

CREAZIONE DI SISTEMI INFORMATIVI SPECIALIZZATI CON L'AUSILIO DI TECNICHE AVANZATE DI RILEVAMENTO E RESTITUZIONE A GRANDE SCALA

Sommario (ITA)

Nella memoria si presenta una sintesi delle più significative esperienze di ricerca condotte, nell'ambito del PRIN_2002 coordinato dal Prof. Ing. Elio Falchi (Università di Cagliari), dall'Unità locale dell'Università di Catania. Le attività si sono concentrate maggiormente su due tematiche principali: la prima relativa alla sperimentazione di tecniche innovative e ad alta produttività finalizzate all'acquisizione di informazioni territoriali e ambientali; la seconda orientata allo sviluppo ed alla implementazione applicativa di SIT specializzati per le attività di Protezione Civile (previsione, prevenzione e gestione delle emergenze).

Abstract (ENG)

In the paper it is presented a short summary of the most important research experiences carried out by the local Unit of the Catania University in the PRIN_2002 project, co-ordinated by the Prof. Eng. Elio Falchi (University of Cagliari). The research activities has been mainly oriented to two themes: the first, about the experimentation of innovative and high-performing techniques aimed to acquire environmental and spatial data; the second is oriented to develop and implement specialized GIS application for the Civil Protection activities (prediction, prevention and management of emergency).

1. Introduzione

Le funzionalità dell'ambiente GIS sono oggi così estese ed evolute da consentire l'applicazione di modelli e procedure di elaborazione sempre più complessi, con i quali simulare, anche in tempo reale, differenti scenari e fenomeni territoriali. Tali applicazioni, tuttavia, richiedono in genere estese e articolate basi di dati, coerenti con i parametri richiesti dalle particolari applicazioni modellistiche (dettaglio del contenuto informativo) ed in grado di garantire l'affidabilità del risultato (qualità del dato).

Alla luce di queste considerazioni, l'Unità locale di Catania ha sviluppato il proprio lavoro nell'ambito di un filone di ricerca già avviato negli scorsi anni e finalizzato alla realizzazione di Sistemi Informativi Territoriali "specializzati", in genere a grande scala cartografica, orientati alla modellazione di specifici scenari ed alla simulazione di fenomeni territoriali. Date queste finalità, è utile che il sistema sia opportunamente strutturato per l'archiviazione delle necessarie informazioni di dettaglio e per l'elaborazione delle stesse mediante le procedure più evolute dell'ambiente GIS.

Più in particolare, si tratta di strutture dati tematiche e di dettaglio, che si pongono, sotto certi aspetti, in contrapposizione con l'utopia del SIT globale, inteso come unico destinatario/contenitore di tutto il patrimonio informativo territoriale. Questa visione, pur affascinante, risulta infatti inapplicabile ai fini pratici, specie per la limitatezza delle risorse e, quindi, si è sempre costretti a porre limiti all'estensione delle aree studiate, alla relativa scala e ai contenuti informativi. Anche in questo senso, porre obiettivi specifici già nella fase di progettazione di un SIT, assume una valenza particolarmente importante.

L'introduzione di SIT specializzati non deve, comunque, essere intesa come antitetica nei confronti dei SIT di carattere generale, ma, al contrario, tali sistemi devono essere concepiti in un'ottica di stretto coordinamento e interrelazione. In tal modo, immaginando numerose implementazioni specializzate, opportunamente relazionate a strutture dati di carattere generale, è possibile raggiungere un importante risultato: la coesistenza di informazione geografica tematica di grande dettaglio all'interno di un'architettura dati generale di piccola scala. In altri termini, un prodotto a

struttura “modulare” effettivamente realizzabile e che, nel suo complesso, si avvicina molto all’idea del SIT globale, multiscala e multiobiettivo.

Una struttura dati dedicata esclusivamente a tematiche specifiche ed articolata su contenuti di dettaglio consente, inoltre, di razionalizzare l’impiego delle risorse, sfruttando pienamente le potenzialità di elaborazione dei GIS ed operando secondo tecniche e modelli anche molto sofisticati, che, nelle tradizionali applicazioni non informatizzate, hanno trovato riscontri applicativi molto limitati. Ad esempio, proprio a causa della complessità delle elaborazioni da effettuare e della grande quantità ed eterogeneità dei dati richiesti, le modellazioni utilizzate in alcuni dei lavori prodotti sono state tradizionalmente applicate solo nell’ambito di studi estremamente localizzati, riferiti a zone di ridotta estensione. L’implementazione nel GIS, sfruttando le potenzialità di calcolo del sistema e l’efficienza della struttura dati dedicata, ha permesso invece di estendere queste tipologie di approccio ed il grande dettaglio elaborazioni effettuate anche ad aree molto più estese.

2. Il progetto e le attività svolte

In fase di stesura del progetto, l’Unità di Catania si è impegnata ad affrontare i seguenti due temi di ricerca:

- applicazione delle moderne **tecniche di rilevamento e restituzione** di siti e contesti territoriali per i quali è richiesto un supporto informativo **di dettaglio**;
- configurazione delle informazioni acquisite nella forma di **Sistema Informativo a grande scala, ovvero “specializzato”**, e nella sua integrazione all’interno dei Sistemi Informativi Territoriali a scala minore e di interesse generale.

Le attività di ricerca hanno riguardato, nel rispetto del programma presentato, la realizzazione di **sistemi informativi specializzati** con l’ausilio di **tecniche evolute di rilevamento**.

In particolare, sono state svolte attività finalizzate prevalentemente alla redazione di:

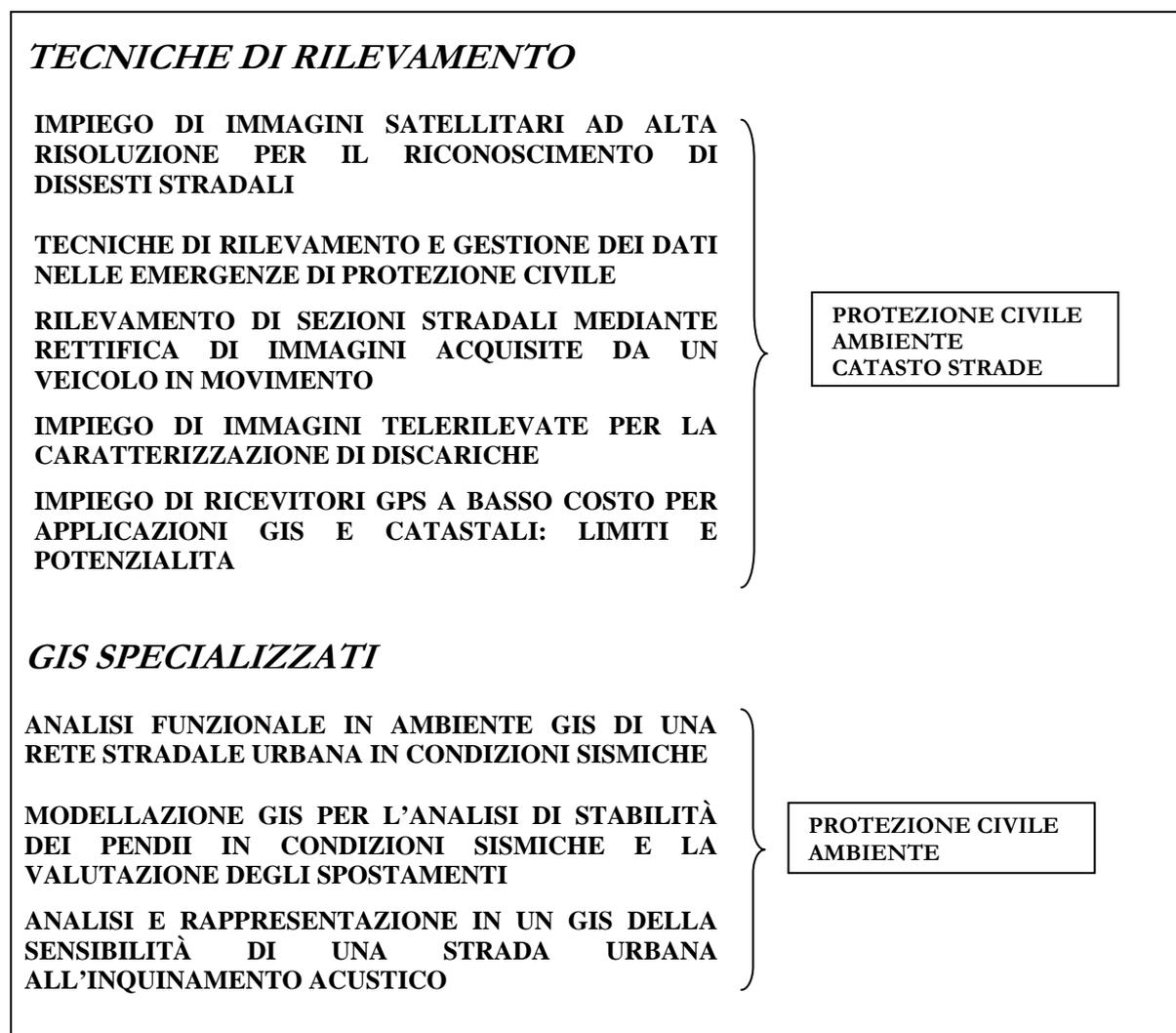
- **Sistemi Informativi Territoriali per le esigenze della Protezione Civile;**
- **Problematiche ambientali;**
- **Catasto delle Strade.**

E’ stato anche attivato un filone di ricerca finalizzato all’esplorazione delle potenzialità delle **immagini satellitari ad alta risoluzione** per il riconoscimento di **infrastrutture stradali e siti contaminati** utili ad analisi di rischio e gestione di emergenze territoriali.

Parallelamente, è stato approfondito lo studio della documentazione prodotta nell’ambito dell’**Intesa Stato-Regioni-Enti Locali**, per l’integrazione dell’informazione territoriale di dettaglio nell’ambito di SIT di carattere generale.

Nei paragrafi che seguono verranno sinteticamente descritte le più significative sperimentazioni condotte nel biennio di ricerca sulle differenti tematiche affrontate, così come indicato nel successivo quadro sinottico. Non si pretende di riportare in questa sede una trattazione sistematica, approfondita ed esaustiva delle esperienze fatte, per la quale si rimanda alle memorie già pubblicate e citate in bibliografia; si vuole in ogni caso fornire uno spunto di riflessione, corredato dei necessari approfondimenti tecnici, per evidenziare il notevole contributo che questo tipo di tecnologie può fornire per la conoscenza del territorio e dei fenomeni ambientali ad esso legati. Come si osserverà nel seguito, le tematiche affrontate sono numerose e parecchio eterogenee, ma tutte accomunate dagli approcci e dalle tecnologie utilizzate e dal “comune denominatore” della *base dati georeferenziata*. La notevole eterogeneità degli argomenti non deve stupire, perché qualsiasi tematica può essere, attraverso questi potenti strumenti a disposizione, re-interpretata dal punto di vista geografico. Qualsiasi informazione viene dunque messa sullo stesso piano delle altre grazie proprio al riferimento spaziale in comune: divengono immediatamente possibili accostamenti, intersezioni, confronti, etc. che un tempo non erano neppure immaginabili. Si riesce

addirittura a produrre nuova informazione geografica, utilizzando con opportune elaborazioni e procedure, i dati di input disponibili.



3.1 Analisi di immagini satellitari nell'ambito di analisi di rischio e gestione di emergenze territoriali. Riconoscimento dei dissesti di natura idrogeologica sulla sede stradale.

Obiettivo del lavoro è l'acquisizione e la gestione in ambiente GIS di informazioni estremamente importanti ai fini delle analisi preventive del rischio e per la gestione della viabilità in emergenza. A tal fine, sono state acquisite immagini satellitari IKONOS di una porzione della Provincia di Catania interessata da dissesti di natura idrogeologica e sono state avviate le prime indagini finalizzate al riconoscimento degli elementi infrastrutturali di interesse strategico ai fini di protezione civile (ponti e viadotti, rilevati, trincee) e, soprattutto, dei danni subiti dalla sede stradale.

Il monitoraggio dello stato di efficienza della rete viaria è estremamente importante non solo per gli Enti gestori che sono tenuti a garantire la mobilità sul territorio in condizioni ordinarie, ma anche per gli Organismi di Protezione Civile che si trovano ad operare in condizioni di emergenza.

Le metodologie tradizionali, basate essenzialmente su ispezioni periodiche sono sempre più inadeguate sia dal punto di vista economico sia ai fini della tempestiva individuazione dei dissesti. Appare dunque indispensabile, in particolare per l'analisi di reti molto estese, ricorrere a nuove e più efficienti tecnologie di monitoraggio, in grado di garantire maggiore produttività. In tal senso, la possibilità di sostituire le tradizionali procedure di monitoraggio con sistemi a più alto rendimento, basati sulle più moderne tecniche del rilevamento satellitare, rappresenta senz'altro una interessante

opportunità sia dal punto di vista economico sia dal punto di vista della qualità del servizio offerto. Le immagini telerilevate oggi disponibili sul mercato garantiscono infatti risoluzioni (anche submetriche) più che sufficienti per il livello di dettaglio richiesto dalla tipologia d'indagine da effettuare e con costi certamente sostenibili per qualsiasi pubblica amministrazione.

Lo studio è stato condotto nel territorio della Provincia di Catania, in un'area dove alcuni rami della rete stradale sono stati interessati, negli ultimi anni, da fenomeni di natura idrogeologica che hanno determinato locali sprofondamenti della sede stradale o ricoprimento totale da parte di materiale incoerente. E' stata acquisita un'immagine IKONOS pansharpened d'archivio (febbraio 2002) con risoluzione al suolo di un metro su ciascuna delle quattro bande disponibili (blu, verde, rosso, infrarosso vicino). L'immagine, originariamente georiferita nel sistema UTM WGS84, è stata successivamente ortorettificata nel sistema di riferimento nazionale Gauss-Boaga, in modo da consentirne la corretta sovrapposizione alla cartografia vettoriale disponibile.

Analizzando il contenuto radiometrico dei pixel appartenenti a zone differenti dell'immagine (strade, incolto, seminativo, vegetazione arborea ecc.) è stato riscontrato un diverso comportamento del conglomerato bituminoso rispetto a quello del terreno circostante. In particolare, il conglomerato messo recentemente in opera mostra valori di radianza più bassi rispetto a quelli relativi al materiale di risulta che in alcuni tronchi ricopre la pavimentazione stradale. Questa netta differenza tende ad attenuarsi proporzionalmente al grado di usura del conglomerato bituminoso.

Si è proceduto quindi alla definizione delle più significative training area, in modo da eseguire una prima serie di classificazioni sulle immagini utilizzando differenti algoritmi di tipo *supervised*. Dopo numerosi test, si è giunti alla conclusione che i risultati migliori si ottengono mediante l'algoritmo della *maximum likelihood* che adotta criteri decisionali di carattere probabilistico. I risultati sono stati inoltre migliorati applicando una maschera filtro per operare solo sulle aree di interesse. I risultati ottenuti nella individuazione dei dissesti si sono dimostrati particolarmente affidabili e consentono di effettuare, con l'impiego di tecniche GIS, la valutazione delle superfici per le quali è necessario prevedere interventi di sterro e ripristino della pavimentazione. Considerati i ridotti tempi di elaborazione e applicazione, soprattutto se confrontati con quelli relativi alle tradizionali tecniche d'indagine, la metodologia proposta si può certamente considerare assai vantaggiosa sia dal punto di vista economico che da quello operativo.

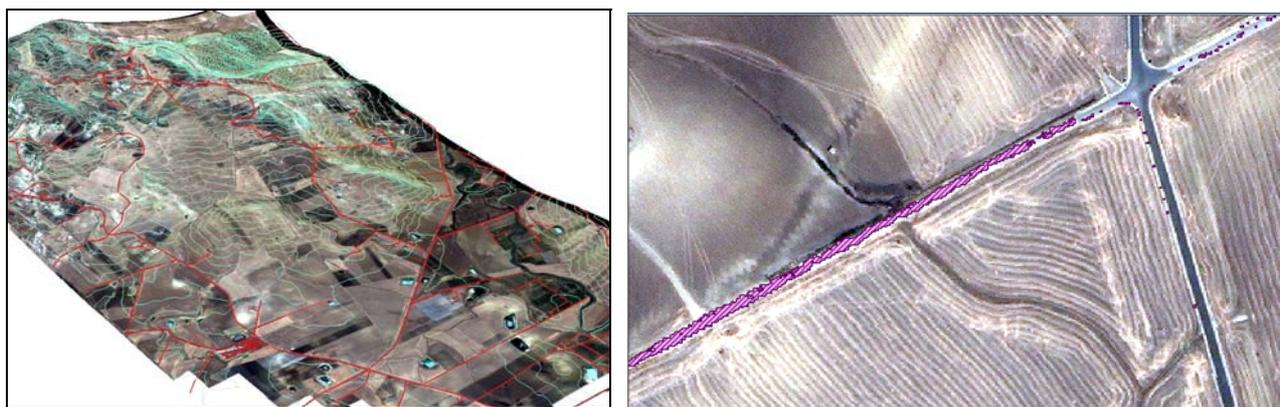
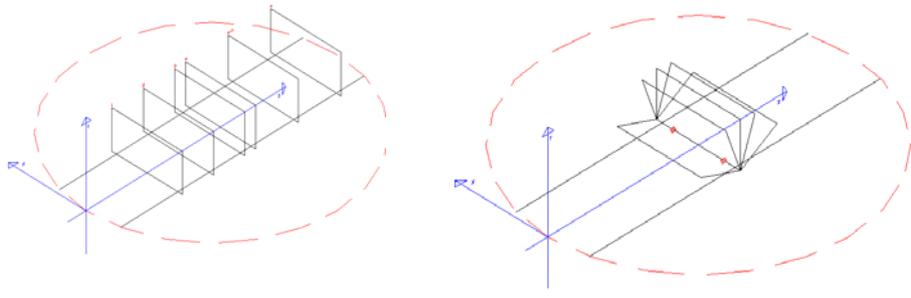


Immagine Ikonos dell'area di studio (Ramacca, Provincia di Catania) sul modello digitale del terreno con la sovrapposizione della cartografia vettoriale. A destra un particolare della classificazione della zona del dissesto stradale(in rosa)

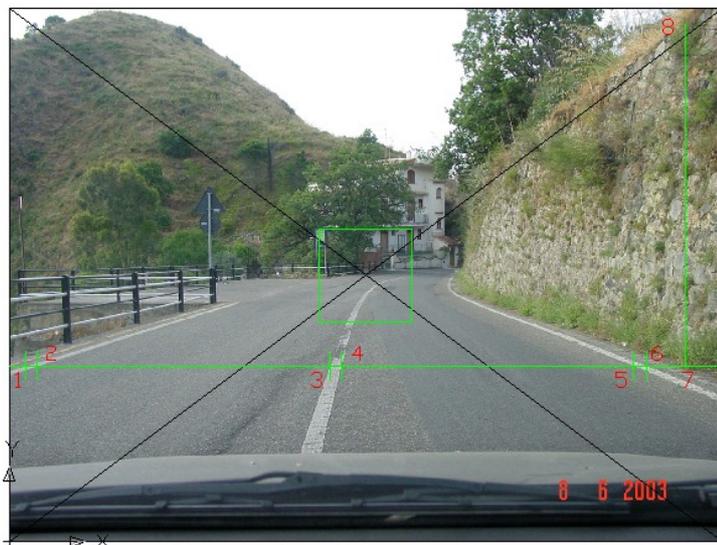
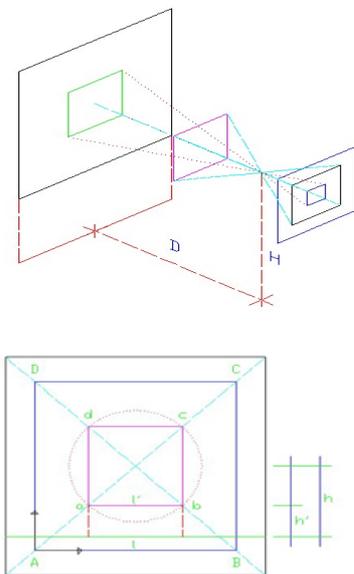
3.2 Fotogrammetria monoscopica per il rilevamento di sezioni stradali

Nell'ambito delle attività di ricerca è stato ideato e messo a punto, con estese verifiche sul campo, un metodo basato sulla restituzione monoscopica con il quale è possibile misurare i diversi elementi della sezione stradale (piattaforma, elementi marginali, recinzioni, muri, etc.) con le precisioni richieste dalle Norme che regolano la formazione del Catasto delle Strade.

Il modello monoscopico messo a punto si basa sulla tecnica del "raddrizzamento" applicata all'immagine prospettica della strada ripresa con una camera di tipo amatoriale. Si evidenzia che, nel caso di un'infrastruttura stradale, contrariamente a quanto avviene per le pareti di edifici, lo sviluppo longitudinale dell'infrastruttura dà luogo ad una visione prospettica rispetto alla quale è possibile individuare infinite tracce di piani di raddrizzamento.



Scelta una traccia, inoltre, per individuare univocamente il piano di raddrizzamento, tra gli infiniti del fascio avente come asse la traccia stessa, è necessario avere un riferimento altimetrico. Antepoendo alla camera da presa un reticolo di dimensioni note, è possibile, in funzione della geometria del sistema e della distanza D alla quale si vuole eseguire il raddrizzamento, individuare in maniera univoca il piano da raddrizzare in corrispondenza del reticolo proiezione (il reticolo fornisce infatti la posizione dei quattro vertici in quota, cioè uno in più rispetto alle condizioni strettamente sufficienti).



Dopo alcune esperienze preliminari, condotte utilizzando un reticolo calibrato fatto realizzare da un'officina meccanica, si è pervenuti ad un approccio metodologico che non richiede l'effettiva materializzazione del reticolo dinanzi all'ottica della fotocamera, ma che si basa sulla sovrapposizione di un *reticolo virtuale*, di dimensioni note, sulle immagini acquisite.

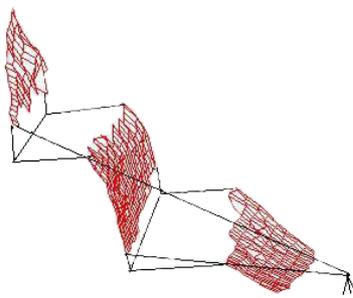
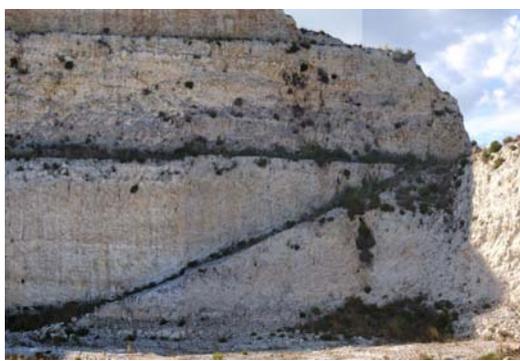
3.3 Rilievo di pareti rocciose mediante scansione laser 3D e fotogrammetria terrestre digitale

Sono state condotte alcune esperienze di rilevamento fotogrammetrico terrestre di pendii ripidi e pareti rocciose, difficilmente accessibili, di sicuro interesse ai fini della caratterizzazione geotecnica.

L'esperienza che qui si riporta è stata condotta su una cava di inerte dismessa da anni, sita nel territorio della provincia di Siracusa, che, per le sue caratteristiche morfologiche, sembra idonea ad essere trasformata in discarica controllata di RSU ed infine riqualificata come area di interesse naturalistico, ripristinando le caratteristiche morfologiche ed ambientali originarie.

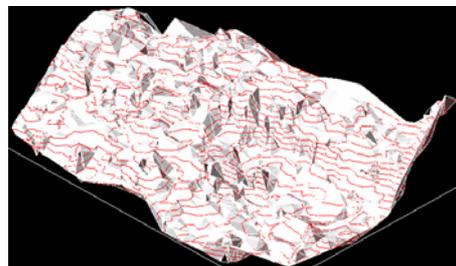
L'approccio seguito per il rilevamento del sito è riconducibile alla tecnologia del *laser scanning*, anche se le operazioni di campagna sono state condotte con una stazione totale motorizzata equipaggiata con distanziometro ad impulsi a riflessione diretta. La stazione può essere impostata in modo da effettuare la scansione della superficie con passo predeterminato.

Dopo la necessaria preliminare costruzione di una poligonale di inquadramento, sono state eseguite scansioni a diverso passo, in modo da ottenere diverse rilievi a diversa "risoluzione" e definire una correlazione tra il passo di scansione e la scala nominale di restituzione.



Le esperienze condotte mostrano, innanzitutto, l'**ottima "sovrapponibilità" dei risultati ottenuti con diversi passi di scansione**: ciò consente di progettare il rilievo in funzione anche della morfologia o di particolari interessi progettuali, raffittendo il passo ed incrementando il livello di dettaglio solo dove necessario, con significative riduzioni dei tempi e dei costi di acquisizione e restituzione.

Interessante è anche il confronto dei risultati ottenuti attraverso la scansione a passo più stretto, di circa 0,5 m, con i risultati della *restituzione fotogrammetrica digitale terrestre* di una parete rocciosa di simili caratteristiche morfologiche rilevata nel territorio della provincia di Messina.



Dal punto di vista metrico è chiaramente più soddisfacente l'approccio fotogrammetrico, che, partendo da una scala media dei fotogrammi di circa 1:300, ottenuta con prese a distanza di circa 60 metri dalla parete, effettuate con una camera di focale 28 mm, conduce alla restituzione di una carta e di un DTM molto dettagliato e coerente con **una scala nominale 1:200**.

3.4 Impiego di immagini telerilevate per la caratterizzazione di discariche

I moderni sensori utilizzati per il telerilevamento (remote sensing) permettono l'acquisizione di immagini ad alta risoluzione geometrica (anche submetrica) e spettrale che, opportunamente elaborate con algoritmi di calibrazione e classificazione, possono rappresentare un utile supporto per la caratterizzazione e l'analisi delle discariche esistenti. In quest'ottica non va per altro sottovalutata un'ulteriore potenzialità di notevole interesse per il controllo del territorio: mettere a punto specifiche procedure d'individuazione di siti utilizzati come discariche abusive.

Le indagini nel campo dell'infrarosso termico sono spesso particolarmente significative in virtù dei processi biochimici che si innescano nelle discariche di rifiuti solidi urbani (rsu). I materiali organici accumulati, infatti, ricoperti da strati di terreno, si ritrovano in condizioni anaerobiche e divengono sede di processi di digestione ad opera di batteri i cui prodotti principali sono il biogas ed il percolato. Il biogas, in particolare, è costituito da una miscela gassosa complessa i cui componenti principali sono metano (CH_4), anidride carbonica (CO_2) e idrogeno solforato (H_2S); tale miscela, a causa delle reazioni che avvengono, assume temperature che mediamente si attestano tra 30 e 40 °C. Nel suo movimento il biogas cede calore per conduzione e per convezione alle zone limitrofe provocando un riscaldamento complessivo dell'ammasso (in particolar modo lungo le vie di emissione) che ha un effetto anche in superficie.

Mediante l'analisi di un'immagine telerilevata nelle bande dell'infrarosso termico è possibile dunque individuare anomalie di temperatura superficiale che possono aver luogo in prossimità di punti di emissione di biogas.

Per quanto riguarda la valutazione dell'inerzia termica è indispensabile disporre di due immagini acquisite in due precisi momenti nell'arco della giornata corrispondenti al minimo (alba) ed al massimo (mezzogiorno) carico solare. La valutazione dell'inerzia termica necessita di una accurata calibrazione dell'immagine e di una elaborazione più onerosa, ma può condurre alla individuazione e delimitazione dell'area utilizzata come discarica in base alle differenti caratteristiche spettrali degli ammassi di rsu rispetto ai suoli circostanti.



Immagini della discarica in colori reali e in falsi colori sulla banda 93 (infrarosso termico 8,2 μm): a destra sono evidenti in rosso le aree caratterizzate da temperature più elevate

Le esperienze sono state condotte in collaborazione con il Dipartimento di Rappresentazione dell'Università di Palermo e con il Laboratorio Aereo Ricerche Ambientali (LARA) dell'Istituto sull'Inquinamento Atmosferico (IIA) del CNR, utilizzando una immagine acquisita dal sensore aviotrasportato MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer).

Per effettuare analisi di natura morfologica, l'immagine, che per la struttura stessa del sensore MIVIS è sempre deformata, è stata calibrata geometricamente, georeferenziata e sovrapposta ad un modello digitale del terreno (DTM).

L'immagine è stata calibrata utilizzando una serie di firme spettrali ricavate da misure effettuate in loco, contestualmente all'acquisizione MIVIS, mediante uno spettro-radiometro. I risultati migliori sono stati ottenuti utilizzando le prime 28 bande delle 102 disponibili, corrispondenti al campo del visibile e dell'infrarosso vicino, e le ultime 10 bande (dalla 93 alla 102), corrispondenti alla zona dell'infrarosso termico, direttamente utilizzabili in termini di temperatura rilevata.

Le indagini che hanno condotto ad un risultato di maggiore interesse sono quelle effettuate nel campo dell'infrarosso termico. Sono state infatti individuate evidenti anomalie termiche (anche di

entità superiore a 10°C) nell'ammasso, particolarmente concentrate sul versante est. La localizzazione dell'anomalia termica su un versante ad elevata pendenza potrebbe far pensare ad uno strato di terreno di ricoprimento particolarmente sottile, non sufficiente a "mascherare" i processi esotermici che avvengono più in profondità. La limitata estensione del fenomeno, lascia anche pensare ad un possibile più recente scarico di materiale dall'alto dell'ammasso, lungo la scarpata, non seguito da idoneo ricoprimento.

3.5 Impiego di ricevitori GPS a basso costo per applicazioni GIS e catastali: limiti e potenzialità

Obiettivo del lavoro è stato esplorare le possibilità di impiego in campo tecnico (gis e catasto) di strumenti a basso costo che, pur essendo proposti per l'impiego escursionistico e amatoriale, hanno comunque potenzialità che possono essere rese disponibili attraverso particolari modalità operative o tramite espansioni hardware. Sono stati eseguiti estesi test sperimentali con un gruppo di ricevitori (Magellan Sportrack Map, Emtac Bluetooth GPS, Garmin GPSmap 76S e GPS Haicom HI 302).

Il funzionamento dei GPS è stato valutato sia in modalità statica che cinematica, prendendo come riferimento punti di coordinate note e geometrie tipiche di applicazioni GIS.

Per l'esecuzione delle prove statiche si è stazionato sui punti test rispettivamente per 5, 10, 15 e 30 minuti. Le prove sono consistite in:

- acquisizione statica, con stazionamento su punti di coordinate note:
 - senza alcun tipo di correzione;
 - con correzione EGNOS;
 - con correzione differenziale in post-processing da master;
- acquisizione cinematica di percorsi aventi geometria nota.

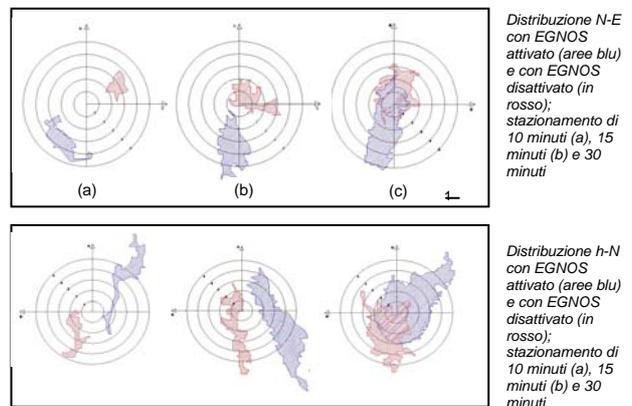
Le prove sono state condotte connettendo i ricevitori a Notebook dotati di software di navigazione (GPS Utility, Ozi Explorer, WDGPS) e con possibilità di salvataggio delle frasi NMEA ed elaborazione statistica dei dati ricevuti.

Per la conduzione dei test con i ricevitori GPS Bluetooth è stato utilizzato il software di navigazione Pocket ArcheoNav (Scianna, 2004) che consente di elaborare le frasi NMEA e di salvarle per l'ulteriore post processamento.

Le correzioni differenziali hanno richiesto preliminarmente la conversione dei dati dal formato GARMIN binario al formato di scambio RINEX; a tal fine si è utilizzato il software ASYNC (Taberner, 2000) disponibile su Internet.

I risultati ottenuti possono così sintetizzarsi:

- acquisizione statica: i ricevitori non si stabilizzano mai su una coppia di coordinate ma forniscono una nuvola di punti che con il prolungarsi dello stazionamento appare decisamente "allungata" secondo l'asse nord-sud;
- correzione EGNOS: affinché si abbia un deciso contributo alla precisione del posizionamento, è necessario attendere un periodo di stabilizzazione del segnale non inferiore, di norma, a dieci o quindici minuti; in Sicilia (i test sono stati condotti fra Palermo e Catania) è possibile fruire dei dati di correzione del solo satellite IOR della costellazione EGNOS;
- rilevamento cinematico: i ricevitori mostrano una buona accuratezza nel posizionamento relativo dei punti rilevati in successione; in pratica, la geometria restituita è molto prossima a quella realmente percorsa (scostamenti massimi dell'ordine del metro), anche se in genere non risulta corretto il posizionamento cartografico assoluto (tale aspetto è oggetto di ulteriori indagini).



3.6 Analisi funzionale in ambiente GIS di una rete stradale urbana in condizioni sismiche

È ormai ben noto che, in occasione di eventi sismici, le infrastrutture viarie giocano un ruolo centrale nella gestione dell'emergenza, sia nelle fasi immediatamente successive al disastro per garantire tempestività ai primi soccorsi nel raggiungimento delle aree colpite, sia nel lungo periodo per la ottimale pianificazione delle operazioni di ripristino e ricostruzione. La drammatica esperienza dei più recenti terremoti avvenuti in California (Loma Prieta, 1989; Northridge, 1994) e Giappone (Kobe, 1995) ha insegnato infatti che i danni indotti (dovuti, ad esempio, agli incendi) provocati dai ritardi nelle operazioni di soccorso causati dall'inefficienza della rete viaria possono essere addirittura paragonabili in entità a quelli causati direttamente dal sisma.

Solo molto recentemente, ed in particolare a seguito dei citati eventi sismici, sono stati avviati, sia a livello nazionale che internazionale, numerosi studi e progetti di ricerca finalizzati proprio a fornire metodologie di valutazione del rischio sismico non solo sull'edificato, ma anche sulle reti viarie o, quantomeno, sulle parti di esse talmente essenziali per i collegamenti da potersi ritenere a tutti gli effetti "Lifelines". Tuttavia, l'approccio più comunemente utilizzato in questi lavori è di "piccola scala", cioè consistente nell'esaminare nel suo insieme un vasto territorio e considerando i diversi centri urbani esclusivamente come dei nodi di origine o destinazione dei soccorsi, da raggiungere attraverso la rete di Lifelines. Secondo tale approccio si fa in modo che ogni città risulti correttamente collegata al territorio extraurbano dal quale si suppone che provengano i soccorsi, ma viene del tutto trascurata la notevole complessità ed ampiezza del territorio urbano. In sostanza, non viene affrontato il problema, "specializzato" e a grande scala, della definizione delle più opportune Lifelines all'interno della rete viaria urbana, che possano garantire ai soccorsi provenienti dall'esterno il raggiungimento delle aree attrezzate, di ricovero e di ammassamento interne al tessuto urbano.

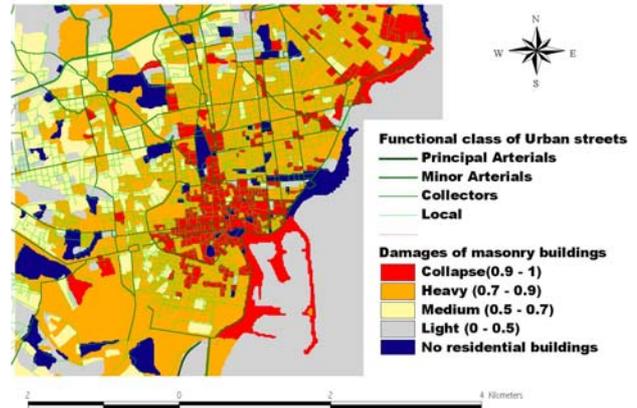
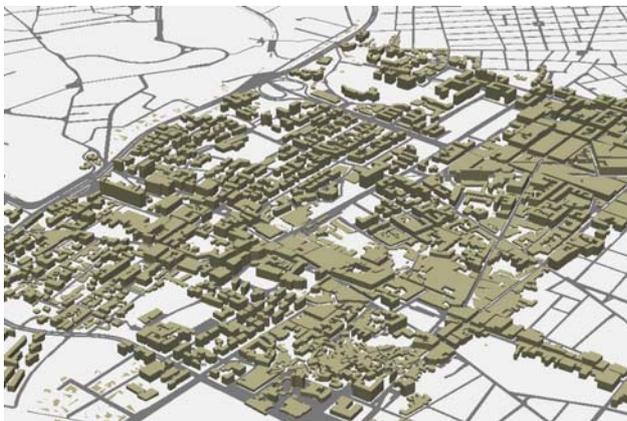
Nella presente ricerca si è affrontata proprio questa problematica, proponendo un modello di valutazione **a grande scala** della funzionalità dei diversi rami della rete stradale urbana in condizioni di emergenza sismica. Lo studio, articolato su diverse fasi consequenziali in cui vengono definiti e calcolati appositi parametri di analisi, conduce all'individuazione dei percorsi viari meno vulnerabili per il raggiungimento dall'esterno delle aree strategiche attrezzate, di ammassamento, o ricovero. L'intera procedura è stata applicata ad un esteso comparto urbano (corrispondente alla terza municipalità) della città di Catania, ottenendo risultati significativi che potrebbero essere utili per la redazione dei piani di emergenza comunali.

Data l'estrema complessità dell'ambiente urbano e la considerevole mole ed eterogeneità dei dati da gestire, si è ritenuto particolarmente utile, se non addirittura indispensabile, l'impiego di un sistema informativo geografico (GIS) nella consapevolezza di disporre non solo di un potente strumento di archiviazione georeferenziata dei dati, ma anche di un evoluto sistema di analisi. Nell'ambito dell'applicazione, infatti, si è fatto ricorso a numerose e differenziate caratteristiche e funzionalità complesse del sistema, utilizzate parallelamente per risolvere specifiche esigenze ma anche in modo interconnesso e coordinato per le valutazioni finali. Più in particolare, sono state utilizzate le seguenti risorse:

- Modulo GIS base (Arcview), per l'archiviazione informatizzata georeferenziata dei dati, le indagini incrociate su differenti database, le operazioni di buffering e la produzione della cartografia tematica;
- Modulo 3D (3D Analyst), per la rappresentazione delle entità tridimensionali;
- Modulo GRID (Spatial Analyst), per la gestione di elaborazioni numeriche complesse quali l'analisi di prossimità, finalizzata all'analisi dell'esposizione;
- Analizzatore di rete (Network Analyst), per la ricerca dei percorsi ottimali.

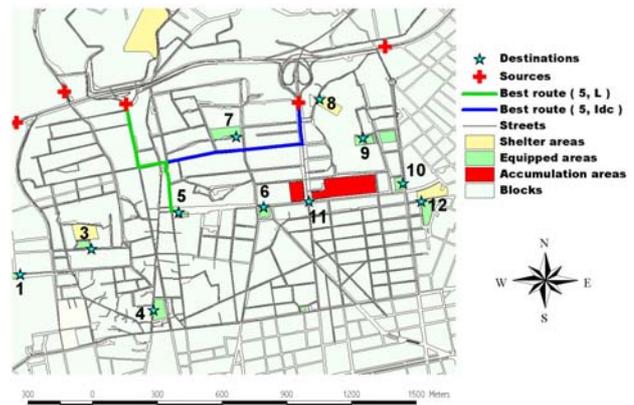
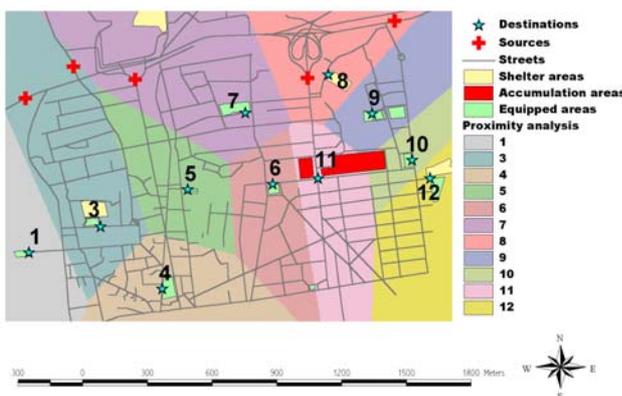
La procedura di analisi proposta prevede, attraverso distinti tematismi, l'inserimento nel sistema di una notevole quantità di dati, anche di natura eterogenea. Nell'elenco che segue si riportano sinteticamente le differenti tipologie di dati da associare ai database dei tematismi del GIS per effettuare le valutazioni:

- Informazioni sulla geometria della sezione stradale (larghezza della sede stradale, altezza e distacco degli edifici);
- Indice di danno atteso per l'edificato;
- Distribuzione territoriale della popolazione;
- Individuazione delle aree attrezzate, di ricovero e di ammassamento.



Rappresentazione tridimensionale dell'altezza degli edifici del comparto urbano studiato (a sinistra) e carta tematica delle classi di danno per gli edifici in muratura (a destra)

Sono stati elaborati ed applicati numerosi modelli di valutazione, omessi in questa sede, che hanno condotto, in base ad una complessa analisi spaziale, alla valutazione della popolazione ammassata attesa per ogni area attrezzata ed alla definizione, in base ad un'analisi di rete, del miglior percorso (in termini di minore vulnerabilità sismica) per raggiungerla dall'esterno del comparto urbano. Per ciascuno dei percorsi individuati, si è infine calcolata l'esposizione sismica. Nelle figure si riportate si propongono alcuni dei più significativi risultati ottenuti.



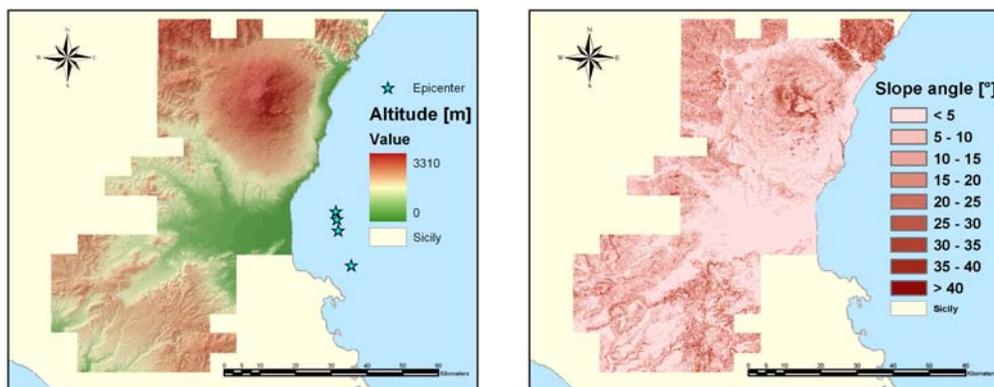
Valutazione della "popolazione ammassata attesa" in ogni centro di ricovero (a sinistra) e individuazione del miglior percorso (a destra) per il raggiungimento dell'area di ricovero n°5, in base alla minor lunghezza (verde) e in base alla minore vulnerabilità (blu)

3.7 Strumenti di analisi e metodologie di rappresentazione in un SIT “specializzato” sul rischio sismico di frana

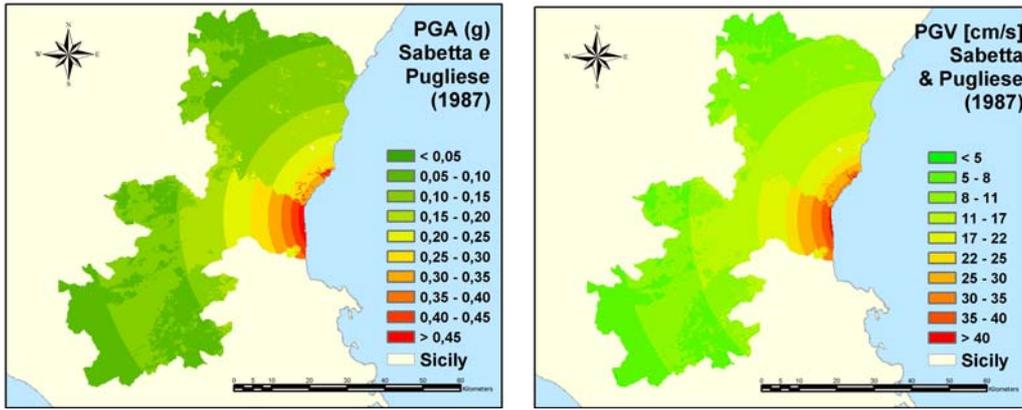
La valutazione delle condizioni di stabilità dei pendii è un problema di rilevante interesse sia per il monitoraggio del territorio sia per la gestione delle emergenze, particolarmente sismiche o idrogeologiche. E' ben noto, infatti, che il sistema viario, essenziale per garantire ai soccorsi una tempestiva possibilità di accesso alle aree colpite da eventi calamitosi, subisce ingenti danni non solo di tipo strutturale sulle maggiori opere d'arte (ponti, viadotti, gallerie, opere di sostegno, etc.) ma anche di tipo indotto, dovuti a frane e smottamenti che invadono la sede stradale rendendola inagibile. L'obiettivo principale della ricerca che viene in questa sede sinteticamente presentata consiste nello strutturare ed implementare un SIT “specializzato” sulla valutazione del rischio di frana in condizioni sismiche che, attraverso opportune simulazioni e modellazioni dei fenomeni naturali che intervengono, permetta di effettuare previsioni sui possibili danni alle infrastrutture territoriali eventualmente coinvolte.

I principali vantaggi legati ad una simile applicazione consistono nella possibilità di avviare una vera e propria pianificazione preventiva in relazione ai rischi valutati ed ai diversi scenari elaborati oltre che nella possibilità, nelle immediate fasi post-evento, di realizzare rapidamente scenari di danno verosimili, fondamentali per la migliore gestione delle risorse (sempre limitate) in emergenza. Inoltre le enormi potenzialità di elaborazione tipiche dell'ambiente GIS e l'elevato livello di dettaglio informativo potenzialmente raggiungibile nelle strutture dati dedicate consentono l'estensione anche ad aree vaste (piccola scala) di approcci tradizionalmente utilizzati solo per studi estremamente localizzati (grande scala).

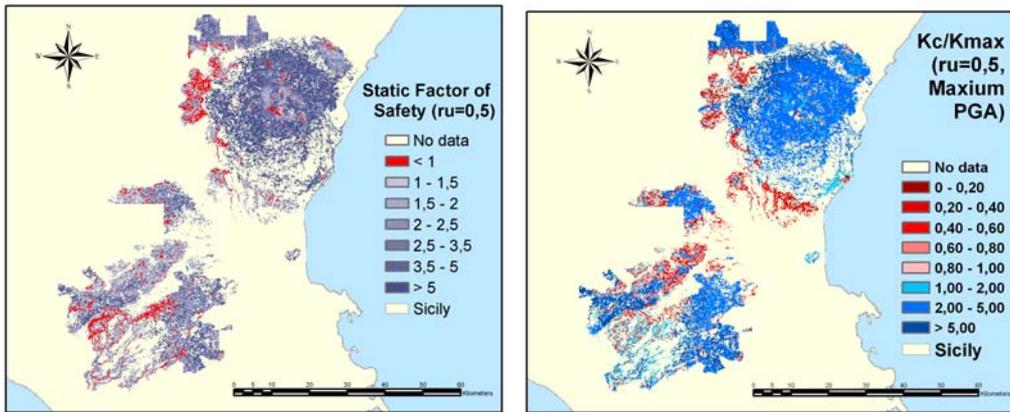
Nell'ambito del SIT “specializzato” prodotto sono state utilizzate **modellazioni geotecniche di dettaglio** ed, in particolare, l'accelerazione sismica al suolo è stata valutata per mezzo di quattro differenti leggi di attenuazione, mentre l'entità dello spostamento indotto è stata valutata attraverso altre quattro correlazioni di natura statistica che legano il valore di quest'ultimo ad un valore di soglia dell'accelerazione sismica funzione di parametri geotecnici e geometrici del suolo. Tutti i dati di dettaglio necessari sono stati appositamente strutturati all'interno di specifici database geografici (relativi alla geologia, alle caratteristiche geotecniche dei terreni, etc.) oppure, ove possibile, desunti dalla cartografia o da DTM utilizzando funzionalità proprie dei GIS (ad es. carta delle acclività). Grazie a questa tipologia di struttura dati, espressamente orientata alla modellazione di questi complessi fenomeni geofisici e geotecnici, è possibile ottenere come risultati direttamente fruibili mappe delle zone potenzialmente instabili e valutazioni degli spostamenti permanenti indotti da un evento sismico di scenario. Utilizzando, infine, una relazione tra lo spostamento indotto e il danno arrecato, il SIT consente di effettuare una prima verifica delle condizioni di esercizio della rete viaria. L'applicazione è stata condotta sulla rete principale della Provincia di Catania stimando le condizioni di rischio dei rilevati e delle trincee.



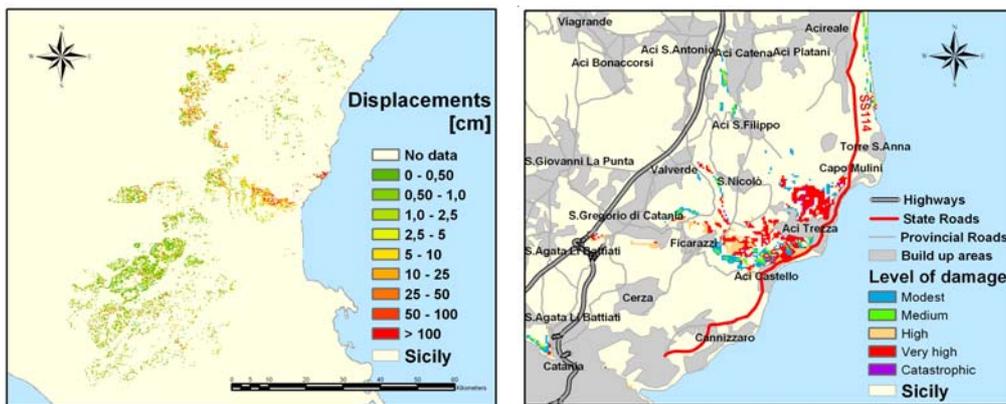
Modello digitale del terreno (DTM) della Provincia di Catania e carta delle pendenze da questo elaborata



Mappe delle massime accelerazioni sismiche al suolo (PGA = peak ground acceleration) e delle massime velocità (PGV = peak ground velocity) calcolate con la legge di attenuazione di Sabetta e Pugliese



Mappe del fattore di sicurezza statico e del rapporto tra l'accelerazione critica di pendio e l'accelerazione sismica calcolata: le zone in rosso nella immagine destra si mobilitano a causa del terremoto (→ calcolo degli spostamenti)



Mappe calcolate (modello di Romeo) dell'entità degli spostamenti delle aree instabili e particolare della conseguente mappa del danno

3.8 Analisi e rappresentazione in un GIS della sensibilità di una strada urbana all'inquinamento acustico

Si propone un contributo metodologico in tema di previsione e prevenzione del fenomeno dell'inquinamento acustico da traffico veicolare, attraverso l'implementazione di un modello di analisi della "sensibilità" di una strada urbana all'inquinamento acustico da traffico veicolare (D'Andrea A., Mussumeci G. 1998). Lo studio è stato condotto sulla città di Catania, adottando una zonizzazione di massima del territorio, in base anche alle indicazioni dei tecnici comunali, ed una classificazione funzionale delle strade urbane.

Il modello di "sensibilità" utilizzato permette di quantificare preventivamente il contributo al rumore da traffico dovuto agli elementi che maggiormente influenzano il fenomeno: presenza di edifici, tipologia e stato di manutenzione della pavimentazione, andamento altimetrico dell'asse, entità dei flussi di traffico. L'applicazione del modello in un GIS risulta particolarmente vantaggiosa dal punto di vista economico e della rapidità di esecuzione ma anche sufficientemente affidabile. Note le caratteristiche delle strade d'interesse, è dunque possibile effettuare una rapida ed affidabile analisi della "sensibilità" di ciascun sito all'inquinamento acustico.

Una rappresentazione significativa delle analisi preventive, originale e "navigabile", è stata ottenuta trattando i dati nell'ambito di un modulo tridimensionale del GIS. Il risultato, dal quale è stata estratta l'immagine della figura seguente è un ambiente tridimensionale "virtuale", navigabile in qualsiasi direzione dello spazio, in cui sono perfettamente visibili gli edifici con le rispettive altezze e gli assi viari caratterizzati in funzione della sensibilità acustica valutata. Il piano "estruso" in 3D dall'asse viario rappresenta proprio i singoli contributi alla potenziale produzione di rumore del sito, per cui, nell'eventualità di predisposizione di un piano di risanamento, è anche semplice individuare le maggiori cause d'inquinamento.



Rappresentazione in un GIS 3D del livello di sensibilità ad inquinamento acustico di una strada urbana (Via Etnea, Catania) valutato con analisi preventiva. I differenti colori rappresentano i singoli contributi (rosa = altezza degli edifici; blu = pendenza longitudinale; verde = tipo di pavimentazione; giallo = stato di manutenzione; rosso = entità dei flussi di traffico)

3.9 Caratteristiche della cartografia numerica per impiego in SIT “specializzati” per la protezione civile

Nell’ambito dei numerosi studi effettuati e delle applicazioni GIS “specializzate” implementate sono emersi parecchi ulteriori spunti di riflessione su cui si ritiene utile fare qualche ulteriore considerazione, precisando che si tratta esclusivamente di un approfondimento preliminare, essendo le tematiche trattate oggetto di studi e ricerche ancora in corso.

In linea generale, si ritiene anzitutto di poter affermare che le tecniche di produzione tradizionalmente utilizzate per la cartografia numerica molto spesso conducono a prodotti non particolarmente orientati all’impiego nell’ambito di applicazioni GIS.

Molto spesso sussistono infatti, ai fini della implementazione di un SIT, notevoli carenze topologiche o di strutturazione del dato che costringono, prima di poter avviare proficuamente qualsiasi procedura, a lunghe ed onerose operazioni di editing e di adeguamento (ad esempio: elementi poligonali inesistenti o non chiusi, elementi lineari segmentati secondo logiche poco utili ai fini dell’associazione di informazione geografica, codifica dei layers non standardizzata, etc.).

In altri termini, le specifiche di contenuto dei capitoli tradizionali, il più delle volte, non sono state redatte nell’ottica di produrre un vero e proprio database topografico, ma solo ai fini della realizzazione di un prodotto cartografico numerico, adatto pure ad una consultazione (ed un eventuale editing) a video in ambiente CAD, ma orientato anche al plottaggio.

In quest’ottica, evidentemente, viene del tutto a mancare l’indispensabile rigore necessario per la definizione di tutti gli elementi cartografici (intesi anche come record di database) da prendere in considerazione nella produzione e delle relative metodologie di acquisizione e trattamento. Ad esempio, molto spesso le “tradizionali” cartografie numeriche a grande scala di reti viarie urbane, fermo restando la qualità del dato geografico restituito (in termini di accuratezza metrica), sono state prodotte senza preoccuparsi delle entità geometriche sviluppate e, dunque, dell’integrità del dato dal punto di vista del database informativo. In taluni casi è possibile che non venga restituito l’asse, mentre vengono normalmente tracciati i limiti dei marciapiedi segmentati (secondo logiche non sempre chiare) in diverse linee o polilinee; la toponomastica viene collocata all’interno della carreggiata ove il buon senso suggerisca la più chiara localizzazione ai fini della lettura della carta. Ben altra cosa è realizzare il database topografico dei toponimi di un centro urbano: in questo caso è ragionevole restituire l’asse (e non necessariamente i margini) segmentato in funzione del mutare dei toponimi che devono essere, elemento per elemento, associati in un apposita tabella informativa correlata, secondo un protocollo di immissione preventivamente concordato. Da quest’ultimo punto di vista, l’aspetto più importante consiste proprio nell’integrità e nella coerenza del dato gestito a livello di database: ad ogni nome di strada dovrà corrispondere uno ed uno solo tronco di asse stradale (e viceversa). Non deve esistere alcuna possibilità di “interpretazione” nel passaggio da realtà territoriale ad entità corrispondenti nel database topografico: con riferimento a regole appositamente definite, dovrà sempre essere creato un elemento lineare in corrispondenza di ogni asse, segmentando opportunamente al variare dei toponimi.

In sostanza, in molte delle cartografie numeriche oggi esistenti i differenti elementi geografici sono stati dunque tradizionalmente intesi non tanto come singole e distinte entità di database da individuare e trattare secondo precise specifiche di contenuto (spaziale ed informativo), quanto piuttosto come parti della realtà territoriale da rappresentare sulla carta per mezzo di segni grafici opportunamente collocati.

Questa situazione diviene ancora più grave se, nell’ottica di sviluppare SIT multiscala e multiobiettivo, si verifica l’esigenza di utilizzare insieme fonti cartografiche profondamente differenti per contenuti, codifica e struttura.

Per risolvere tali problematiche, sono già stati da anni avviati numerosi tavoli di discussione nell’ambito dei quali si è tentato di definire il miglior equilibrio possibile tra le attuali potenzialità di acquisizione e rilevamento (tecniche aerofotogrammetriche o immagini satellitari telerilevate), il know-how aziendale delle linee produttive e le differenziate esigenze della committenza, sempre

più frequentemente orientate non solo alla restituzione di cartografie numeriche di carattere generale ma anche alla predisposizione di vere e proprie banche dati geografiche di supporto ad altre numerose tipologie di attività sul territorio.

In Italia, a partire dal 1996, il suddetto dibattito scientifico si è sviluppato particolarmente nell'ambito dei lavori della "Intesa Stato - Regioni - Enti locali per la realizzazione di sistemi informativi geografici" che si poneva come obiettivo la realizzazione *"entro 6-8 anni delle basi informative territoriali gestite su elaboratore a copertura dell'intero territorio nazionale necessarie per l'esercizio delle funzioni di interesse locale, regionale e nazionale"*. Le attività dell'Intesa, per altro non ancora concluse, hanno prodotto nel tempo un'ampia documentazione tecnica che riguarda in particolar modo la definizione delle specifiche di contenuto per la realizzazione di database geografici a piccola, media e grande scala. La suddetta documentazione (per altro non sempre tenuta in considerazione anche nei capitolati d'appalto più recenti) si occupa tuttavia prevalentemente di informazione geografica di base, orientata, dunque, alla implementazione di SIT di interesse generale ma potenzialmente non sufficiente per garantire la specializzazione richiesta da determinate tipologie di applicazione.

Per la realizzazione di un SIT "specializzato" invece, in funzione dei diversi ambiti applicativi e dei modelli da implementare, non è improbabile che nasca l'esigenza di ritrovare nel supporto cartografico alcuni elementi geografici non compresi, per una certa scala, nel database di carattere generale, oppure che sia necessario integrare sistemi a scala diversa o, ancora, di trattare alcuni oggetti diversamente dal punto di vista topologico o di modificarne gli attributi intervenendo anche sulla struttura dei campi informativi. Allo stesso modo, potrebbe verificarsi la possibilità che numerosi elementi di carattere generale risultino poco utili o ridondanti in relazione alle finalità delle modellazioni.

Per fornire alcuni esempi, in base alle esperienze fatte, si ravvisa certamente una certa carenza della parte altimetrica della cartografia normalmente disponibile. La presenza delle curve di livello (spesso addirittura caratterizzate solo simbolicamente dal testo descrittivo, ma non implementate come entità tridimensionali alla rispettiva quota di competenza) e di punti quotati a terra non consente una agevole ed affidabile estrazione di un dem o di un tin, modelli del terreno indispensabili per alcune tipologie di applicazione.

D'altra parte, anche gli aspetti geologici e geotecnici vengono del tutto ignorati, per cui è necessaria, ove occorra, la definizione delle entità poligonali corrispondenti alle differenti unità di riferimento, oltre all'implementazione dei dati di attributo.

4. Conclusioni

Nella memoria sono state sinteticamente esplorate le più significative esperienze di ricerca condotte dall'Unità locale dell'Università di Catania nell'ambito del progetto di ricerca di rilevante interesse nazionale PRIN2002 coordinato dal prof. ing. Elio Falchi (Università di Cagliari). In particolar modo sono state approfondite le potenzialità dei più moderni strumenti che la tecnologia mette oggi a disposizione per l'acquisizione, la gestione, l'analisi e la rappresentazione di informazioni territoriali e ambientali, con particolare riferimento ai GIS, al GPS e al telerilevamento, con la finalità di mettere a punto innovative procedure ad alto rendimento per l'acquisizione dei dati di dettaglio necessari per l'implementazione di SIT tematici "specializzati".

Le tematiche affrontate abbracciano campi anche molto differenziati, ciascuno approfondito in base alle proprie specificità, tra cui: analisi in ambiente di GIS della sensibilità di strade urbane all'inquinamento acustico; rilevamento delle caratteristiche geometriche di sezioni stradali mediante rettifica di immagini acquisite da veicolo in movimento; tecniche di telerilevamento per la caratterizzazione di discariche ed il riconoscimento di dissesti stradali; analisi funzionale in ambiente GIS di reti stradali urbane in condizioni sismiche; modellazione GIS di eventi sismici per l'analisi di stabilità di pendii in condizioni dinamiche e per la valutazione degli eventuali spostamenti.

È stata rivolta particolare attenzione a conferire a tutte le ricerche effettuate una rilevante componente applicativa e sperimentale, generalmente riferita al territorio del Comune o della Provincia di Catania, con risultati sempre positivi in termini di validazione delle metodologie proposte, oltre che significativi per quanto riguarda le caratterizzazioni effettuate. Si osserva anche che, data la mole e l'eterogeneità dei dati necessari per le analisi, si può considerare praticamente indispensabile, per le finalità fissate, il ricorso alle citate tecnologie per l'acquisizione, la gestione e l'elaborazione delle informazioni territoriali e ambientali.

ELENCO DELLE PUBBLICAZIONI PRODOTTE NELL'AMBITO DEL PRIN 2002

- [1] **FUNCTIONAL ANALYSIS OF THE URBAN ROAD NETWORK IN SEISMICAL EMERGENCY. GIS APPLICATION ON CATANIA CITY** – volume “Seismic prevention of damage. A case study in a Mediterranean city” (editor M.Maugeri), series: Advances in earthquake engineering, vol.14 (ISBN:1-84564-004-7, Witpress 2005) [con S.Cafiso, G.Mussumeci]
- [2] **ANALISI E RAPPRESENTAZIONE IN UN GIS DELLA SENSIBILITÀ DI UNA STRADA URBANA ALL'INQUINAMENTO ACUSTICO** – 3a Conferenza Nazionale su INformatica e Pianificazione Urbana e Territoriale, INPUT 2003 - Pisa, 5-7 giugno 2003 [G.Mussumeci, A.Condorelli e S.Scandura]
- [3] **A HIGH PRODUCTIVITY PROCEDURE FOR ROAD SECTION SURVEYING BASED ON THE RECTIFICATION OF IMAGES TAKEN FROM A MOOVING VEHICLE** – 6th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques – Zurigo (Svizzera), 22-25 Settembre 2003 [G.Mussumeci, A.Condorelli, G.Siligato]
- [4] **MODELLAZIONE GIS PER IL MONITORAGGIO SU VASTA SCALA DELLA STABILITÀ DEI PENDII E DEGLI SPOSTAMENTI PERMANENTI DI ORIGINE SISMICA** - 7a Conferenza Nazionale ASITA “L’informazione territoriale e la dimensione tempo”, Vol. II, pp. 1445 - 1450 – Verona 28-31 ottobre 2003 [G.Mussumeci, A.Condorelli, M.Maugeri e G.Biondi]
- [5] **TECNICHE DI RILEVAMENTO E GESTIONE DATI NELLE EMERGENZE DI PROTEZIONE CIVILE** – Riassunto esteso - 7a Conferenza Nazionale ASITA “*L’informazione territoriale e la dimensione tempo*”, Vol. II, pp. 1501-1502 – Verona 28-31 ottobre 2003 [G.Mussumeci, A.Condorelli e U.Falchi]
- [6] **DATA SURVEY AND MANAGEMENT TECHNIQUES IN CIVIL PROTECTION EMERGENCIES** XXth Congress of International Society for Photogrammerty and Remote Sensing (ISPRS) – Istanbul 14-23 Luglio 2004 [G.Mussumeci, A.Condorelli e U.Falchi]
- [7] **TECNOLOGIE GEOMATICHE PER IL RILEVAMENTO E LA RAPPRESENTAZIONE DI CAVE E DISCARICHE** - Simposio Internazionale Di Ingegneria Sanitaria Ambientale SIDISA 2004 - Taormina, 23-26 giugno 2004 [G.Mussumeci, A.Condorelli, G.Siligato]
- [8] **A SEISMIC NETWORK RELIABILITY EVALUATION ON GIS ENVIRONMENT. A CASE OF STUDY ON CATANIA PROVINCE** - 4th International Conference on Computer Simulation in Risk Analysis and Hazard Mitigation RISK ANALYSIS 2004 (Wessex Institute of Technology) - 27 – 29 September 2004, Rhodes (Greece) [S.Cafiso, A.Condorelli, G.Cutrona, G.Mussumeci]
- [9] **EARTHQUAKE-TRIGGERED LANDSLIDE HAZARD IN THE CATANIA AREA.** 4th International Conference on Computer Simulation in Risk Analysis and Hazard Mitigation RISK ANALYSIS 2004 (Wessex Institute of Technology) - 27 – 29 Settembre 2004, Rhodes (Greece) [M.Maugeri, G.Biondi, G.Mussumeci, A.Condorelli]
- [10] **STRUMENTI DI ANALISI E METOLOGIE DI RAPPRESENTAZIONE IN UN SIT “SPECIALIZZATO” SUL RISCHIO SISMICO DI FRANA** - Convegno Nazionale SIFET (Società Italiana Fotogrammetria e Topografia) “Attuali metodologie per il rilevamento a grande scala e per il monitoraggio” – Chia Laguna (Cagliari), 23-25 Settembre 2004 [M.Maugeri, G.Biondi, G.Mussumeci, A.Condorelli]

- [11] **MAPS OF SEISMIC LANDSLIDES HAZARD IN THE CATANIA AREA USING SPECIALISED GIS APPLICATION** – 1st International Conference on Applied geophisic for engineering (Osservatorio Sismologico dell’Università di Messina) – 13-15 Ottobre 2004, Messina [M.Maugeri, G.Biondi, G.Mussumeci, A. Condorelli]
- [12] **IMMAGINI SATELLITARI AD ALTA RISOLUZIONE PER IL RICONOSCIMENTO DI DISSESTI STRADALI** – 8a Conferenza Nazionale ASITA “Standardizzazione, interoperabilità e nuove tecnologie” – Roma 14-17 dicembre 2004 [A.Condorelli, G.Mussumeci, P.Orlando e B.Villa]
- [13] **IMPIEGO DI RICEVITORI GPS A BASSO COSTO PER APPLICAZIONI GIS E CATASTALI: LIMITI E POTENZIALITÀ.** 8a Conferenza Nazionale ASITA “*Standardizzazione, interoperabilità e nuove tecnologie*” – Roma 14-17 dicembre 2004 [G.Mussumeci, A.Scianna, G.Siligato, B.Villa]