefile*).

Il campo "Abstract" è invece una descrizione estesa che spiega più in dettaglio il contenuto del *layer*. È importante compilare con attenzione questi campi perché quando un *layer* viene distribuito tramite un servizio OGC, tali informazioni vengono rilevate dal *client* che le riceve con le opportune richieste (*requests*), ad esempio con la richiesta *WMS GetCapabilities*.



The screenshot shows a web interface for configuring a layer. At the top, the title is "SecureGeoStreet:Rischio\_geom". Below it, a subtitle reads "Configure the resource and publishing information for the current layer". There are four tabs: "Data", "Publishing" (which is selected), "Dimensions", and "Tile Caching". Under the "Publishing" tab, the section "Edit Layer" is visible, with a sub-section "Basic Resource Info". This section contains several fields: "Name" with the value "Rischio\_geom", two checked checkboxes labeled "Enabled" and "Advertised", "Title" with the value "Rischio\_geom", and "Abstract" with the value "Mappa del rischio geomorfologico".

Fig. 9.11 - Impostazioni preliminari per la pubblicazione di un layer.

È fondamentale spuntare le opzioni "Enabled" e "Advertised": la prima per rendere visibile il file all'esterno, cioè per pubblicarlo a tutti gli effetti; la seconda per decidere se il *layer* sarà visibile in modalità anteprima (*preview*), fondamentale se si decide di utilizzare le librerie di *OpenLayers*, che verranno chiarite in seguito.

### Coordinate Reference Systems

---

Native SRS  
 [EPSG:WGS 84...](#)

Declared SRS  
  [EPSG:WGS 84 / World Mercator...](#)

SRS handling  
 ▼

---

### Bounding Boxes

---

Native Bounding Box

Min X	Min Y	Max X	Max Y
15,1197287654702	37,6793589018852	15,1992418052652	37,7486794321102

[Compute from data](#)  
[Compute from SRS bounds](#)

Lat/Lon Bounding Box

Min X	Min Y	Max X	Max Y
15,1197287654702	37,6793589018852	15,1992418052652	37,7486794321102

[Compute from native bounds](#)

Fig. 9.12 - Definizione del sistema di riferimento e delle dimensioni del layer.

Nella seconda parte della scheda (Fig. 9.12) rimane poi da definire il sistema di riferimento (SRS, *Spatial Reference System*) del layer e le sue dimensioni in termini di coordinate piane o metriche (X, Y) e di coordinate geografiche (Lat, Long).

Quando un layer ingloba anche l'informazione sul suo sistema di riferimento e sul relativo codice EPSG (*Geodetic Parameter Dataset*), GeoServer lo riconosce automaticamente e lo indica nel campo "Native SRS"; in caso contrario è necessario specificare manualmente il sistema di riferimento, indicando il "Declared SRS" (sistema di riferimento dichiarato). Questa opzione è utile anche nel caso in cui si preferisca riproiettare il layer su un SRS diverso da quello che è stato rilevato.

Le opzioni riguardo "SRS Handling" servono invece a stabilire come GeoServer debba agire in merito agli SRS indicati e le scelte possibili sono tre: con "Force declared" viene usato sempre l'SRS dichiarato; con "Reproject native to declared" si riproietta il layer usando l'SRS dichiarato; con "Keep native" si utilizza l'SRS nativo. Per tutti i layers pubblicati si è scelta la prima opzione.

Per indicare invece le dimensioni (X, Y) del layer, a meno di esigenze particolari, come ad esempio far visualizzare solo una piccola porzione dell'intero layer, basta cliccare su "Compute from data" per il calcolo automatico delle dimensioni. Lo stesso vale per i limiti del layer in termini di coordinate (Lat, Long); cliccando su "Compute from



*native bounds*” queste verranno determinate automaticamente, sulla base dei limiti (X, Y) e ovviamente del SR del *layer*.

Per quanto riguarda lo stile di visualizzazione dei *layers* tramite servizi OGC, per far sì che questi siano rappresentati graficamente nella maniera più opportuna evidenziandone il contenuto (visualizzazione di etichette, usare simboli e/o colori diversi per ogni feature o per gruppi di feature, ecc.), si deve ricorrere a un *linguaggio di markup* specifico chiamato SLD (*Styled Layer Descriptor*), una specifica OGC per la vestizione di *raster e layers* vettoriali esplicitata in un documento XML.

Quando si configura un *layer* in *GeoServer*, è possibile stabilire quale file SLD usare per il suo stile; il file va editato manualmente e la sua sintassi non è sempre semplice da utilizzare, soprattutto quando si vogliono realizzare stili complessi e sofisticati.

La via più semplice è stata quindi quella di aprire ed editare lo stile dello *shapefile* tramite il *software Open Source QGIS* e poi sfruttare la funzionalità che permette il salvataggio in formato SLD (anche se a volte la compatibilità risulta carente e problematica).

La fase di gestione degli stili in *GeoServer* risulta poi molto semplice. È altresì possibile creare e mantenere diversi stili per uno stesso *layer*, scegliendo di visualizzare il file con un tematismo differente a seconda delle informazioni che si vogliono enfatizzare. La pagina *SLD cookbook* presente nella documentazione online di *GeoServer* raccoglie una serie di stili già pronti per l’uso (distinti per tipologia di *layer*: punti, linee, poligoni o *raster*) da cui iniziare per poi modificare il tutto tramite il *Text Editor* e creare il proprio stile personale.

Un’altra funzione utile è la *“Preview legend”*, essenziale per la visualizzazione in *preview* del tipo di rappresentazione grafica e delle eventuali classi/categorie definite nello stile.

Nella scheda *“Publishing”* è invece possibile scegliere quale stile usare di *default* e i vari stili alternativi, che verranno proposti dal *server* come ulteriori opzioni di rappresentazione. Inoltre la stessa scheda è utilizzata per poter abilitare i vari *layers* ai diversi servizi disponibili, ad esempio pubblicarli come WMS e WFS ecc.

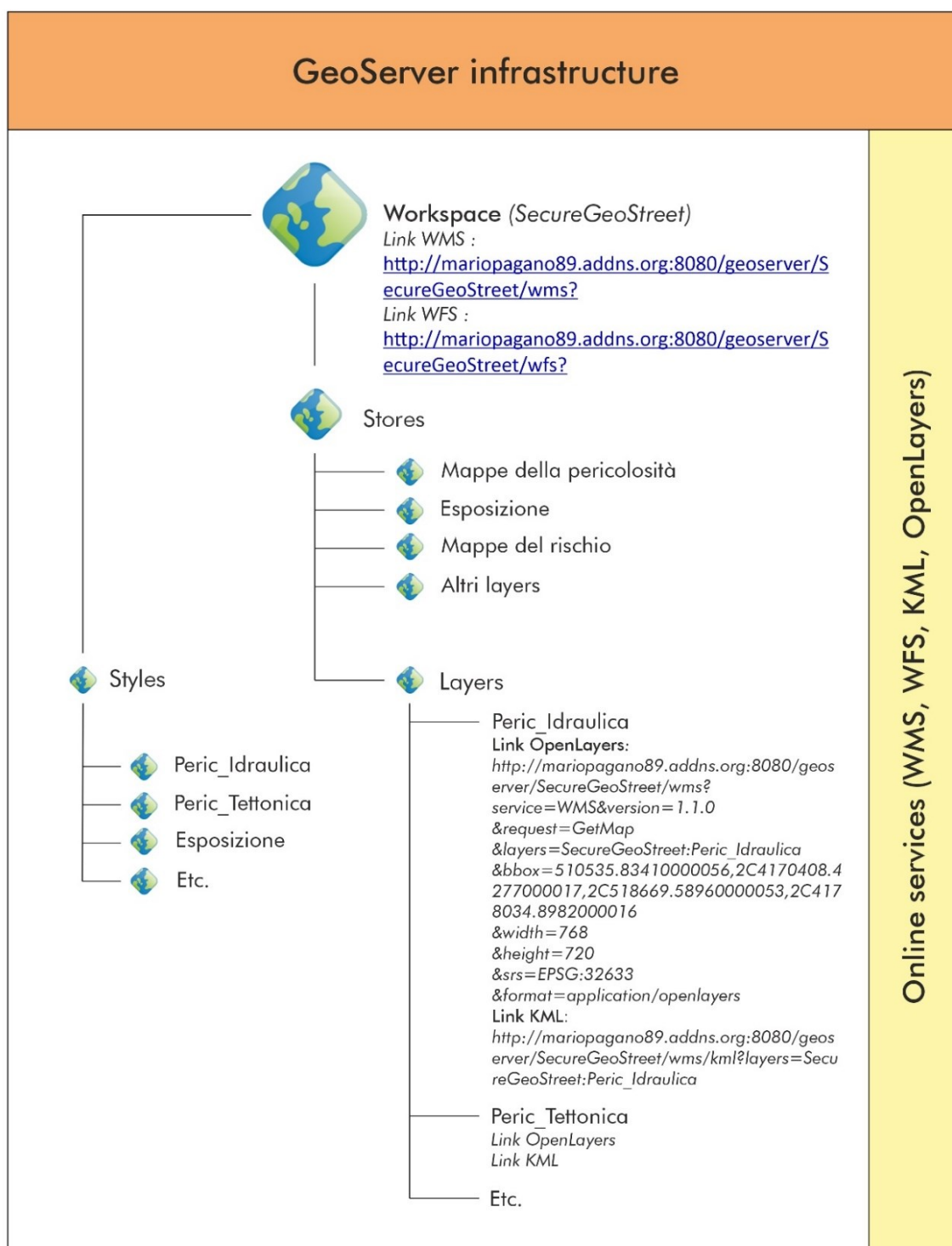


Fig. 9.13 - Design dell'infrastruttura GeoServer con le modalità di immagazzinamento dei dati all'interno dei vari contenitori.

I vari *layers* resi disponibili attraverso *GeoServer* sono stati immagazzinati all'interno dei vari contenitori (*Workspaces*, *Stores*, ecc.) con le modalità descritte in Fig. 9.13.

Tutti i file fanno parte dello stesso *Workspace* chiamato “SecureGeoStreet”, a cui si può accedere tramite due link diversi in base al protocollo che si vuole utilizzare (WMS o WFS) per visualizzarli. I diversi *Stores* sono serviti invece a suddividere i *layers* in base al tematismo: ogni *Store* contiene mappe di una determinata categoria (*Store* con i *layers* di pericolosità, *Store* con i *layers* di esposizione, ecc.).

Per ogni *layer* caricato è disponibile un’anteprima rapida visualizzabile direttamente da *browser* grazie alle librerie di *OpenLayers* e un link al file KML corrispondente, utili alla visualizzazione su altri *software*, come ad esempio *Google Earth*.

I file di stile, in formato .SLD, vengono caricati parallelamente e associati al *layer* corrispondente per fare in modo che la visualizzazione in formato WMS avvenga con una rappresentazione grafica definita a monte e non in maniera arbitraria con un simbolo e un colore singolo.

#### 9.4 Sistemi client per la visualizzazione dei layers caricati su GeoServer

Una volta creata l’infrastruttura di rete *lato server* attraverso *GeoServer*, utile a ospitare tutti i file necessari alla visualizzazione delle diverse mappe di esposizione, pericolosità e rischio, non manca altro che un modo per visualizzare queste informazioni sui diversi dispositivi a disposizione dell’utente.

In questo senso, è stato deciso di rendere fruibili i vari tematismi a diversi tipi di utenti, assumendo che questi possano avere competenze diversificate e approcci diversi verso il prodotto finale. A seconda delle necessità, anche all’interno di una stessa azienda o ufficio comunale, può risultare infatti utile visualizzare le mappe non soltanto in ufficio ma anche in mobilità, come ad esempio nel caso di un rilevamento di campagna o un sopralluogo diretto. Allo stesso modo, il livello di competenza con determinati *software* complessi come *ArcGIS* e *QGIS* può essere diverso per i vari utenti, rendendo indispensabile avere delle alternative più immediate come la visualizzazione dei *layers* da *browser* o attraverso un’app *Android*.

*Lato client*, quindi, si può ricorrere alle seguenti soluzioni:

- Visualizzazione rapida delle anteprime dei *layers* attraverso l’utilizzo della libreria di *scripting OpenLayers*, sfruttando un qualsiasi *browser* da dispositivi sia

---

mobili che fissi (da smartphone o pc) tramite condivisione di un semplice link (Par. 9.4.1);

- Sviluppo di mappe interattive con le librerie di *scripting Leaflet.JS* all'interno di pagine HTML, ai fini della visualizzazione all'interno di una pagina web (Par. 9.4.2);
- *Layers* in formato KML per la visualizzazione su *Google Earth* (Par. 9.4.3);
- Utilizzo dei servizi OGC (WMS e WFS) su *software* GIS per un utilizzo esperto (Par. 9.4.4);
- Sviluppo di un'*app Android* in linguaggio *Java* con il *software Android Studio* (Par. 9.4.5).

#### 9.4.1 OpenLayers

*GeoServer* è dotato di una funzionalità di *preview* che ci permette di vedere come il *layer* verrà distribuito sulla rete. Per effettuare la *preview* del *layer*, il sistema propone diverse alternative, tra cui: i formati *GeoTIFF*, *OpenLayers*, KML, PDF per i servizi WMS; i formati CSV, KML, *Shapefile*, *GeoJSON* per i servizi WFS.

Quasi tutti questi formati producono un file di testo o XML (che rappresenta il *layer*) che può essere scaricato o, in alcuni casi, visualizzato sul *browser*; quello che permette di riprodurre un *output* grafico del *layer* direttamente sul nostro *browser* è sicuramente *OpenLayers*, una libreria *JavaScript* per visualizzare mappe interattive nei *browser* web e quindi da considerarsi, a tutti gli effetti, un *WebGIS*. È un *software* libero e rilasciato con licenza *opensource* e si interfaccia con diversi *software* e servizi tra cui *OpenStreetMap*, *Google Maps* e il sopracitato *GeoServer*.

Mentre *GeoServer* è solo un fornitore di servizi OGC (WMS, WCS, WFS, ecc.) e non prevede un sistema integrato per generare delle pagine web, gli applicativi come *OpenLayers* sono detti *Web Client*, in quanto permettono la visualizzazione e la fruizione di dati geospaziali resi disponibili da altri, forniti da un *Map Server* (come *GeoServer*) o da un'altra fonte di dati spaziali.

*OpenLayers* (Gratier et al., 2015) è nativamente integrato all'interno di *GeoServer* per ottenere in modo semplice delle anteprime dei *layers* e degli stili immagazzinati al suo interno ma, conoscendo il linguaggio adeguato utile ad effettuare la richiesta al *server*, è possibile visualizzare i *layers* anche senza passare dall'account *GeoServer* e

dalla sua pagina di amministrazione, con l'utilizzo di un semplice *browser* Internet, da pc o da mobile, tramite una richiesta di tipo *GetMap*.

Le richieste che possono essere inviate al *server* tramite *browser* sono principalmente di quattro tipi e prendono il nome di: *GetCapabilities*, *GetMap*, *GetFeatureInfo* e *GetLegendGraphics*. I link sono strutturati secondo uno specifico linguaggio e sono direttamente utilizzabili in qualsiasi *browser* Internet per ottenere la risposta alla richiesta effettuata. Questo implica che possono essere sfruttati non solo con *browser* da PC fisso ma utilizzando anche i *browser* degli smartphone o quelli di altri dispositivi come Smart TV, Tablet e console per videogiochi.

#### 9.4.1.1 La richiesta *GetCapabilities*

La richiesta *GetCapabilities* fornisce le seguenti informazioni riguardo un servizio WMS:

- Informazioni sul proprietario del *server* (nome, organizzazione, numero di telefono, indirizzo email, ecc.);
- Formati *raster* che il servizio WMS supporta (ad es. Jpeg, png, gif, ecc.);
- Elenco dei sistemi di riferimento disponibili per la restituzione dei dati spaziali;
- Lista dei *layers* disponibili all'interno del servizio;
- Lista degli stili disponibili per ogni *layer* del servizio;
- Lista dei *layers* all'interno del servizio che supportano la richiesta *GetFeatureInfo*;
- Altre funzionalità supportate.

La risposta a questo tipo di chiamata è un documento XML, di norma abbastanza lungo, che elenca tutti i metadati riguardo il *server*, comprese le informazioni sopra elencate.

I parametri che possono essere utilizzati per effettuare la chiamata (componendo il link all'interno della barra dell'indirizzo) sono elencati in Fig. 9.14.

Request Parameter	Required/Optional	Description
VERSION=version	O	Request version. Valid values are 1.0.0, 1.1.0, and 1.1.1.
REQUEST=GetCapabilities	R	Request name.
SERVICE=WMS	R	Service type. "WMS" is the only valid value.
SERVICENAME (vendor specific)	O	By default, the capabilities of the default WMS service is queried. If you want to use a non-default service, the service name must be included in the URL.

Fig. 9.14 – Parametri utilizzabili per la composizione della richiesta *GetCapabilities*.

Solo due di questi parametri sono indispensabili per effettuare la richiesta, mentre gli altri due sono opzionali. L'esempio sottostante utilizza il numero minimo di parametri possibile per effettuare la richiesta *GetCapabilities*, sfruttando il servizio WMS personale ospitato su *GeoServer*:

<http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&request=GetCapabilities>

dove:

- “<http://mariopagano89.addns.org>” è il nome completo dell'*hostname* che punta direttamente all'indirizzo IP del PC che ospita i file;
- “8080” è il numero della porta tramite cui opera *GeoServer*;
- “Geoserver” è il nome del servizio di *Map Server* utilizzato;
- “WMS” è il nome del protocollo OGC a cui si fa riferimento;
- “SecureGeoStreet” è il nome del *Workspace* di cui si richiedono le informazioni;
- “service=WMS” e “request=GetCapabilities” sono i parametri necessari per ottenere in risposta il file XML con le informazioni desiderate.

Il documento XML generato in risposta alla richiesta formulata ha un aspetto di questo tipo (Fig. 9.15 e Fig. 9.16):

```

This XML file does not appear to have any style information associated with it. The document tree is shown below.
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" style="display:none" />
<wms:Capabilities xmlns:wms="http://www.opengis.net/wms" xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" version="1.3.0" updateSequence="786" xsi:schemaLocation="http://www.opengis.net/wms http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/schemas/wms/1.3.0/capabilities_1_3_0.xsd">
  <Service>
    <Name>WMS</Name>
    <Title>GeoServer Web Map Service</Title>
    <Abstract>A compliant implementation of WMS plus most of the SLD extension (dynamic styling). Can also generate PDF, SVG, KML, GeoRSS</Abstract>
    <KeywordList>
      <Keyword>WFS</Keyword>
      <Keyword>WMS</Keyword>
      <Keyword>GEOSERVER</Keyword>
    </KeywordList>
    <OnlineResource xlink:type="simple" xlink:href="http://geoserver.org"/>
  </Service>
  <ContactInformation>
    <ContactPersonPrimary>
      <ContactPerson>Mario Pagano</ContactPerson>
      <ContactOrganization>University of Catania</ContactOrganization>
    </ContactPersonPrimary>
    <ContactPosition>Ph.D. Student</ContactPosition>
    <ContactAddress>
      <AddressType>Work</AddressType>
      <Address>Conso Italia, 57</Address>
      <City>Catania</City>
      <StateOrProvince>Italia</StateOrProvince>
      <PostCode>95128</PostCode>
      <Country>Italy</Country>
    </ContactAddress>
    <ContactVoiceTelephone>3400088795</ContactVoiceTelephone>
    <ContactFacsimileTelephone></ContactFacsimileTelephone>
    <ContactElectronicMailAddress>mariopagano89@gmail.com</ContactElectronicMailAddress>
  </ContactInformation>
</wms:Capabilities>

```

Fig. 9.15 - Informazioni di contatto nel documento XML ottenuto dalla chiamata GetCapabilities.

```

<northBoundLatitude>37.74871665476927</northBoundLatitude>
<EX_GeographicBoundingBox>
  <BoundingBox CRS="CRS:84" minx="15.11927125501484" miny="37.67994402878687" maxx="15.199371718479151" maxy="37.74871665476927"/>
  <BoundingBox CRS="EPSG:32633" minx="518517.031057515" miny="4170323.7744124904" maxx="517563.8981575161" maxy="4177941.9150124905"/>
</EX_GeographicBoundingBox>
<Style>
  <Name>SecureGeoStreet:Esposizione_edifici</Name>
  <Title>SecureGeoStreet:Esposizione_edifici</Title>
  <LegendURL width="32" height="100">
    <Format>image/png</Format>
    <OnlineResource xlink:href="http://www.w3.org/1999/xlink" xlink:type="simple" xlink:href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/ows?service=WMS&request=GetLegendGraphic&format=image%2Fpng&width=20&height=20&layer=Esposizione_edifici"/>
  </LegendURL>
</Style>
</Layer>
<Layer queryable="1" opaque="0">
  <Name>Esposizione_strade</Name>
  <Title>Mappa dell'esposizione della rete stradale</Title>
  <Abstract>Mappa dell'esposizione della rete viaria creata sulla base di due diversi modelli, complementari tra loro e con due differenti funzioni: il primo, basato su uno studio dettagliato dei punti di interesse presenti nel comune, si ispira ai modelli basati sulle matrici origine-destinazione (matrici O/D) e costituisce la mappa dell'esposizione vera e propria; il secondo, basato sui dati tipici disponibili su Google Traffic, serve da validazione per il modello precedente e per l'aggiunta di un parametro relativo alla variabilità del flusso nei vari giorni della settimana.</Abstract>
  <KeywordList>
    <Keyword>features</Keyword>
    <Keyword>Esposizione_strade</Keyword>
  </KeywordList>
  <CRS>EPSG:32633</CRS>
  <CRS>CRS:84</CRS>
  <EX_GeographicBoundingBox>
    <westBoundLongitude>15.118300602279318</westBoundLongitude>
    <eastBoundLongitude>15.200734407376265</eastBoundLongitude>
    <southBoundLatitude>37.67952786820853</southBoundLatitude>
    <northBoundLatitude>37.74839080804137</northBoundLatitude>
  </EX_GeographicBoundingBox>
  <BoundingBox CRS="CRS:84" minx="15.118300602279318" miny="37.67952786820853" maxx="15.200734407376265" maxy="37.74839080804137"/>
  <BoundingBox CRS="EPSG:32633" minx="518431.4993000013" miny="4170277.776159113" maxx="517684.02436823305" maxy="4177905.654452622"/>
</BoundingBox>
<Style>
  <Name>SecureGeoStreet:Grado di esposizione</Name>
  <Title>SecureGeoStreet:Grado di esposizione</Title>
  <LegendURL width="52" height="80">
    <Format>image/png</Format>
    <OnlineResource xlink:href="http://www.w3.org/1999/xlink" xlink:type="simple" xlink:href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/ows?service=WMS&request=GetLegendGraphic&format=image%2Fpng&width=20&height=20&layer=Esposizione_strade"/>
  </LegendURL>
</Style>
</Layer>
<Style>
  <Name>SecureGeoStreet:Indice di variabilità del flusso (%)</Name>
  <Title>SecureGeoStreet:Indice di variabilità del flusso (%)</Title>
</Style>

```

Fig. 9.16 - Informazioni su layers e stili disponibili nel documento XML derivante dalla chiamata GetCapabilities.

#### 9.4.1.2 La richiesta GetMap

La richiesta *GetMap* è più complessa e permette di ottenere una mappa specificando nella chiamata i seguenti parametri (alcuni opzionali e altri obbligatori - Fig. 9.17):

Request Parameter	Required/Optional	Description
REQUEST=GetMap	R	Request name.
VERSION=version	R	Request version. Valid values are 1.0.0, 1.1.0, or 1.1.1.
LAYERS=layer_list	R	Comma-separated list of one or more map layers. Values in list correspond to the layer <Name> values in the Capabilities file. Optional if SLD parameter is present in request.
SRS=EPSG:id_code	R	Spatial Reference System (SRS) identifier the map is returned in. Identifiers correspond to coordinate system ID codes found in the <i>ArcXML Programmer's Reference Guide</i> .
BBOX=minx,miny,maxx,maxy	R	Bounding box corners (lower left, upper right). Values must be in units of the specified SRS.
WIDTH=output_width	R	Width in pixels of resulting map image.
HEIGHT=output_height	R	Height in pixels of resulting map image.
STYLES=style_list	R	Comma-separated list of one rendering style per layer. Use null value for default rendering (STYLES=&), or use style name from GetCapabilities response or SLD document, if applicable. Optional if SLD parameter is present.
FORMAT=output_format	R	Output format of map. Valid values are image/jpeg, image/png, and image/gif. Note: png represents png-8 bit or png-24 bit format depending on the selection made in the <i>WMS Connector Administrator</i> . If you plan to use transparency, you must select png or gif formats. Jpeg does not support transparency.
BGCOLOR=color_value	O	Hexidecimal red-blue-green color value for the map's background color. Default is 0xFFFFFF (white).
TRANSPARENT=TRUE   FALSE	O	Map's background transparency. Default is FALSE.
SLD=sld_url	O	URL of a styled layer descriptor file. See the WMS specification documentation for details.
EXCEPTIONS=exception_format	O	The format in which exceptions are reported. The default is application/vnd.ogc.se_xml. Other valid formats are application/vnd.ogc.inimage and application/vnd.ogc.se_blank.
REASPECT=TRUE   FALSE (Vendor Specific)	O	Used if clients want to reaspect the BBOX. The default is based on the selection made in the <i>WMS Connector Administrator</i> .
SERVICENAME=service_name (vendor specific)	O	By default, the capabilities of the default WMS service is queried. If you want to use a non-default service, the service name must be included in the URL.

Fig. 9.17 - Parametri utilizzabili per la composizione della richiesta GetMap (da [https://help.arcgis.com/en/arcims/10.0/mainhelp/mergedProjects/wms\\_connect/wms\\_connector/get\\_map.htm](https://help.arcgis.com/en/arcims/10.0/mainhelp/mergedProjects/wms_connect/wms_connector/get_map.htm)).

Nell'esempio sottostante vi è il link completo con una richiesta per ottenere la visualizzazione in anteprima del *layer* "Esposizione strade" del comune di Giarre (Fig. 9.18) che risiede all'interno del *Workspace* "SecureGeoStreet", che mostra tutti le possibili transizioni dal movimento in orbita ascendente e quello in orbita discendente.

[http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&version=1.1.0&request=GetMap&layers=SecureGeoStreet:Esposizione\\_strade&bbox=510431.4993000013,4170277.770159113,517684.02436823305,4177905.654452622&width=730&height=768&transparent:false&srs=EPSG:32633&format=image/gif&format=application/openlayers](http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&version=1.1.0&request=GetMap&layers=SecureGeoStreet:Esposizione_strade&bbox=510431.4993000013,4170277.770159113,517684.02436823305,4177905.654452622&width=730&height=768&transparent:false&srs=EPSG:32633&format=image/gif&format=application/openlayers)

In questo caso la richiesta è così composta:

- <http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/Securegeostreet/wms?> è l'indirizzo completo per connettersi a quel determinato servizio WMS che risiede su quello specifico *server*;
- "service=WMS" è il nome del protocollo OGC a cui si fa riferimento;
- "version=1.1.0" è la versione della richiesta (valori disponibili: 1.0.0, 1.1.0, 1.1.1);
- "request=GetMap" è il tipo di richiesta, che in questo caso permette di generare un'anteprima della mappa;
- "layers=SecureGeoStreet:Esposizione\_strade" indica il *layer* che si vuole visualizzare all'interno della mappa e il *Workspace* di appartenenza. È possibile visualizzare *layers* multipli aggiungendo la virgola e il riferimento all'altro *layer*



---

scelto (Es: layers=SecureGeoStreet:Esposizione\_strade, SecureGeoStreet:Esposizione\_edifici);

- “bbox=510431.4993000013,4170277.770159113,517684.02436823305,417790 5.654452622” sono le coordinate degli angoli in basso a sinistra e in alto a destra della *Bounding box*, ovvero il contenitore della mappa e dei *layers* che verranno visualizzati;
- “width=730&height=768” sono l’altezza e la larghezza in pixel dell’immagine richiesta;
- “format:image/gif” è il formato di *output* del *raster* che verrà visualizzato (i formati disponibili sono selezionabili per singolo *layer* nella pagina di amministrazione di *GeoServer*). I formati standard sono jpeg, png e gif (image/jpeg, image/png, and image/gif) ma il formato jpeg non supporta la trasparenza;
- “transparent:false” indica che il *layer* verrà visualizzato senza trasparenza;
- “srs=EPSG:32633” è il sistema di riferimento con cui verrà visualizzata la mappa. Il sistema di riferimento è opzionale e se non specificato verrà utilizzato il sistema di riferimento nativo del *layer*. Indicando un sistema di riferimento diverso nella richiesta rispetto a quello nativo del *layer* è possibile eseguire un cambio di proiezione al volo;
- “format=application/openlayers” indica che la mappa verrà visualizzata tramite l’utilizzo delle librerie di *OpenLayers*.



Fig. 9.18 - Anteprima OpenLayers visualizzata su browser Google Chrome in risposta alla richiesta GetMap elencata precedentemente.

Nella parte superiore è possibile scegliere tra diverse impostazioni, tra cui il formato di *output* e lo stile da utilizzare per la visualizzazione del *layer* tra quelli impostati all'interno di *GeoServer*. Ad esempio, il *layer* sul rischio totale nelle strade possiede tre differenti stili, in funzione del metodo utilizzato per la suddivisione in categorie di rischio, che sono tutti selezionabili dal menu a tendina (Fig. 9.19).

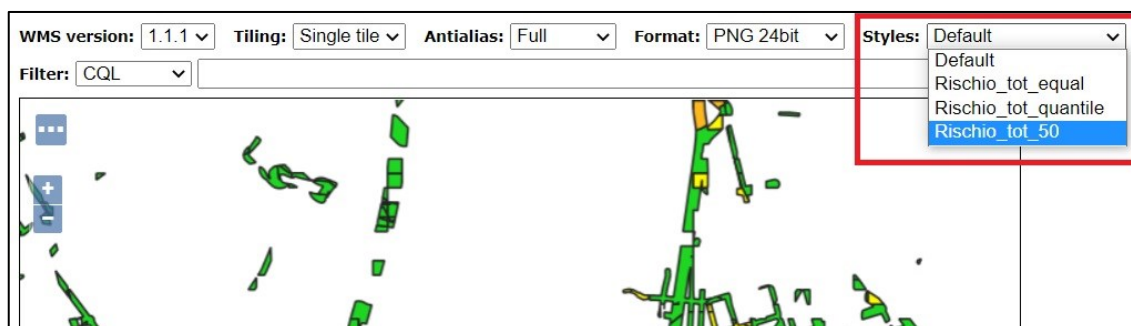


Fig. 9.19 - Menu di selezione degli stili a disposizione per la visualizzazione dell'anteprima OpenLayers.

Tramite *OpenLayers* è anche possibile richiedere informazioni al *server* che possono essere restituite in formato testuale semplicemente cliccando su un pixel del

layer che compare sulla mappa. Verranno così visualizzati tutti gli attributi disponibili per quel *layer* organizzati in formato tabellare, così come verrebbero visualizzati su un *software* GIS (Fig. 9.20).

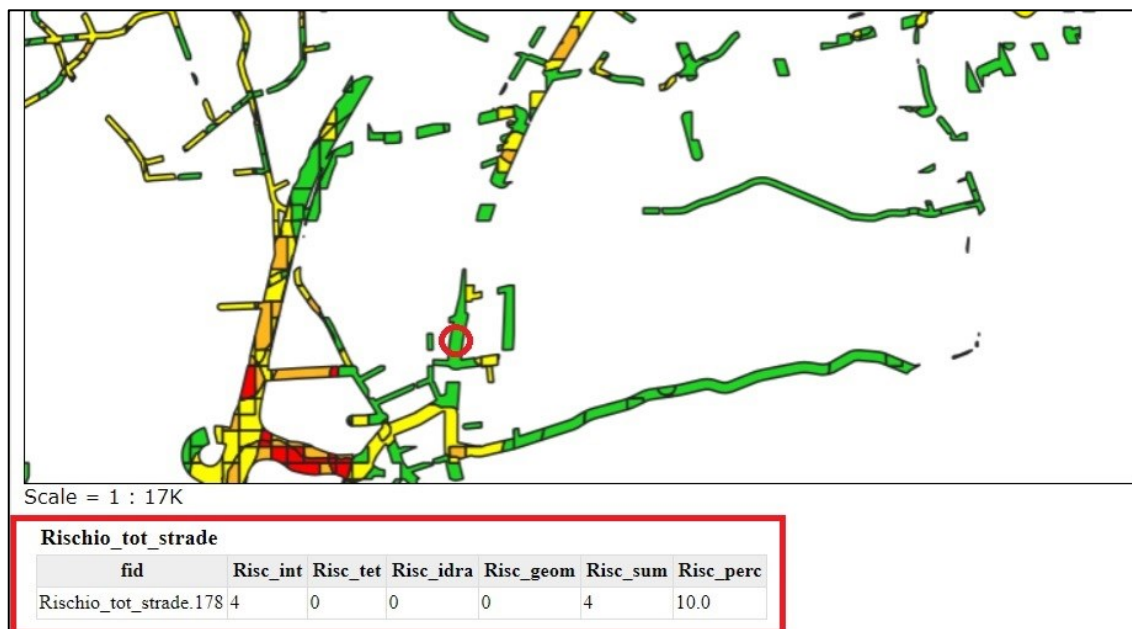


Fig. 9.20 - Richiesta delle informazioni tabellari per un determinato punto della mappa.

*OpenLayers* non fa altro che trasformare il click del mouse (o il tocco con il dito nel caso di uno schermo touch in mobilità) in una richiesta di tipo *GetFeatureInfo*, eseguita tramite *JavaScript*. La chiamata restituisce un documento HTML che viene integrato nella pagina web e visualizzata attraverso un *template* HTML di tipo tabellare.

La richiesta *GetFeatureInfo* può essere effettuata anche al di fuori della *layer preview*, come spiegato nel paragrafo successivo.

Inoltre, sfruttando lo spazio apposito denominato CQL, è anche possibile effettuare delle *query* per attributi (interrogazioni) sul *layer* visualizzato, indicando ad esempio al *server* di visualizzare solo le *features* (o gruppi di pixel nel caso di servizi WMS) che rispettano determinati attributi.

CQL (*Common Query Language*) è un linguaggio per le *query* ideato da OGC esclusivamente per i servizi web. La sintassi è differente da quella del linguaggio SQL utilizzato per le *query* spaziali e per attributi disponibili su *ArcGIS* e anche dal linguaggio XML, decisamente più complesso e meno *user-friendly*.

Uno dei metodi più semplici per filtrare i dati è la comparazione aritmetica di un campo con un dato numero, utilizzando gli operatori =, <>, >, >=, <, <=. È anche possibile

utilizzare l'operatore "BETWEEN" per indicare un certo intervallo all'interno del quale devono rientrare i valori che si vogliono visualizzare. Gli operatori appena descritti, denominati "comparatori" funzionano anche con attributi di tipo testuale.

Ad esempio, nella mappa finale del rischio, è possibile filtrare i risultati scrivendo nello spazio apposito la stringa "Risc\_perc>20"; in questo modo verranno visualizzati solo i poligoni che hanno una pericolosità in % maggiore di 20 all'interno del campo "Risc\_perc" della tabella attribuiti dello *shapefile* iniziale (Fig. 9.21).



Fig. 9.21 - Applicazione di un filtro CQL all'interno della pagina di anterpima OpenLayers.

Altri filtri di comparazione utilizzano invece l'operatore "LIKE". Si possono ad esempio filtrare tutti i pixel o gli oggetti in funzione della lettera iniziale in un determinato campo con una stringa di questo tipo "campo LIKE 'S%'" oppure selezionare tutti i pixel o gli oggetti che contengono una lettera o un gruppo di lettere all'interno di un campo utilizzando una stringa così composta "campo LIKE '%S%'"

Conoscendo i *layers* disponibili all'interno di un *Workspace*, se ne può richiedere facilmente una rapida visualizzazione cambiando il nome del *layer* all'interno del link di richiesta *GetMap*.

In Tab. 9.1 sono elencati tutti i link *OpenLayers* completi di tutti i parametri necessari (richiesta *GetMap*) che permettono di visualizzare su un qualsiasi *browser* Internet le anteprime dei *layers* caricati su *GeoServer*:

LAYER	STORE	WORKSPACE	RICHIESTA GETMAP (LINK OPENLAYERS)
Mappa della pericolosità idraulica	Pericolosità	SecureGeoStreet	<a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3APeric_Idraulica&amp;bbox=510535.83410000056%2C4170408.4277000017%2C518669.58960000053%2C4178034.8982000016&amp;width=768&amp;height=720&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/openlayers">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3APeric_Idraulica&amp;bbox=510535.83410000056%2C4170408.4277000017%2C518669.58960000053%2C4178034.8982000016&amp;width=768&amp;height=720&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/openlayers</a>
Mappa della pericolosità tettonica	Pericolosità	SecureGeoStreet	<a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3APeric_Tettonica&amp;bbox=511543.3413000031%2C4170201.1655999995%2C516023.9767000015%2C4177659.4038000014&amp;width=461&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/openlayers">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3APeric_Tettonica&amp;bbox=511543.3413000031%2C4170201.1655999995%2C516023.9767000015%2C4177659.4038000014&amp;width=461&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/openlayers</a>
Mappa della pericolosità geomorfologica	Pericolosità	SecureGeoStreet	<a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3APeric_Geomorfologica&amp;bbox=511153.8353657522%2C4170614.7910367153%2C516215.6532999998%2C4177588.864916675&amp;width=557&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/openlayers">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3APeric_Geomorfologica&amp;bbox=511153.8353657522%2C4170614.7910367153%2C516215.6532999998%2C4177588.864916675&amp;width=557&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/openlayers</a>

<p>Mappa della pericolosità da dati interferometrici</p>	<p>Pericolosità</p>	<p>SecureGeoStreet</p>	<p><a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3APeric_interferometrica&amp;bbox=510521.79606223386%2C4170272.621780146%2C517419.6437253335%2C4177922.484604623&amp;width=692&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/openlayers">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3APeric_interferometrica&amp;bbox=510521.79606223386%2C4170272.621780146%2C517419.6437253335%2C4177922.484604623&amp;width=692&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/openlayers</a></p>
<p>Mappa della pericolosità totale</p>	<p>Pericolosità</p>	<p>SecureGeoStreet</p>	<p><a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3APeric_Totale&amp;bbox=510521.79606223389%2C4170277.7700918457%2C517684.2985000277%2C4177905.6544386665&amp;width=721&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/openlayers">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3APeric_Totale&amp;bbox=510521.79606223389%2C4170277.7700918457%2C517684.2985000277%2C4177905.6544386665&amp;width=721&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/openlayers</a></p>
<p>Mappa dell'esposizione delle strade</p> <p>(due stili disponibili: grado di esposizione e indice di variabilità del flusso)</p>	<p>Esposizione</p>	<p>SecureGeoStreet</p>	<p><a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3AEsposizione_strade&amp;bbox=510431.4993000013%2C4170277.770159113%2C517684.02436823305%2C4177905.654452622&amp;width=730&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/openlayers">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3AEsposizione_strade&amp;bbox=510431.4993000013%2C4170277.770159113%2C517684.02436823305%2C4177905.654452622&amp;width=730&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/openlayers</a></p>
<p>Mappa dell'esposizione degli edifici</p>	<p>Esposizione</p>	<p>SecureGeoStreet</p>	<p><a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3AEsposizione_edifici&amp;bbox=510517.031057515%2C4170323.7744124904%2C517563.8981575161%2C4177941.9150124905&amp;width=710&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/openlayers">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3AEsposizione_edifici&amp;bbox=510517.031057515%2C4170323.7744124904%2C517563.8981575161%2C4177941.9150124905&amp;width=710&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/openlayers</a></p>

Mappa del rischio idraulico	Rischio	SecureGeoStreet	<a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3ARischio_idra&amp;bbox=510556.2365999996%2C4170427.9723000005%2C517684.02436823264%2C4177888.653800003&amp;width=733&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/ogc%3Aimage/png">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3ARischio_idra&amp;bbox=510556.2365999996%2C4170427.9723000005%2C517684.02436823264%2C4177888.653800003&amp;width=733&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/ogc%3Aimage/png</a>
Mappa del rischio tettonico	Rischio	SecureGeoStreet	<a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3ARischio_tet&amp;bbox=511928.3209665503%2C4170532.1067927093%2C515749.32596647716%2C4176812.8841071134&amp;width=467&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/ogc%3Aimage/png">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3ARischio_tet&amp;bbox=511928.3209665503%2C4170532.1067927093%2C515749.32596647716%2C4176812.8841071134&amp;width=467&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/ogc%3Aimage/png</a>
Mappa del rischio geomorfologico	Rischio	SecureGeoStreet	<a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3ARischio_geom&amp;bbox=511165.6271789198%2C4171040.205722266%2C516215.6532999998%2C4177492.3344449433&amp;width=601&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/ogc%3Aimage/png">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3ARischio_geom&amp;bbox=511165.6271789198%2C4171040.205722266%2C516215.6532999998%2C4177492.3344449433&amp;width=601&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/ogc%3Aimage/png</a>
Mappa del rischio da dati interferometrici	Rischio	SecureGeoStreet	<a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3ARischio_inter&amp;bbox=510521.7960707402%2C4170277.770115965%2C517418.30195304984%2C4177905.6544538434&amp;width=694&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/ogc%3Aimage/png">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3ARischio_inter&amp;bbox=510521.7960707402%2C4170277.770115965%2C517418.30195304984%2C4177905.6544538434&amp;width=694&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/ogc%3Aimage/png</a>

Mappa del rischio totale – Edifici (tre stili)	Rischio	SecureGeoStreet	<a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3ARischio_tot_edifici&amp;bbox=510510.9208000006%2C4170327.1689999998%2C517550.944200001%2C4177896.4346000017&amp;width=714&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/openlayers">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3ARischio_tot_edifici&amp;bbox=510510.9208000006%2C4170327.1689999998%2C517550.944200001%2C4177896.4346000017&amp;width=714&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/openlayers</a>
Mappa del rischio totale – Strade (tre stili)	Rischio	SecureGeoStreet	<a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3ARischio_tot_strade&amp;bbox=510521.79607073823%2C4170277.7701159623%2C517684.0243682344%2C4177905.654453841&amp;width=721&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/openlayers">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?service=WMS&amp;version=1.1.0&amp;request=GetMap&amp;layers=SecureGeoStreet%3ARischio_tot_strade&amp;bbox=510521.79607073823%2C4170277.7701159623%2C517684.0243682344%2C4177905.654453841&amp;width=721&amp;height=768&amp;srs=EPSG%3A32633&amp;format=application/openlayers</a>

Tab. 9.1 - Link OpenLayers con richiesta GetMap per la visualizzazione rapida delle anteprime di tutte le mappe di pericolosità, esposizione e rischio create nell'ambito del lavoro.

#### 9.4.1.3 La richiesta GetFeatureInfo

Tramite questa richiesta, effettuata al di fuori della *layer preview*, è possibile richiedere informazioni al server indicando semplicemente le coordinate del pixel di cui si vuole ottenere l'informazione all'interno della mappa. L'*output* può essere fornito in vari formati, tra cui HTML, testo o GML (*Geographic Markup Language*, una forma di XML dedicata al linguaggio di tipo geografico).

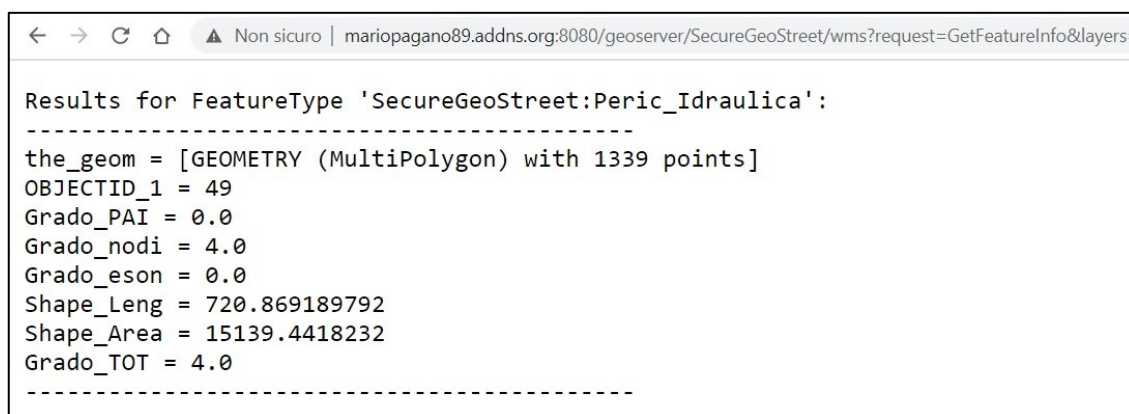
Di seguito il link per richiedere le informazioni riguardo un determinato pixel (con coordinate  $x=170$  e  $y=160$ ) del *layer* "Mappa della pericolosità idraulica", che si trova all'interno del *Workspace* "SecureGeoStreet" e dello *Store* "Mappe di pericolosità".

[http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?request=GetFeatureInfo&layers=SecureGeoStreet:Peric\\_Idraulica&exceptions=application/vnd.ogc.se\\_inimage&bbox=514979.7344545797,4174690.3025357923,515461.70305163314,4175172.271132846&width=101&height=101&format:image/gif&transparent:true&info\\_format=text/plain&query\\_layers=SecureGeoStreet:Peric\\_Idraulica&x=50&y=50](http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?request=GetFeatureInfo&layers=SecureGeoStreet:Peric_Idraulica&exceptions=application/vnd.ogc.se_inimage&bbox=514979.7344545797,4174690.3025357923,515461.70305163314,4175172.271132846&width=101&height=101&format:image/gif&transparent:true&info_format=text/plain&query_layers=SecureGeoStreet:Peric_Idraulica&x=50&y=50)



I nuovi parametri aggiunti in questo tipo di richiesta, che si aggiungono a quelli presenti nella richiesta *GetMap*, sono:

- “info\_format=text/plain” che indica in quale formato si desiderano le informazioni richieste;
- “query\_layers= SecureGeoStreet:Peric\_Idraulica” indica quale *layer* deve essere interrogato e deve fornire informazioni;
- “x=50&y=50” (oppure I&J) sono le coordinate del pixel dell’immagine di cui si vogliono ottenere informazioni.
- “Width”, “Height”, “BBOX” si riferiscono questa volta alla porzione di immagine che si sta interrogando.



```

← → ↻ 🏠 Non sicuro | mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?request=GetFeatureInfo&layers=
Results for FeatureType 'SecureGeoStreet:Peric_Idraulica':
-----
the_geom = [GEOMETRY (MultiPolygon) with 1339 points]
OBJECTID_1 = 49
Grado_PAI = 0.0
Grado_nodi = 4.0
Grado_eson = 0.0
Shape_Leng = 720.869189792
Shape_Area = 15139.4418232
Grado_TOT = 4.0
-----

```

Fig. 9.22 - Risultato della richiesta *GetFeatureInfo* manuale.

#### 9.4.1.4 [La richiesta GetLegendGraphics](#)

Questa richiesta, invece, permette di ottenere in risposta dal *server* una legenda in formato *raster* di un determinato *layer* ([https://docs.geoserver.org/latest/en/user/services/wms/get\\_legend\\_graphic/index.html](https://docs.geoserver.org/latest/en/user/services/wms/get_legend_graphic/index.html)).

In basso vi è l’esempio di un link per richiedere la legenda del *layer* “Rischio\_tot\_strade”, ubicato all’interno del *Workspace* “SecureGeoStreet”, relativo allo stile “Rischio\_tot\_quantile”:

[http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/wms?REQUEST=GetLegendGraphic&VERSION=1.0.0&FORMAT=image/png&WIDTH=50&HEIGHT=50&LAYER=SecureGeoStreet:Rischio\\_tot\\_strade&STYLES=Rischio\\_tot\\_quantile](http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/wms?REQUEST=GetLegendGraphic&VERSION=1.0.0&FORMAT=image/png&WIDTH=50&HEIGHT=50&LAYER=SecureGeoStreet:Rischio_tot_strade&STYLES=Rischio_tot_quantile)

In questo caso, i parametri inseriti per effettuare la richiesta della legenda in maniera corretta sono:

- “REQUEST=GetLegendGraphic” indica il tipo di richiesta effettuata al *server*;
- “FORMAT=image/png” indica in quale formato *raster* si desidera ottenere la legenda (in questo caso .png);
- “LAYER=SecureGeoStreet:Rischio\_tot\_strade” indica di quale *layer* si desidera ottenere la legenda;
- “STYLES=Rischio\_tot\_quantile” indica di quale stile associato al *layer* si desidera ottenere la legenda (da specificare se il *layer* ha altri stili di visualizzazione oltre a quello di *default*);
- “WIDTH=50&HEIGHT=50” indica la grandezza dell’immagine finale (larghezza e altezza in pixel).

Inserendo la richiesta sopra esplicitata in un qualsiasi *browser*, l’immagine che si ottiene è la seguente (Fig. 9.23):

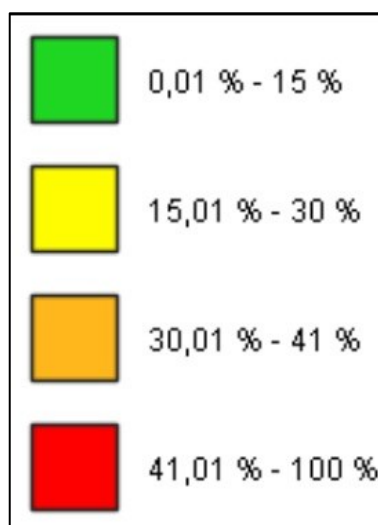


Fig. 9.23 - Risultato (file .png) della richiesta *GetLegendGraphics*.

#### 9.4.1.5 [La richiesta wms/animate](#)

Il protocollo WMS standard può generare soltanto mappe statiche ma esistono numerosi casi d'uso in cui la creazione di un'animazione può risultare interessante per evidenziare un determinato aspetto o area della mappa attraverso uno zoom o la

---

selezione di un oggetto; altre volte può risultare utile variare lo stile di un *layer* o visualizzare solo alcuni oggetti tramite l'uso dei filtri CQL.

Queste funzionalità sono fornite da *WMS Animator*, il quale utilizza una richiesta WMS parziale fornita come modello di *default* e alcuni parametri aggiuntivi che vengono utilizzati per generare ed eseguire una sequenza di immagini che vanno a formare l'animazione finale (<https://docs.geoserver.org/stable/en/user/tutorials/animreflector.html>). Le immagini delle mappe *renderizzate* a seguito dei diversi parametri vengono quindi combinate in un'unica immagine di *output* (in un formato che supporta immagini *multi-frame* come ad esempio il .gif).

Il *WMS Animator* viene invocato utilizzando la stringa "wms/animate" invece del solo "wms" all'interno della richiesta *GetMap* che viene formulata al *server*. Per definire la struttura dell'animazione devono essere forniti alcuni parametri aggiuntivi obbligatori:

- "layers=", l'unico parametro standard obbligatorio, costituito da un elenco dei *layers*, separato da virgole, da includere nella mappa di *output*;
- "aparam=" è il parametro sulla base del quale impostare la modifica nella richiesta di ogni *frame*. Può essere qualsiasi parametro come "layer", "cql\_filter", "bbox", "style" e così via;
- "avalues=" è un elenco separato da virgole dei valori che deve assumere il parametro di animazione per ogni fotogramma. Se un valore contiene già delle virgole, come nel caso dei valori della *Bounding Box* (BBOX), è necessario aggiungere una barra rovesciata dopo la virgola (ad esempio, "1683120.5071045565\,4508108.078883164" per elencare i due valori di latitudine e longitudine di un punto).

Il *WMS Animator* analizza i valori di *input* della richiesta per generare i singoli *frame* con il quale costruire l'animazione. Spetta al chiamante, ovviamente, assicurarsi che i parametri di animazione forniti risultino in richieste WMS valide.

Nell'esempio in Fig. 9.24 vi è una richiesta per un'animazione semplice costituita da due *frame*. Il *layer* richiesto è "Vlos\_Comparing" con il suo stile di *default* (che quindi non viene specificato); come "aparam" si è scelto "BBOX", che varierà tra un *frame* e

l'altro; in "avalues" sono stati inseriti i valori della BBOX nel primo e nel secondo *frame*, separati da virgola:

[http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/wms/animate?layers=SecureGeoStreet:Rischio\\_tot\\_strade&format=image/gif;subtype=animated&aparam=bbox&avalues=509245.15647\,4167688.23730\,520239.76684\,4179770.85599,515494.04635\,4174516.82168\,517130.83079\,4176234.72955&format\\_options=gif\\_frames\\_delay:2000;gif\\_loop\\_continuously:true](http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/wms/animate?layers=SecureGeoStreet:Rischio_tot_strade&format=image/gif;subtype=animated&aparam=bbox&avalues=509245.15647\,4167688.23730\,520239.76684\,4179770.85599,515494.04635\,4174516.82168\,517130.83079\,4176234.72955&format_options=gif_frames_delay:2000;gif_loop_continuously:true)

Il primo *frame* propone il *layer* nella sua interezza, con un'estensione adatta a visualizzare l'intero comune di Giarre, mentre il secondo risulta più ristretto, e si focalizza sull'area del centro città. Il prodotto di una richiesta di questo tipo è uno zoom in una particolare zona della mappa che si vuole analizzare (Fig. 9.24).

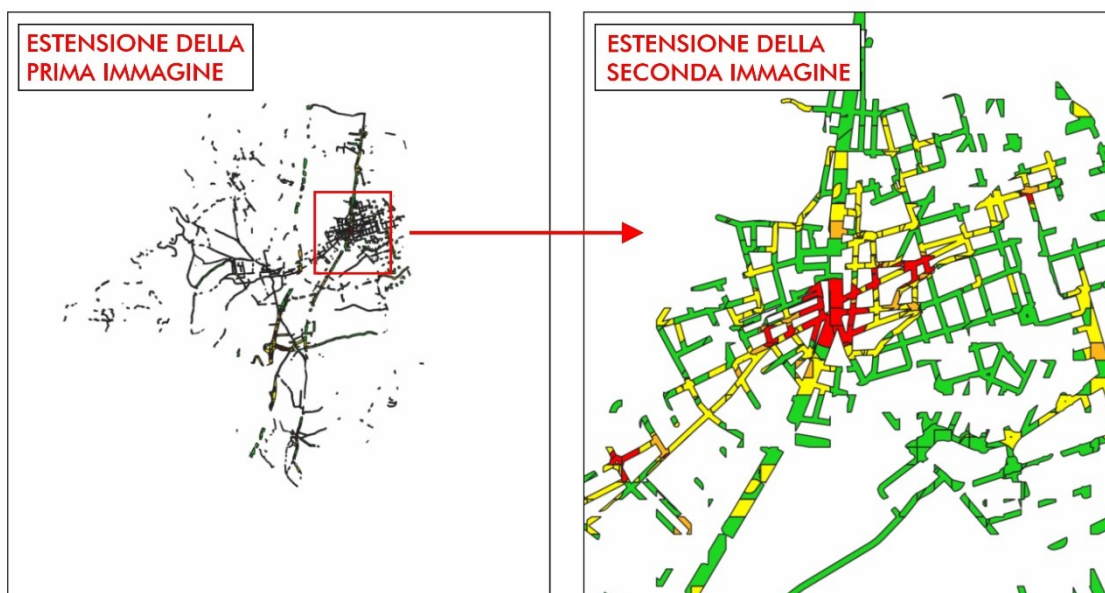


Fig. 9.24 - Risultato della richiesta *wms/animate* con il cambiamento dei valori della *bbox* (formato .GIF).

*WMS Animator* fornisce anche alcune opzioni per controllare il *loop* e la velocità dei fotogrammi che si alternano nell'animazione. Questi vengono specificati utilizzando il parametro WMS "format\_options". Le opzioni utilizzate nella richiesta d'esempio sono:

- "gif\_loop\_continuously=" se impostato come "true" l'animazione ripartirà dall'inizio una volta terminata, all'infinito. Il valore di *default* è "false".

- “gif\_frames\_delay=” in cui si può inserire l’intervallo di tempo in millisecondi tra un fotogramma e l’altro; il valore inserito è di 2s (2000 ms) mentre il valore di *default* è 1000 ms.

Un altro esempio di applicazione della richiesta *wms/animate*, oltre al cambiamento dei valori della BBOX potrebbe essere il cambiamento dello stile da un’immagine all’altra.

Con il link seguente è possibile ottenere una GIF costituita da due immagini del centro città di Giarre (Fig. 9.25): nella prima viene visualizzato il *layer* “Rischio\_tot\_strade” con lo stile “Rischio\_tot\_quantile”, nella seconda lo stile cambia in “Rischio\_tot\_50”:

[http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/wms/animate?layers=SecureGeoStreet:Rischio\\_tot\\_strade&bbox=515494.04635,4174516.82168,517130.83079,4176234.72955&format=image/gif;subtype=animated&aparam=styles&avalues=Rischio\\_tot\\_quantile,Rischio\\_tot\\_50&format\\_options=gif\\_frames\\_delay:2000;gif\\_loop\\_continuously>true](http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/wms/animate?layers=SecureGeoStreet:Rischio_tot_strade&bbox=515494.04635,4174516.82168,517130.83079,4176234.72955&format=image/gif;subtype=animated&aparam=styles&avalues=Rischio_tot_quantile,Rischio_tot_50&format_options=gif_frames_delay:2000;gif_loop_continuously>true)

In questo caso quindi “aparam” si riferisce al parametro “styles” mentre negli “avalues” si alternano i nomi degli stili scelti per i vari fotogrammi. In questo modo è possibile apprezzare in maniera molto efficiente e immediata le differenze che intercorrono tra le due categorizzazioni di rischio delle strade.

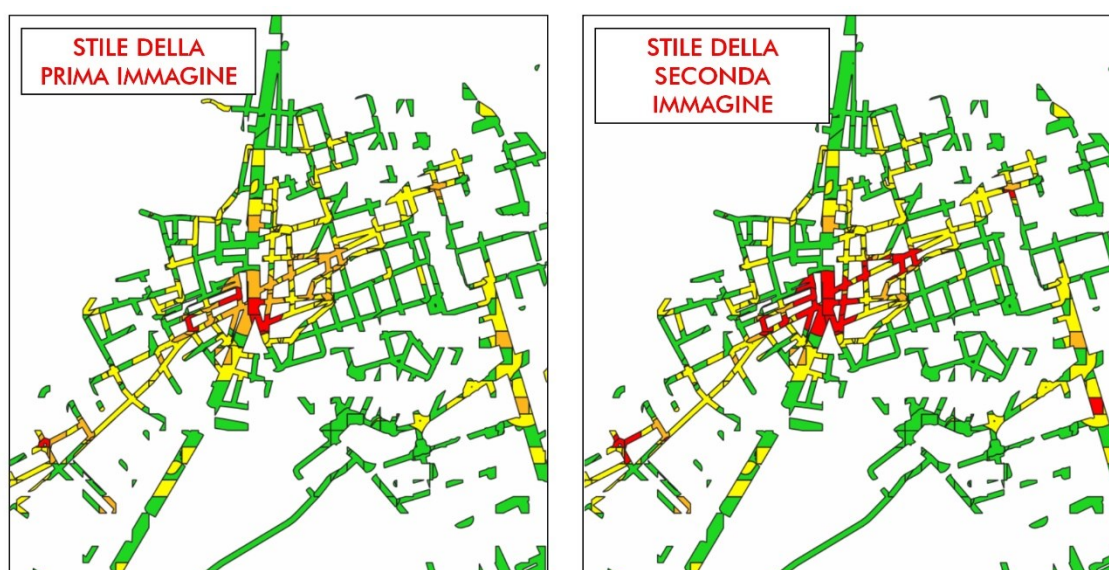


Fig. 9.25 - Risultato della richiesta *wms/animate* con il cambiamento degli stili di visualizzazione (formato .GIF).

In definitiva, tramite *OpenLayers* è possibile conoscere nel dettaglio il contenuto di un servizio OGC semplicemente effettuando una richiesta *GetCapabilities*, e in seguito richiedere la visualizzazione della mappa con la richiesta *GetMap*. Le mappe visualizzate risultano interrogabili a scelta dall'utente utilizzando dei filtri CQL ed è possibile conoscere le informazioni associate ad ogni singolo pixel (o oggetto, nel caso di WFS) semplicemente cliccando su un punto nella mappa o effettuando una richiesta manuale del tipo *GetFeatureInfo*. Con la richiesta *GetLegendGraphics*, è invece possibile ottenere una legenda in formato *raster* di ogni *layer* abilitato presente all'interno del relativo *Workspace*. L'intera operazione è eseguibile all'interno della rete locale in cui risiede il file ma anche dall'esterno della stessa, con qualsiasi dispositivo che abbia a disposizione un browser per collegarsi al web.

#### 9.4.2 Sviluppo di mappe con Leaflet.JS in linguaggio HTML

Se l'ente o l'azienda che dispone delle varie carte di pericolosità e/o di rischio, o qualsiasi altro elemento georiferito in carta, è interessato alla costruzione di una propria pagina Internet, uno dei possibili metodi per l'integrazione di mappe e *layers* georiferiti in una pagina web è *Leaflet.JS* (Crickard III, 2014).

*Leaflet.JS* (<https://leafletjs.com/>) è una libreria *JavaScript* per sviluppare mappe geografiche interattive (*WebGIS*). Sviluppato dal 2010, supporta la maggior parte dei *browser* e degli standard HTML5 e CSS3. *Leaflet* permette di mostrare punti di interesse, linee o aree e *layers* dai principali servizi OGC su una mappa a tasselli (detti *Tiles*).

*Leaflet.js* si presta benissimo a le *Web Application* e le *Mobile App* che necessitano di geolocalizzare le proprie informazioni su mappa. Le informazioni possono essere di qualsiasi tipologia come *layers* da servizi OGC, foto, disegni, testo e semplici *markers*.

Utilizzando questa libreria, è possibile creare una mappa che visualizzi tutti i *layers* e le informazioni desiderate e integrarla facilmente alla struttura di un sito Internet integrandola nel codice HTML.

Alcuni tra i vantaggi di *Leaflet* sono senza dubbio: il peso molto ridotto (il suo codice .js totale pesa solo 33KB); la versatilità (grazie ai numerosi *plugins* che ne estendono le funzionalità) e la facilità di utilizzo (sono disponibili delle API ben documentate nel sito ufficiale, <https://leafletjs.com/reference-1.7.1.html>).

Pur essendo una libreria abbastanza semplice, per poterla usare bisogna comunque scrivere direttamente delle pagine in linguaggio HTML, usando linee di codice *JavaScript* e utilizzando fogli di stile (linguaggio CSS). Sebbene quindi non sia necessario essere un *web designer* esperto, è bene comunque conoscere le basi di almeno tre linguaggi informatici: HTML, CSS e *JavaScript*.

Per la scrittura in HTML e *JavaScript* è stato utilizzato un foglio *Notepad++*, che comprende alcune funzionalità di completamento ed evidenziazione del codice per una programmazione più agevole.

Per cominciare a scrivere la pagina web che conterrà la mappa, è necessario avere a disposizione la libreria *JavaScript* di *Leaflet* e il foglio di stile CSS di *Leaflet*.

È possibile sia fare riferimento a file locali presenti sul PC sia prelevare i file da *server* esterni, come nel presente caso.

```
<!doctype html>
<html lang="en">
  <head>
    <meta charset="utf-8">
    <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge">
    <meta name="viewport" content="initial-scale=1,user-
scalable=no,maximum-scale=1,width=device-width">
    <meta name="mobile-web-app-capable" content="yes">
    <meta name="apple-mobile-web-app-capable" content="yes">
    <link rel="stylesheet" href="css/leaflet.css">
    <link rel="stylesheet"
href="https://cdn.jsdelivr.net/npm/leaflet.locatecontrol/dist/L.Control.Locate.min.css" />
    <link rel="stylesheet" href="css/qgis2web.css">
    <link rel="stylesheet" href="css/fontawesome-all.min.css">
    <link rel="stylesheet"
href="css/L.Control.MousePosition.css">
    <link rel="stylesheet" href="css/L.Control.BetterScale.css">
    <link rel="stylesheet" href="css/Leaflet.NavBar.css">
    <link rel="stylesheet" href="css/Control.FullScreen.css">
    <link rel="stylesheet"
href="https://maxcdn.bootstrapcdn.com/font-awesome/4.7.0/css/font-
awesome.min.css">
    <style>
      html, body, #map {
        width: 100%;
        height: 100%;
        padding: 0;
        margin: 0;
      }
    </style>
    <title>Mappa del rischio totale - Strade</title>
  </head>
```

Cod. 9.1 - Sezione <head> del file HTML con il caricamento dei file di stile .css da risorse locali e remote.

Il riferimento agli stili (file CSS) è stato aggiunto all'interno della sezione `<head>` della pagina web, insieme al titolo della pagina e ai riferimenti relativi agli altri *plugins* utilizzati, questa volta ubicati all'interno della cartella "js" nella *directory* principale "C:". In questo modo si ottengono le indicazioni per poter richiamare correttamente gli stili e le funzioni *JavaScript* resi disponibili da *Leaflet* e dai *plugins* (Cod. 9.1).

Sempre all'interno della sezione `<head>` viene indicato lo stile generale dell'area della mappa, in particolare la grandezza in percentuale del riquadro (il *frame*) all'interno del quale si desidera visualizzare la mappa. All'interno del `<body>` della pagina è stato inserito l'elemento `<div>`, che costituisce il vero e proprio contenitore della mappa. L'*id* del *div* è "map", di cui sono state specificate precedentemente, nella sezione `<head>`, le dimensioni in pixel.

```
<body>
<h2>Mappa del rischio totale - Strade</h2>
<div id="map"> </div>
```

Cod. 9.2 - Costruzione del blocco `<div id=map>`.

Il blocco `<div id=map>` rimane comunque vuoto (Cod. 9.2)., mentre tutto ciò che serve per caricare e inizializzare la mappa è stato inserito nella sezione `<script>` successiva (Cod. 9.3).

```
var map = L.map('map', {
  center: [37.7262, 15.1677],
  zoom: 12,
  measureControl: true,
  fullscreenControl: true,
  fullscreenControlOptions: {
    position: 'topleft'
  }
});
```

Cod. 9.3 - Creazione e prime impostazioni dell'oggetto mappa.

Lo *script* crea la variabile "map" e gli assegna un nuovo oggetto *L.map* (con *id=map*, che fa riferimento all'*ID* dell'elemento `<div>` in cui deve essere contenuta); successivamente vengono definite alcune opzioni relative alla mappa: le coordinate del punto centrale dell'area geografica visualizzata [37.7262, 15.1677]; il livello di zoom iniziale (12); l'attivazione di una barra di controllo posizionata in alto a sinistra che permette di gestire i livelli di zoom. Le coordinate del centro mappa sono coordinate geografiche (latitudine e longitudine) espresse nel sistema *WGS84* in formato decimale.



```

var layer_GoogleSatellite_0 =
L.tileLayer('http://mt0.google.com/vt/lyrs=s&hl=en&x={x}&y={y}&z={z}
', {
    pane: 'pane_GoogleSatellite_0',
    opacity: 1.0,
    attribution: '',
    minZoom: 1,
    maxZoom: 28,
    minNativeZoom: 0,
    maxNativeZoom: 28
});
layer_GoogleSatellite_0;
map.createPane('pane_OpenStreetMap_1');
map.getPane('pane_OpenStreetMap_1').style.zIndex = 401;

var layer_OpenStreetMap_1 =
L.tileLayer('https://tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png', {
    pane: 'pane_OpenStreetMap_1',
    opacity: 1.0,
    attribution: '',
    minZoom: 1,
    maxZoom: 28,
    minNativeZoom: 0,
    maxNativeZoom: 19
});
layer_OpenStreetMap_1;
map.addLayer(layer_OpenStreetMap_1);

```

Cod. 9.4 - Aggiunta delle mappe di base (mappa satellitare di Google e mappa OpenStreetMap con rete stradale).

In questo caso si è deciso di integrare due mappe di base, provenienti da due diversi *provider*: la mappa satellitare fornita da Google (<http://mt0.google.com/vt/lyrs=s&hl=en&x={x}&y={y}&z={z}>) e quella resa disponibile da OpenStreetMap (<http://mt0.google.com/vt/lyrs=s&hl=en&x={x}&y={y}&z={z}>). La dicitura “attribution” è la stringa di testo necessaria ad indicare l’origine della mappa e le eventuali informazioni sulle licenze d’uso che verranno visualizzate nell’angolo in basso a destra (Cod. 9.4).

Per l’aggiunta dei *layer* WMS, direttamente da *GeoServer*, ci si è serviti della classe nativa *L.TileLayer.WMS*, anche se porta con sé alcuni limiti, come ad esempio la mancanza della possibilità di interrogare la mappa tramite una richiesta di tipo *GetFeatureInfo* per ottenere le informazioni su pixel e *features*.

```

var WMS_layer =
L.tileLayer.wms("http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?", {
    layers: "Rischio_tot_strade",
    format: 'image/png',
    transparent: true,
    version: '1.3.0',
    opacity: 0.7
});

```

*Cod. 9.5 - Aggiunta del layer WMS alla mappa.*

L'istanza *L.TileLayer.WMS* (Cod. 9.5) richiede la specificazione della URL del servizio WMS e l'opzione "layers" con uno o più nomi dei *layers* forniti dal servizio WMS. Le opzioni seguenti riguardano il formato richiesto, la trasparenza e l'opacità del livello, impostata al 70%.

Il problema dell'impossibilità di richiedere informazioni per gli oggetti WMS è stato in parte aggirato aggiungendo nella parte in basso a destra della mappa una legenda, in formato PNG, del *layer* WMS caricato definendo la variabile *legend* con i metodi *L.control* e *L.DomUtil.create*.

```

var legend = L.control({position: 'bottomright'});

legend.onAdd = function (map) {

var legend_Rischio_tot_strade = L.DomUtil.create('div', 'info legend');

    legend_Rischio_tot_strade.innerHTML +=
    '';

    return legend_Rischio_tot_strade;
};

```

*Cod. 9.6 - Aggiunta della legenda del layer WMS in formato raster tramite richiesta GetLegendGraphic.*

La porzione di codice in Cod. 9.6 non è altro che una richiesta di tipo *GetLegendGraphics* tramite un link come quello del Par. 9.4.1.4. Il *raster*, in questo caso in formato PNG, viene poi visualizzato all'interno della mappa nella posizione indicata e non in una pagina web separata, come in precedenza.

Appena sotto si passa all'integrazione di due *plugins* ritenuti utili per una corretta e godibile visualizzazione della mappa finale: il *plugin Leaflet.MousePosition*

(<https://github.com/ardhi/Leaflet.MousePosition>, Copyright 2012 Ardhi Lukianto), che permette di visualizzare le coordinate geografiche del puntatore del mouse mentre viene spostato sulla mappa; il *plugin* *Leaflet-betterscale* (<https://github.com/daniellsu/leaflet-betterscale>), che permette di visualizzare una scala grafica dinamica in un angolo della mappa (Cod. 9.7).

```
var mousePosition= L.control.mousePosition().addTo(map);

var betterscale= L.control.betterscale({setPosition:
'bottomright'}).addTo(map);
```

*Cod. 9.7 - Aggiunta dei plugins per la visualizzazione delle coordinate e della scala grafica dinamica.*

Il metodo *addTo(map)*, alla fine delle due stringhe relative ai *plugins*, serve ad aggiungerli effettivamente all'oggetto *map* definito precedentemente.

Spesso è utile avere una mappa costituita da più *layers* sovrapposti che è possibile distinguere grazie alla trasparenza, in altri casi i *layers* sono completamente opachi (come ad esempio le due *basemaps* aggiunte) e quindi risulta utile avere una *checkbox* (un selettore di *layers*) per scegliere di volta in volta quale visualizzare.

```
var baseMaps = {
  "OpenStreetMap": layer_OpenStreetMap_1,
  "Google satellite": layer_GoogleSatellite_0
};

var overlayMaps = {
  "Rischio_tot_strade": WMS_layer
};

L.control.layers(baseMaps,overlayMaps).addTo(map);

var controls = L.control.orderlayers(
  baseMaps, overlayMaps,
  {
    collapsed: false,
    title: 'Order Layers'
  }
);
controls.addTo(map);
```

*Cod. 9.8 - Raggruppamento dei layers in "baseMaps" e "overlayMaps" per la strutturazione del selettore dei layers.*

Per iniziare sono stati creati due oggetti: *Basemaps*, con all'interno le due mappe di base (la mappa satellitare di *Google* e quella *OpenStreetMap*); *OverlayMaps*, che contiene invece il *layer* WMS "Vlos\_Comparing".

Tramite il metodo *L.control.layers* è possibile creare la *checkbox*, inserendo nel primo argomento, all'interno delle parentesi, l'oggetto contenente i livelli di base, mentre nel secondo viene inserito l'oggetto contenente i *layers* di *overlay* (Cod. 9.8).

Il risultato finale del codice è il seguente (Fig. 9.26):

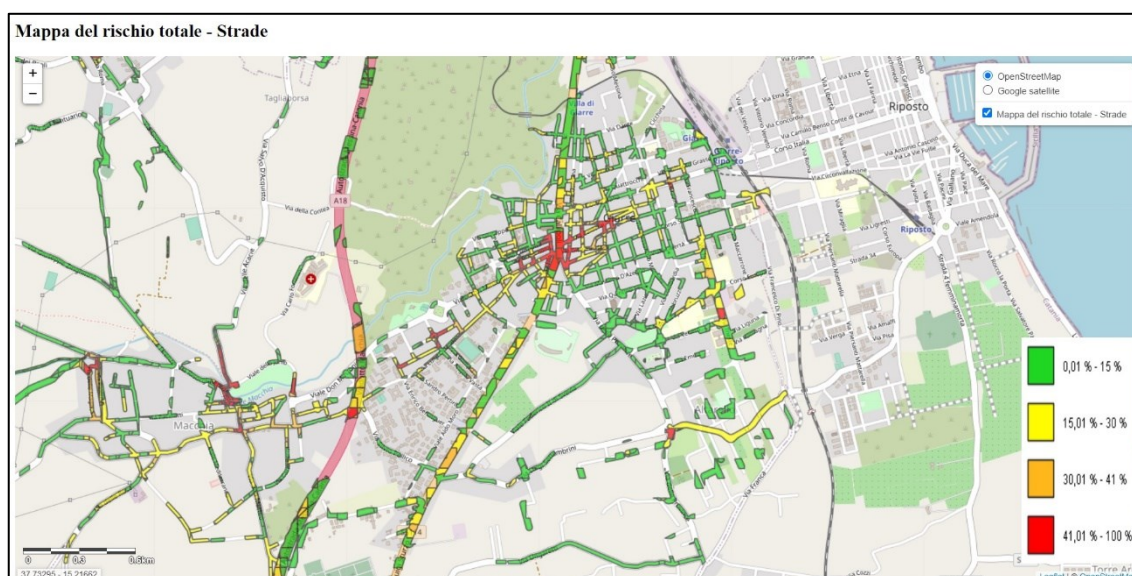


Fig. 9.26 – Visualizzazione del codice HTML.

Il codice risulta facilmente modificabile, aggiungendo o sostituendo i *layers* di interesse e la relativa legenda. È possibile creare, ad esempio, pagine web separate per tematismo e visualizzare una mappa con un *layer* di *overlay* per volta, oppure sovrapporre due o più *layers* di *overlay* nella stessa mappa, a seconda delle esigenze.

#### 9.4.3 File KML per la visualizzazione su Google Earth

Come visto nel Par. 9.4.1.1, chiedendo al *server* il documento XML tramite la richiesta *GetCapabilities*, è possibile conoscere il nome di tutti i *Workspaces*, gli *Stores* e i *Layers* presenti all'interno di ogni servizio OGC WMS.

Tali *layers* possono essere visualizzati in maniera più dettagliata e personalizzabile anche tramite l'ausilio di *software* di uso comune, come ad esempio *Google Earth*, grazie al supporto fornito da *GeoServer* ai file di tipo KML (*Keyhole Markup*

*Language*), linguaggio basato su XML creato appositamente per gestire dati geospaziali in tre dimensioni nei programmi *Google Earth*, *Google Maps* e *EarthBrowser*.

Già all'interno della *Layer Preview* della pagina di amministrazione di *GeoServer* è possibile scaricare ogni singolo *layer* in formato KML, ma per accedere bisogna ovviamente possedere i diritti d'amministratore del pannello.

Qualsiasi utente a conoscenza dell'indirizzo IP del *server* e dei nomi di *layers* e stili (ricavabili tramite richiesta *GetCapabilities*), può invece formulare una richiesta, sempre tramite *browser*, del tipo:

<http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Peric Idraulica>

Tale metodo, detto "KML Reflektor" (<https://docs.geoserver.org/stable/en/user/services/wms/googleearth/features/kmlreflector.html>), prevede un unico parametro obbligatorio che corrisponde al nome del *layer* richiesto. Si può richiedere un determinato stile tra quelli presenti o richiedere quello impostato di *default* come nel caso precedente. In assenza di altre opzioni nella richiesta, verranno considerati i valori di *default* consultabili in Fig. 9.27:

Key	Value
request	GetMap
service	wms
version	1.1.1
srs	EPSG:4326
format	application/vnd.google-earth.kmz+xml
width	2048
height	2048
bbox	<layer bounds>
kmattr	true
kmplacemark	false
km score	40
styles	[default style for the featuretype]

Fig. 9.27 - Parametri utilizzabili per la composizione della richiesta del file KML.

Verrà quindi scaricato in locale un file in formato KML, che sarà possibile aprire e visualizzare con il *software Google Earth* in maniera semplice e immediata.

Un'altra via, che non prevede il *download* diretto del file, è quella di aggiungere l'URL precedente sfruttando la funzione "aggiungi link di rete" direttamente all'interno del *software* (Fig. 9.28).

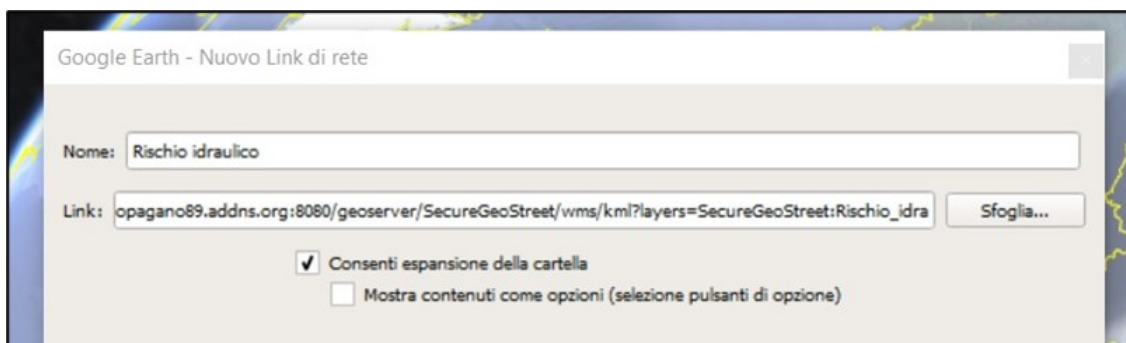


Fig. 9.28 - Aggiunta del link al file KML nel software gratuito Google Earth.

In questo modo *Google Earth* si collegherà in tempo reale al *layer* presente all'interno del *server* d'appartenenza, senza scaricarlo in locale.

La visualizzazione tramite *Google Earth* (Fig. 9.29), oltre alla semplicità di utilizzo, permette anche di analizzare i diversi *layers* spalmati su una superficie 3D, e di usufruire dei diversi *tools* a disposizione dal *software*.

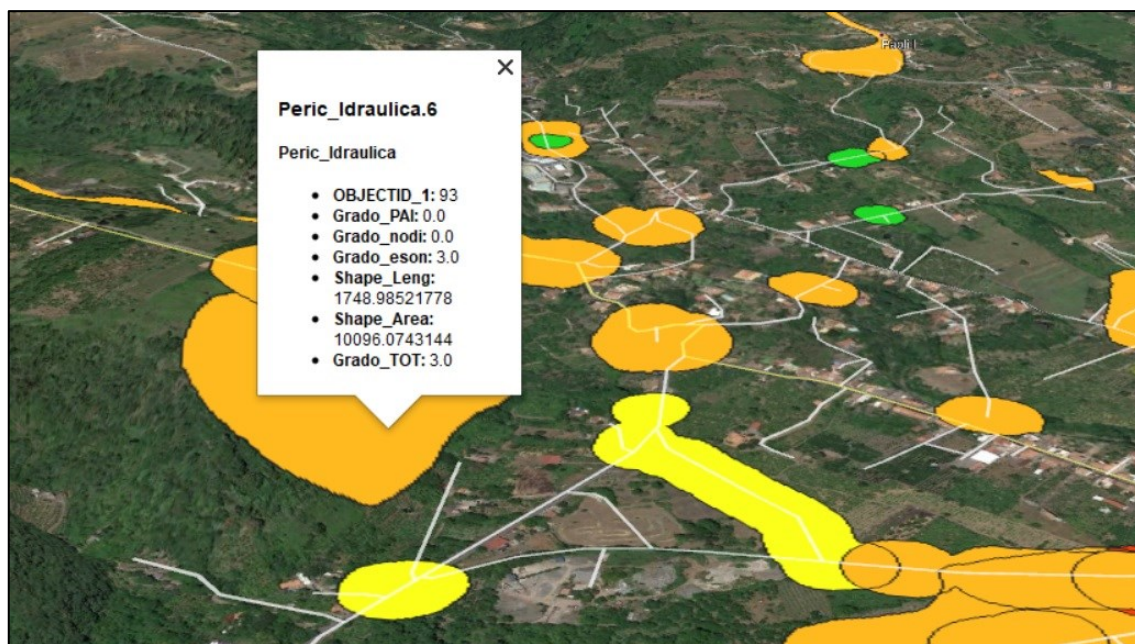


Fig. 9.29 - Esempio di visualizzazione di un file KML su Google Earth. Cliccando su ogni poligono è possibile eseguire una richiesta di tipo *GetFeatureInfo* ottenendo in risposta il contenuto della tabella attributi del file che risiede su *GeoServer*.

In Tab. 9.2 sono elencati tutti i link ai file KML che è possibile scaricare o aggiungere tramite link di rete al *software Google Earth*:

LAYER	STORE	WORKSPACE	LINK AI FILE KML
Mappa della pericolosità idraulica	Pericolosità	SecureGeoStreet	<a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Peric_Idraulica">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Peric_Idraulica</a>
Mappa della pericolosità tettonica	Pericolosità	SecureGeoStreet	<a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Peric_Tettonica">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Peric_Tettonica</a>
Mappa della pericolosità geomorfologica	Pericolosità	SecureGeoStreet	<a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Peric_Geomorfologica">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Peric_Geomorfologica</a>
Mappa della pericolosità da dati interferometrici	Pericolosità	SecureGeoStreet	<a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Peric_interferometria">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Peric_interferometria</a>
Mappa della pericolosità totale	Pericolosità	SecureGeoStreet	<a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Peric_Totale">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Peric_Totale</a>
Mappa dell'esposizione delle strade	Esposizione	SecureGeoStreet	<a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Esposizione_strade">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Esposizione_strade</a>
Mappa dell'esposizione degli edifici	Esposizione	SecureGeoStreet	<a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Esposizione_edifici">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Esposizione_edifici</a>
Mappa del rischio idraulico	Rischio	SecureGeoStreet	<a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Rischio_idra">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Rischio_idra</a>
Mappa del rischio tettonico	Rischio	SecureGeoStreet	<a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Rischio_tet">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Rischio_tet</a>

Mappa del rischio geomorfologico	Rischio	SecureGeoStreet	<a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Rischio_geom">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Rischio_geom</a>
Mappa del rischio da dati interferometrici	Rischio	SecureGeoStreet	<a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Rischio_inter">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Rischio_inter</a>
Mappa del rischio totale - Edifici	Rischio	SecureGeoStreet	<a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Rischio_tot_edifici">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Rischio_tot_edifici</a>
Mappa del rischio totale - Strade	Rischio	SecureGeoStreet	<a href="http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Rischio_tot_strade">http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Rischio_tot_strade</a>

Tab. 9.2 - Link ai file KML generati da GeoServer per la visualizzazione su Google Earth di tutte le mappe di pericolosità, esposizione e rischio create nell'ambito del lavoro.

#### 9.4.4 Servizi OGC (WMS e WFS) su software GIS

Gli utenti esperti che desiderano visualizzare le informazioni in maniera più dettagliata possono ricorrere all'utilizzo dei *software* GIS, sia *Open Source* (QGIS) che a licenza (ArcGIS), per connettersi ai file resi disponibili da GeoServer tramite protocolli WMS e WFS (in questo caso i *software* fungono da *client* per la visualizzazione dei dati). Questa soluzione ha il grande vantaggio di permettere l'utilizzo di tutte le funzioni tipiche di un *software* GIS per l'analisi territoriale su file *raster* e vettoriali, come l'utilizzo dei *layers* come *basemaps* nel caso dei WMS o la consultazione, la modifica e il filtraggio della tabella attributi nel caso dei WFS.

Su ArcGIS il collegamento al *server* deve essere stabilito tramite la *toolbar* di ArcCatalog, facendo riferimento al tipo di protocollo che si vuole utilizzare (es. WMS in Fig. 9.30). Il collegamento avviene con l'intero *Workspace* specificato nell'URL; si potrà pertanto accedere a tutti i *layers* disponibili, ognuno dei quali accompagnato dai relativi metadati e da un piccolo *abstract* che ne spiega il significato.



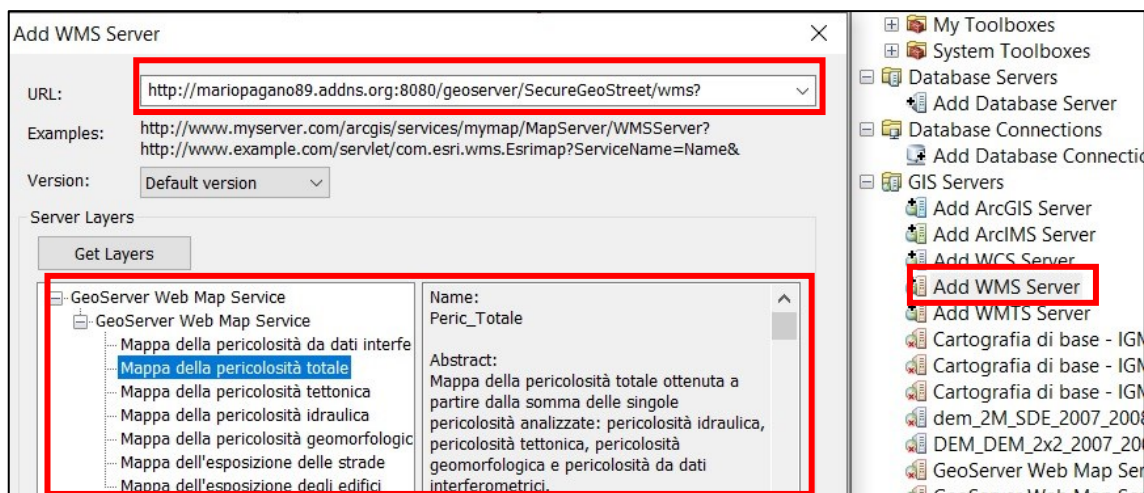


Fig. 9.30 - Collegamento al workspace "SecureGeoStreet" tramite protocollo WMS su ArcGIS.

I link per poter accedere ai servizi WMS e WFS sono i seguenti:

- <http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?>
- <http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wfs?>

Nel caso dell'utilizzo di un protocollo WMS i *layers* aggiunti sono dei *raster* visualizzati secondo lo stile predefinito specificato nelle impostazioni di *GeoServer*.

Non è possibile modificare il file, né salvarlo in locale. Trattandosi di un *raster* non si può consultare una tabella attributi ma rimane comunque la possibilità di aggiungere alla mappa una legenda generata automaticamente da *GeoServer* e utilizzare la funzione *Identify* (Fig. 9.31) per interrogare le varie *features* presenti in mappa, che viene interpretata dal *server* come una classica richiesta di tipo *GetFeatureInfo*.

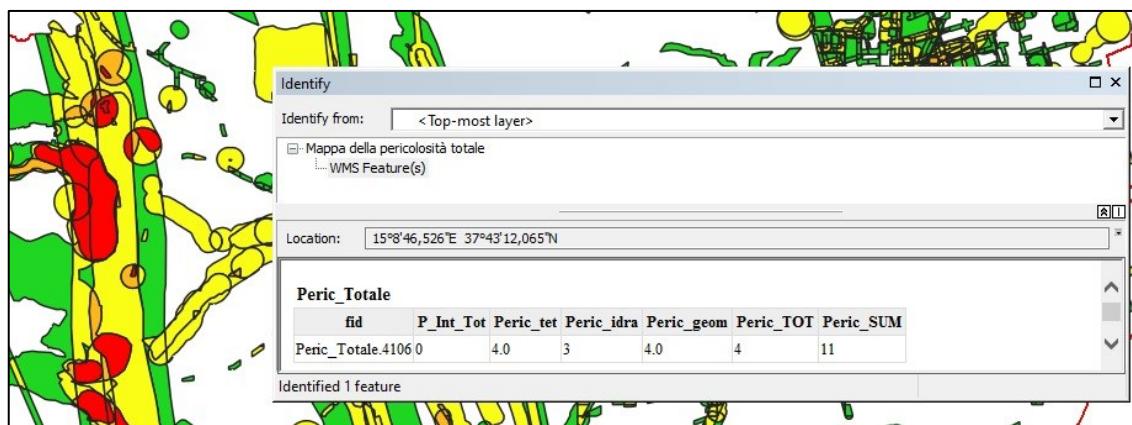


Fig. 9.31 - Richiesta "GetFeatureInfo" tramite la funzione "Identify" di ArcGIS.

Allo stesso modo è possibile usare *QGIS*, stabilendo una nuova connessione tramite il “Gestore delle sorgenti dati” (Fig. 9.32).

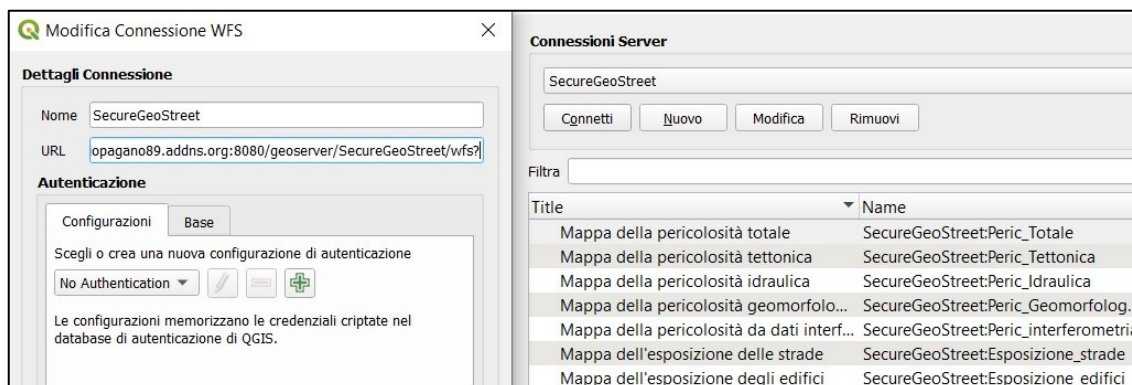


Fig. 9.32 - Collegamento al workspace "SecureGeoStreet" tramite protocollo WFS su QGIS.

In questo caso (protocollo WFS) è possibile caricare il *layer* come un vero e proprio *shapefile*: è possibile salvarlo in locale, modificarne attributi e/o geometria, utilizzarne i dati per la produzione di altre carte derivate, cambiarne la categorizzazione e le modalità di visualizzazione.

#### 9.4.5 Sviluppo di un'app Android con il software Android Studio

Tramite il software gratuito *Android Studio* e le *ArcGIS Runtime API per Android* (<https://developers.arcgis.com/android/latest/>), è stato sviluppata un' *app Android* (installabile via file .apk) che permette la visualizzazione della mappa finale di rischio per le strade, con la possibilità di interrogare i vari elementi in mappa, effettuare delle ricerche per località e mostrare la propria posizione tramite geolocalizzazione.



Fig. 9.33 – Logo dell'app Android per la visualizzazione della mappa finale di rischio lungo la rete viaria.

*Android Studio* è l'IDE (*Integrated Development Environment*) ufficiale per lo sviluppo *Android* di Google (<https://developer.android.com/studio>), cioè l'ambiente di sviluppo (*software*) ufficiale che supporta i programmatori nello sviluppo e nel *debugging* del codice sorgente di un programma *Android*, segnalando errori di sintassi del codice direttamente in fase di scrittura, oltre ad altri numerosi strumenti e funzionalità di supporto.

Questa soluzione *client* è stata pensata per un uso sensibilmente diverso dalle opzioni mostrate in precedenza. Alla base vi è l'idea di creare un visualizzatore di *layers* che, tramite la funzione di geolocalizzazione, sia utile soprattutto per un utilizzo diretto sul campo.

Qualsiasi utente, trovandosi fisicamente nell'area di interesse, può visualizzare la mappa in mobilità, conoscendo in tempo reale la situazione di rischio della strada in cui si trova.

Il *software Android Studio* permette, contemporaneamente alla scrittura del codice, di lanciare un emulatore *Android*, simulando il comportamento che l'*app* avrebbe se fosse già installata all'interno di un dispositivo *Android* compatibile (Fig. 9.34).

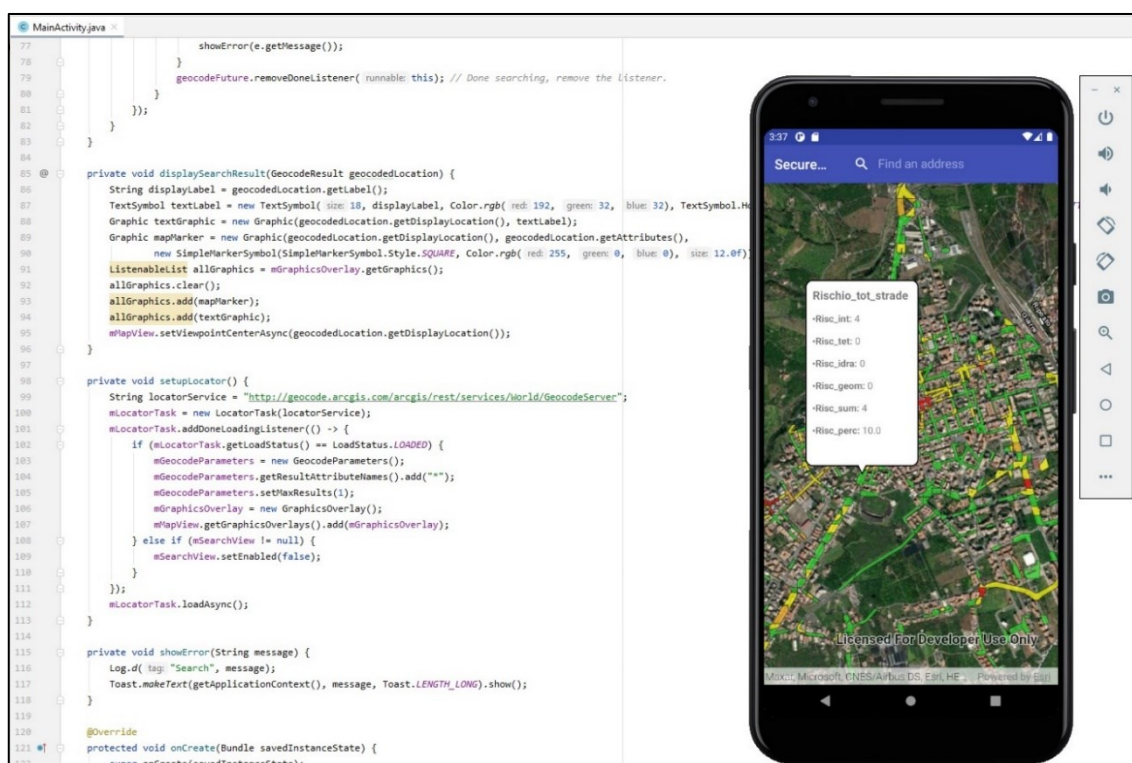


Fig. 9.34 - Emulatore *Android* per l'anteprima del codice direttamente all'interno del software *Android Studio*.

Il processo di scrittura del codice per *Android* è decisamente più complesso della scrittura di una pagina HTML o dell'utilizzo di un link di richiesta attraverso le librerie *OpenLayers*, ma può essere spiegato in maniera semplificata sintetizzandolo in diversi *step*.

Il primo passaggio è la creazione di una *starter app* contenente una *basemap* tra quelle rese disponibili da ESRI (in questo caso la mappa satellitare, denominata "IMAGERY\_WITH\_LABELS". Dopo aver aggiornato gli *script*, importato le librerie necessarie e aggiornato il file "AndroidManifest.xml" per garantire i diritti di accesso alla rete Internet, è stata creata la variabile *private mMapView* per l'aggiunta della mappa vera e propria all'interno del file principale "MainActivity.java" (Cod. 9.9).

```
mMapView = findViewById(R.id.mapView);
if (mMapView != null) {
    Basemap.Type basemapType = Basemap.Type.IMAGERY_WITH_LABELS;
    double latitude = 37.726355;
    double longitude = 15.188155;
    int levelOfDetail = 12;
    ArcGISMap map = new ArcGISMap(basemapType, latitude, longitude,
levelOfDetail);
    mMapView.setMap(map);
    KmlDataset rischio = new
KmlDataset("http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/wms/kml?layers=S
ecureGeoStreet:Rischio_tot_strade");
    // a KML layer created from a remote KML file
    KmlLayer kmlLayer = new KmlLayer(rischio);
    map.getOperationalLayers().add(kmlLayer);
    kmlLayer.setOpacity(0.7f);
    // report errors if failed to load
    rischio.addDoneLoadingListener(() -> {
        if (rischio.getLoadStatus() != LoadStatus.LOADED) {
            String error = "Failed to load kml layer from URL: " +
rischio.getLoadError().getMessage();
            Toast.makeText(this, error, Toast.LENGTH_LONG).show();
            Log.e(TAG, error);
        }
    });
});
```

Cod. 9.9 - Porzione di codice relativa alle impostazioni della mappa e dei layer visualizzati.

Nella definizione del parametro mappa sono state scelte le coordinate del centro mappa ("double latitude e double longitude") visualizzate al lancio dell'app, il livello di zoom di *default* ("levelOfDetail") ed è stato aggiunto il *layer* KML del rischio totale lungo

la rete viaria, creando un nuovo "KmlDataset" all'interno del metodo *OnCreate*, nel quale è stata indicata l'URL per il collegamento al *layer* presente su *GeoServer* ([http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Rischio\\_tot\\_strade](http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/wms/kml?layers=SecureGeoStreet:Rischio_tot_strade)) e settando una trasparenza del layer del 70% ("0.7f").

La parte finale stabilisce il messaggio di errore da visualizzare a schermo qualora ci fosse un errore nel caricamento del *layer* all'interno dell'app, ad esempio la mancanza di rete Internet *lato server*.

Successivamente è stata inserita la possibilità di cercare indirizzi e luoghi attraverso un'apposita barra di ricerca che sfrutta il servizio di geocodifica *ArcGIS World Geocoding Service*. È quindi possibile specificare una posizione di interesse o un indirizzo e visualizzarlo sulla mappa attraverso l'aggiunta di un riferimento puntuale (*Placemark*). Il procedimento è abbastanza complesso in quanto necessita, oltre alla definizione della funzione all'interno del file principale "MainActivity.java", di un ulteriore codice XML ("options\_menu.xml") per la creazione di un'interfaccia utile a gestire l'interazione dell'utente.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<menu xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
xmlns:app="http://schemas.android.com/apk/res-auto">
  <item
    android:id="@+id/search"
    android:title="@string/search_title"
    android:icon="@android:drawable/ic_menu_search"
    app:actionViewClass="android.widget.SearchView"
    app:showAsAction="always" />
</menu>
```

Cod. 9.10 - Codice del file "Options\_menu.xml" per la generazione dell'interfaccia di ricerca per località.

Dopo aver creato il menù da aggiungere alla barra delle azioni (Cod. 9.10) è stato aggiornato il file "AndroidManifest.xml" per segnalare la possibilità che l'utente indichi l'intento (Cod. 9.11) di utilizzare la ricerca.

```
<activity android:name=".MainActivity"
    android:launchMode="singleTop">
    <intent-filter>
        <action android:name="android.intent.action.MAIN" />
        <category android:name="android.intent.category.LAUNCHER" />
    </intent-filter>
    <intent-filter>
        <action android:name="android.intent.action.SEARCH" />
    </intent-filter>
    <meta-data android:name="android.app.searchable"
        android:resource="@xml/searchable"/>
</activity>
```

Cod. 9.11 - Sezione <activity> del file "AndroidManifest.xml".

La parte successiva del codice ha la funzione di trovare una corrispondenza quando l'utente invia una richiesta inserendo una parola chiave all'interno della barra di ricerca.

```
private SearchView mSearchView = null;
private GraphicsOverlay mGraphicsOverlay;
private LocatorTask mLocatorTask = null;
private GeocodeParameters mGeocodeParameters = null;
```

Cod. 9.12 – Variabili private aggiuntive.

All'interno del file "MainActivity.java" sono state quindi aggiunte delle nuove variabili private (Cod. 9.12) che si riferiscono al *widget* di ricerca e ad altre risorse che serviranno più avanti (*GraphicsOverlay*, *LocatorTask*, *GeocodeParameters*).

Sempre all'interno del file "MainActivity.java" è stato aggiunto il nuovo metodo *onOptionsItemSelected* (Cod. 9.13), con il codice necessario alla creazione del *widget* di ricerca (precedentemente definito tramite il suo file XML) e aggiungerlo alla barra delle azioni.

```

@Override
public boolean onCreateOptionsMenu(Menu menu) {
    MenuInflater inflater = getMenuInflater();
    inflater.inflate(R.menu.options_menu, menu);
    MenuItem searchMenuItem = menu.findItem(R.id.search);
    if (searchMenuItem != null) {
        mSearchView = (SearchView) searchMenuItem.getActionView();
        if (mSearchView != null) {
            SearchManager searchManager = (SearchManager)
getSystemService(Context.SEARCH_SERVICE);

mSearchView.setSearchableInfo(searchManager.getSearchableInfo(getComponent
Name()));
            mSearchView.setIconifiedByDefault(false);
        }
    }
    return true;
}

```

*Cod. 9.13 - Aggiunta del widget di ricerca alla barra delle azioni dell'app.*

In risposta all'*input* dell'utente, il *widget* di ricerca invia un messaggio di tipo *Intent* all'attività principale (Cod. 9.14), già codificato all'interno del file "Manifest" di *Android*; adesso è necessario aggiungere il codice in "Main Activity" per ricevere tale *intent*, verificare che sia un'azione di ricerca e chiamare il metodo di ricerca.

```

@Override
protected void onNewIntent(Intent intent) {
    super.onNewIntent(intent);
    if (Intent.ACTION_SEARCH.equals(intent.getAction())) {
        queryLocator(intent.getStringExtra(SearchManager.QUERY));
    }
}

```

*Cod. 9.14 – Gestione della ricezione della richiesta di ricerca.*

Successivamente è stato aggiunto il metodo *queryLocator()* (Cod. 9.15), che permette l'esecuzione della ricerca data una stringa di ricerca (indirizzo, città, parola chiave).

```

private void queryLocator(final String query) {
    if (query != null && query.length() > 0) {
        mLocatorTask.cancelLoad();
        final ListenableFuture<List<GeocodeResult>> geocodeFuture =
mLocatorTask.geocodeAsync(query, mGeocodeParameters);
        geocodeFuture.addDoneListener(new Runnable() {
            @Override
            public void run() {
                try {
                    List<GeocodeResult> geocodeResults =
geocodeFuture.get();
                    if (geocodeResults.size() > 0) {
                        displaySearchResult(geocodeResults.get(0));
                    } else {
                        showError(getString(R.string.nothing_found) + " "
+ query);
                    }
                } catch (InterruptedException | ExecutionException e) {
                    showError(e.getMessage());
                }
                geocodeFuture.removeDoneListener(this); // Done searching,
remove the listener.
            }
        });
    }
}

```

Cod. 9.15 – Metodo “queryLocator” per l’esecuzione della ricerca.

Effettuata la ricerca, l’app deve essere in grado di mostrare i risultati della richiesta e visualizzarli sulla mappa, riposizionando contestualmente l’area di visualizzazione in base alle nuove coordinate. Sulla località di ricerca comparirà un simbolo (un quadrato rosso) con un’etichetta (anch’essa rossa) riferita al nome della località ricercata dall’utente. Le righe nel Cod. 9.16 servono a prendere in carico la richiesta dell’utente e visualizzarla sulla mappa.



```

private void displaySearchResult(GeocodeResult geocodedLocation) {
    String displayLabel = geocodedLocation.getLabel();
    TextSymbol textLabel = new TextSymbol(18, displayLabel, Color.rgb(192,
32, 32), TextSymbol.HorizontalAlignment.CENTER,
TextSymbol.VerticalAlignment.BOTTOM);
    Graphic textGraphic = new
Graphic(geocodedLocation.getDisplayLocation(), textLabel);
    Graphic mapMarker = new Graphic(geocodedLocation.getDisplayLocation(),
geocodedLocation.getAttributes(),
        new SimpleMarkerSymbol(SimpleMarkerSymbol.Style.SQUARE,
Color.rgb(255, 0, 0), 12.0f));
    ListenableList allGraphics = mGraphicsOverlay.getGraphics();
    allGraphics.clear();
    allGraphics.add(mapMarker);
    allGraphics.add(textGraphic);

    mMapView.setViewpointCenterAsync(geocodedLocation.getDisplayLocation());
}

```

*Cod. 9.16 – Codice per la visualizzazione in mappa dei risultati della ricerca per località.*

Prima di poter eseguire una ricerca per località geografica, i servizi forniti da ArcGIS per la geocodifica, ossia *LocatorTask* e *GeocodeParameters* devono essere inizializzati, specificando il codice di inizializzazione tramite metodo separato all'interno del file principale "MainActivity.java" (Cod. 9.17), e successivamente aggiungendo la chiamata a *setupLocator()* all'interno del metodo *onCreate* .

```

private void setupLocator() {
    String locatorService =
"http://geocode.arcgis.com/arcgis/rest/services/World/GeocodeServer";
    mLocatorTask = new LocatorTask(locatorService);
    mLocatorTask.addDoneLoadingListener(() -> {
        if (mLocatorTask.getLoadStatus() == LoadStatus.LOADED) {
            mGeocodeParameters = new GeocodeParameters();
            mGeocodeParameters.getResultAttributeNames().add("*");
            mGeocodeParameters.setMaxResults(1);
            mGraphicsOverlay = new GraphicsOverlay();
            mMapView.getGraphicsOverlays().add(mGraphicsOverlay);
        } else if (mSearchView != null) {
            mSearchView.setEnabled(false);
        }
    });
    mLocatorTask.loadAsync();
}

```

*Cod. 9.17 – Inizializzazione dei servizi ArcGIS per la geocodifica.*

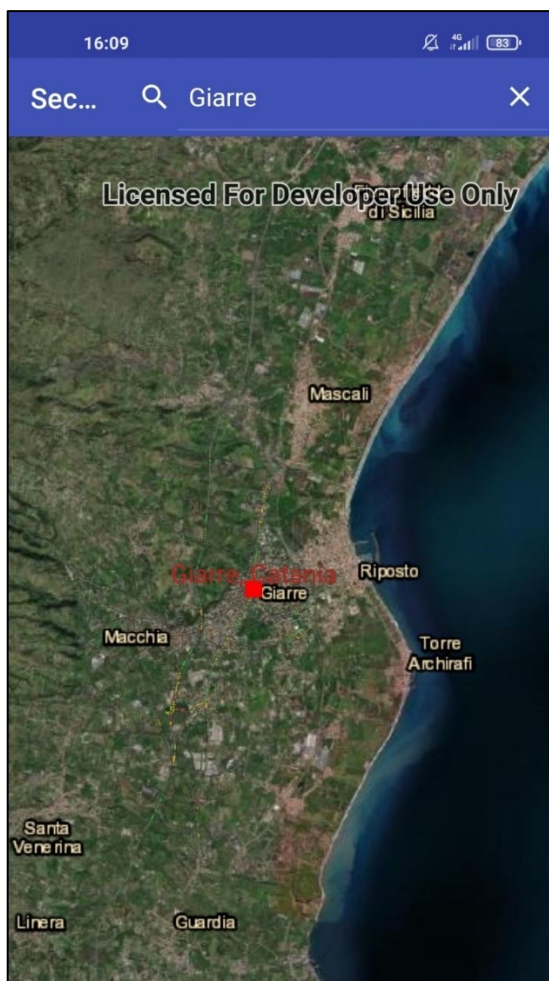


Fig. 9.35 - Risultato della ricerca della ricerca effettuata con comparsa di un placemark e del nome della località.

L'app è capace di visualizzare e tenere traccia della posizione di un dispositivo all'interno della mappa. Aprendo l'applicazione con il segnale GPS del proprio dispositivo acceso, l'app visualizzerà direttamente la posizione reale in mappa, con una posizione e livello di zoom differente da quelli impostati di *default* nel metodo *onCreate()*. La vista inoltre ruoterà in base alla direzione in cui è rivolto l'utente con una sensibilità personalizzabile all'interno del codice, in funzione del mezzo di spostamento per cui è pensato l'utilizzo dell'applicazione (in questo caso l'utilizzo a bassa velocità, a passo d'uomo).

Prima di tutto è necessario aggiornare il file "Manifest" di *Android* per consentire l'accesso dell'app alla posizione GPS, aggiungendo al Cod. 9.11 le seguenti stringhe (Cod. 9.18):

```
<uses-permission  
android:name="android.permission.ACCESS_COARSE_LOCATION" />  
<uses-permission  
android:name="android.permission.ACCESS_FINE_LOCATION" />
```

*Cod. 9.18 - Permessi per la geolocalizzazione del dispositivo nel file "AndroidManifest.xml".*

Nel caso in cui l'utente non dia accesso alla posizione, comparirà un messaggio d'errore che, insieme a tutti gli altri messaggi visualizzabili a schermo, deve essere specificato all'interno del file "strings.xml" (Cod. 9.19).

```
<resources>  
  <string name="app_name">SecureGeoStreet</string>  
  <string name="search_title">Search</string>  
  <string name="search_hint">Find an address</string>  
  <string name="nothing_found">Nothing found for </string>  
  <string name="location_permission_denied">User denied permission for  
device location.</string>  
</resources>
```

*Cod. 9.19 - Definizione degli eventuali messaggi d'errore nel file "strings.xml".*

Una funzione fondamentale aggiunta all'*app* è quella di richiedere informazioni sulle varie *features* presenti nel *layer* di rischio. L'*app* esegue una richiesta di tipo *GetFeatureInfo* a *Geoserver* che ospita il *layer*, rispondendo con un *popup* contenente la tabella attributi del *layer*.

Per fare ciò è necessario introdurre il metodo *OnTouchListener* all'interno del metodo *onCreate* (Cod. 9.20).

```

mMapView.setOnTouchListener(new DefaultMapViewOnTouchListener(this,
mMapView) {

    @Override public boolean onSingleTapConfirmed(MotionEvent e) {
        // hide the callout if it's showing
        mMapView.getCallout().dismiss();

        // get the identified geoelements at the clicked location
        android.graphics.Point screenPoint = new
        android.graphics.Point(Math.round(e.getX()), Math.round(e.getY()));
        ListenableFuture<IdentifyLayerResult> identify = mMapView
        .identifyLayerAsync(kmlLayer, screenPoint, 5, false);
        identify.addDoneListener(() -> {
            try {
                IdentifyLayerResult result = identify.get();
                // find the first geoElement that is a KML placemark
                for (GeoElement geoElement : result.getElements()) {
                    if (geoElement instanceof KmlPlacemark) {
                        // show a callout at the placemark with custom
                        content using the placemark's "balloon content"
                        KmlPlacemark placemark = (KmlPlacemark)
                        geoElement;
                        TextView calloutContent = new
                        TextView(getApplicationContext());
                        calloutContent.setText(Html.fromHtml(placemark.getBalloonContent()));

                        // get callout, set content and show
                        Callout callout = mMapView.getCallout();

                        callout.setLocation(mMapView.screenToLocation(screenPoint));
                        callout.setContent(calloutContent);
                        callout.show();
                        break;
                    }
                }
            } catch (InterruptedException | ExecutionException ex) {
                String error = "Error identifying features in layer: " +
                ex.getMessage();
                Toast.makeText(MainActivity.this, error,
                Toast.LENGTH_LONG).show();
                Log.e(TAG, error);
            }
        });
        return true;
    }
});

```

Cod. 9.20 - Porzione di codice utile alla generazione dei popup con le informazioni tabellari in risposta al tocco su un determinato oggetto in mappa.

Con la parte rimanente di codice vengono gestiti gli errori con la comparsa di una stringa nel caso in cui non fosse possibile per qualche motivo accedere alle informazioni richieste (Cod. 9.21).

```
catch (InterruptedException | ExecutionException ex) {
    String error = "Error identifying features in layer: " +
ex.getMessage();
    Toast.makeText(MainActivity.this, error,
Toast.LENGTH_LONG).show();
    Log.e(TAG, error);
}
});
return true;
```

*Cod. 9.21 - Definizione dei messaggi di errore per mancata corrispondenza tra oggetto in carta e informazioni in tabella attributi.*

In definitiva, oltre alla visualizzazione della mappa di base e del *layer* del rischio lungo la rete viaria è possibile:

- effettuare una ricerca per località tramite l'apposita barra di ricerca in alto a destra;
- effettuare semplici operazioni di *pan* e *zoom*;
- visualizzare e tracciare la propria posizione all'interno della mappa (abilitando il sensore GPS del proprio smartphone prima dell'avvio);
- cliccare su un qualsiasi punto del *layer* per ottenere tutte le informazioni presenti nella tabella attributi (Fig. 9.36).

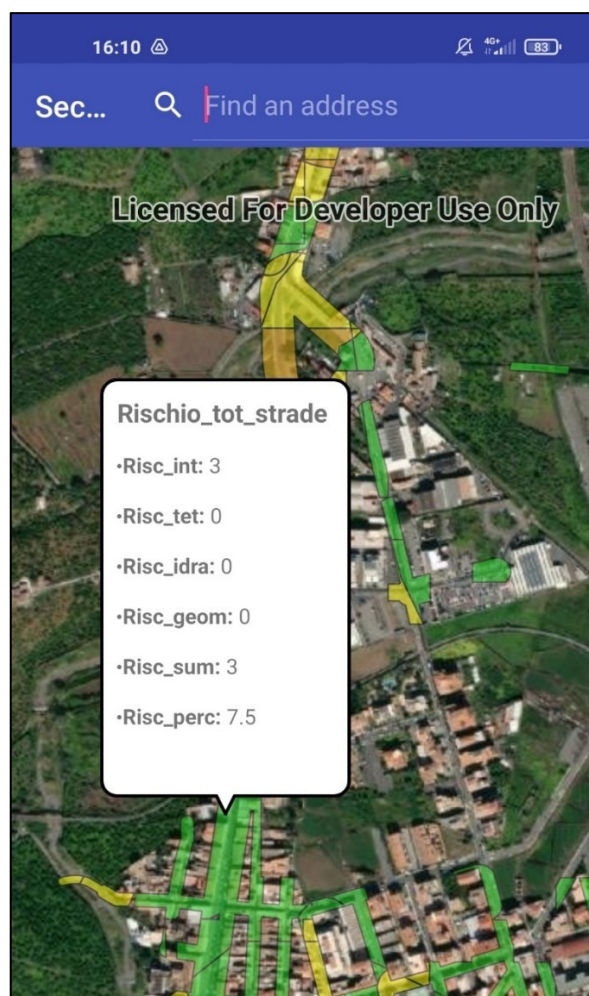


Fig. 9.36 – Visualizzazione dei popup con le informazioni tabellari al tocco di ogni oggetto in mappa.

### 9.5 Sistemi “standalone” per la visualizzazione dei layers senza GeoServer

Se non si vuole ricorrere all'utilizzo di *GeoServer* ci sono diverse alternative percorribili che prevedono l'utilizzo di servizi in *cloud* e servizi di *hosting*, anche gratuiti (seppur con qualche limitazione). Tali servizi prevedono il caricamento dei dati su *server* esterni, perennemente online, senza la necessità di una macchina costantemente in uso per il funzionamento del servizio. Questo metodo ha *pro* e *contro*: permette da un lato di ottenere dei risultati funzionali e visivamente gratificanti in pochissimo tempo, dall'altro necessita di un *upload* continuo di dati nel caso in cui le mappe vengano modificate e aggiornate. In questa sede sono stati approfonditi due casi specifici: l'utilizzo di un servizio di *hosting* gratuito offerto da *Altevista.org* e l'utilizzo dei servizi offerti dal portale *ArcGIS Online*, previa registrazione di un *Account Developer*.

### 9.5.1 Sviluppo di un sito web personale con Leaflet.JS, formato GEOJSON e protocollo FTP ([www.securegeostreet.it](http://www.securegeostreet.it))

Al fine di creare una piattaforma indipendente da *GeoServer* per raccogliere tutte le cartografie e le altre informazioni inerenti al progetto è stato creato un sito Internet dedicato, raggiungibile all'indirizzo <https://www.securegeostreet.it/>. Il sito, basato sul CMS (*Content Management System*) *WordPress* (<https://wordpress.com/it/>), permette l'utilizzo dell'interfaccia web per trasferire i file tramite protocollo FTP (*File Transfer Protocol*: protocollo di livello applicazioni per la trasmissione di dati tra *host* basato su TCP e con architettura di tipo *Client-Server*) ad un *server* interamente online; si tratta quindi di un servizio di *hosting*, cioè un servizio di rete che consiste nell'allocare su un *server web* dei file di un sito web o di un'applicazione web, rendendolo così accessibile dalla rete Internet e ai suoi utenti.

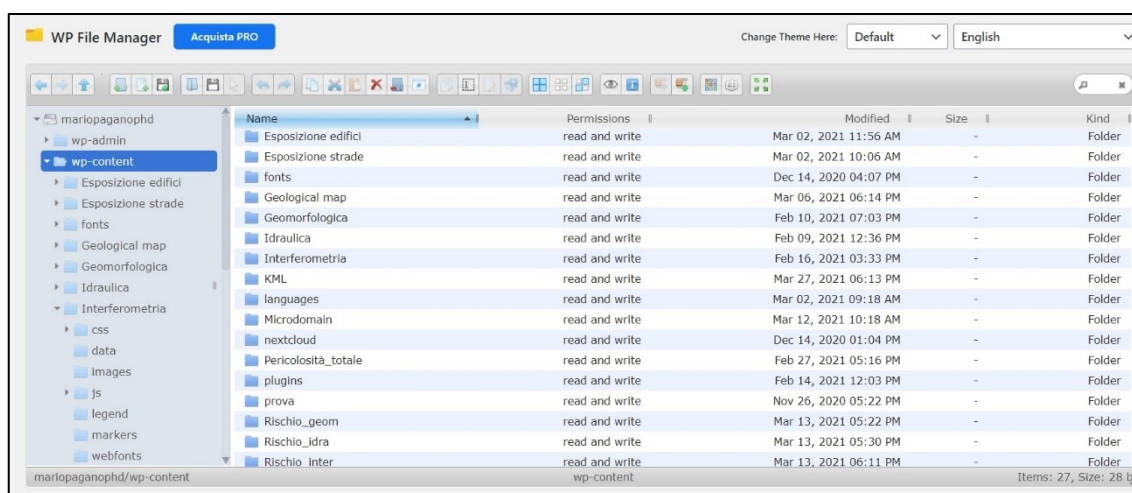


Fig. 9.37 - Gestione del servizio di Hosting attraverso il Plugin "WP File Manager" di WordPress (<https://it.wordpress.org/plugins/wp-file-manager/>).

La gestione dei file può avvenire o attraverso *plugins* gratuiti messi a disposizione direttamente nell'interfaccia *WordPress* (Fig. 9.37) o, in alternativa, tramite l'utilizzo di più immediati *software* gratuiti per il trasferimento di file tramite FTP come ad esempio *FileZilla* (<https://filezilla-project.org/>).

Per mezzo di uno spazio perennemente online per l'immagazzinamento dei file è stato possibile creare delle pagine HTML più complete e interattive rispetto a quelle viste nel Par. 9.4.2, grazie all'aggiunta di *plugins* aggiuntivi e all'utilizzo di *layers* in formato *GeoJSON* (Cod. 9.22) al posto del *layer WMS* con collegamento a *GeoServer* (con l'ausilio delle librerie di *scripting Leaflet.JS*).

*GeoJSON* (<https://geojson.org/>) è un formato di interscambio di dati geospaziali con standard aperti che rappresenta semplici feature geografiche e i loro attributi non spaziali. Si basa su *JavaScript Object Notation* (JSON), un formato per la codifica di una varietà di strutture di dati geografici; utilizza un sistema di riferimento di coordinate geografiche, *World Geodetic System 1984*, e unità di gradi decimali (Butler, 2016).

```
var layer_Rischio_totale50_3 = new
L.geoJson(json_Rischio_totale50_3, {
  attribution: '',
  interactive: true,
  dataVar: 'json_Rischio_totale50_3',
  layerName: 'layer_Rischio_totale50_3',
  pane: 'pane_Rischio_totale50_3',
  onEachFeature: pop_Rischio_totale50_3,
  style: style_Rischio_totale50_3_0,
});
```

Cod. 9.22 - Caricamento del layer di rischio in formato GeoJSON.

Oltre ai già citati *plugins* *L.control.mousePosition* e *L.control.betterscale*, sono state aggiunte ulteriori funzioni (Cod. 9.23): una barra di navigazione che permette di tornare indietro o avanti nella cronologia degli zoom effettuati e ritornare all'estensione iniziale impostata di *default* (<https://github.com/davidchouse/Leaflet.NavBar>); un comando per attivare la modalità a tutto schermo (<https://github.com/Leaflet/Leaflet.fullscreen>); un comando per attivare la geolocalizzazione del dispositivo all'interno della mappa (<https://github.com/domoritz/leaflet-locatecontrol>).

```
var map = L.map('map', {
  center: [37.7262, 15.1677],
  zoom: 12,
  measureControl: true,
  fullscreenControl: true,
  fullscreenControlOptions: {
    position: 'topleft'
  }
});

var control = L.control.locate({
  strings: {
    title: "Show me where I am!"
  }
}).addTo(map);

var mousePosition= L.control.mousePosition().addTo(map);

var betterscale= L.control.betterscale({setPosition:
'bottomright'}).addTo(map);

var navbar = L.control.navbar().addTo(map);
```

Cod. 9.23 - Utilizzo di plugin aggiuntivi per aumentare l'interattività della mappa.



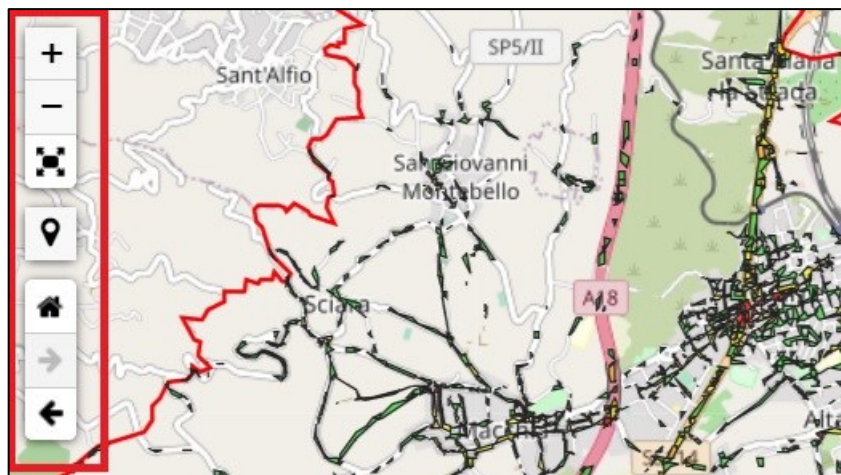


Fig. 9.38 - Aspetto della “NavBar” laterale per il controllo dello zoom, la geolocalizzazione e la modalità a schermo intero.

Attraverso la funzione *highlightFeature* (Cod. 9.24) è invece possibile evidenziare con un certo colore gli oggetti selezionati al passaggio del mouse (blu con trasparenza al 30 % nel caso specifico).

```

var highlightLayer;

function highlightFeature(e) {
    highlightLayer = e.target;

    if (e.target.feature.geometry.type === 'LineString') {
        highlightLayer.setStyle({
            color: '#ffff00',
        });
    } else {
        highlightLayer.setStyle({
            fillColor: '#0095ff',
            fillOpacity: 0.7
        });
    }
}

```

Cod. 9.24 – Impostazione della funzione “highlightLayer”.

Ciò permette di avere un *feedback* visivo immediato per gli oggetti che vengono selezionati, evidenziando dello stesso colore tutte le *features* con attributi identici e che rispondono quindi in egual modo alla richiesta prodotta dall’utente in seguito al clic del mouse o al tocco col dito (Fig. 9.39).

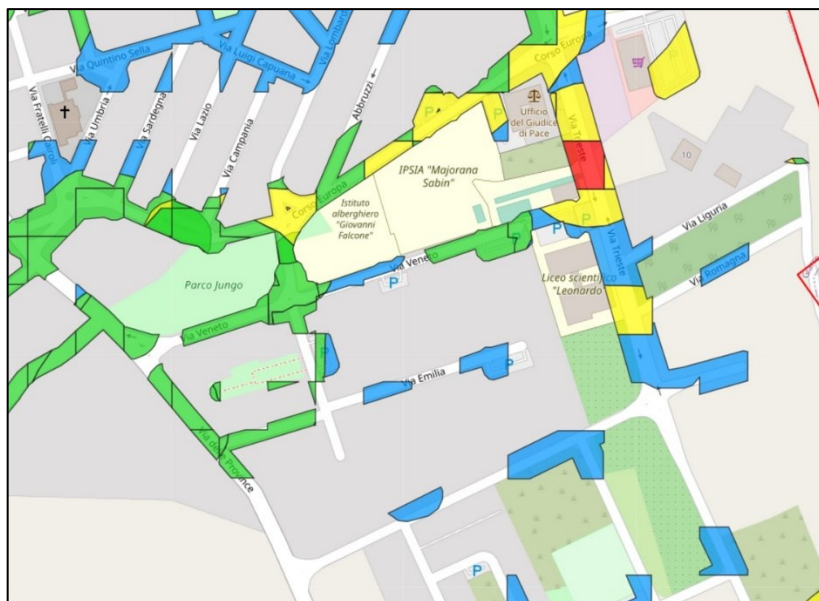


Fig. 9.39 – Evidenziazione in blu (con trasparenza del 30 %) delle features selezionate.

L'utilizzo del formato *GeoJSON* permette di interrogare i dati in maniera più interattiva rispetto ai *layers WMS* visti in precedenza. Cliccando su ogni singolo oggetto in mappa è infatti possibile far comparire un *popup*, totalmente personalizzabile, con le informazioni originarie contenute all'interno della tabella attributi (Fig. 9.40).

```
function pop_Rischio_totale50_3(feature, layer) {
    layer.on({
        mouseout: function(e) {
            for (i in e.target._eventParents) {
                e.target._eventParents[i].resetStyle(e.target);
            }
        },
        mouseover: highlightFeature,
    });
}
```

Cod. 9.25 – Codice per la generazione dei popup al clic del mouse.

Le varie opzioni di visualizzazione relative ai *popup* vengono gestite attraverso la funzione *var popup content*, propria di ogni *layer GeoJSON* aggiunto in mappa (Cod. 9.26).

```

var popupContent = '<center><b>Tabella attributi</b></center><br><table>\
<tr>\
  <th scope="row">Grado del rischio da dati interferometrici</th>\
  <td>' + (feature.properties['Risc_int'] !== null ? autolinker.link(\
feature.properties['Risc_int'].toLocaleString()) : '') + '</td>\
</tr>\
<tr>\
  <th scope="row">Grado del rischio tettonico</th>\
  <td>' + (feature.properties['Risc_tet'] !== null ? autolinker.link(\
feature.properties['Risc_tet'].toLocaleString()) : '') + '</td>\
</tr>\
<tr>\
  <th scope="row">Grado del rischio idraulico</th>\
  <td>' + (feature.properties['Risc_idra'] !== null ? autolinker.link(\
feature.properties['Risc_idra'].toLocaleString()) : '') + '</td>\
</tr>\
<tr>\
  <th scope="row">Grado del rischio geomorfologico</th>\
  <td>' + (feature.properties['Risc_geom'] !== null ? autolinker.link(\
feature.properties['Risc_geom'].toLocaleString()) : '') + '</td>\
</tr>\
<tr>\
  <th scope="row">Somma algebrica dei rischi singoli</th>\
  <td>' + (feature.properties['Risc_sum'] !== null ? autolinker.link(\
feature.properties['Risc_sum'].toLocaleString()) : '') + '</td>\
</tr>\
<tr>\
  <th scope="row">Grado di rischio %</th>\
  <td>' + (feature.properties['Risc_perc'] !== null ? autolinker.link(\
feature.properties['Risc_perc'].toLocaleString()) : '') + '</td>\
</tr>\
</table>';
layer.bindPopup(popupContent, {maxHeight: 400});

```

Cod. 9.26 – Configurazione delle informazioni da visualizzare all'interno dei popup.

È possibile quindi modificare la formattazione della tabella e il nome della stessa e decidere quali campi del *layer* originale far comparire e con quale nome.



Fig. 9.40 – Esempio di popup nella mappa di rischio finale per le strade.

Si procede poi all'impostazione dello stile di visualizzazione di ogni singola categoria presente nei *layers* (Cod. 9.27).

```
function style_Rischio_totale50_3_0(feature) {  
    if (feature.properties['Risc_perc'] >= 0.100000 &&  
feature.properties['Risc_perc'] <= 15.000000 ) {  
        return {  
            pane: 'pane_Rischio_totale50_3',  
            opacity: 1,  
            color: 'rgba(35,35,35,1.0)',  
            dashArray: '',  
            lineCap: 'butt',  
            lineJoin: 'miter',  
            weight: 1.0,  
            fill: true,  
            fillOpacity: 0.7,  
            fillColor: 'rgba(31,215,34,1.0)',  
            interactive: true,  
        }  
    }  
}
```

Cod. 9.27 - Definizione dello stile per il file GeoJSON della mappa del rischio totale delle strade (es. relativo alla prima categoria di rischio: *Risc\_perc* < %).

Nel Cod. 9.27, relativo alla mappa del rischio totale per le strade, è necessario definire lo stile per ogni categoria di rischio impostando il colore di riempimento e il suo livello di trasparenza, il colore e lo spessore del bordo e attivare l'interazione al clic del mouse.

L'ultima fase riguarda l'impostazione della *checkbox* per la selezione dei *layers* (Fig. 9.41), che a differenza delle mappe mostrate nel Par. 9.4.2, è stata strutturata in modo da ospitare al suo interno anche la legenda dei simboli mostrati in ogni *layer* della mappa, sfruttando dei file .jpeg immagazzinati all'interno del *server* del sito (Cod. 9.28).

```

var baseMaps = {};
L.control.layers(baseMaps, {'Rischio_totale (Intervalli uguali)<br /><table><tr><td
style="text-align: center;"></td><td>0,01 % - 27
%</td></tr><tr><td style="text-align: center;"></td><td>27,01 % - 51
%</td></tr><tr><td style="text-align: center;"></td><td>51,01 % - 76
%</td></tr><tr><td style="text-align: center;"></td><td>76,01 % - 100
%</td></tr></table>': layer_Rischio_totaleIntervalliuuguali_5, 'Rischio_totale (Metodo
quantile)<br /><table><tr><td style="text-align: center;"></td><td>0,01 % - 15
%</td></tr><tr><td style="text-align: center;"></td><td>15,01 % - 30
%</td></tr><tr><td style="text-align: center;"></td><td>30,01 % - 50
%</td></tr><tr><td style="text-align: center;"></td><td>50,01 % - 100
%</td></tr></table>': layer_Rischio_totaleMetodoquantile_4, 'Rischio_totale (50%)<br
/><table><tr><td style="text-align: center;"></td><td>0,01 % - 15 %</td></tr><tr><td
style="text-align: center;"></td><td>15,01 % - 30 %</td></tr><tr><td style="text-align: center;"></td><td>30,01 % - 41
%</td></tr><tr><td style="text-align: center;"></td><td>41,01 % - 100
%</td></tr></table>': layer_Rischio_totale50_3, 'Comune di Giarre<br><br><b>Mappe di
base</b><br>': layer_Comunedigiarre_2, "OpenStreetMap": layer_OpenStreetMap_1, "Google
(Satellite)": layer_GoogleSatellite_0,}).addTo(map);

```

Cod. 9.28 – Configurazione della checkbox e della legenda.

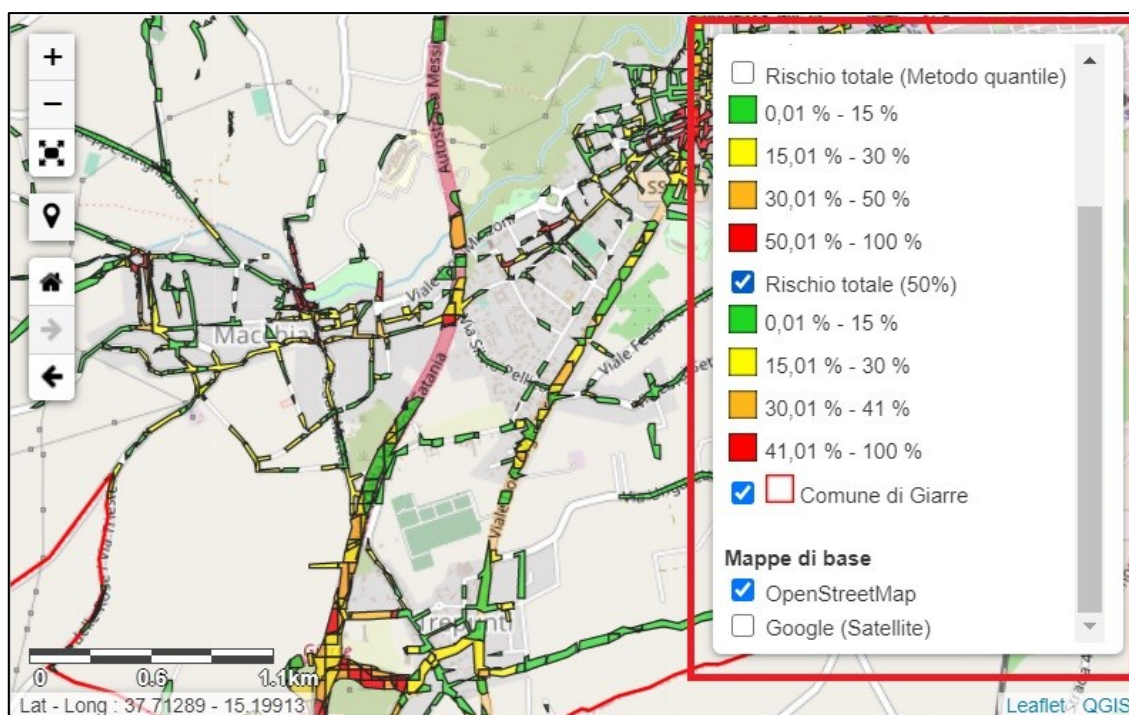


Fig. 9.41 – Aspetto finale della checkbox nella mappa di rischio totale per le strade.

I file HTML così creati sono stati caricati tramite FTP all'interno dello spazio web a disposizione e integrati all'interno delle singole sezioni del sito tramite il tag `<iframe></iframe>` (Fig. 9.42).

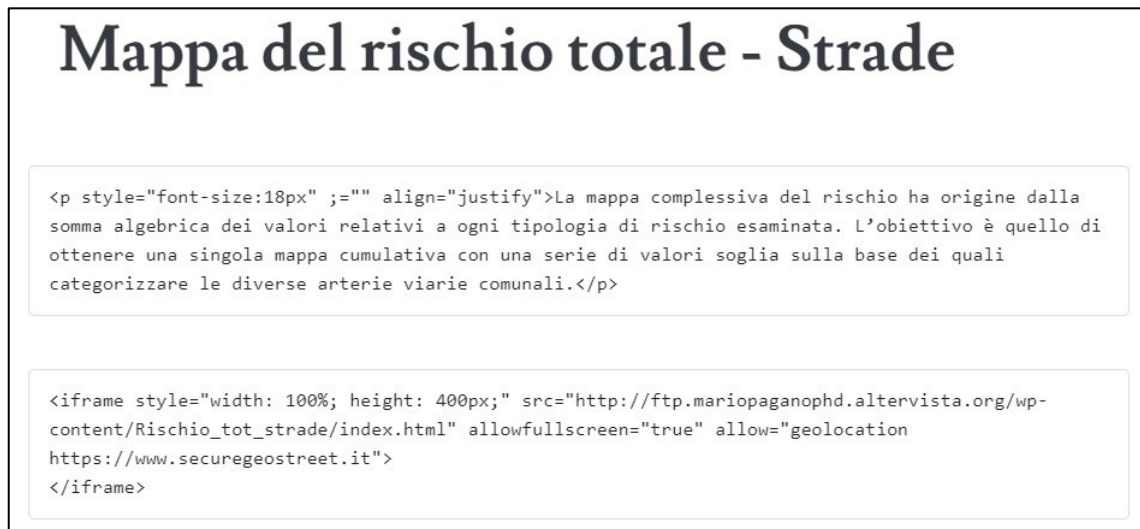


Fig. 9.42 – Esempio di `iframe` per l'integrazione della mappa all'interno di una pagina Web.

Un *iframe* (dall'inglese *Inline Frame*) è un elemento HTML ancorato all'interno della pagina e viene generalmente utilizzato per mostrare il contenuto di una pagina web, o di qualsiasi altra risorsa, all'interno di un riquadro in un'altra pagina principale.

Il sito Internet di SecureGeoStreet (<https://www.securegeostreet.it/>) si suddivide in sette diverse categorie:

- “Descrizione del progetto”, la *Homepage* del sito, che descrive gli obiettivi e le modalità del progetto di ricerca;
- Le sezioni “Pericolosità”, “Esposizione” e “Rischio”, il nucleo centrale del sito, contenenti le diverse mappe convertite in formato HTML con le librerie *Leaflet.JS*;
- “*ArcGIS toolboxes*”, contenente la spiegazione del *workflow* con i passaggi necessari all'ottenimento delle mappe di rischio a partire dai dati di partenza, con la possibilità di scaricare le *toolboxes* create *ad hoc* per automatizzare parte dei processi;
- “Servizi KML e OGC”, contenente una breve spiegazione del funzionamento dei servizi WMS, WFS e KML e delle tabelle di riepilogo con tutti i link necessari al collegamento a ognuna delle mappe ospitate da *GeoServer*;

- La sezione “Il Geoportale” che, in maniera simile al procedimento per le pagine HTML sopra descritte, ospita all’interno del tag `<iframe></iframe>` una pagina esterna relativa a un geoportale costruito su *ArcGIS Online*.

#### 9.5.2 *Sviluppo di un Geoportale su ArcGIS Online*

L’ultimo sistema *client* per la visualizzazione dei *layers* creati nell’ambito del progetto è il geoportale creato su piattaforma *ArcGIS Online* (<https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-online/overview>) che, previa registrazione di un *account* di tipo *Developer*, mette a disposizione una serie di strumenti molto avanzati per la creazione di mappe e *WebApp*, quest’ultime veri e propri geoportali con i quali visualizzare i *layers* ed effettuare una serie di operazioni tipiche dei *GIS desktop* come:

- Visualizzazione della tabella attributi con filtraggio dei dati tramite *query*, ordinamento delle colonne, filtraggio dei dati, visualizzazione delle statistiche di ogni campo;
- cambio di *basemaps*, misurazioni, aggiunta di *layers*, creazione di oggetti attraverso l’aggiunta di alcuni *widget*;
- modifiche nello stile di visualizzazione con cambiamenti nell’ordine dei *layers*, livelli di trasparenza, visibilità dipendente dalla scala, impostazione dei *popup* al clic del mouse in mappa.

Alla base vi è la creazione di una mappa su cui poi costruire la *WebApp*: si sceglie una *basemap* tra quelle messe a disposizione su *ArcGIS Online*, tra cui quella con vista satellitare (con e senza etichette) o quella con la rete stradale e poi si aggiungono i diversi *layers* scegliendo tra le varie opzioni disponibili (Fig. 9.43).

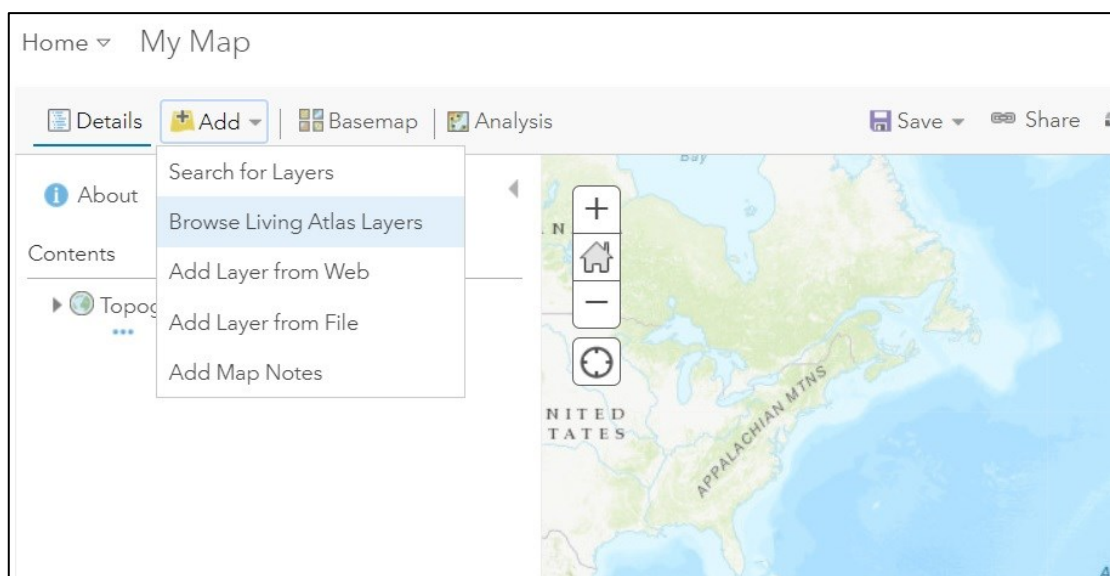


Fig. 9.43 – Aggiunta di nuovi layers o basemaps alla WebApp su ArcGIS Online.

È possibile aggiungere layers a partire dal *Living Atlas* di ArcGIS, che ne contiene una serie molto interessante, come ad esempio carte clivometriche, DEM, carte dell'esposizione e diversi tipi di immagini in falsi colori.

Di particolare interesse è la possibilità di aggiungere *layers* direttamente dal Web, sfruttando protocolli OGC come WMS, WMTS e WFS oppure tramite URL a file KML che risiedono su *server* esterni; è possibile quindi aggiungere i link ai *layers* che risiedono su *GeoServer* in maniera molto veloce sfruttando *ArcGIS Online* soltanto come vero e proprio *client*. In alternativa è possibile effettuare l'*upload* dei propri file direttamente sul portale, che in questo caso funzionerà sia da *server* perennemente online che da *client*, nel caso in cui non si disponga di un'infrastruttura *server* privata come *GeoServer*.

Una volta creata la propria scena si procede alla creazione dell'*app* con *ArcGIS Web AppBuilder*, un'applicazione che consente di creare *WebApp* 2D e 3D senza la scrittura di righe di codice. L'*app* creata con *ArcGIS Web AppBuilder* si basa sulla *Web Map* di *ArcGIS Online* creata in precedenza e visualizzerà quindi la stessa area di mappa, lo stesso stile di visualizzazione impostato precedentemente e gli stessi *layers* operativi con cui si desidera che gli utenti interagiscano.

Si aggiungono le possibilità di: scegliere un tema tra quelli predefiniti configurando l'aspetto del geoportale in termini di pannelli, stili e *layout*; aggiungere dei *widget* preconfigurati, che forniscono funzionalità aggiuntive alle *app*.



La maggior parte dei *widget* offre parametri di configurazione e personalizzazione aggiuntivi a quelli di base proposti dal tema prescelto.

I *widget* aggiunti ad esempio alla *WebApp* del progetto, denominata “SecureGeoStreet\_WebApp”, sono:

- Tabella attributi: mostra gli attributi dei *layers* operativi sotto forma di tabella, all'interno della quale è possibile visualizzare i dati di ogni *feature*, ordinare le colonne in ordine alfabetico, applicare filtri, nascondere colonne, selezionare determinati *record* per visualizzarli in mappa, zoomare alla selezione e visualizzare le statistiche relative ad ogni attributo;
- Pulsante Home: applica lo zoom all'estensione iniziale della mappa, impostata in questo caso in modo da visualizzare l'intero comune di Giarre;
- Cursori per lo zoom: offrono controlli dello zoom interattivi nella visualizzazione della mappa;
- Navigazione estensione: consente di passare all'estensione precedente (livello di zoom) o successiva della mappa;
- La mia Posizione: consente di individuare la posizione fisica dell'utente attraverso le funzioni GPS del dispositivo e di eseguirne lo zoom sulla mappa;
- Schermo intero: consente di avviare l'applicazione in modalità a schermo intero;
- Barra della scala: consente di visualizzare una barra grafica della scala sulla mappa in basso a sinistra, che si aggiorna ai vari livelli di zoom;
- Coordinate: mostra le coordinate nella proiezione di mappa corrente quando si muove il puntatore sulla mappa o in altri sistemi di coordinate facendo clic sulla mappa;
- Ricerca: permette la ricerca per località effettuando un pan e uno zoom alla località scelta;
- Elenco layer: visualizza un elenco dei *layers* operativi disponibili nell'*app*, di cui è possibile impostare il livello di trasparenza, visualizzare la tabella attributi, modificare l'ordine di visualizzazione;
- Legenda: consente di visualizzare una legenda dei *layers* visibili nella mappa;

- Aggiungi dati: consente di aggiungere dati alla mappa eseguendo ricerche di *layers* nel contenuto di *ArcGIS Online*, immettendo gli URL di servizi OGC oppure caricando file locali come *shapefile* o *KML*;
- Disegna: consente di disegnare grafici e testo di base sulla mappa, aggiungendoli come *layers* provvisori al geoportale;
- Galleria mappe di base: offre una galleria di mappe di base intercambiabili e consente all'utente di selezionarne una di suo gradimento;
- Misurazione: consente all'utente di misurare l'area di un poligono, misurare la lunghezza di una linea o di trovare le coordinate di un punto;
- Stampa: opzioni di stampa di base o avanzate della mappa visualizzata, permettendo l'esportazione in diversi formati (PDF, JPEG, PNG, ecc.) e diversi *layout* di stampa (A3, A4, ecc.).

È possibile visualizzare il geoportale da qualsiasi dispositivo che abbia un *browser web* e una connessione ad Internet, quindi da smartphone, pc, tablet e smart tv.

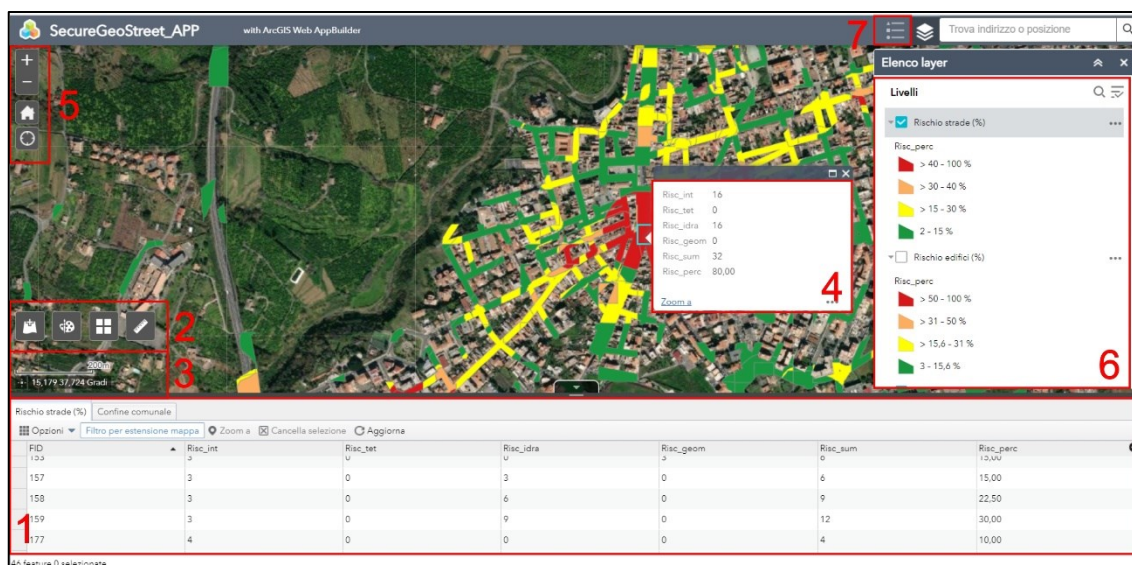


Fig. 9.44 – Aspetto del Geoportale realizzato su ArcGIS Online: 1) tabella attributi dei vari layers disponibili; 2) Widget per il disegno, il cambio di basemaps, l'aggiunta di layers e le misurazioni; 3) Visualizzatore di coordinate; 4) Popup con le informazioni del layers visualizzato al clic del mouse; 5) Barra laterale per la gestione del pan e dello zoom; 6) Checkbox con l'elenco dei layers; 7) Legenda dei layers.

### 9.5.3 App Android per la visualizzazione di pagine HTML

Con lo stesso *software* utilizzato per la creazione dell'*app* descritta nel Par. 9.4.5, sono state create altre due *app*, molto più semplici nella struttura e nel funzionamento (Fig. 9.45 e Fig. 9.46).

Le due *app* in questione hanno il semplice intento di fungere da visualizzatore di pagine HTML esterne già esistenti. Questa operazione viene effettuata tramite la classe *WebView*, che rappresenta un'estensione della classe *View* tipica dello sviluppo su *Android*; essa non comprende tutte le funzioni di un *browser* web (come i controlli di navigazione o la barra degli indirizzi), ma consente solo di visualizzare pagine Web come parte del *layout* delle attività (Cod. 9.29). Uno scenario di utilizzo tipico di questo tipo di *app* è quella che prevede la visualizzazione di informazioni in continuo aggiornamento, proprio come le mappe di esposizione, di pericolosità e di rischio: mentre le mappe ospitate sulla pagina web potranno essere aggiornate continuamente, il codice dell'*app Android* rimarrà esattamente lo stesso.

```

@Override
protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
    super.onCreate(savedInstanceState);
    setContentView(R.layout.activity_main);
    mWebView = findViewById(R.id.activity_main_webview);
    WebSettings webSettings = mWebView.getSettings();
    webSettings.setJavaScriptEnabled(true);
    webSettings.setAllowUniversalAccessFromFileURLs(true);
    webSettings.setDomStorageEnabled(true);
    webSettings.setGeolocationEnabled(true);

    // REMOTE RESOURCE

    mWebView.loadUrl("https://mariopagano89.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/
    index.html?id=10185d2e8ead4b129337f12b889081b4");

    mWebView.getSettings().setAppCacheEnabled(true);
    mWebView.getSettings().setDatabaseEnabled(true);
    mWebView.getSettings().setDomStorageEnabled(true);
    mWebView.setWebChromeClient(new WebChromeClient(){
        @Override
        public void onGeolocationPermissionsShowPrompt(String origin,
        GeolocationPermissions.Callback callback) {

            callback.invoke(origin, true, false);
        }
    });
    // ...
    checkLocationPermission();
}

```

Cod. 9.29 – Classe “WebView” all’interno del metodo “OnCreate”.

La classe *WebView* viene aggiunta all'interno del metodo *OnCreate* (Cod. 9.29). La parte principale del codice è costituita dalla stringa *mWebView.loadUrl* che contiene il link alla pagina HTML che deve essere visualizzata all'interno dell'app. Nel Cod. 9.29 si fa riferimento al geoportale creato su *ArcGIS Online* (Par. 9.5.2), che costituisce il contenuto della prima app (Fig. 9.45). Lasciando l'intero codice invariato e sostituendo soltanto il link ad *ArcGIS Online* con il link diretto alla pagina HTML relativa alla mappa di rischio totale delle strade disponibile sul sito <https://www.securegeostreet.it/>, è stato possibile creare velocemente una seconda app (Fig. 9.46), contenente questa volta la mappa finale del rischio delle strade sviluppata in *Java* con le librerie *Leaflet.JS*.

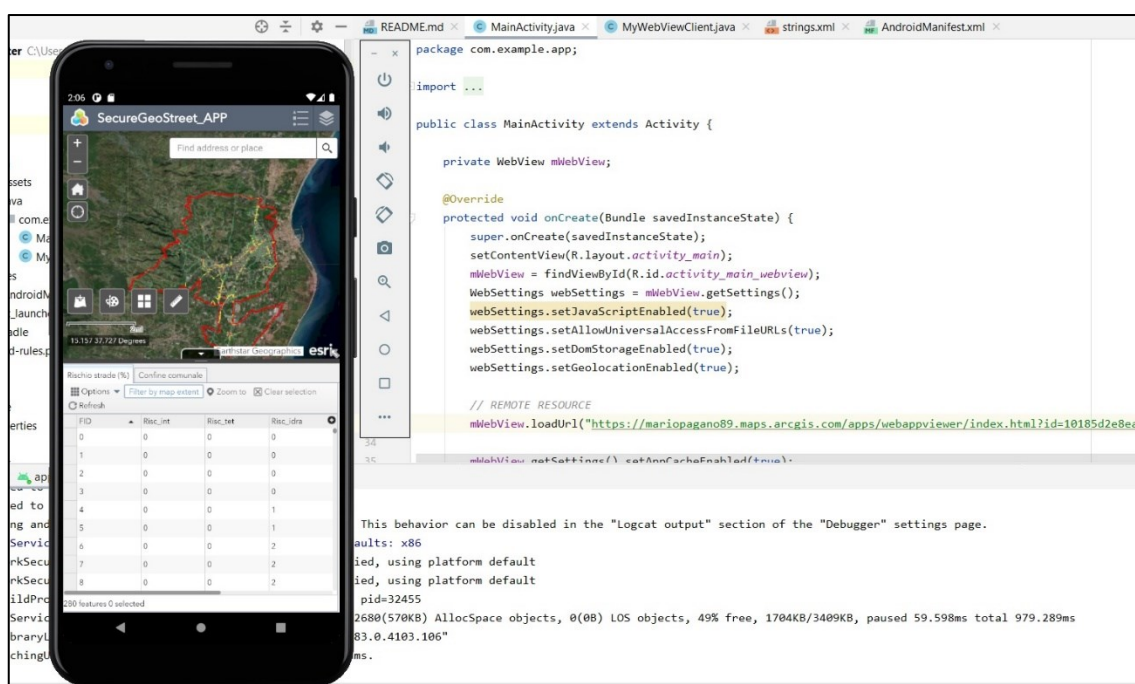


Fig. 9.45 – App Android che visualizza la pagina HTML del geoportale costruito su ArcGIS Online.

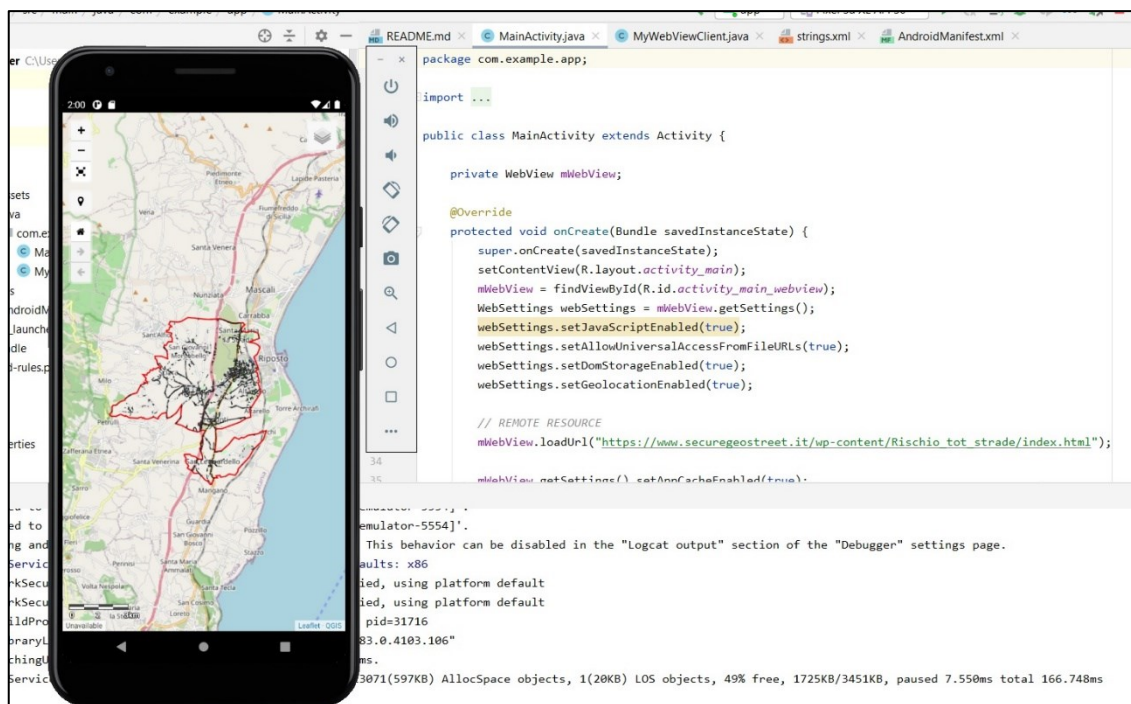


Fig. 9.46 - App Android che visualizza la pagina HTML della mappa di rischio disponibile nel sito [www.securegeostreet.it](https://www.securegeostreet.it).



Fig. 9.47 - Loghi delle app per la visualizzazione delle pagine HTML.

---

## 10 Conclusioni

*SecureGeoStreet* è un progetto rivolto a enti privati e/o amministrazioni locali impegnate nel monitoraggio e nella pianificazione territoriale. Tale strumento ha lo scopo essenziale di fornire ai tecnici uno strumento versatile, utile agli interventi di prevenzione del rischio geologico l.s. lungo la rete viaria. *SecureGeoStreet* è in grado di fornire uno strumento semi-automatizzato utile per l'acquisizione, l'analisi e l'elaborazione di mappe del rischio geologico l.s., con particolare riferimento all'ottenimento di carte tematiche derivate in grado di visualizzare in maniera sinottica i tratti di arterie viarie potenzialmente sottoposte a un rischio geologico potenziale.

*SecureGeoStreet* offre inoltre la possibilità di visualizzare e condividere i dati geospaziali derivati in modo semplificato attraverso diverse soluzioni *WebGIS*, in modo da renderli accessibili da numerose piattaforme come PC, tablet e smartphone, sia all'interno di una rete locale che su Internet, per una fruizione finale aperta a tutti.

Incentrato sul caso studio del comune di Giarre (CT), il *workflow* (schematizzato nell'Allegato B) si sviluppa a partire da dati cartografici pregressi e da alcuni database online accessibili gratuitamente, e guida l'utente alla definizione di alcuni parametri fondamentali come: la pericolosità dovuta a fenomeni idraulici, geomorfologici e tettonici; la pericolosità derivante dalle analisi interferometriche; l'esposizione intesa come densità veicolare in ogni segmento della rete viaria.

La perimetrazione della pericolosità è stata effettuata attraverso: la raccolta di dati bibliografici (come il progetto IFFI, la cartografia PAI, la banca dati del Dipartimento della Protezione Civile e il Piano Regolatore Comunale -P.R.G.-); un processo di fotointerpretazione su *Google Earth*; la creazione di mappe derivate da DTM (modello TIN delle fasce altimetriche, elaborazione *Hillshade*, carta delle pendenze e dell'esposizione dei versanti, ecc.) e la creazione di indici e fasce di rispetto attraverso lo sviluppo di *toolboxes* originali (fasce di rispetto per gli orli di scarpata, fasce di rispetto delle strutture tettoniche, indice TWI, ecc.).

Con la collaborazione di *Planetek Hellas E.P.E.* (Atene, Grecia) e *Planetek Italia s.r.l.* (Bari, Italia), la valutazione della pericolosità è stata arricchita con uno studio approfondito delle immagini *Sentinel-1*, attraverso l'interpretazione dei *Persistent Scatterers (PSInSAR)* disponibili per l'arco temporale da ottobre 2014 a giugno 2018.

Mediante diverse analisi (*Heatmaps* delle zone critiche, interpolazioni IDW dei valori di VLos, calcolo dei parametri statistici di velocità all'interno della rete viaria), il processo di *radar-interpretazione* ha permesso di valutare le velocità medie annue lungo la linea di vista del satellite (VLos) e le deformazioni relative nelle varie porzioni del territorio comunale, suddividendo la rete viaria in segmenti a diversa pericolosità, calcolata sulla base dei valori di VLos (e *range* della VLos) e dei valori di distorsione angolare determinati da eventuali cedimenti differenziali delle infrastrutture, potenzialmente in grado di influire sull'integrità strutturale delle stesse.

Le analisi hanno condotto alla realizzazione di quattro mappe di pericolosità singole (pericolosità idraulica, pericolosità geomorfologica, pericolosità tettonica, pericolosità da dati interferometrici) e di una mappa di pericolosità totale, ognuna categorizzata in quattro classi e con una scala colore di pericolosità crescente dal verde al rosso.

Sfruttando i dati interferometrici a disposizione, è stato approfondito lo studio relativo all'area del *graben* di San Leonardello, localizzato nella zona sud del comune e delimitato a ovest dalla faglia attiva di S. Leonardello e a est dalla faglia di Trepunti – Stazzo. Mediante l'analisi delle serie temporali (o serie storiche) dei *Persistent Scatterers*, i profili della VLos e della deformazione in funzione del tempo e alcuni modelli 3D, è stato possibile effettuare un monitoraggio del comportamento storico dell'intera area (*back monitoring*), valutando le variazioni nel tempo e nello spazio dei valori di velocità e deformazione e mettendo in risalto eventuali andamenti non lineari e alcune brusche variazioni nelle diverse porzioni del *graben*, correlando tali eventi ai fenomeni documentati nella letteratura recente.

Il calcolo dell'esposizione è avvenuto attraverso due modelli: il primo, basato su una matrice O/D (origine/destinazione) derivante dal calcolo di tutti i percorsi possibili tra i probabili punti di origine e destinazione del flusso viario, attraverso la costruzione di una mappa demografica e la selezione dei punti di interesse della città (ponderati in funzione del loro livello di attrattività); il secondo, costruito sui dati forniti da *Google Traffic*, che tiene conto della variabilità del flusso viario a diversi orari e in diversi giorni della settimana, fornendo un indice che funge anche da parametro di affidabilità per i valori ottenuti nel primo modello.

Molti dei processi che portano alle mappe di rischio finali sono stati automatizzati con la creazione di 33 *toolboxes* attraverso l'*ArcGIS Model Builder* e l'integrazione di alcuni *script Python* originali, al fine di facilitare e velocizzare l'applicazione del *workflow* in altri contesti territoriali e garantire una maggiore rapidità nel caso di aggiornamento dei dati. Il pacchetto di *toolboxes* è suddiviso in quattro *toolsets*, e contiene strumenti che spaziano dall'analisi delle pericolosità (calcolo del reticolo idrografico e delle intersezioni idrauliche, calcolo delle fasce di rispetto per faglie e scarpate, filtraggio e trattamento dei dati interferometrici, ecc.), all'analisi dell'esposizione (creazione della mappa demografica), fino a operazioni più generiche relative alla combinazione dei dati a disposizione per il calcolo delle mappe intermedie e finali.

Insieme al pacchetto di *toolboxes* (SecureGeoStreet.tbx) è stata predisposta una cartella vuota, denominata "Geodata", da copiare all'interno della *directory "C:"* del computer per permettere il salvataggio dei file intermedi e finali delle *toolboxes* e contenere i file di stile (file .lyr) necessari alla categorizzazione degli *output* finali con simboli e colori prestabiliti.

Il calcolo di pericolosità, esposizione e rischio è stato inoltre effettuato anche per gli edifici, testimoniando in questo caso l'ottima versatilità degli strumenti utilizzati, adatti quindi non soltanto alla rete viaria ma anche ad altri tipi di infrastrutture presenti sul territorio; in questo caso l'esposizione è stata calcolata sia sulla base della mappa demografica (dati ISTAT) che sui valori commerciali degli edifici (abitativi e non) e della loro dislocazione sul territorio (Banca Dati delle quotazioni immobiliari - BDQ OMI).

Le mappe di rischio potenziale ottenute (quattro di rischio singole e due di rischio totale per strade ed edifici) sono il risultato del prodotto tra i valori di pericolosità e quelli di esposizione.

Il progetto ha infine affrontato il tema della condivisione delle informazioni geografiche, sempre più presente e determinante nell'ambito delle geoscienze: per aumentarne e facilitarne la fruibilità, le cartografie realizzate sono state rese disponibili online attraverso una serie di soluzioni *WebGIS*; alcune prevedono l'utilizzo del *software GeoServer* per la costruzione del cosiddetto *motore GIS* (infrastruttura *Web lato server*) in grado di gestire e distribuire i dati geografici, altre sono basate su servizi e spazi online dedicati per l'immagazzinamento delle risorse.



Le librerie di *scripting* di *OpenLayers* permettono di visualizzare in modo semplice le anteprime dei *layers* caricati su *GeoServer*, componendo i link di richiesta (mediante apposito linguaggio) all'interno di un qualsiasi *browser* Internet.

Le mappe interattive sviluppate con i linguaggi informatici HTML, CSS e *JavaScript*, permettono l'integrazione delle cartografie all'interno di pagine *Web*, offrendo la possibilità di gestire e interrogare i *layers* e sfruttare la geolocalizzazione, oltre a offrire le più comuni operazioni di *Pan*, *Zoom* e controllo delle coordinate.

Un utilizzo più consapevole e professionale delle informazioni messe a disposizione può avvenire tramite: i servizi KML, da aggiungere al *software Google Earth*; i servizi OGC (WMS e WFS), con i quali è possibile visualizzare e modificare i *layers* sul proprio computer con un qualsiasi *software* GIS; la consultazione del geoportale su *ArcGIS Online*, che mette a disposizione dell'utente una serie di strumenti simili a quelli dei GIS *Desktop* senza la necessità di averli installati sul proprio computer.

Volendo visualizzare la cartografia finale del rischio potenziale in mobilità, il metodo più semplice rimane lo sfruttamento delle tre app *Android* realizzate in linguaggio *Java*: due di queste fungono da visualizzatore delle pagine web che ospitano il geoportale e la mappa di rischio totale per la rete viaria, mentre l'altra propone la visualizzazione del *layer* di rischio presente su *GeoServer* con possibilità di geolocalizzazione e ricerca delle località.

L'obiettivo principale del presente lavoro è stato quindi quello di rendere fruibili le cartografie a diversi tipi di utenti (*end-user*), a seconda della loro diversificata competenza con i *software* GIS e in funzione dell'esigenza di utilizzarle in ufficio o in mobilità.

Il sito Internet ([www.securegeostreet.it](http://www.securegeostreet.it)), infine, funge da contenitore per alcune delle soluzioni proposte in precedenza, fornendo immediato accesso alle mappe interattive, al geoportale, ai link dei servizi KML e OGC e al *download* delle *Toolboxes* e della cartella "Geodata".

Come sintesi del lavoro svolto sono stati prodotti due allegati: l'allegato A raccoglie tutte le mappe di pericolosità, esposizione e rischio prodotte all'interno del progetto; l'allegato B mostra invece la struttura dell'intero *workflow* di lavoro, evidenziando le procedure automatizzate e quelle che richiedono invece l'intervento manuale dell'utente.

I destinatari del progetto sono aziende private e pubbliche amministrazioni, che possono ricevere un supporto immediato per le fasi di monitoraggio e pianificazione territoriale volte alla mitigazione del rischio nella rete viaria.

Gli *output* cartografici finali non forniscono una risposta univoca sul valore assoluto di rischio geologico presente nell'una o altra strada, ma servono a dare, agli uffici preposti, un'indicazione di massima sulle zone da sottoporre a maggiore attenzione e nelle quali effettuare analisi più dettagliate tramite integrazione dei dati o rilievi diretti sul terreno. *SecureGeoStreet* è quindi un metodo speditivo per identificare le zone a rischio potenziale in maniera semplice e semiautomatizzata in modo da calibrare la gestione dei successivi studi di dettaglio ed eventualmente gli interventi di mitigazione del rischio. Anche gli studi di vulnerabilità potranno così essere tarati ed eseguiti solo sulle infrastrutture identificate come ad alto rischio potenziale, diminuendo fortemente il tempo e le risorse necessarie per la sua quantificazione. La vulnerabilità, se riferita al funzionamento della rete viaria, è invece insita nel parametro esposizione, che identifica in maniera chiara quali strade sono più importanti per il corretto funzionamento della rete, in base ai volumi di traffico che esse gestiscono.

L'intera *cyberinfrastructure* inoltre è stata costruita per essere facilmente aggiornata con nuovi dati e potrebbe essere integrata in futuro con: il calcolo di altri tipi di pericolosità (es. pericolosità sismica); l'aggiunta di nuovi parametri più dettagliati ai calcoli di pericolosità esistenti (es. analisi idrologiche approfondite); l'integrazione del parametro vulnerabilità; la costruzione di nuove *toolboxes* per un'automatizzazione più efficace e intuitiva nell'intero *workflow*; la strutturazione del *workflow* all'interno di un *sistema cloud* che permetta una maggiore velocità nell'esecuzione delle varie *toolboxes* realizzate all'interno del progetto.

Gli strumenti per la condivisione delle mappe finali, che costituiscono il fulcro di un'eventuale collaborazione con aziende o pubbliche amministrazioni, sono valide e possono essere applicate a qualsiasi tipo di mappa e informazione geografica georiferita, e potranno essere usate, se correttamente e costantemente aggiornate, come vero e proprio strumento di monitoraggio e pre-allertaggio, che fornirà indicazioni tempestive in caso di superamento di una certa soglia di rischio da parte di un determinato segmento della rete viaria.

## Bibliografia

Adorni, G., & Carveni, P. (1993). Geomorphology and seismotectonic elements in the Giarre area, Sicily. *Earth surface processes and landforms*, 18(3), 275-283.

Agung Setianto, A. S., & Tamia Triandini, T. T. (2013). Comparison of kriging and inverse distance weighted (IDW) interpolation methods in lineament extraction and analysis. *Journal of Southeast Asian Applied Geology*, 5(1), 21-29.

Ali, E. K., Hashim, I. H., Shwaly, S. A., Zidan, Z. M., & El-Badawy, S. M. (2021). Risk assessment of horizontal curves using reliability analysis based on Google traffic data. *Innovative infrastructure solutions*, 6(2), 1-13.

Arturi, A., Del Frate, F., Lategano, E., Schiavon, G., & Stramondo, S. (2003, December). The 1998 Sarno (Italy) landslide from SAR interferometry. In *Proc. of FRINGE*.

Azzaro R. (1997). Seismicity and active tectonics along the Pernicana fault, Mt. Etna (Italy). *Acta Vulcanol.*, 9 (1/2), 7-14.

Azzaro R. (1999). Earthquake surface faulting at Mount Etna volcano (Sicily) and implications for active tectonics. *J. Geodyn.*, 28, 193-213.

Azzaro R., Barbano, M.S. (2000). Analysis of seismicity of Southeastern Sicily: a proposed tectonic interpretation. *Annali di Geofisica*, 43 (1), 171-188.

Azzaro, R., Bonforte, A., Branca, S., & Guglielmino, F. (2013). Geometry and kinematics of the fault systems controlling the unstable flank of Etna volcano (Sicily). *Journal of volcanology and geothermal research*, 251, 5-15.

Azzaro, R., Bonforte, A., D'Amico, S., Guglielmino, F., & Scarfi, L. (2020). Stick-slip vs. stable sliding fault behaviour: A case-study using a multidisciplinary approach in the volcanic region of Mt. Etna (Italy). *Tectonophysics*, 790, 228554.

Bartier, P. M., & Keller, C. P. (1996). Multivariate interpolation to incorporate thematic surface data using inverse distance weighting (IDW). *Computers & Geosciences*, 22(7), 795-799.

---

Behncke, K., Hoffmann, K., de Lange, N., & Plass, C. (2009). Web-Mapping, Web-GIS und Internet-GIS—ein Ansatz zur Begriffsklärung. *KN-Journal of Cartography and Geographic Information*, 59(6), 303-308.

Bera, S., & Rao, K. V. (2011). Estimation of origin-destination matrix from traffic counts: the state of the art.

Berdica, K. (2002). An introduction to road vulnerability: what has been done, is done and should be done. *Transport policy*, 9(2), 117-127.

Bianchini, S., Solari, L., & Casagli, N. (2017). A gis-based procedure for landslide intensity evaluation and specific risk analysis supported by persistent scatterers interferometry (PSI). *Remote Sensing*, 9(11), 1093.

Bisson, M., Spinetti, C., Neri, M., Stefanelli, P., Basile, G., & Panebianco, M. (2019). Mt. Etna eastern flank flooding hazard: a first evaluation based on GIS approach. *Rendiconti Online della Società Geologica Italiana*.

Bitelli, G., Bonsignore, F., & Vittuari, L. (2008). Il monitoraggio della subsidenza in Emilia-Romagna: Risultati Recenti. In *Proceedings of the 12a Conferenza Nazionale ASITA, L'Aquila, Italy* (pp. 453-458).

Blumetti, A. M., DiManna, P., Ferreli, L., Fiorenza, D., & Vittori, E. (2007). Reduction of environmental risk from capable faults: the case of the Eastern Etna region (eastern Sicily, Italy). *Quaternary International*, 173, 45-56.

Bonforte, A., & Puglisi, G. (2006). Dynamics of the eastern flank of Mt. Etna volcano (Italy) investigated by a dense GPS network. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 153(3-4), 357-369.

Bonforte, A., Guglielmino, F., & Puglisi, G. (2013). Interaction between magma intrusion and flank dynamics at Mt. Etna in 2008, imaged by integrated dense GPS and DInSAR data. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 14(8), 2818-2835.

Bonforte, A., Guglielmino, F., Coltelli, M., Ferretti, A., & Puglisi, G. (2011). Structural assessment of Mount Etna volcano from Permanent Scatterers analysis. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 12(2).

Bonforte, A., Guglielmino, F., Coltelli, M., Ferretti, A., & Puglisi, G. (2011). Structural assessment of Mount Etna volcano from Permanent Scatterers analysis. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 12(2).

Borgia, A., Ferrari, L., & Pasquarè, G. (1992). Importance of gravitational spreading in the tectonic and volcanic evolution of Mount Etna. *Nature*, 357(6375), 231-235.

Borruso, G. (2013). Cartografia e informazione geografica "2.0 e oltre", webmapping, webgis. un'introduzione.

Bovenga, F., Nutricato, R., Guerriero, A. R. L., & Chiaradia, M. T. (2005). SPINUA: a flexible processing chain for ERS/ENVISAT long term interferometry. In *Envisat & ERS Symposium (Vol. 572)*.

Branca, S., Coltelli, M., & Groppelli, G. (2004). Geological evolution of Etna volcano. Washington DC American Geophysical Union Geophysical Monograph Series, 143, 49-63.

Branca, S., Coltelli, M., & Groppelli, G. (2011). Geological evolution of a complex basaltic stratovolcano: Mount Etna, Italy. *Italian Journal of Geosciences*, 130(3), 306-317.

Branca, S., Coltelli, M., De Beni, E., & Wijbrans, J. (2008). Geological evolution of Mount Etna volcano (Italy) from earliest products until the first central volcanism (between 500 and 100 ka ago) inferred from geochronological and stratigraphic data. *International Journal of Earth Sciences*, 97(1), 135-152.

Branca, S., Coltelli, M., Groppelli, G., & Lentini, F. (2011). Geological map of Etna volcano, 1: 50,000 scale. *Italian Journal of Geosciences*, 130(3), 265-291.

Branca, S., De Guidi, G., Lanzafame, G., & Monaco, C. (2014). Holocene vertical deformation along the coastal sector of Mt. Etna volcano (eastern Sicily, Italy): implications on the time-space constraints of the volcano lateral sliding. *Journal of geodynamics*, 82, 194-203.

Brenner, R., Gerlough, D. L., & MATHEWSON, J. (1958). A general method for estimating through traffic in a road network. In *Highway Research Abstracts*.

Bruno, M. F., Molfetta, M. G., Mossa, M., Nutricato, R., Nitti, D. O., Guerriero, L., ... & Coletta, A. (2016). Integration of Multitemporal SAR/InSAR Techniques and NWM for Coastal Structures Monitoring. In Proceedings of the 2016 IEEE Workshop on Environmental Energy and Structural Monitoring Systems (Vol. 1, pp. 98-103).

Bürgmann, R., Hilley, G., Ferretti, A., & Novali, F. (2006). Resolving vertical tectonics in the San Francisco Bay Area from permanent scatterer InSAR and GPS analysis. *Geology*, 34(3), 221-224.

Burrollet, P. F., Mugniot, J. M., & Sweeney, P. (1978). The geology of the Pelagian block: the margins and basins off southern Tunisia and Tripolitania. In *The ocean basins and margins* (pp. 331-359). Springer, Boston, MA.

Butler, H., Daly, M., Doyle, A., Gillies, S., Hagen, S., & Schaub, T. (2016). The geojson format. Internet Engineering Task Force (IETF).

Calvari, S., & Groppelli, G. (1996). Relevance of the Chiancone volcanoclastic deposit in the recent history of Etna Volcano (Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 72(3-4), 239-258.

Calvari, S., Tanner, L. H., Groppelli, G., & Norini, G. (2004). Valle del Bove, eastern flank of Etna volcano: a comprehensive model for the opening of the depression and implications for future hazards. In *Etna Volcano Laboratory*. American Geophysical Union.

Campbell, B. A. (2002). *Radar remote sensing of planetary surfaces*. Cambridge University Press.

Canuti, P., Casagli, N., Farina, P., Ferretti, A., Marks, F., & Menduni, G. (2006). Analisi dei fenomeni di subsidenza nel bacino del fiume Arno mediante interferometria radar. *Giornale di Geologia Applicata*, 4, 131-136.

Cascetta, E., & Nguyen, S. (1988). A unified framework for estimating or updating origin/destination matrices from traffic counts. *Transportation Research Part B: Methodological*, 22(6), 437-455.

---

Cascini, L., Fornaro, G., & Peduto, D. (2009). Analysis at medium scale of low-resolution DInSAR data in slow-moving landslide-affected areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(6), 598-611.

Ciepluch, B., Jacob, R., Mooney, P., & Winstanley, A. C. (2010, July). Comparison of the accuracy of OpenStreetMap for Ireland with Google Maps and Bing Maps. In *Proceedings of the Ninth International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences 20-23rd July 2010* (p. 337). University of Leicester.

Colesanti, C., & Wasowski, J. (2004, June). Satellite SAR interferometry for wide-area slope hazard detection and site-specific monitoring of slow landslides. In *Proceedings Ninth Internat. Symposium on Landslides* (pp. 795-802).

Colesanti, C., & Wasowski, J. (2006). Investigating landslides with space-borne Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry. *Engineering geology*, 88(3-4), 173-199.

Corsaro, R. A., & Cristofolini, R. (1996). Origin and differentiation of recent basaltic magmas from Mount Etna. *Mineralogy and Petrology*, 57(1), 1-21.

Corsaro, R. A., & Pompilio, M. (2004). Dynamics of magmas at Mount Etna. *Geophysical Monograph-American Geophysical Union.*, 143, 91-110.

Crickard III, P. (2014). *Leaflet. js essentials*. Packt Publishing Ltd.

Cristofolini, R., Corsaro, R. A., & Ferlito, C. (1991). Variazioni petrochimiche nella successione etnea: un riesame in base a nuovi dati da campioni di superficie e da sondaggi. *Acta Vulcanol*, 1(2).

Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas-González, M., Devanthery, N., & Crippa, B. (2016). Persistent scatterer interferometry: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 78-89.

Crosetto, M., Monserrat, O., Devanthery, N., Cuevas González, M., Barra, A., & Crippa, B. (2016). Persistent scatterer interferometry using Sentinel-1 data. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences Congress (ISPRS): 12 July through 19 July* (Vol. 41, No. B7, pp. 835-839).

---

Cruden, D. M., and Varnes, D. J. (1996). Landslide types and processes. *Landslides: Investigation and Mitigation*. Special Report 247, Transportation Research Board, Washington, 36–75.

Dazzi, C. (2007). Environmental features and land use of Etna (Sicily—Italy). In *Soils of volcanic regions in Europe* (pp. 629-644). Springer, Berlin, Heidelberg.

De Beni, E., Branca, S., Coltelli, M., Groppelli, G., & Wijbrans, J. R. (2011). 40Ar/39Ar isotopic dating of Etna volcanic succession. *Italian Journal of Geosciences*, 130(3), 292-305.

De Souza Baptista, C., de Lima Junior, O. F., de Oliveira, M. G., de Andrade, F. G., da Silva, T. E., & Pires, C. E. S. (2011). Using OGC Services To Interoperate Spatial Data Stored In SQL And NoSQL Databases. In *GeoInfo* (pp. 61-72).

Delacourt, C., Allemand, P., Squarzoni, C., Picard, F., Raucoules, D., & Carnec, C. (2003). Potential and limitation of ERS-Differential SAR Interferometry for landslide studies in the French Alps and Pyrenees. *Proc. of FRINGE 2003*.

Delgado Blasco, J. M., Fomelis, M., Stewart, C., & Hooper, A. (2019). Measuring urban subsidence in the Rome metropolitan area (Italy) with Sentinel-1 SNAP-StaMPS persistent scatterer interferometry. *Remote Sensing*, 11(2), 129. Subsidenza.

Di Stefano, A., & Branca, S. (2002). Long-term uplift rate of the Etna volcano basement (southern Italy) based on biochronological data from Pleistocene sediments. *Terra Nova*, 14(1), 61-68.

Farina, P., Colombo, D., Fumagalli, A., Marks, F., & Moretti, S. (2006). Permanent Scatterers for landslide investigations: outcomes from the ESA-SLAM project. *Engineering geology*, 88(3-4), 200-217.

Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F., & Wasowski, J. (2006). Satellite interferometry for monitoring ground deformations in the urban environment. In *Proceedings 10th IAEG Congress* (pp. 100-110).

Fiannacca, P., Ortolano, G., Pagano, M., Visalli, R., Cirrincione, R., & Zappalà, L. (2017). IG-Mapper: A new ArcGIS® toolbox for the geostatistics-based automated geochemical mapping of igneous rocks. *Chemical Geology*, 470, 75-92.



---

Filippo, C., Davide, C., Paolo, F., Alfio, F., Minja, K., Florian, M., ... & Sandro, M. (2006). Utilizzo di dati telerilevati nella mappatura e nel monitoraggio dei fenomeni franosi e nell'analisi della suscettibilità da frana.

Froger, J. L., Merle, O., & Briole, P. (2001). Active spreading and regional extension at Mount Etna imaged by SAR interferometry. *Earth and Planetary Science Letters*, 187(3-4), 245-258.

Froger, J. L., Merle, O., & Briole, P. (2001). Active spreading and regional extension at Mount Etna imaged by SAR interferometry. *Earth and Planetary Science Letters*, 187(3-4), 245-258.

Funning, G. J., Bürgmann, R., Ferretti, A., Novali, F., & Fumagalli, A. (2007). Creep on the Rodgers Creek fault, northern San Francisco Bay area from a 10 year PS-InSAR dataset. *Geophysical Research Letters*, 34(19).

Gemmellaro C. (1858). *La vulcanologia dell'Etna* (Ristampa a cura di S. Cucuzza Silvestri, 1989). Maimone, Catania, 87 + 273.

Giudice, E. L., & Rasà, R. (1992). Very shallow earthquakes and brittle deformation in active volcanic areas: The Etnean region as an example. *Tectonophysics*, 202(2-4), 257-268.

Gratier, T., Spencer, P., & Hazzard, E. (2015). *OpenLayers 3: Beginner's Guide*. Packt Publishing Ltd.

Groppelli G., Tibaldi A. (1999). Control of rock rheology on deformation style and slip-rate along the active Pernicana fault, Mt. Etna, Italy. *Tectonophysics*, 305, 521-537.

Guest, J. E., Chester, D. K., & Duncan, A. M. (1984). The Valle del Bove, Mount Etna: its origin and relation to the stratigraphy and structure of the volcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 21(1-2), 1-23.

Hanssen, R. F. (2001). *Radar interferometry: data interpretation and error analysis* (Vol. 2). Springer Science & Business Media.

Herrera, G., Gutiérrez, F., García-Davalillo, J. C., Guerrero, J., Notti, D., Galve, J. P., ... & Cooksley, G. (2013). Multi-sensor advanced DInSAR monitoring of very slow

landslides: The Tena Valley case study (Central Spanish Pyrenees). *Remote Sensing of Environment*, 128, 31-43.

Iacovella, S. (2017). *GeoServer Beginner's Guide: Share Geospatial Data Using Open Source Standards*. Packt Publishing Ltd.

Imposa, S., De Guidi, G., Scudero, S., & Grassi, S. (2015). Fault rupture hazard along a sector with aseismic creep in urban area (Eastern Sicily). *Georisks in the Mediterranean and Their Mitigation*, 102.

IUGS/WGL—International Union of Geological Science Working Group on Landslides (1995) A suggested method for describing the rate of movement of a landslide. *IAEG Bull* 52:75–78.

Jarvis, R. S. (1977). Drainage network analysis. *Progress in physical Geography*, 1(2), 271-295.

Jenelius, E. (2009). Network structure and travel patterns: explaining the geographical disparities of road network vulnerability. *Journal of Transport Geography*, 17(3), 234-244.

Jensen, J. R., & Im, J. (2007). Remote sensing change detection in urban environments. In *Geo-spatial technologies in urban environments* (pp. 7-31). Springer, Berlin, Heidelberg.

Lanari, R., Berardino, P., Borgström, S., Del Gaudio, C., De Martino, P., Fornaro, G., ... & Lundgren, P. (2004). The use of IFSAR and classical geodetic techniques for caldera unrest episodes: application to the Campi Flegrei uplift event of 2000. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 133(1-4), 247-260.

Lanari, R., Casu, F., Manzo, M., & Lundgren, P. (2007). Application of the SBAS-DInSAR technique to fault creep: A case study of the Hayward fault, California. *Remote Sensing of Environment*, 109(1), 20-28.

Lanzafame, G., Bousquet, J. C. (1997). The Maltese escarpment and its extension from Mt. Etna to the Aeolian Islands (Sicily): importance and evolution of a lithosphere discontinuity. *Acta Vulcan.*, 9 (1/2), 113-120.

Le Corvec, N., Walter, T. R., Ruch, J., Bonforte, A., & Puglisi, G. (2014). Experimental study of the interplay between magmatic rift intrusion and flank instability with application to the 2001 Mount Etna eruption. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119(7), 5356-5368.

Lentini F. (1982). The geology of the Mt. Etna basement. *Memorie Società Geologica Italiana*, 23, 7 – 25.

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2019). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Lundgren, P., Berardino, P., Coltelli, M., Fornaro, G., Lanari, R., Puglisi, G., Tesauro, M. (2003). Coupled magma chamber inflation and sector collapse slip observed with synthetic aperture radar interferometry on Mt. Etna volcano. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108(B5).

Lundgren, P., Casu, F., Manzo, M., Pepe, A., Berardino, P., Sansosti, E., & Lanari, R. (2004). Gravity and magma induced spreading of Mount Etna volcano revealed by satellite radar interferometry. *Geophysical Research Letters*, 31(4).

Lundgren, P., Casu, F., Manzo, M., Pepe, A., Berardino, P., Sansosti, E., & Lanari, R. (2004). Gravity and magma induced spreading of Mount Etna volcano revealed by satellite radar interferometry. *Geophysical Research Letters*, 31(4).

Lyell, C. (1859). I. On the formation of continuous tabular masses of stony lava on steep slopes; with remarks on the mode of origin of Mount Etna, and the theory of 'craters of elevation.'. *Proceedings of the Royal Society of London*, (9), 247-254.

Mattivi, P., Franci, F., Lambertini, A., & Bitelli, G. (2019). TWI computation: a comparison of different open source GISs. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 4(1), 1-12.

Mazzanti, P. (2013). Investigating the Behaviour of Natural Slopes and Man Made Structures by Terrestrial SAR Interferometry.

Mehta, H., Kanani, P., & Lande, P. (2019). Google Maps. *Int. J. Comput. Appl*, 178, 41-46.

Meisina, C., & Scarabelli, S. (2007). A comparative analysis of terrain stability models for predicting shallow landslides in colluvial soils. *Geomorphology*, 87(3), 207-223.

Monaco, C., & Tortorici, L. (1995). Tettonica estensionale quaternaria nell'Arco Calabro e in Sicilia orientale. *Studi Geol. Camerti (vol. spec.)*, 2, 351-362.

Monaco, C., Tapponnier, P., Tortorici, L., & Gillot, P. Y. (1997). Late Quaternary slip rates on the Acireale-Piedimonte normal faults and tectonic origin of Mt. Etna (Sicily). *Earth and Planetary Science Letters*, 147(1-4), 125-139.

Montini, Giovanni & Mazzanti, Bernardo. (2013). Utilizzo dei dati interferometrici del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale come supporto all'analisi di vulnerabilità dei beni a vincolo architettonico nel bacino del fiume Arno. 10.13140/2.1.3538.1449.

Mooney, P., & Corcoran, P. (2014). Has OpenStreetMap a role in Digital Earth applications?. *International Journal of Digital Earth*, 7(7), 534-553.

Mooney, P., & Minghini, M. (2017). A review of OpenStreetMap data.

Mooney, P., Corcoran, P., & Winstanley, A. (2010, September). A study of data representation of natural features in openstreetmap. In *Proceedings of GIScience (Vol. 150, pp. 150-156)*.

Nagurney, A., & Qiang, Q. (2007). A network efficiency measure for congested networks. *EPL (Europhysics Letters)*, 79(3), 38005.

Nagurney, A., & Qiang, Q. (2007). Robustness of transportation networks subject to degradable links. *EPL (Europhysics Letters)*, 80(6), 68001.

Neri, M., Garduno, V. H., Pasquarè, G., & Rasà, R. (1991). Studio strutturale e modello cinematico della Valle del Bove. *Acta Vulcanologica*, 1, 17-24.

---

Nitti, D. O., Hanssen, R. F., Refice, A., Bovenga, F., & Nutricato, R. (2010). Impact of DEM-assisted coregistration on high-resolution SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(3), 1127-1143.

Nogueras-Iso, J., Zarazaga-Soria, F. J., Béjar, R., Álvarez, P. J., & Muro-Medrano, P. R. (2005). OGC Catalog Services: a key element for the development of Spatial Data Infrastructures. *Computers & Geosciences*, 31(2), 199-209.

Notti, D., Meisina, C., & Zucca, F. (2009). Analysis of PSInSAR™ data for landslide studies from regional to local scale. In *Proceedings of Fringe workshop (Vol. 30)*.

Onesti, L. J., & Miller, T. K. (1978). Topological classifications of drainage networks: An evaluation. *Water Resources Research*, 14(1), 144-148.

Peronace, E., Boncio, P., Galli, P., & Naso, G. (2013). Faglie attive e capaci negli studi di microzonazione sismica: definizioni e procedure di zonazione. *Bull. Seismol. Soc. Am*, 95(5).

Polonia, A., Torelli, L., Artoni, A., Carlini, M., Faccenna, C., Ferranti, L., ... & Wortel, R. (2016). The Ionian and Alfeo–Etna fault zones: New segments of an evolving plate boundary in the central Mediterranean Sea?. *Tectonophysics*, 675, 69-90.

Polonia, A., Torelli, L., Artoni, A., Carlini, M., Faccenna, C., Ferranti, L., Wortel, R. (2016). The Ionian and Alfeo–Etna fault zones: New segments of an evolving plate boundary in the central Mediterranean Sea?. *Tectonophysics*, 675, 69-90.

Pourali, S. H., Arrowsmith, C., Chrisman, N., Matkan, A. A., & Mitchell, D. (2016). Topography wetness index application in flood-risk-based land use planning. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 9(1), 39-54.

Prati, C., Ferretti, A., & Perissin, D. (2010). Recent advances on surface ground deformation measurement by means of repeated space-borne SAR observations. *Journal of Geodynamics*, 49(3-4), 161-170.

Puglisi, G., & Bonforte, A. (2004). Dynamics of Mount Etna Volcano inferred from static and kinematic GPS measurements. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 109(B11).

Puglisi, G., & Bonforte, A. (2004). Dynamics of Mount Etna Volcano inferred from static and kinematic GPS measurements. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 109(B11).

Radicioni, F., Stoppini, A., Brigante, R., Fornaro, G., Bovenga, F., & NITTI, D. O. (2012, May). Long-term GNSS and SAR data comparison for the deformation monitoring of the Assisi landslide. In *Proceedings of the FIG Working Week*.

Rasà, R., Azzaro, R., & Leonardi, O. (1996). Aseismic creep on faults and flank instability at Mount Etna volcano, Sicily. *Geological Society, London, Special Publications*, 110(1), 179-192.

Raucoules, D., Le Mouélic, S., Carnec, C., Maisons, C., & King, C. (2003). Urban subsidence in the city of Prato (Italy) monitored by satellite radar interferometry. *International journal of remote sensing*, 24(4), 891-897.

Reale, D., Nitti, D. O., Peduto, D., Nutricato, R., Bovenga, F., & Fornaro, G. (2011). Postseismic deformation monitoring with the COSMO/SKYMED constellation. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 8(4), 696-700.

Reza, S. K., Baruah, U., Sarkar, D., & Das, T. H. (2010). Evaluation and comparison of ordinary kriging and inverse distance weighting methods for predication of spatial variability of some chemical parameters of Dhalai district, Tripura.

Rizo, V., & Tesauro, M. (2000). SAR interferometry and field data of Randazzo landslide (Eastern Sicily, Italy). *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 25(9), 771-780.

Romano R. (1982). Successions of the volcanic activity in the etnean area. *Memorie della Società Geologica Italiana*, Vol.XXIII, pp.28-48, 1982.

Romano, R. (1982). Succession of the volcanic activity in the Etnean area. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 23, 27-48.

Rott, H., & Nagler, T. (2006). The contribution of radar interferometry to the assessment of landslide hazards. *Advances in Space Research*, 37(4), 710-719.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (2020). The Italian earthquake catalogue CPT15. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18(7), 2953-2984.

Rust D., Neri M. (1996). The boundaries of large-scale collapse on the flanks of Mount Etna, Sicily. In: *Volcano Instability on the Earth and Other Planets*, W.C. McGuire, A.P. Jones e J. Neuberg (ed.). Geological Society, Spec. Publ., 110, 193-208.

Sartori, R., Colalongo, M.L., Gabbianelli, G., Bonazzi, C., Carbone, S., Curzi, P.V., Evangelisti, D., Grasso, M., Lentini, F., Rossi, S., Selli, L. (1991). Note stratigrafiche e tettoniche sul 'Rise di Messina' (Ionio nord-occidentale). *G. Geol.* 53 (2), 49–64.

Schunert, A., & Soergel, U. (2012). Grouping of persistent scatterers in high-resolution SAR data of urban scenes. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 73, 80-88.

Shreve, R. L. (1967). Infinite topologically random channel networks. *The Journal of Geology*, 75(2), 178-186.

Skempton, A. W., & MacDonald, D. H. (1956). The allowable settlements of buildings. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 5(6), 727-768.

Solaro, G., Acocella, V., Pepe, S., Ruch, J., Neri, M., & Sansosti, E. (2010). Anatomy of an unstable volcano from InSAR: Multiple processes affecting flank instability at Mt. Etna, 1994–2008. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 115(B10).

Squarzoni, C., Delacourt, C., & Allemand, P. (2003). Nine years of spatial and temporal evolution of the La Valette landslide observed by SAR interferometry. *Engineering Geology*, 68(1-2), 53-66.

Stramondo, S., Bignami, C., Chini, M., Pierdicca, N., & Tertulliani, A. (2006). Satellite radar and optical remote sensing for earthquake damage detection: results from different case studies. *International Journal of Remote Sensing*, 27(20), 4433-4447.

Strozzi, T., Delaloye, R., Kääb, A., Ambrosi, C., Perruchoud, E., & Wegmüller, U. (2010). Combined observations of rock mass movements using satellite SAR interferometry, differential GPS, airborne digital photogrammetry, and airborne photography interpretation. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 115(F1).

Strozzi, T., Farina, P., Corsini, A., Ambrosi, C., Thüning, M., Zilger, J., ... & Werner, C. (2005). Survey and monitoring of landslide displacements by means of L-band satellite SAR interferometry. *Landslides*, 2(3), 193-201.

Teatini, P., Tosi, L., Strozzi, T., Carbognin, L., Wegmüller, U., & Rizzetto, F. (2005). Mapping regional land displacements in the Venice coastland by an integrated monitoring system. *Remote Sensing of Environment*, 98(4), 403-413.

Touzi, R., Lopes, A., Bruniquel, J., & Vachon, P. W. (1999). Coherence estimation for SAR imagery. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 37(1), 135-149.

Trigila, A., & Iadanza, C. (2007). Statistiche nazionali ed elaborazioni dati del Progetto IFFI. APAT (2007), Rapporto sulle frane in Italia. Il Progetto IFFI: metodologia, risultati e rapporti regionali. *Rapporti*, 78, 2007.

Urlaub, M., Petersen, F., Gross, F., Bonforte, A., Puglisi, G., Guglielmino, F., ... & Kopp, H. (2018). Gravitational collapse of Mount Etna's southeastern flank. *Science Advances*, 4(10), eaat9700.

Van Drongelen, M. (2015). *Android studio cookbook*. Packt Publishing Ltd.

Vilardo, G., Ventura, G., Terranova, C., Matano, F., & Nardò, S. (2009). Ground deformation due to tectonic, hydrothermal, gravity, hydrogeological, and anthropic processes in the Campania Region (Southern Italy) from Permanent Scatterers Synthetic Aperture Radar Interferometry. *Remote Sensing of Environment*, 113(1), 197-212.

Wasowski, J., & Bovenga, F. (2015). Remote sensing of landslide motion with emphasis on satellite multitemporal interferometry applications: an overview. *Landslide hazards, risks and disasters*, 345-403.

Wasowski, J., Casarano, D., Lamanna, C., Bovenga, F., Conte, D., Nutricato, R., ... & Refice, A. (2007, April). A comparative analysis of DIn-SAR results achieved by the SBAS and SPINUA techniques: the Maratea valley case study, Italy. In *Proc. Envisat Symposium*.

Wilson, J. P., & Gallant, J. C. (2000). Digital terrain analysis. *Terrain analysis: Principles and applications*, 6(12), 1-27.



Wu, Y. J., Wang, Y., & Qian, D. (2007, October). A google-map-based arterial traffic information system. In 2007 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (pp. 968-973). IEEE.

---

## Sitografia

<http://geoserver.org/>

[http://www.comune.giarre.ct.it/Servizi/Servizi\\_Cartografici.aspx](http://www.comune.giarre.ct.it/Servizi/Servizi_Cartografici.aspx)

<http://www.geofabrik.de>

<http://www.opengeospatial.org/>

<http://www.pcn.minambiente.it/GN/images/documenti/leggi/LINEE%20GUIDA%20PER%20ANALISI%20DI%20DATI.pdf>

<http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>

[http://www.protezionecivile.gov.it/pagine-servizio/dettaglio-approfondimenti/-/asset\\_publisher/default/content/che-cos-e-il-rischio-#:~:text=Ai%20fini%20di%20protezione%20civile,un%20determinato%20periodo%20di%20tempo.](http://www.protezionecivile.gov.it/pagine-servizio/dettaglio-approfondimenti/-/asset_publisher/default/content/che-cos-e-il-rischio-#:~:text=Ai%20fini%20di%20protezione%20civile,un%20determinato%20periodo%20di%20tempo.)

<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/analyze/modelbuilder/what-is-modelbuilder.htm>

<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/3d-analyst/3d-analyst-and-arcscene.htm>

<https://developer.android.com/studio>

<https://developers.arcgis.com/android/latest>

[https://docs.geoserver.org/latest/en/user/services/wms/get\\_legend\\_graphic/index.html](https://docs.geoserver.org/latest/en/user/services/wms/get_legend_graphic/index.html)

<https://docs.geoserver.org/stable/en/user/services/wms/googleearth/features/kmlreflector.html>

<https://docs.geoserver.org/stable/en/user/tutorials/animreflector.html>

[https://docs.qgis.org/2.6/en/docs/user\\_manual/](https://docs.qgis.org/2.6/en/docs/user_manual/)

<https://dyndns.it/>

---

<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

<https://filezilla-project.org/>

<https://geojson.org/>

<https://github.com/ardhi/Leaflet.MousePosition>

<https://github.com/daniellsu/leaflet-betterscale>

<https://github.com/domoritz/leaflet-locatecontrol>

<https://github.com/Leaflet/Leaflet.fullscreen>

[https://help.arcgis.com/en/arcims/10.0/mainhelp/mergedProjects/wms\\_connect/wms\\_connector/get\\_map.htm](https://help.arcgis.com/en/arcims/10.0/mainhelp/mergedProjects/wms_connect/wms_connector/get_map.htm)

<https://it.wordpress.org/plugins/wp-file-manager>

<https://leafletjs.com/>

<https://leafletjs.com/reference-1.7.1.html>

<https://live.osgeo.org/archive/11.0/it/overview/overview.html>

<https://ocw.un-ihe.org/mod/book/tool/print/index.php?id=6769>

<https://openlayers.org/>

<https://pcpercaso.com/gis-mapping/318-visualizzare-interrogare-wms-con-leaflet.html?start=1>

<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/main/arcgis-pro-tool-reference.htm>

<https://va.minambiente.it/File/Documento/185449>

[https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Main\\_Page](https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Main_Page)

<https://wordpress.com/it/>

<https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/web/guest/schede/fabbricatiterreni/omi>

[https://www.esa.int/esapub/tm/tm19/TM-19\\_ptA.pdf](https://www.esa.int/esapub/tm/tm19/TM-19_ptA.pdf)

<https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-online/overview>

<https://www.google.com/intl/it/maps/about/mymaps/>

<https://www.google.it/intl/it/earth/>

<https://www.google.it/maps>

<https://www.html.it/guide/guida-python/>

[https://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/rapporti/rapporto-frane-2007/Capitolo\\_24\\_Sicilia.pdf](https://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/rapporti/rapporto-frane-2007/Capitolo_24_Sicilia.pdf)

<https://www.istat.it/it/archivio/104317#accordions>

<https://www.novatek.it/manuale/>

<https://www.planetek.it/>

[https://www.planetek.it/formazione/manuali\\_on\\_line/corso\\_di\\_telerilevamento\\_on\\_line/2\\_breve\\_storia\\_del\\_telerilevamento](https://www.planetek.it/formazione/manuali_on_line/corso_di_telerilevamento_on_line/2_breve_storia_del_telerilevamento)

<https://www.progettoiffi.isprambiente.it/>

<https://www.protezionecivilesicilia.it/it/223-microzonazione-sismica.asp>

<https://www.sitr.regione.sicilia.it/>

[https://www.sitr.regione.sicilia.it/pai/CD\\_PAI/RELAZIONE\\_GENERALE\\_P.A.I.zip](https://www.sitr.regione.sicilia.it/pai/CD_PAI/RELAZIONE_GENERALE_P.A.I.zip)

<https://www.sitr.regione.sicilia.it/pai-download-dati/>

[https://www.agenziaentrate.gov.it/geopoi\\_omi/index.php](https://www.agenziaentrate.gov.it/geopoi_omi/index.php)

<http://www.gfoss.it>

<https://www.openstreetmap.org>

## Ringraziamenti

Si ringrazia il Tutor, il Prof. Gaetano Ortolano, per il supporto continuo durante la realizzazione del progetto.

Si ringrazia il Co-tutor, il Prof. Stefano Catalano, per le osservazioni e le critiche costruttive su alcuni aspetti del lavoro.

Si ringrazia il coordinatore, la Prof.ssa Agata Di Stefano, per la presenza costante e l'efficacia nel risolvere ogni tipo di problema burocratico.

Si ringrazia il Prof. Eugenio Fazio per il volo UAV nella zona di San Leonardello.

Si ringrazia Planetek Italia S.r.l. per la fornitura dei dati PS e Vincenzo Massimi per la grande disponibilità e gentilezza nel dispensare consigli riguardo la parte del progetto relativa all'interferometria, ma non solo.

Si ringrazia il partner estero, la Planetek Hellas E.P.E., per l'ospitalità dimostrata nei sei mesi trascorsi presso la loro sede ad Atene.

Si ringraziano i revisori, Francesco Zucca e Pietro Mosca, per i preziosi consigli atti a migliorare la qualità dell'elaborato finale.

Si ringraziano tutte le persone che mi sono state vicine durante questi anni, supportandomi e sopportandomi in ogni momento. Eviterò di fare i nomi (tanti), sperando di aver dimostrato nel tempo la mia gratitudine e il mio affetto nei loro confronti.

---

La borsa di dottorato è stata cofinanziata con risorse del  
Programma Operativo Nazionale Ricerca e Innovazione 2014-2020 (CCI 2014IT16M2OP005),  
Fondo Sociale Europeo, Azione I.1 "Dottorati Innovativi con caratterizzazione Industriale"



**UNIONE EUROPEA**  
Fondo Sociale Europeo



*Ministero dell'Università  
e della Ricerca*



**ALLEGATO A**  
MAPPE DI PERICOLOSITA', ESPOSIZIONE E RISCHIO

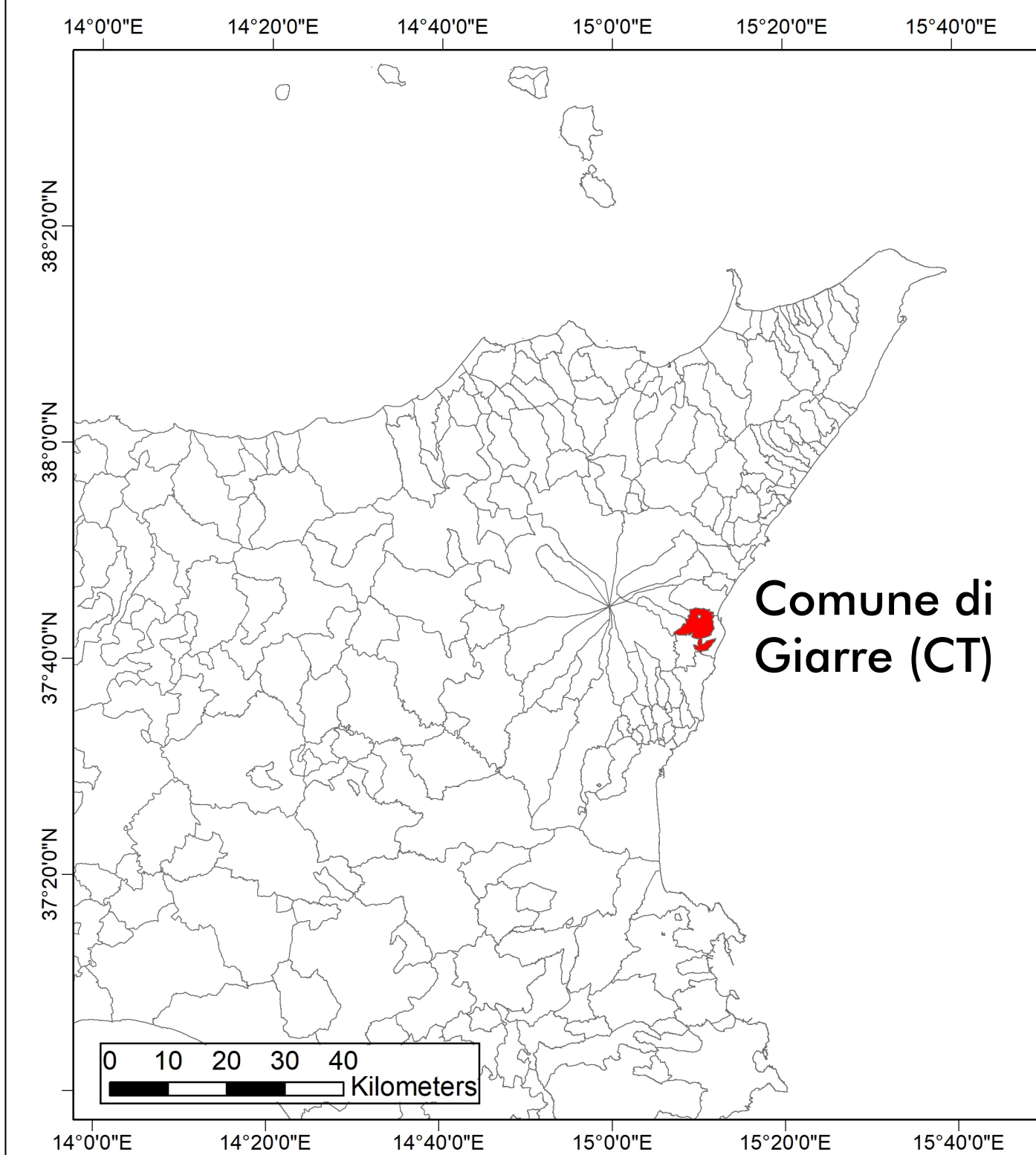
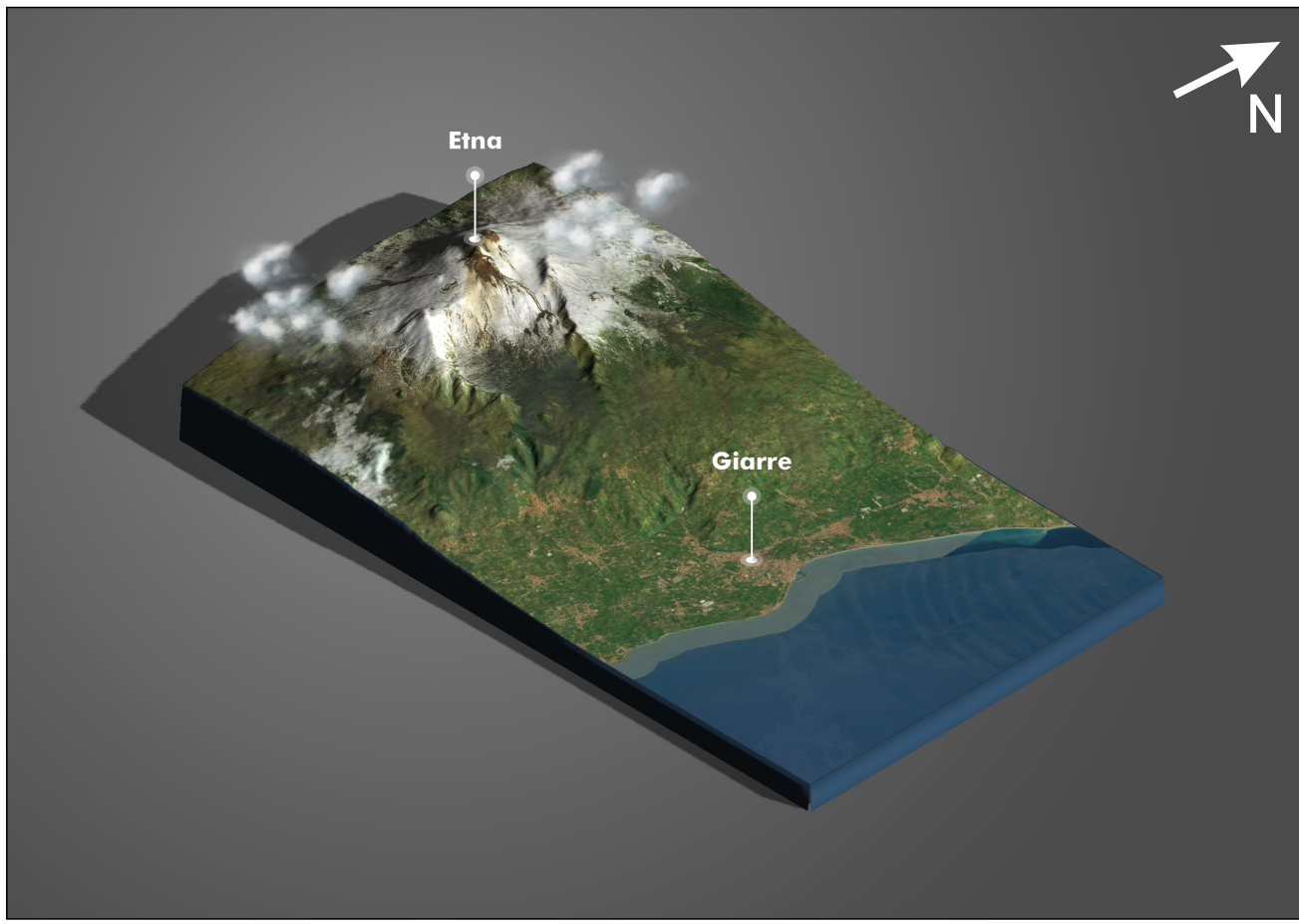
SECUREGEOSTREET: SVILUPPO DI UNA CYBERINFRASTRUCTURE PER IL MONITORAGGIO DELLA SICUREZZA GEOLOGICA NELLE RETI VIARIE COMUNALI

Mario Pagano

XXXIII Ciclo di dottorato

Università degli studi di Catania  
Dipartimento di Scienze Biologiche,  
Geologiche e Ambientali

**AREA STUDIO**



**LINK UTILI**

Sito web con cartografia interattiva  
<https://www.securegeostreet.it/>

Servizio WMS

<http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wms?>

Servizio WFS

<http://mariopagano89.addns.org:8080/geoserver/SecureGeoStreet/wfs?>

Geoportale ArcGIS Online

<https://mariopagano89.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=10185d2e8ea44b129337f12b889081b4>

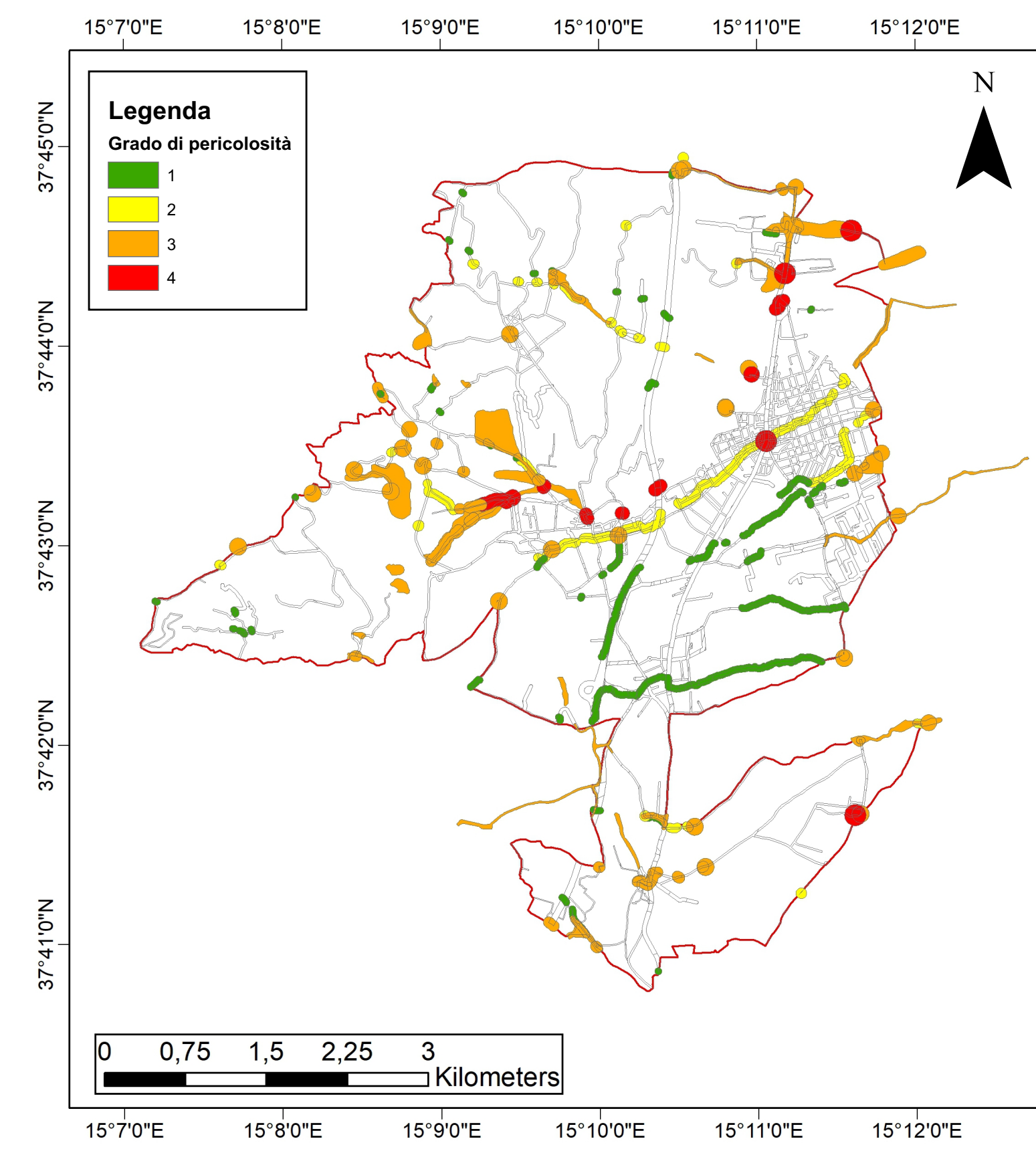
**ALTRE INFO**

Sistema di riferimento cartografico  
WGS84 UTM Zone 33N

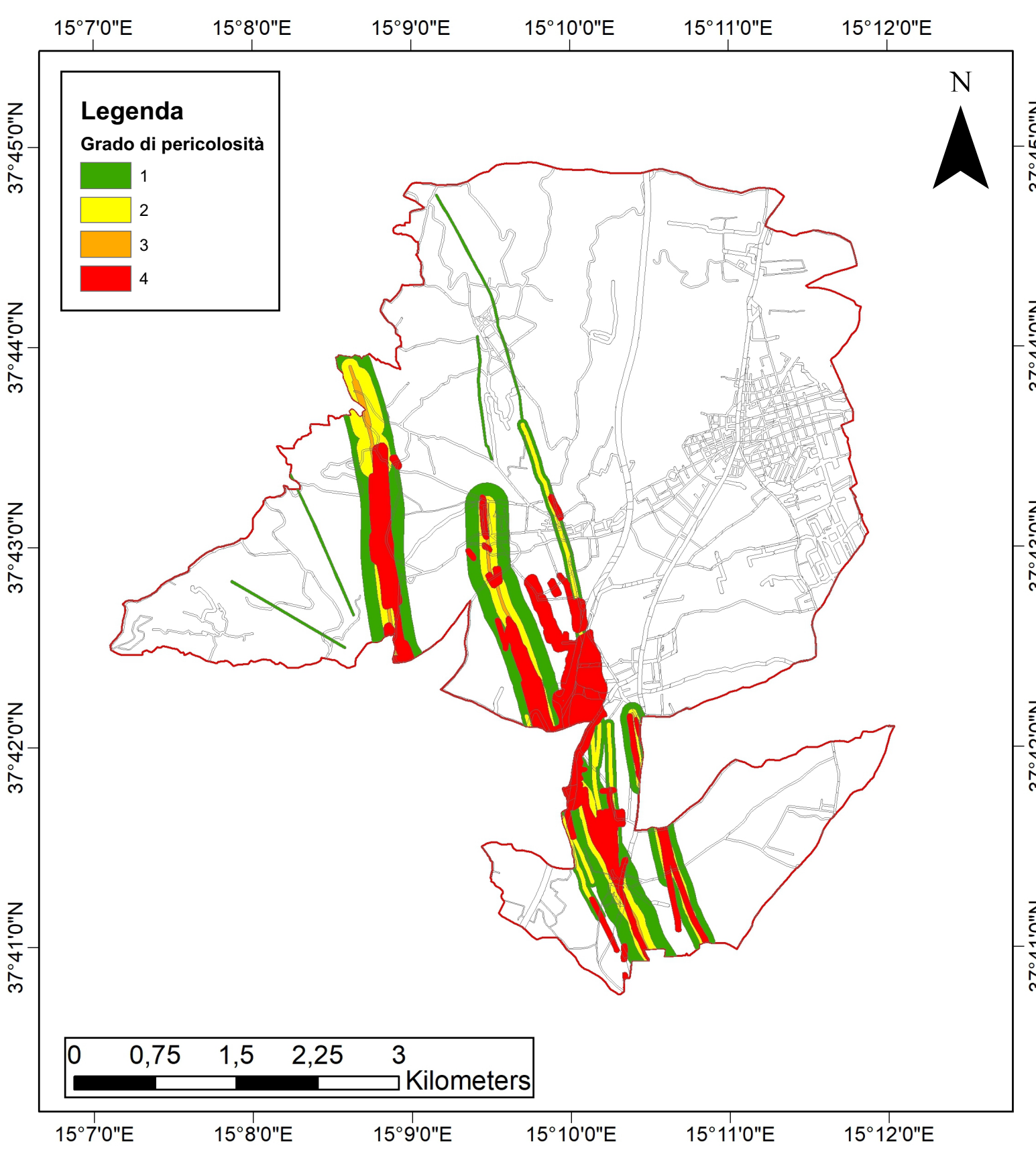
Software utilizzati  
ArcGIS, QGIS, CorelDraw

**PERICOLOSITA'**

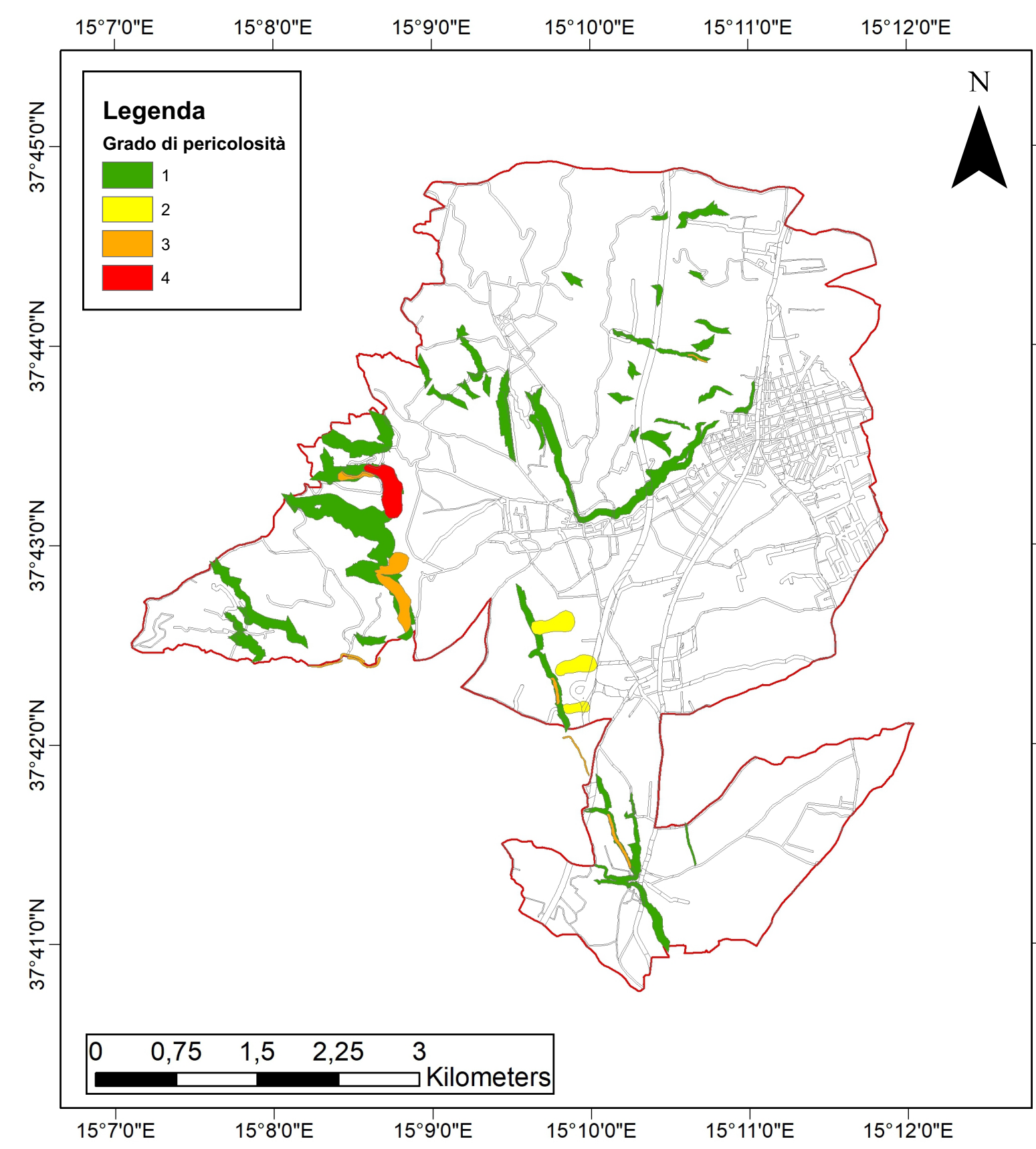
**IDRAULICO**



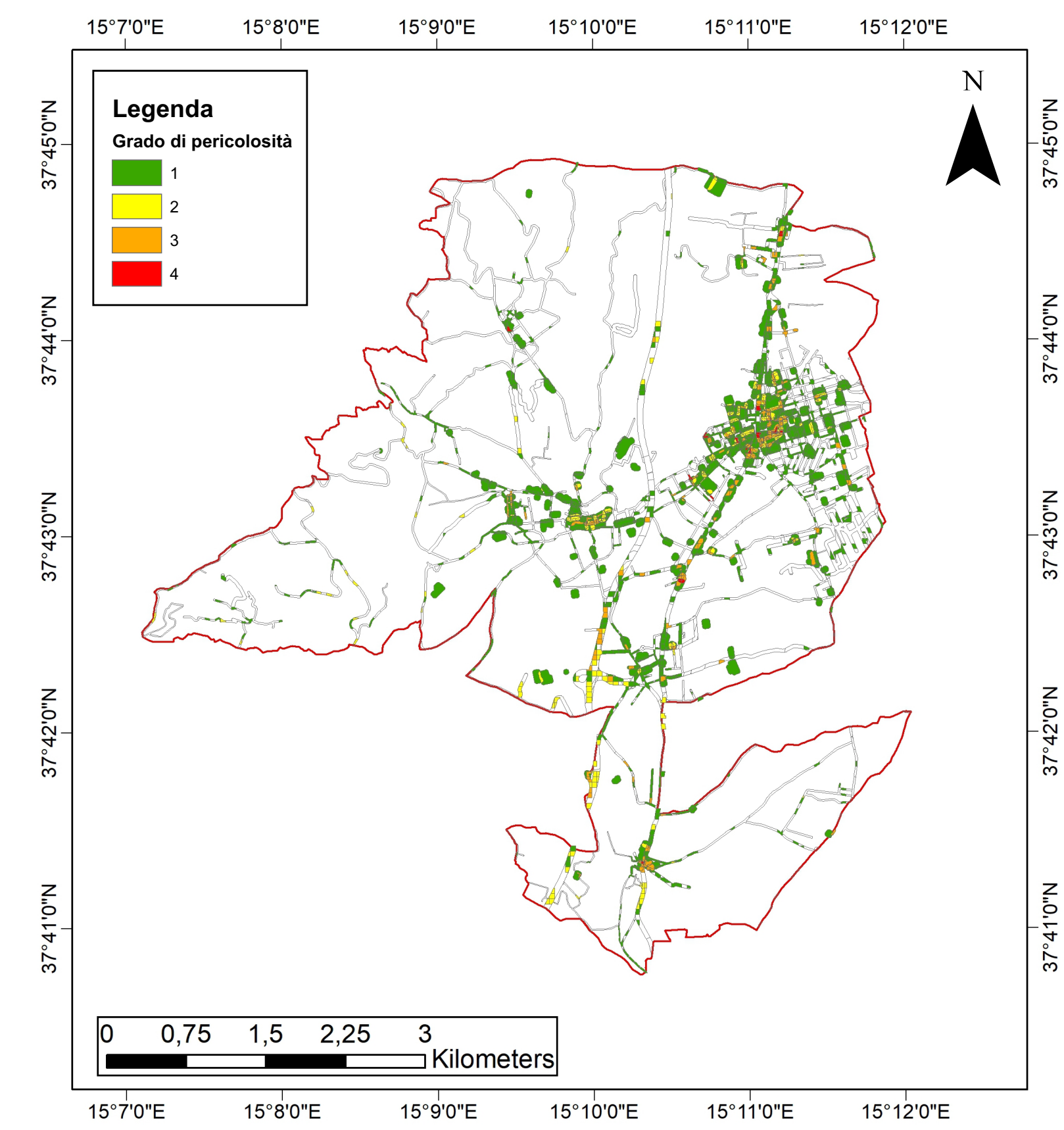
**TETTONICO**



**GEMORFOLOGICA**

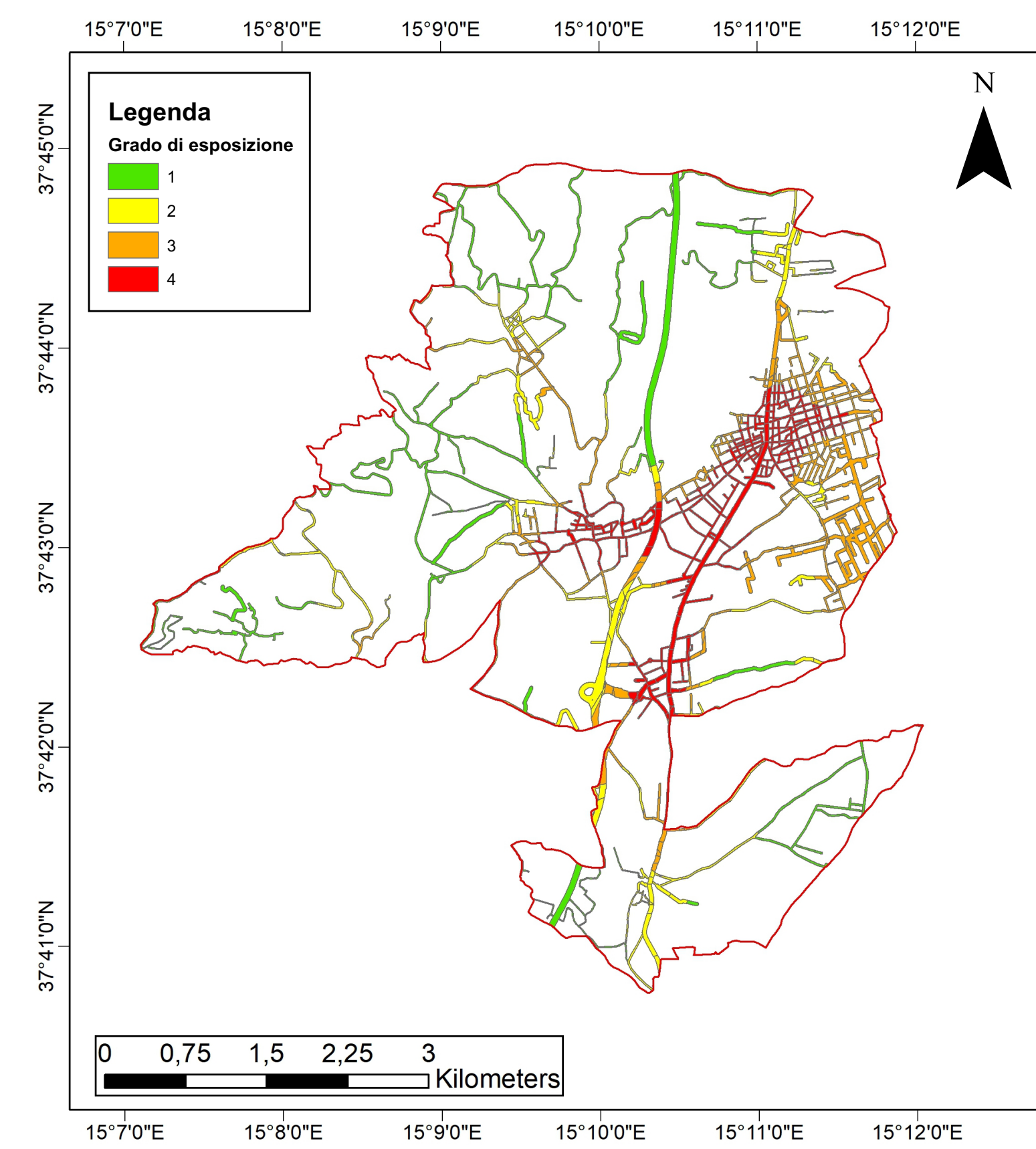


**DA DATI INTERFEROMETRICI**

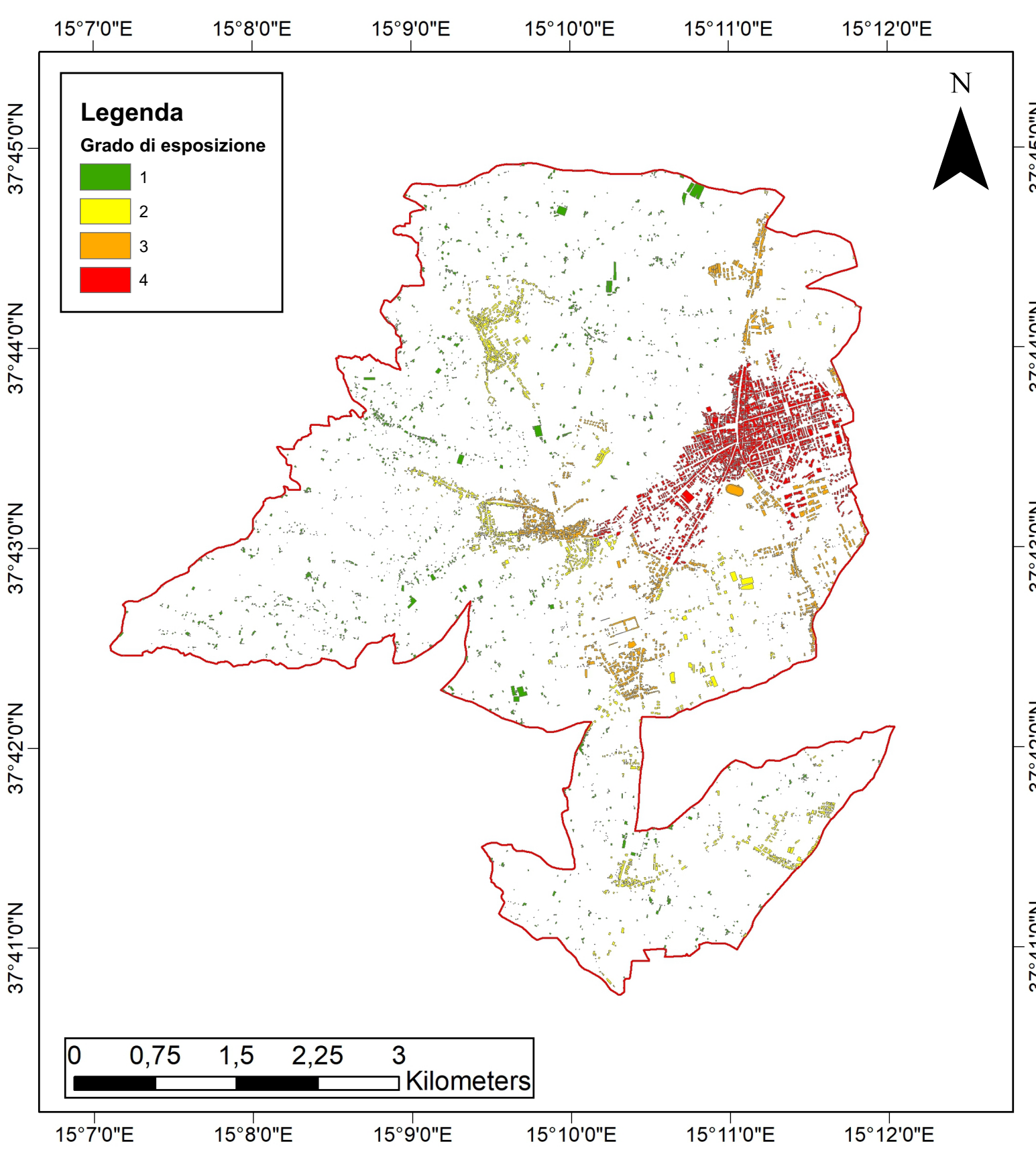


**ESPOSIZIONE**

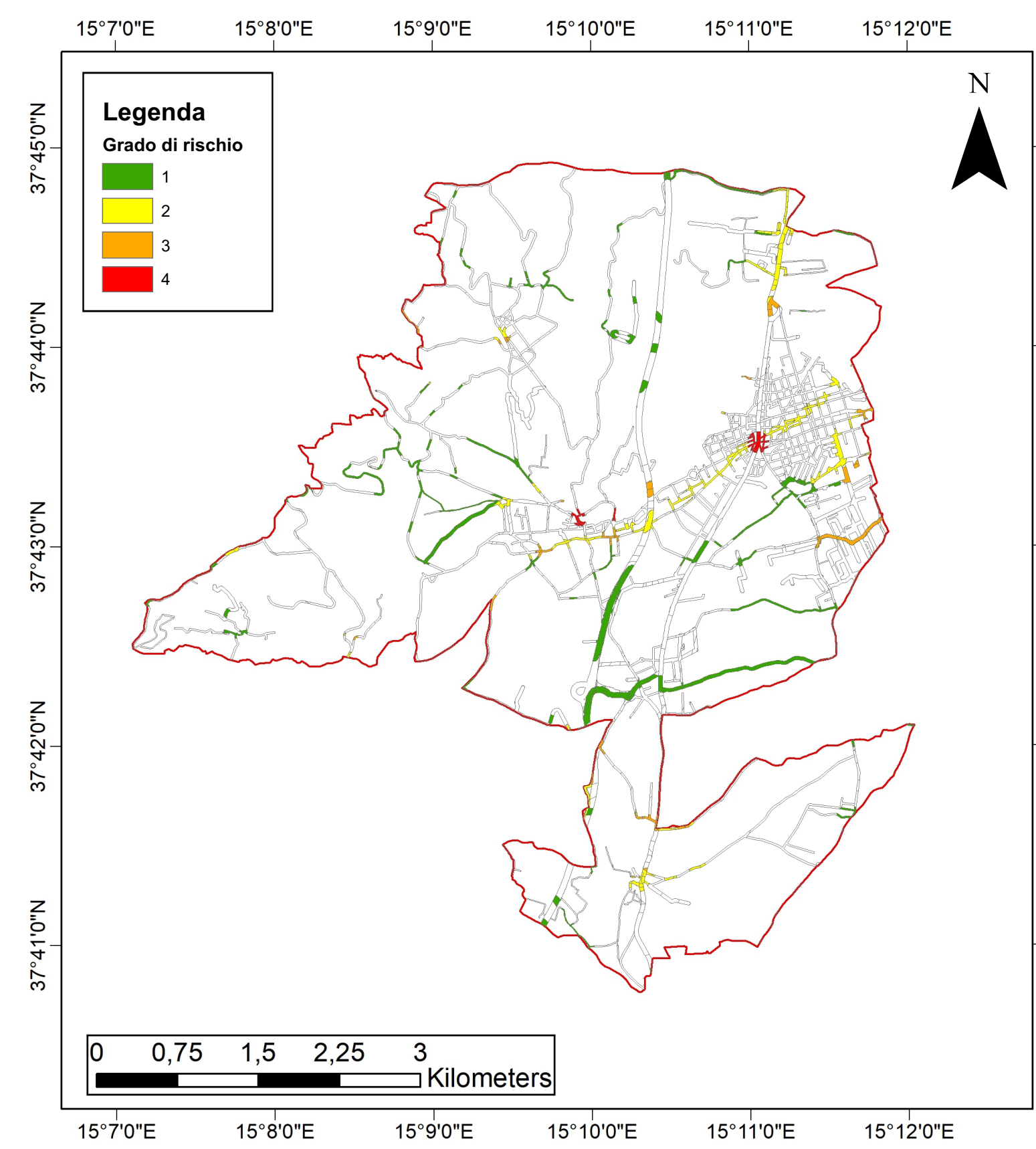
**RETE VIARIA**



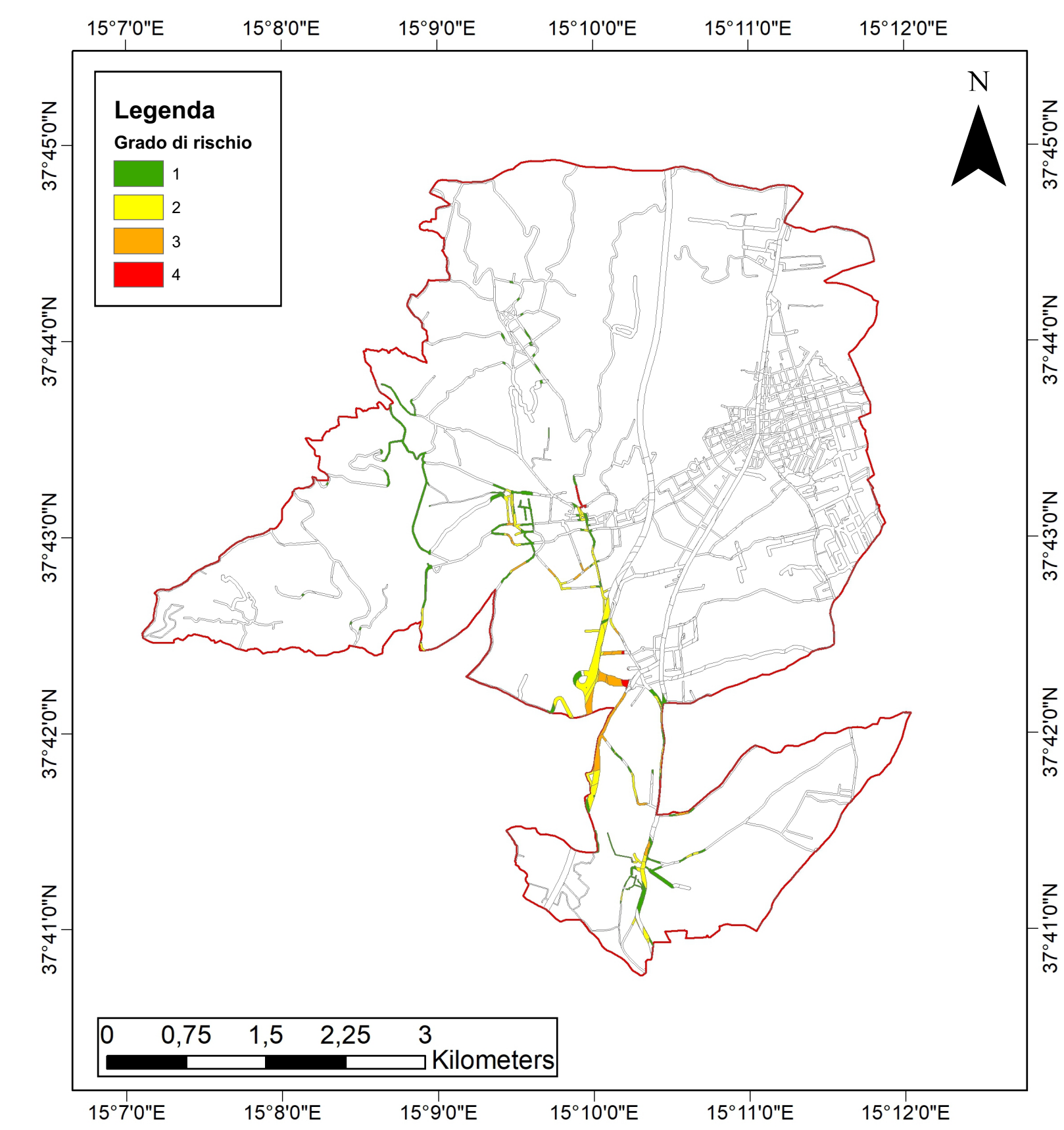
**EDIFICI**



**IDRAULICO**



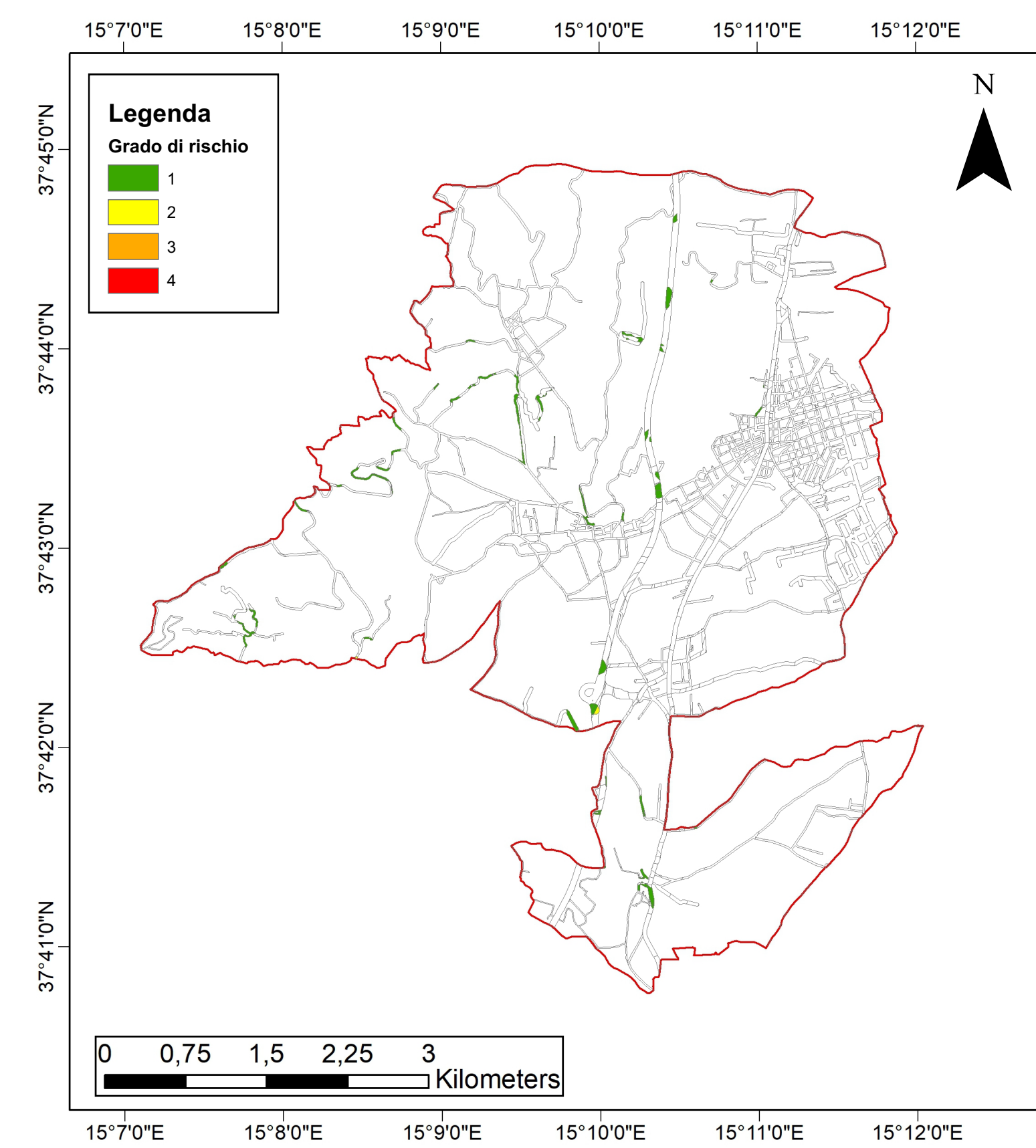
**TETTONICO**



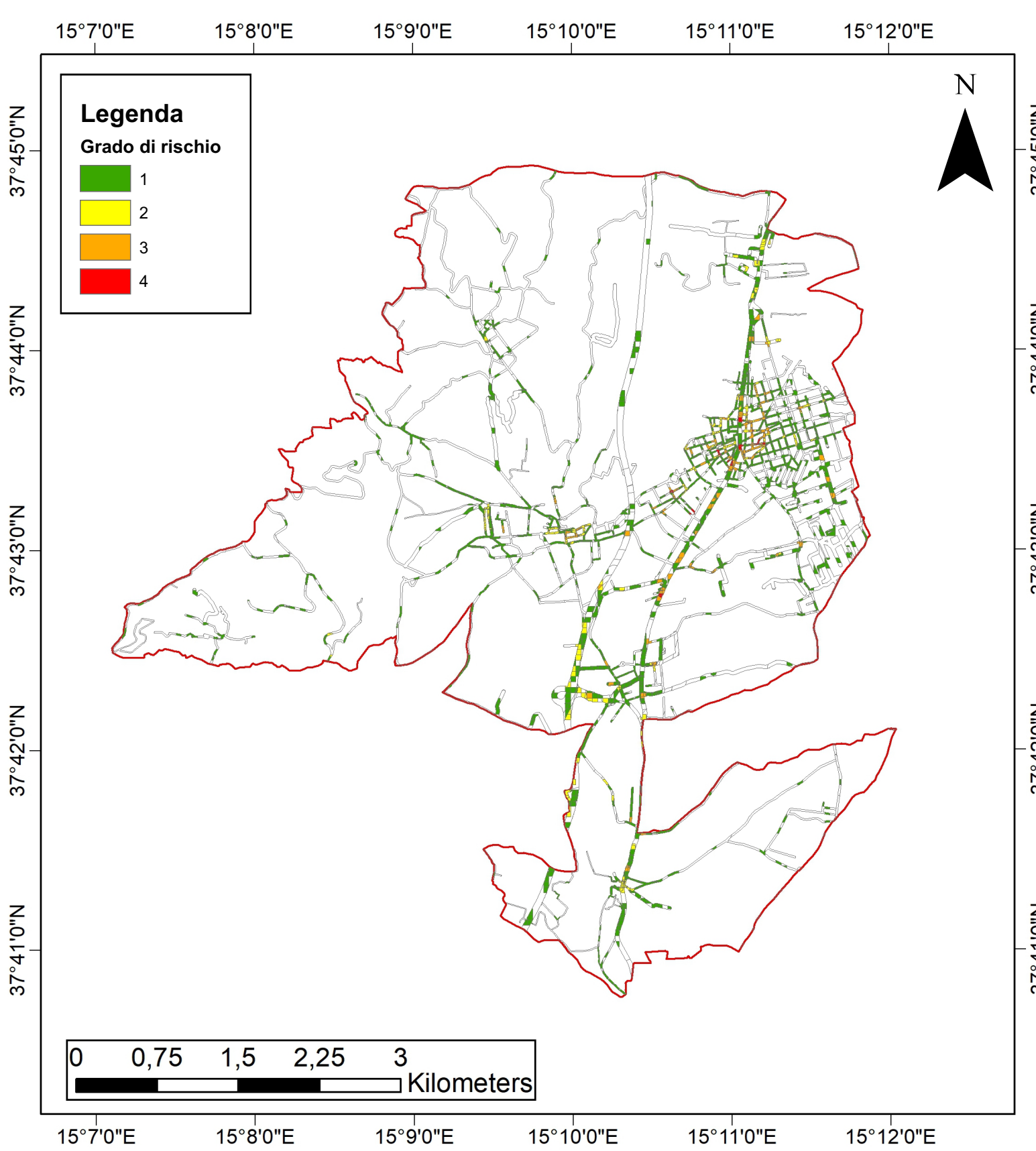
**RISCHIO**

**RISCHIO**

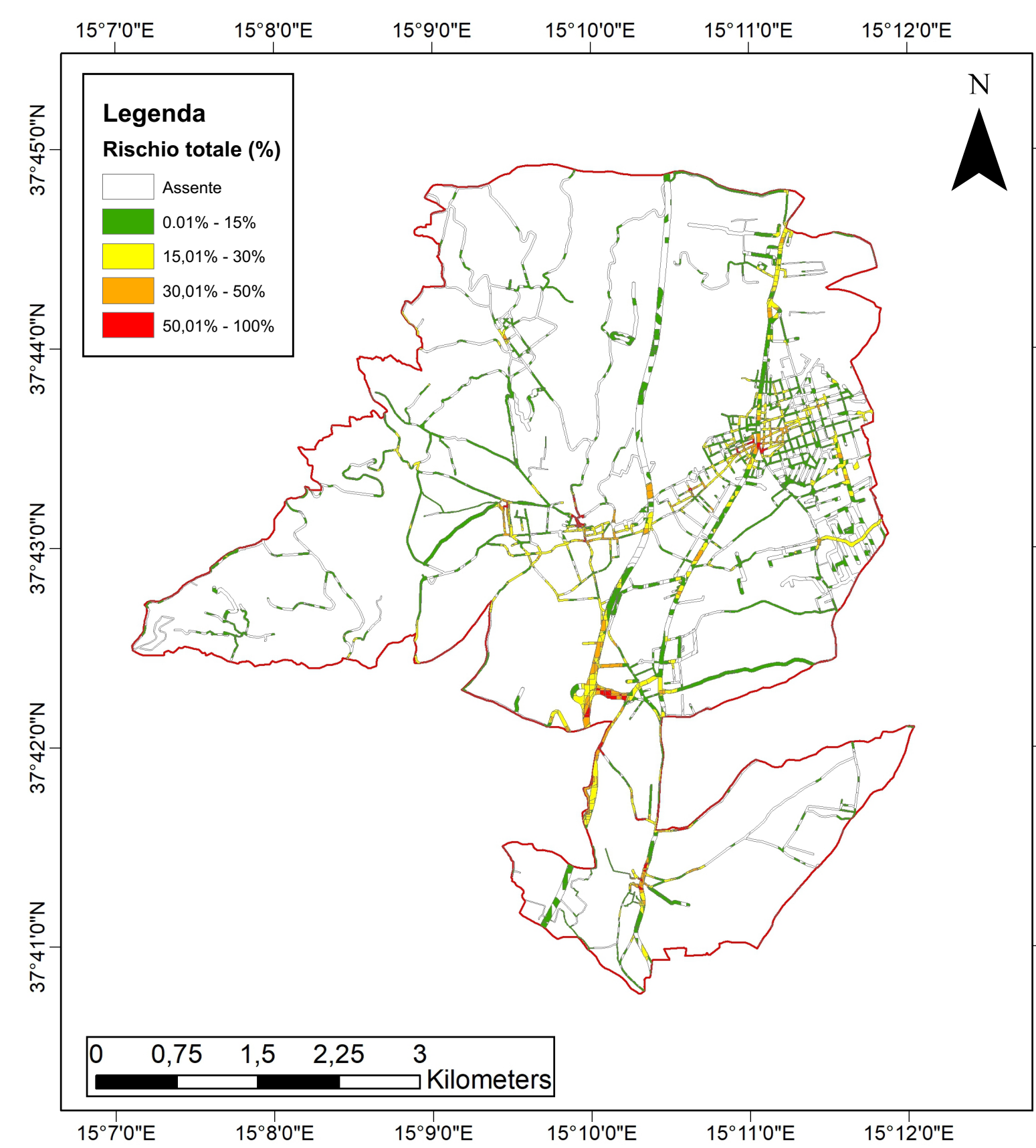
**GEMORFOLOGICO**



**DA DATI INTERFEROMETRICI**

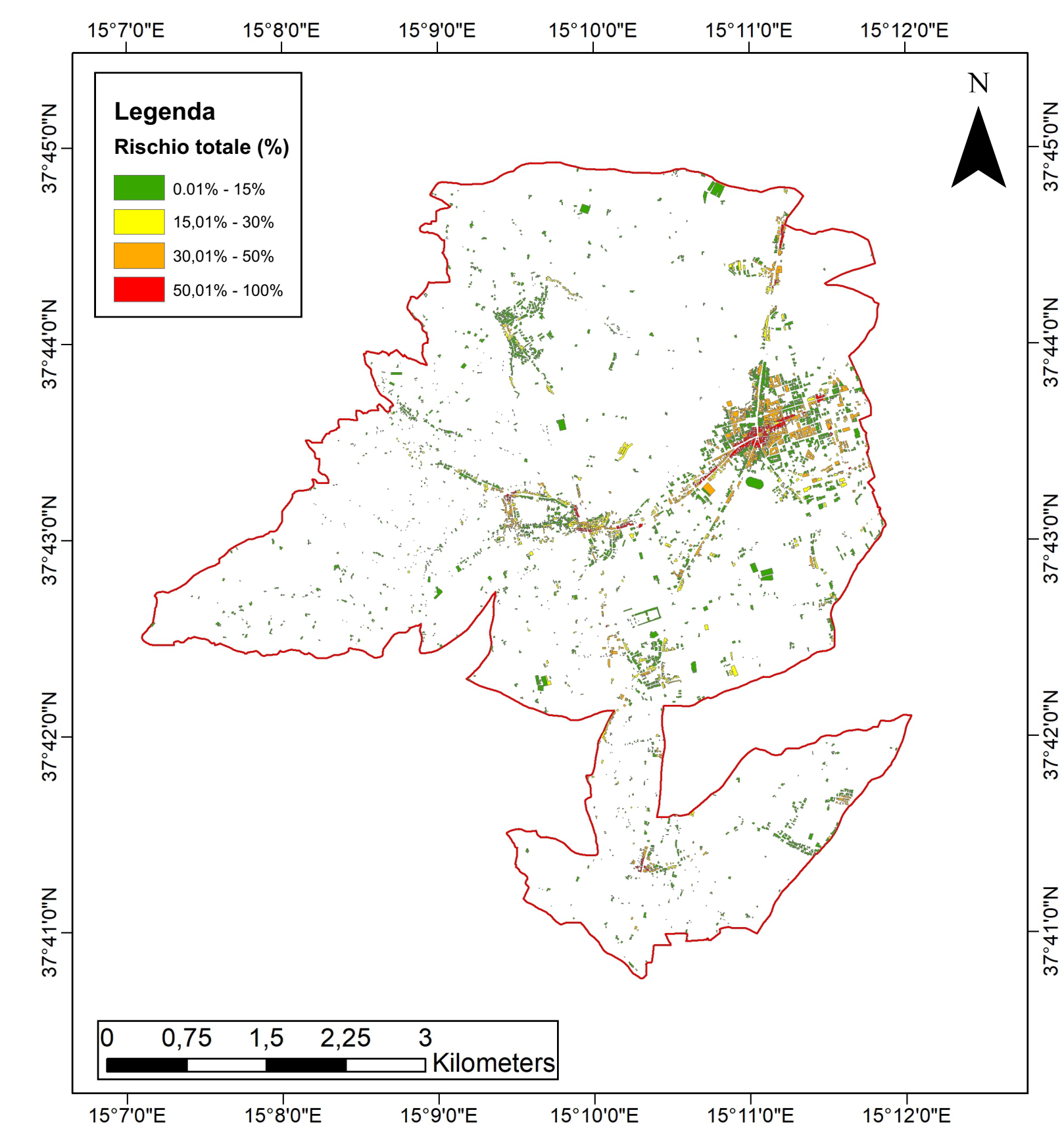


**RETE VIARIA**



**RISCHIO TOTALE**

**EDIFICI**

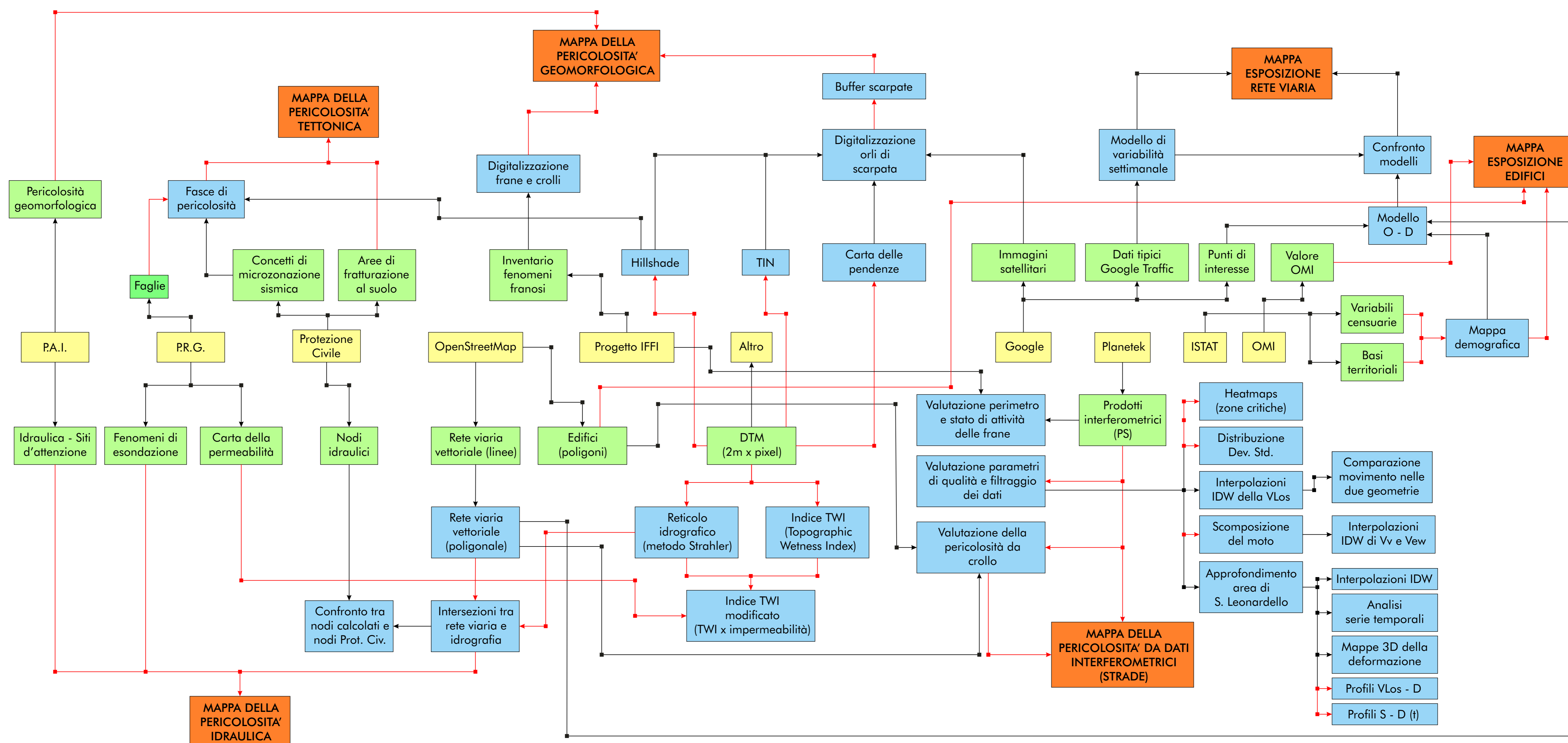


Mario Pagano

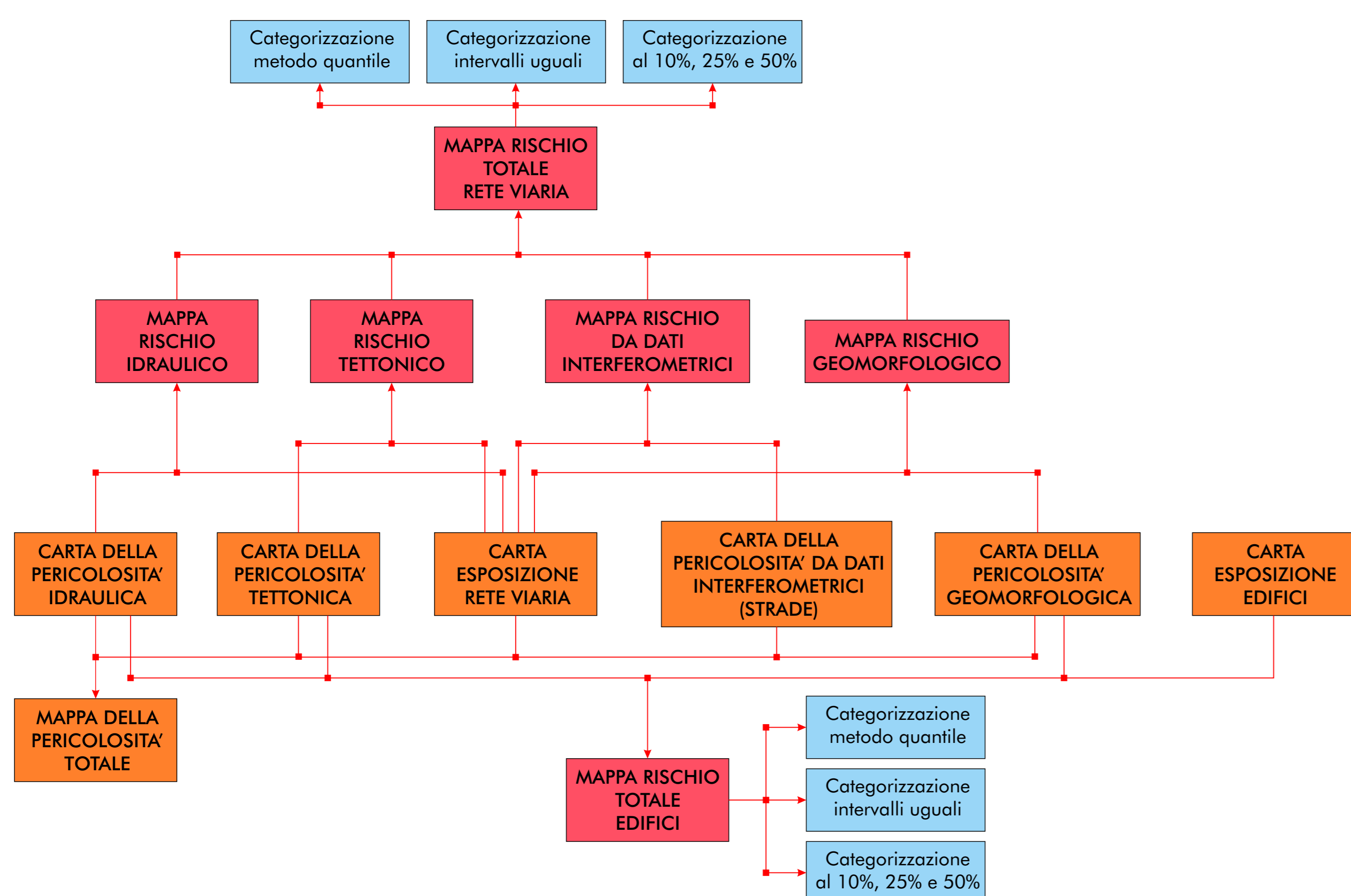
XXXIII Ciclo di dottorato

Università degli studi di Catania  
Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali

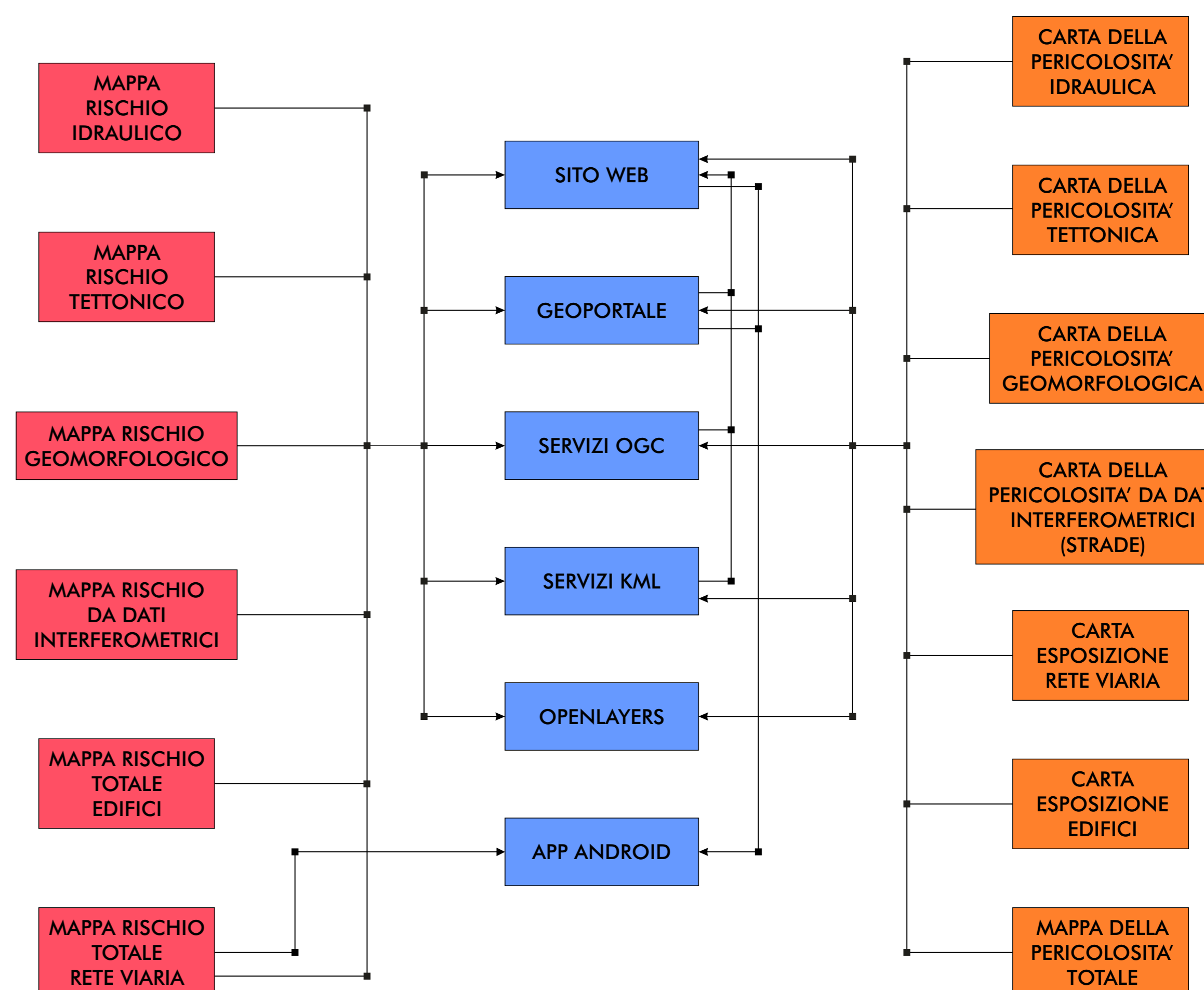
1° FASE - Calcolo di pericolosità ed esposizione



2° FASE - Calcolo del rischio



3° FASE - WebGIS



LEGENDA

