

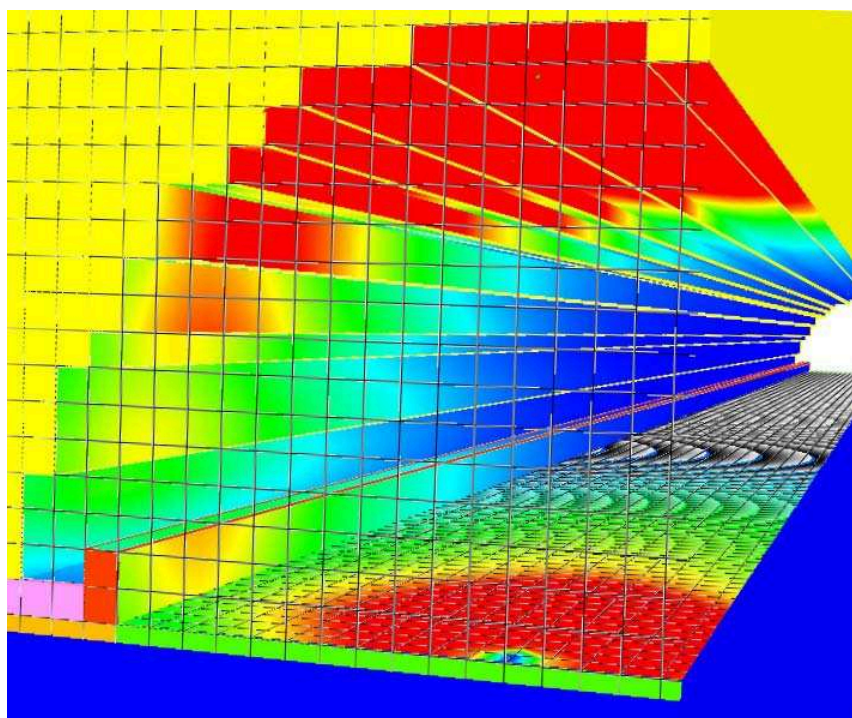


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA
Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale
Sezione: Ingegneria delle Infrastrutture Viarie e dei Trasporti

DANIELE DOMENICO CIANCIOLO

**SICUREZZA NELLE GALLERIE STRADALI:
SIMULAZIONI ED ANALISI CFD
DELLE MISURE DI SICUREZZA ANTINCENDIO**

*Tesi di Dottorato di Ricerca
in Ingegneria delle Infrastrutture Viarie XXIV Ciclo*



Coordinatore
Prof. Ing. Sascia Canale

Tutor
Prof. Ing. Salvatore Leonardi

Triennio Accademico 2009-2012

INDICE

INTRODUZIONE	6
1. PERCORSO E QUADRO NORMATIVO VIGENTE	8
1.1 Contesto Europeo e Nazionale	8
1.2 L’assetto Normativo Nazionale ed Europeo	14
1.3 Struttura e riferimenti del D.Lgs 264/2006	16
1.4 Struttura e riferimenti “Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali” da ANAS nel Novembre 2006 ed integrazione del 2009	19
1.4.1 Stato dell’arte delle conoscenze scientifiche alla base delle Linee Guida Anas	23
1.5 Operato delle associazioni governative e non	25
1.5.1 Analisi della rete stradale svizzera	27
2. SISTEMA GALLERIA STRADALE	30
2.1 Introduzione	30
2.2 Elementi componenti il Sistema Galleria Stradale	31
2.2.1 Elemento Uomo	32
2.2.2 Elemento Galleria	33
2.2.3 Elemento Misure di Sicurezza	35
2.2.4 Elemento Ambiente	36
3. INCENDIO NELLE GALLERIE STRADALI	37
3.1 Introduzione	37
3.2 Il fenomeno della combustione	37
3.2.1 Composizione della fiamma	40
3.2.2 Temperatura della fiamma	42
3.2.3 Il meccanismo di combustione	42
3.2.4 L’innesco	43

3.2.5	Il Flashover	44
3.2.6	La propagazione dell'incendio	44
3.2.7	L'effetto radiante delle fiamme	47
3.2.8	L'effetto convettivo delle fiamme	48
3.2.9	Le curve di rilascio termico	48
3.2.10	Il tasso di rilascio termico o HRR	50
3.2.11	Fuochi stazionari e non stazionari	51
3.2.12	Correlazioni per il calcolo della temperatura	53
3.2.13	La produzione di fumo	57
3.2.14	Composizione dei gas combusti e loro pericolosità	59
3.3	Aspetti caratteristici di un incendio in galleria	62
3.3.1	Valori di progetto dell'HRR in galleria	67
3.3.2	I test e le esperienze di laboratorio	68
3.3.3	Propagazione e temperatura di un incendio in galleria	71
3.3.4	L'esperienza di Kurioka	74
3.3.5	Il fenomeno del backlayering	78
3.3.6	Effetto della ventilazione in galleria	80
4.	CONSIDERAZIONI SUI TASSI DI INCIDENTALITA'	83
4.1	Incidenti nei tunnel stradali	83
4.1.1	L'incendio del traforo del Monte Bianco	106
4.1.2	L'incendio del Caldecott Tunnel	109
4.1.3	L'incendio del Nihonzaka Tunnel	110
5.	ANALISI DI CASI SPERIMENTALI DI INCENDIO IN GALLERIA ...	111
5.1	Test sperimentali condotti presso il Glasgow tunnel, 1970	111
5.2	Test sperimentali condotti presso il Zwenberg Tunnel, 1976	112
5.3	Test di incendio in galleria, Pwri, 1980	112
5.4	Test in galleria, VTT, 1985	113
5.5	Test del Eureka EU-499 "Firetun", 1990-1992	114
5.6	Test di incendio in pozza, Ineris, Francia, 1992	116

5.7	Memorial Tunnel fire ventilation test program (MTFVTP) 1993 – 1995	117
5.8	Test sperimentali, come parte dell'inchiesta sull'incendio del Monte Bianco, 2000	119
5.9	Test sperimentali, Progetto Sicurezza, realizzati presso la seconda canna del Benelux Tunnel, Paesi Bassi, 2001	120
5.10	Test sperimentali, realizzati fuori all'imbocco del Toumei – Meishin Expressway, Giappone, 2001	121
5.11	Test sperimentali condotti presso il Runehamar Tunnel, 2003 ...	122
6.	L'INFLUENZA DELLA VENTILAZIONE SUGLI SVILUPPI DI UN INCENDIO	125
6.1	INTRODUZIONE	125
6.2	CASISTICHE ANALIZZATE	128
6.2.1	Mezzo pesante in fiamme	128
6.2.2	Incendio di una autovettura	131
6.3	Analisi dei risultati	132
7.	EFFETTI DELL'INCENDIO SULL'UOMO E SULL'ESODO	134
7.1	Modelli di previsione dell'esposizione	136
7.2	La visibilità nelle vie di esodo	139
7.3	Effetti del calore sul corpo umano	141
7.4	Il comportamento umano durante l'incendio	142
8.	I MODELLI NUMERICI DI SIMULAZIONE DI INCENDIO E DI ESODO	150
8.1	Il codice FDS	155
8.2	Il codice EVAC	160
9.	ANALISI QUANTITATIVA DELLE CONSEGUENZE DA INCENDIO, E DELLE PRESTAZIONI DEGLI APPRESTAMENTI DI SICUREZZA	166

9.1	Analisi e simulazione 3D di un incendio in galleria: verifica e confronto con il caso sperimentale del Memorial Tunnel (validazione del modello utilizzato)	167
9.1.1	Approccio alla modellazione	168
9.1.1.1	<i>Modellazione del tunnel</i>	168
9.1.1.2	<i>Modellazione del sistema di ventilazione</i>	170
9.1.1.3	<i>Modellazione dell'incendio</i>	173
9.1.2	Risultati	175
9.1.2.1	<i>Rappresentazione delle diverse fasi del test 615b del Memorial Tunnel</i>	175
9.1.2.2	<i>Rappresentazione delle diverse fasi della simulazione</i>	177
9.1.2.3	<i>Confronto dati ottenuti dalla simulazione con i dati provenienti dal test 615b</i>	180
9.2	Misure di sicurezza passiva, Simulazione confronto e analisi di un incendio in galleria con pavimentazione in conglomerato bituminoso e in cls	188
9.2.1	Recenti incidenti con danneggiamento della pavimentazione	189
9.2.2	Problematiche legate all'uso e alla combustione del conglomerato bituminoso	192
9.2.3	Modellazione 3d del fenomeno	197
9.2.3.1	<i>Modellazione 3d della geometria</i>	197
9.2.3.2	<i>Modellazione dell'incendio</i>	199
9.2.3.3	<i>In presenza di pavimentazione in calcestruzzo</i>	205
9.2.3.4	<i>In presenza di pavimentazione in conglomerato bituminoso</i>	213
9.2.4	Confronto e analisi dati di output	227
9.2.4.1	<i>Analisi e confronto del HRR</i>	227
9.2.4.2	<i>Analisi e confronto della temperatura della termocoppia</i>	230
9.2.4.3	<i>Analisi e confronto delle emissioni di gas e fuliggine</i>	233
9.2.5	Vantaggi della pavimentazione di calcestruzzo	237
9.2.6	Conclusioni sulle misure di sicurezza passiva (pavimentazioni in cls)	240

9.3	Misure di sicurezza passiva, Simulazione 3D Confronto e	240
	Analisi degli scenari indotti dai differenti sistemi di	
	ventilazione, in caso di incendio in galleria	
9.3.1	I sistemi di ventilazione in galleria	241
9.3.2	Approccio alla modellazione	245
9.3.2.1	<i>Modellazione del test</i>	250
9.3.3	Confronto dati ottenuti dalla simulazione	252
9.3.4	Conclusioni sulle misure di sicurezza passiva (differenti sistemi di ventilazione)	259
9.4	Fenomeni di esodo, Simulazione 3D Confronto e Analisi degli	260
	scenari determinati dai differenti protocolli di gestione del	
	sistema di ventilazione in caso di incendio in galleria	
9.4.1	Approccio alla modellazione	261
9.4.2	Confronto dati ottenuti dalla simulazione	265
9.4.2.1	<i>Analisi e confronto del HRR</i>	266
9.4.2.2	<i>Analisi e confronto dati della temperatura</i>	267
9.4.2.3	<i>Analisi e confronto dati di visibilità</i>	269
9.4.2.4	<i>Analisi e confronto dati di esodo</i>	271
9.4.3	Conclusioni sulle simulazioni 3D dei fenomeni di esodo	273
	CONCLUSIONI	275
	BIBLIOGRAFIA	277

INTRODUZIONE

In accordo con le statistiche nazionali ed internazionali, si può affermare che gli incidenti in galleria si verificano con meno frequenza che nei tratti a sezione aperta, anche se non ci sono dubbi che le conseguenze siano sicuramente più gravose nel caso in cui l'incendio si verifichi in galleria.

La sede stradale in galleria presenta, da quanto si evince dalle statistiche incidentali, livelli di sicurezza nettamente maggiori rispetto alle medesime sezioni a cielo aperto; tuttavia per quanto attiene agli eventi incidentali con incendio, la localizzazione in un ambiente confinato rende assai più problematica la mitigazione delle relative conseguenze, la cui magnitudo risulta fortemente amplificata rispetto all'esterno.

Secondo statistiche internazionali accreditate, si stima che per ogni km di tunnel e per ogni milione di veicoli pesanti transitati vi sono statisticamente da 1 a 3 incidenti mortali in galleria che coinvolgeranno più veicoli.

Da queste statistiche la possibilità che si possa verificare un incendio grave in galleria potrebbe sembrare remota, ma se si considerano i flussi associati ad alcuni tunnel stradali e se si considera che solo in Europa si contano circa 15000 tunnel in attività (stradali, metropolitani e ferroviari) e che di questi molti sono lunghi diversi chilometri, allora la possibilità del verificarsi di uno scenario incidentale non appare poi tanto improbabile.

Considerando che oggi vi è la tendenza a costruire più tunnel e più lunghi, e valutando la crescita dei flussi di traffico veicolare, si può ritenere che la situazione possa tendere ad un peggioramento.

Il crescente numero di sinistri nei tratti in tunnel, la sempre maggiore gravità riscontrata, ed i relativi costi diretti ed indiretti, hanno portato alla ribalta le problematiche della sicurezza in galleria.

In particolar modo, la tragedia del Monte Bianco, che il 24 marzo del 1999 costò la vita a 39 persone, rappresenta ancora oggi un punto di svolta nel cammino della sicurezza in galleria. L'evento introdotto determinò una forte scossa nelle coscienze dei decisori e degli operatori della sicurezza stradale.

In seguito a questi fatti gli organismi internazionali si attivarono per definire nuove norme di sicurezza, che potessero avere validità a livello europeo, per assicurare degli adeguati standard di sicurezza sulla rete comunitaria; venne così emanata la Direttiva Europea del 29/04/2004.

Al fine di verificare l'effettiva validità operativa delle misure proposte e riportate nella Direttiva Europea del 29/04/2004, nelle norme e regolamenti da questa derivanti, ed eventualmente per esaminare nuove possibili misure, si è cercato di individuare un approccio scientifico, che potesse validare le considerazioni e le analisi compiute.

L'approccio prestazionale introdotto dagli ultimi strumenti normativi in materia di sicurezza in galleria, introduce con sé una nuova logica di approccio al sistema galleria che implica la considerazione, sia come sorgente che come bersaglio del pericolo, della persona o conducente se presente a bordo, del veicolo incluso quanto da esso trasportato (sia passeggeri che merci), dell'infrastruttura e dell'ambiente.

Nella presente tesi si è cercato di dimostrare attraverso analisi di post processo comparative, che il metodo di modellazione CFD "*Computational Fluid Dynamics*" rappresenta un metodo di modellazione attendibile dei fenomeni di incendio anche su domini di grandezza significativa, ed è in grado di fornire dati di output affetti da margini di incertezza che possiamo ritenere accettabili, ai fini della previsione del fenomeno analizzato.

Questo quindi può essere un potente strumento predittivo ad uso del progettista e del gestore da utilizzare, a supporto delle scelte progettuali:

- in fase di progettazione;
- in fase di verifica nelle routine di management di esercizio.

1. CAPITOLO. PERCORSO E QUADRO NORMATIVO VIGENTE

1.1. CONTESTO EUROPEO E NAZIONALE

La continua necessità di adeguare la rete stradale italiana ed europea alla domanda di traffico, caratterizzata da un trend rialzista, in linea con la crescita del PIL nazionale ed europeo, trascurando fasi transitorie di congiuntura economica, che determinano naturalmente fasi di congiuntura della domanda di trasporto sia privata che commerciale, comporta il raggiungimento di standard di qualità nella progettazione sempre maggiori, che spesso per le grandi reti di trasporto nazionali ed internazionali si esplicano in tracciati stradali caratterizzati da target prestazionali elevati, tracciati sempre più rigidi, che in parecchie occasioni, poco e male si interfacciano con la struttura morfologica del territorio italiano.

Tali considerazioni che risultano essere evidenti per quanto concerne la rete ferroviaria ad alta velocità, stanno divenendo evidenti anche per la progettazione delle nuove infrastrutture di trasporto stradale.

Chiaramente quanto più un tracciato è rigido, tanto maggiori sono le difficoltà di inserimento nel territorio e questo fa sì che il progettista sia costretto a prevedere tronchi di tracciato in galleria, per assicurare l'inserimento del tracciato nel contesto circostante.

Le motivazioni su esposte non sono però le sole, infatti la tendenza di realizzare tronchi di tracciato stradale in galleria è da ricercarsi anche in motivazioni di ordine ambientale, nella necessità di individuare soluzioni poco impattanti e nella volontà di tutelare determinati contesti ambientali. Questo ad esempio nel contesto siciliano ha portato alla realizzazione della galleria artificiale San Demetrio nel nuovo tratto della A18 Catania – Siracusa, dove principalmente, per motivi di ordine ambientale si è preferito realizzare un tronco del tracciato in galleria artificiale per uno sviluppo complessivo di 2934 m per la canna nord, e di 2899 m per la canna sud.

Alla luce delle considerazioni esposte, si evidenzia come la tendenza a far ricorso a tronchi di tracciato in galleria sia nel caso di riqualificazioni e potenziamenti dell'esistente, che per tracciati nuovi, risulti essere sempre maggiore.

Il ricorso all'utilizzo delle gallerie vede l'Italia rivestire un ruolo di rilievo nel contesto europeo. Difatti se definiamo tunnel, le gallerie stradali più lunghe di 500 metri, l'Italia in Europa riveste il ruolo di leader classifica per densità di infrastrutture (dove per densità si indica il rapporto tra lo sviluppo della rete nei tratti in tunnel rispetto allo sviluppo complessivo della rete analizzata).

L'Italia è il Paese europeo che ne registra il maggior numero: il 64 % del totale europeo, 526 tunnel per una lunghezza di 292 chilometri, solo nei percorsi di Autostrade per l'Italia. La Liguria è la regione che registra il record assoluto con 378 gallerie di cui 196 tunnel.

Nel complesso della rete stradale italiana, tra tunnel in esercizio, in costruzione ed in fase di progettazione possiamo contare 971 opere, alcune delle quali vengono elencate nella tabella seguente.

<i>Classe da DL 264</i>	<i>Nazione</i>	<i>Tunnel</i>	<i>Lunghezza (m)</i>	<i>Regione</i>	<i>Provincia</i>	<i>Note</i>	<i>Strada</i>
1	I - F	Ciriegia-Mercantour	17 300	PIE	CN	Works stopped for environmental oppositions	
1	I - F	Frejus	12 895	PIE	TO	In Italy: 6320 m. Altitude: 1297 m. Safety and service tube (12895 m) in project.	T4
1	I - F	Monte Bianco (Mont Blanc)	11 611				
1	I	Gran Sasso d'Italia	10 176	ABR	AQ - TE	Second tube: 10173 m (1995). / Service tube (6000 m) in project	A24
1	I	Mestre*	9 225	VEN	VE	Second tube: 8708 m / A4 Mestre bypass	A57
1	I	Variante di valico	8 698	EMR-TOS	BO - FI	Second tube: 8685 m. Pilot holes started in 1999	A1
1	I	Sant' Antonio Morignone	7 925	LOM	SO	Three linked tunnels: S. Antonio (2360 m) + Tola (1757 m) + Cepina (3241 m) + Artificial part (602 m)	SS38
1	I	Priabona	6 503	VEN	VI	Second tube: 6503 m. Pedemontana Veneta Toll Highway. Castelgomberto-Malo	
1	I	Pretunnel Gran San Bernardo Sud	6 150	VDA	AO	Artificial tunnel. Covered road	T2
1	I	Crocefisso dello Zillastro	6 049	CAL	RC	Direction Bagnara. Bagnara-Bovalino highway	

Classe da DL 264	Nazione	Tunnel	Lunghezza (m)	Regione	Provincia	Note	Strada
1	I	Madonna della Montagna	5 980	CAL	RC	Direction Bovalino. Bagnara-Bovalino highway	
1	I	Guinza	5 937	MAR-UMB	PU-PG	Second tube: 5937 m (PRJ). Southbound breakthrough: 17.04.2003	E78
1	I - CH	Gran San Bernardo	5 854	VDA	AO	Altitude: CH portal 1918 m - I portal 1875 m; Parallel safety tunnel planned	T2
1	I	Colle dei Signori	5 500	TAA	BZ	Bolzano bypass	A22
1	I	Costamezza	5 338	LAZ	LT	Second tube: 5338 m. Pedemontana di Formia	SS7 var
1	I	Sirta-Selvetta	5 307	LOM	SO	Second tube: 5275 m. Morbegno bypass	SS38
1	I	Cels	5 245	PIE	TO	Second tube: 5141 m	A32
1	I	Sellero	5 048	LOM	BS		SS42
1	I	Pozzano	5 000	CAM	NA	Also named: Seiano or Vico Equense. 1497 m opened in 1989	SS145
1	I	Lecco- San Martino	4 800	LOM	LC	Second tube: 4448 m	
1	I	San Nazario	4 800	VEN	VI	Second tube: 4800 m	SS47
1	I	Costa di Sorreley	4 725	VDA	AO	Two lanes dir. GSB- one lane dir. Aosta	R39
1	I	Schio Valdagno Pass	4 620	VEN	VI	Under M.Zovo	SC
1	I	Madonna del Carmine	4 600	MAR	AN		SS16
1	I	Console Marcello-Liberazione (Asse A)	4 575	LOM	MI	Two tubes. Town Milano. Artificial parts: 512 m	
1	I	San Domenico (Carrito)	4 567	ABR	AQ	Second tube: 4567 m	A25

Classe da DL 264	Nazione	Tunnel	Lunghezza (m)	Regione	Provincia	Note	Strada
1	I	Lotto-Lugano (Asse B)	4 566	LOM	MI	Three tubes. Town Milano. Artificial parts: 527 m	
1	I	San Benedetto	4 440	MAR-UMB	AP - PG	Altitude: 1000 m	SS685
1	I	Prapontin	4 409	PIE	TO	Second tube: 4409m	A32
1	I	Colle Giardino	4 347	LAZ	RI	Second tube: 4 242 m	SS4
1	I	San Colombano	4 300	LOM	SO	Bormio bypass / S.Lucia - Piandelvino	SS38-SS300
1	I	San Rocco	4 181	ABR-LAZ	AQ-RI	Second tube: 4181 m	A24
1	I	Verduno	4 119	PIE	CN	Second tube: 4023 m. Asti Cuneo Motorway	A33
1	I	Forca di Cerro	4 030	UMB	PG	Three Valli Umbra road	SS685
1	I	Comelico	4 000	VEN	BL		SS52
1	I	Lurago	3 990	LOM	CO	Second tube: 3990 m. Albese-Veduggio Motorway	
1	I	Cornello	3 980	MAR-UMB	MC-PG	Works stopped	SS361
1	I	Fara	3 964	FVG	PN		SS251
1	I	Meleres	3 895	VEN	BL	Cortina bypass	SS51
1	I	Valnerina	3 835	UMB	TR	Breakthrough: 14.02.2009	R42
1	I	Cave Ovest	3 790	VEN	TV – BL	Second tube: Cave Est 3153 m	A27
1	I	Val di Sambro	3 777	EMR	BO	Second tube: 3773 m. Variante di Valico	A1
1	I	Zogno	3 720	LOM	BG	Explorative Pilot hole start: 2001	SS470
1	I	La Rupe (Mezzolombardo)	3 740	TAA	TN	Second tube: 3727 m (21.03.2009). Trento-Rocchetta	SP235

Classe da DL 264	Nazione	Tunnel	Lunghezza (m)	Regione	Provincia	Note	Strada
1	I	Villa Carcina	3 652	LOM	BS	Second tube: 3652 m. Valtrompia motorway	
1	I	San Silvestro	3 623	ABR	PE-CH	Francavilla bypass	SS16
1	I	Agnese	3 600	TAA	TN		SS240
1	I	Breva	3 536	LOM	CO	Calozzo Mianico - Dongo	SS340 dir
1	I	Ceresole	3 535	PIE	TO	Two linked tunnels. Gradient: 15%	SS460
1	I	Alba	3 527	PIE	CN	Second tube: 3356 m. Under river Tanaro. Asti - Cuneo motorway	A33
1	I	Omegna	3 427	PIE	VB		SS229
1	I	Sostino	3 405	UMB	PG	Quadrilatero Marche-Umbria road	SS77
1	I	Furlo	3 391	MAR	PU	Second tube: 3391 m (1985)	R05
1	I	Monte Negrone	3 378	LOM	BG	Exit Nembro (tunnel 332 m) inside	SP671
1	I	Costamolin	3 361	VEN	BL	Second tube: 3181 m	A27
1	I	Pre Saint Didier	3 360	VDA	AO	Second tube: 2890 m (29.06.2001)	A5
1	I	Totoga	3 352	TAA	TN		SP80
1	I	Petraro	3 345	SIC	ME	Second tube: 3327 m (1992)	A20
1	I	Monte Barro	3 330	LOM	LC	Second tube: 3330 m. Natural parts: 3253 m.	SS36
1	I	Valsassina	3 328	LOM	LC	Lecco-Poggi. Exit Belledo (2.113 m of tunnels) inside	SS36 dir
1	I	Valsolda (Oria)	3 314	LOM	CO	I-CH border. Breakthrough: 16.04.2003	SS340
1	I	Solagna	3 300	VEN	VI	Second tube: 3300 m	SS47

Classe da DL 264	Nazione	Tunnel	Lunghezza (m)	Regione	Provincia	Note	Strada
1	I	Varano	3 285	MAR	MC	Quadrilatero Marche-Umbria road	SS77
1	I - F	New Col di Tenda (Tende)	3 252	PIE	CN	One way, direction France	SS20
1	I	Villeneuve	3 230	VDA	AO	Second tube: 3213 m	A5
1	I	Regoledo	3 227	LOM	LC	Second tube: 3220 m	SS36
1	I	Gussago	3 219	LOM	BS	Valtrompia Motorway. One way	
1	I	Codissago	3 201	VEN	BL	Second tube: 3143 m	A27
1	I	Limina	3 200	CAL	RC	SGC Jonio - Tirreno	SS682
1	I - F	Col di Tenda (Tende)	3 186	PIE	CN	In Italy: 1717 m. Altitude: 1321 m. In future: one way, direction Italy	SS20 - D6204
1	I	Campione-Punta Forbiscle	3 186	LOM	BS	Two linked tunnels: Campione (2462 m, 1967) and P.ta Forbiscle (688 m, 20.07.2009)+artificial parts	SS45bis
1	I	Monte Benedetto (Kuchelberg)	3 178	TAA	BZ	Town Merano	
1	I	Calavà	3 160	SIC	ME	Second tube: 3114 m	A20
1	I	Avisè	3 112	VDA	AO	Second tube: 3066 m (14.09.95)	A5
1	I	Guncina	3 112	TAA	BZ		SS508
1	I	Le Casse	3 100	PIE	VB		SS659
1	I	Ghettarello	3 095	MAR	AN	Ancona Harbour-SS16	
1	I	Dolonne	3 073	VDA	AO	Second tube: 2981 m.	A5
1	I	San Vito	3 047	VEN	BL - VI	Near Arsisiè	SS50 bis var

Classe da DL 264	Nazione	Tunnel	Lunghezza (m)	Regione	Provincia	Note	Strada
1	I	San Giovanni Rotondo	3 000	PGL	FG	Two tubes	SS272
1	I	Madonna degli Angeli	3 000	LIG	SV		SS1bis

TABELLA 1.1 - TUNNEL ITALIANI CON LUNGHEZZA MAGGIORE UGUALE A 3000 M.

1.2. L'ASSETTO NORMATIVO NAZIONALE ED EUROPEO

Il problema della sicurezza nelle gallerie stradali ha assunto rilevanza sociale in conseguenza dei sinistri che si sono verificati negli ultimi anni in diverse strutture dislocate lungo la rete stradale trans europea, che hanno determinato un numero elevato di vittime tra gli utenti e gli addetti al soccorso, causato gravi danni alle strutture, perturbato la funzionalità della rete locale dei trasporti e condizionato in modo sensibile le economie locali, a causa delle prolungate interruzioni del servizio necessarie al ripristino.

L'impatto emotivo sull'opinione pubblica conseguente ai disastri accaduti nel Tunnel del Monte Bianco (Francia – Italia, 1999, 39 morti), nel Tunnel dei Tauri (Austria, 1999, 12 morti), nel Tunnel del San Gottardo (Svizzera, 2000, 11 morti), ha determinato l'ampliamento del dibattito sulla sicurezza nelle gallerie stradali sia nel mondo dei tecnici progettisti e dei gestori che nella comunità degli utenti, sollecitando scelte politiche e risposte normative da parte degli Stati appartenenti alla Comunità Europea.

Il quadro normativo nazionale, inerente la sicurezza in galleria, si basa sulla Direttiva 2004/54/CE del Parlamento Europeo, emanata il 29 aprile 2004, concernente i "Requisiti Minimi di Sicurezza per le Gallerie Stradali della Rete trans europea". Tale Direttiva, individuava gli obiettivi di sicurezza da perseguire, per i tunnel della rete stradale transeuropea, identificava inoltre un insieme di parametri di sicurezza da considerare, fissando gruppi di requisiti minimi di sicurezza da soddisfare e suggerendo un approccio sistemico nella formulazione e comparativo nei contenuti per la progettazione della sicurezza nelle gallerie di nuova costruzione.

La Direttiva individuava inoltre, l'analisi di rischio come lo strumento analitico da utilizzare per determinare il livello di sicurezza di una galleria, fissando le condizioni di applicazione e dettagliando gli obiettivi da perseguire.

La Direttiva Europea introdotta, è stata recepita dallo Stato italiano con il D.Lgs del 5 ottobre 2006, pubblicato sulla G.U. n. 235 – S.O. n. 195 dello stesso mese. Il recepimento della direttiva, anche se cogente per le sole infrastrutture appartenenti alla “rete stradale transeuropea”, costituisce certamente un passo importante per il miglioramento della sicurezza e soprattutto, a livello progettuale, un sicuro riferimento per tutte gallerie, esistenti e future, caratterizzate da una lunghezza maggiore di 500 metri, ma non appartenenti alla succitata rete stradale transeuropea. Difatti non si spiegherebbe il motivo per il quale non applicare gli stessi standard di sicurezza a tutti i tunnel, indifferentemente dalla rete di appartenenza. La considerazione appena espressa infatti parte dall’osservazione dei parametri rispetto ai quali i tunnel vengono classificati dalla norma, ossia in funzione della lunghezza e del volume di traffico associato al tronco stradale in esame. Secondo tali parametri non vengono a caratterizzarsi solo i tunnel appartenenti alla rete transeuropea, ma bensì tutte le infrastrutture.

I tronchi non appartenenti alla rete TEN sarebbero ad oggi regolati a livello nazionale, dalla Circolare LL.PP. 6 dicembre 1999, n.7938, oggi superata e parzialmente ripresa nei contenuti dal D.M. 5 giugno 2001, che già prevedeva di avviare una fase conoscitiva sugli effettivi livelli di rischio nelle gallerie italiane. La circolare imponeva agli enti proprietari ed ai gestori, precisi obblighi documentali e presidi di sicurezza. Tuttavia, considerate le oggettive difficoltà di attuazione delle direttive, di cui alla circolare 7938/99, alla totalità delle strutture esistenti, il D.M. 5 giugno 2001 limitava le richieste di sicurezza, e quindi in sé non rappresenta un documento di riferimento valido per completezza in tale ambito. Difatti per taluni aspetti quali illuminazione, ventilazione, antincendio, sorveglianza, uscite di emergenza, cave di servizio, non si danno indicazioni di dettaglio, demandando a normativa specifica.

In base a quanto detto, risulta evidente che dal 2001 sino alla pubblicazione delle “Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali” redatto dalla Direzione Centrale Progettazione ANAS nel Novembre 2006, il progettista era costretto ad effettuare scelte specifiche nel merito per analogia e non direttamente supportate da direttive di legge o di norma.

Le linee guida ANAS nel panorama normativo tecnico italiano, rappresentano quel documento con il quale si viene a colmare il vuoto normativo precedentemente evidenziato.

Oggi il quadro normativo nazionale ed europeo appare finalmente chiaro. A livello comunitario, vale la Direttiva 2004/54/CE, recepita in Italia per quanto concerne la rete TEN con il D.Lgs 264/2006; per il resto della rete stradale nazionale valgono come documento di riferimento le "Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali" ANAS, Novembre 2006, e successive modifiche ed integrazioni date dalla revisione delle "Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali" ANAS, del 2009. Questo ultimo documento integra e sostituisce le precedenti Direttive, e il D.M. 5 Novembre 2001.

1.3. STRUTTURA E RIFERIMENTI DEL D.LGS 264/2006

Il D.Lgs 264/2006 condivide appieno le finalità della Direttiva 2004/54/CE, ovvero garantire un livello minimo sufficiente di sicurezza agli utenti della strada in tutte le gallerie facenti parte della rete stradale transeuropea. Il tutto mediante l'adozione, sia in sede progettuale per le nuove infrastrutture, che in sede di esercizio per le strutture esistenti, di misure di prevenzione atte a scongiurare situazioni critiche che possano mettere in pericolo la vita umana, compromettere l'ambiente e gli impianti della galleria. Si noti come, a valle dell'obiettivo primario di salvaguardia della vita, si ponga la conservazione dell'ambiente circostante e delle infrastrutture impiantistiche della galleria stessa, giustamente valutate come bene comune.

Nel caso d'incidente, le conseguenze debbono essere fronteggiate con efficaci misure di protezione affinché gli utenti coinvolti possano mettersi in salvo e nel contempo, tutti coloro non direttamente coinvolti possano immediatamente reagire per evitare danni ulteriori; nelle ventisei considerazioni in premessa alla Direttiva 2004/54/CE, il comportamento degli utenti viene definito elemento decisivo ai fini della sicurezza in galleria, alla pari delle misure di prevenzione e protezione e dell'efficacia dei servizi di emergenza.

Interessante risulta l'analisi degli artt. 1 e 5 del D.Lgs 264/2006, dove rispettivamente si stabilisce che il campo di applicazione del D.Lgs comprende tutte le gallerie della rete stradale transeuropea, di lunghezza superiore ai 500 m, senza alcuna distinzione fra i manufatti se essi siano allo stato di progetto, in fase di costruzione oppure già in esercizio, e che la figura del gestore è individuata in ANAS per le strade a gestione diretta, mentre per quelle affidate in concessione il gestore è rappresentato dallo stesso Concessionario. Da ciò si comprende perché l'Anas si sia premurata di realizzare un documento che recependo le indicazioni del D.Lgs. 264/2006 desse delle indicazioni per il resto della rete nazionale.

Analizzando il D.Lgs 264/2006, nel merito dell'applicazione delle misure di sicurezza, si evidenzia che, qualora determinati requisiti strutturali possano essere soddisfatti ricorrendo unicamente a soluzioni tecniche irrealizzabili o comunque fattibili ad un costo sproporzionato, i Gestori hanno facoltà di proporre alla Commissione permanente per le gallerie, organo tecnico istituito dal Consiglio superiore dei lavori pubblici, soluzioni compensative, purché si traducano in una protezione equivalente o accresciuta.

L'efficacia di tali soluzioni sarà poi dimostrata mediante un progetto di sicurezza contenente un'analisi dei rischi che, in conformità a quanto previsto dallo specifico art. 13, considererà, oltre le caratteristiche proprie del manufatto, anche quelle relative alle tipologie del traffico.

La concessione di specifiche deroghe ai requisiti di sicurezza prescritti, è chiaramente prevista già dal D.Lgs. al fine di favorire l'installazione e l'uso di equipaggiamenti innovativi, o l'utilizzo di nuove procedure di sicurezza, che consentano sempre di raggiungere un livello di protezione equivalente o più elevato.

La possibilità di adottare misure e tecniche innovative o quantomeno diverse da quanto previsto dal decreto deve però essere valutato in modo rigoroso e a tal fine per garantire la necessaria omogeneità di valutazione, il decreto dispone l'utilizzo di una metodologia di analisi del rischio ben definita ed adeguata al progresso tecnico.

Il criterio di base impone che le misure di sicurezza da realizzarsi in una galleria debbano necessariamente essere fondate su considerazioni integrate.

Queste dovranno esaminare tutti gli aspetti del sistema galleria, dall'infrastruttura, all'esercizio, agli utenti e, non ultimo, ai veicoli.

A tal proposito, nel glossario di cui all'Allegato 1 del D.Lgs viene definito come sistema galleria il complesso costituito dagli elementi strutturali, dall'ambiente circostante l'opera, dal traffico pertinente l'opera e l'ambiente, dalle dotazioni di sicurezza impiantistiche e dalle procedure di gestione che caratterizzano un tracciato in sotterraneo della strada. Nel merito, l'Allegato 2 riporta l'elenco puntuale dei parametri di sicurezza che caratterizzano una galleria, imponendo che ciascuna galleria per poter raggiungere un livello di sicurezza accettabile dovrà, comunque, ottemperare ad una serie di "requisiti minimi", differenziati in funzione della lunghezza e del traffico che la interessa. I requisiti minimi riguardano sia l'aspetto infrastrutturale (numero di fornice, pendenza longitudinale, larghezza delle

corsie, uscite d'emergenza, ecc.) che l'aspetto impiantistico (illuminazione, ventilazione, impianti antincendio, impianti di sorveglianza, ecc.). È consentito discostarsi, in misura limitata, avviando una procedura di deroga, il cui iter coinvolge sia la Commissione permanente per le gallerie, istituita presso il Consiglio superiore dei lavori pubblici, che la Commissione europea ed i singoli Stati membri.

In tale quadro, l'analisi di rischio viene proposta dal D.Lgs 264/06, come lo strumento indispensabile con il quale poter effettuare le valutazioni, siano esse qualitative che quantitative, dei livelli di sicurezza delle gallerie. L'analisi deve essere sviluppata, da parte di un organismo funzionalmente indipendente rispetto al Gestore, per le gallerie esistenti che non ottemperano ai requisiti minimi e per le gallerie che presentano caratteristiche speciali.

I risultati dovranno dimostrare che le opportune misure di sicurezza, siano esse alternative o integrative rispetto a quelle previste dall'Allegato 2 del D.Lgs, realizzino un livello di protezione equivalente o accresciuto con particolare riferimento agli utenti, al personale addetto, ai servizi di soccorso.

I punti fondamentali dell'analisi richiesta dal D.Lgs, possono essere così di seguito sintetizzati:

- necessità di analizzare i soli eventi critici nello specifico ambiente confinato della galleria stessa (incendi, collisioni con incendio, sversamenti di sostanze infiammabili, rilasci di sostanze tossiche o nocive);
- gli eventi propri di incidentalità stradale, le cui conseguenze siano indipendenti dall'ambiente confinato della galleria e che non comportino per l'utenza rischi aggiuntivi rispetto a quelli propri della circolazione stradale, non debbono essere considerati in quanto si ritengono fronteggiati in ambito della regolamentazione del traffico e della progettazione stradale;
- la necessità di utilizzare i dati provenienti da organismi ufficiali o fonti di letteratura ritenute significative dalla Commissione permanente per le gallerie.

L'Allegato 3 indica nell'analisi di rischio quantitativa la metodologia analitica idonea per determinare il livello di rischio proprio delle gallerie italiane facenti parte della rete stradale transeuropea, specificando che il dettaglio d'analisi dovrà consentire la determinazione della "salvabilità" degli utenti coinvolti negli scenari derivanti dagli eventi incidentali considerati per lo specifico ambiente galleria.

Nel caso di una galleria esistente, che non ottemperi all'insieme dei requisiti minimi previsti, si ricorrerà ad un'analisi quantitativa di tipo comparativo. Si dovrà dimostrare che il sistema così proposto è in grado di garantire un danno non superiore a quello di una "galleria virtuale" dotata di tutti i requisiti minimi ed a parità di condizioni di funzionamento.

Per "galleria virtuale" s'intende quella infrastruttura identificata dagli stessi parametri di sicurezza della galleria in esame, in possesso di tutti i requisiti minimi obbligatori e non affetta da malfunzionamenti.

Nel caso di una galleria speciale, si ricorrerà ad un'analisi quantitativa di tipo integrativo, ovvero occorrerà confrontare le curve di distribuzione della frequenza degli eventi incidentali in funzione del danno atteso, con le curve relative alle soglie di accettabilità riportate all'art. 4 dell' Allegato 3 del D.Lgs.

In conclusione, per quanto concerne il D.Lgs. 264, si tratta di una vera e propria attuazione delle filosofie e dei criteri di sicurezza disposti dalla Direttiva europea, tenuto conto delle vigenti disposizioni in materia di progettazione e gestione delle infrastrutture stradali ed in particolar modo del D.Lgs 30 aprile 1992 n.285, "Codice della strada". A complemento di alcuni punti della Direttiva europea, laddove è necessario mantenere comunque una generalità d'intenti, il D.Lgs 264/2006 fornisce precise indicazioni, anche di dettaglio, per effettuare tutte le valutazioni di sicurezza utilizzando metodologie d'analisi ben definite ed adeguate al progresso tecnico.

Fermo restando quanto si è detto in premessa, al riguardo della non applicabilità del decreto alle gallerie non appartenenti alla "rete stradale transeuropea", si osserva che per esse, il progettista, in Italia, può, ad oggi, effettuare le proprie scelte, avvalendosi delle "Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali" da ANAS nel Novembre 2006 e delle successive modifiche ed integrazione del 2009.

1.4. STRUTTURA E RIFERIMENTI "LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE DELLA SICUREZZA NELLE GALLERIE STRADALI" DA ANAS NEL NOVEMBRE 2006 ED INTEGRAZIONE DEL 2009

Le linee guida, come già detto, indicano un metodo di progettazione della sicurezza per le gallerie stradali congruente con i dettami e le raccomandazioni della Direttiva Europea 2004/54/CE, sviluppato adottando i concetti ed i fondamenti propri della teoria dell'analisi del rischio e della dottrina di accettazione del rischio, quantificato

formulando un modello di rischio sostanziato dalle acquisizioni derivanti dalla ricerca scientifica sui fenomeni ed i processi connessi all'accadimento di eventi incidentali critici e risolvibili per via analitica e numerica utilizzando tecniche note e consolidate.

I concetti sui quali si basa il metodo di progettazione della sicurezza proposto sono:

- la quantificazione e la definizione di sicurezza, che trova il suo significato associata al concetto di rischio accettato, nel contesto socioeconomico caratteristico della nazione Italia;
- la caratterizzazione prestazionale delle misure di sicurezza, preventive e protettive, in termini di affidabilità ed efficienza;
- la caratterizzazione degli scenari di esodo possibili per la popolazione esposta al flusso del pericolo conseguente all'accadimento di un evento incidentale critico, condizionato nell'intensità e nello sviluppo, dall'azione preventiva e protettiva delle misure di sicurezza.

Le caratteristiche alla base del metodo di progettazione della sicurezza proposto dalle Linee Guida, possono essere così sintetizzate:

- integrare le metodologie progettuali esistenti, inerenti singoli aspetti specifici del problema della sicurezza nelle gallerie stradali, in una procedura completa e globale;
- quantificare il livello di rischio proprio di un progetto determinando la curva cumulata complementare ad esso, ottenuta attraverso la modellazione del flusso del pericolo generato dagli eventi incidentali possibili all'interno della struttura;
- verificare l'accettabilità del livello di rischio associato ad uno specifico progetto essendo fissati i limiti di accettabilità e di tollerabilità del rischio;
- fornire uno strumento che consenta ai soggetti preposti di assumere decisioni informate sul rischio;
- favorire la transizione da un regime di progettazione deterministico - prescrittivo ad un regime di progettazione probabilistico - prestazionale.

L'analisi del rischio indicata dalla direttiva, deve essere effettuata quando la galleria non possa essere progettata secondo le indicazioni previste dalle linee guida, per manifesta impossibilità realizzativa ovvero a fronte di costi sproporzionati; la Direttiva altresì richiede che l'analisi di rischio dimostri l'equivalenza ovvero l'incremento del livello di sicurezza conseguito adottando misure alternative ed integrative rispetto ai requisiti minimi di sicurezza fissati. L'applicazione della

procedura di analisi di rischio è quindi finalizzata alla determinazione del livello di sicurezza proprio della struttura analizzata ed alla identificazione di idonei interventi di adeguamento della struttura.

Il metodo di progetto della sicurezza nelle gallerie stradali sviluppato ed applicato per la stesura delle linee guida, è formulato in modo da risultare congruente con i fondamenti metodologici e conseguire gli obiettivi di sicurezza indicati nella Direttiva. Esso combina, previo adattamento alle caratteristiche specifiche del sistema galleria, i principi e le tecniche della progettazione prestazionale, dell'analisi delle conseguenze, dell'approccio probabilistico e dell'analisi di rischio adottati in diversi Stati della Comunità Europea nella valutazione del rischio degli impianti di processo.

La componente prescrittiva della Direttiva è inglobata nel metodo di progettazione della sicurezza sviluppato, formulando una procedura di Analisi di Vulnerabilità del sistema galleria, nell'ambito della quale si stabilisce una corrispondenza univoca tra gruppi omogenei di requisiti minimi di sicurezza, fissati dalla Direttiva e valori limite dei parametri di sicurezza determinati a partire dall'analisi statistica delle serie storiche dei dati di incidentalità.

La componente prestazionale della Direttiva, come desumibile dalle raccomandazioni inerenti gli obiettivi di sicurezza ascritti alle misure di sicurezza, è parte integrante dell'analisi di vulnerabilità, essendo in essa assunto che la progettazione della struttura sia condotta in accordo ai principi ed alle regole dell'ingegneria dei trasporti e dell'ingegneria della sicurezza.

L'analisi di vulnerabilità consente di identificare anomalie nei parametri di sicurezza e deficit nei requisiti minimi fissati dalla Direttiva e permette l'identificazione delle infrastrutture passibili di analisi di rischio.

La progettazione condotta secondo le regole riportate nelle Linee Guida assicura uno standard di sicurezza superiore al livello di rischio tollerabile, quando i risultati dell'analisi di vulnerabilità dimostrino il soddisfacimento dei requisiti minimi fissati dalla Direttiva in funzione dei parametri di sicurezza.

Il livello di analisi di rischio adottato nelle linee guida utilizza tecniche note e codificate, quali:

- tecniche probabilistiche di identificazione e caratterizzazione degli eventi incidentali rilevanti pertinenti al sistema (funzioni di distribuzione, alberi degli eventi);

- tecniche probabilistiche di rappresentazione degli scenari di pericolo possibili, condizionati nell'evoluzione dall'affidabilità e dall'efficienza dei sistemi di sicurezza che realizzano le misure di sicurezza protettive in condizioni di emergenza (alberi degli eventi);
- tecniche di soluzione analitiche e numeriche dei modelli formulati per rappresentare il flusso del pericolo nella struttura, determinato dai fenomeni termici e fluidodinamici indotti da specifici eventi incidentali, al fine di caratterizzare l'ambiente interno alla struttura nella quale si realizza il processo di esodo degli utenti coinvolti e l'azione degli addetti al soccorso (modelli termo - fluidodinamici semplificati, modelli formulati e risolti adottando il metodo della Fluidodinamica Computazionale);
- tecniche statistiche di soluzione dei modelli di esodo degli utenti dalla struttura in condizioni di emergenza (tecniche Monte Carlo);
- tecniche analitiche e grafiche di rappresentazione del rischio connesso ad una galleria stradale (curve cumulate complementari);
- criteri di valutazione del rischio congruenti con dottrine di accettabilità del rischio note e codificate.

Gli obiettivi conseguiti adottando il metodo di progetto della sicurezza proposto possono essere così sintetizzati:

- verificare l'accettabilità del livello di rischio proprio di una infrastruttura quando essa sia realizzata soddisfacendo i requisiti minimi di sicurezza fissati dalla Direttiva, avendo assunto che le misure strutturali ed i sistemi di sicurezza che realizzano le misure impiantistiche siano progettati in conformità ai dettami della buona pratica e realizzati a regola d'arte;
- individuare misure alternative ed integrative al gruppo di requisiti minimi di sicurezza, fissati dalla Direttiva per una determinata galleria in funzione dei parametri di sicurezza ad essa propri, quando detti parametri assumano valori tali da determinare un livello di rischio non accettabile, ovvero quando sussista un reale impedimento all'adeguamento causato da vincoli realizzativi manifesti ovvero alienabili con costi sproporzionati;
- dimostrare l'equivalenza ovvero la riduzione del livello di rischio conseguito attraverso l'adozione di misure alternative ed integrative, rispetto al livello di rischio assicurato dal soddisfacimento dei requisiti minimi di sicurezza.

1.4.1. STATO DELL'ARTE DELLE CONOSCENZE SCIENTIFICHE ALLA BASE DELLE LINEE GUIDA ANAS

Gli standard e le linee guida di progettazione delle gallerie stradali, sino alla emanazione della Direttiva europea 2004/54/CE, erano basate sui risultati ottenuti nel corso di prove su scala reale condotte negli anni '60-'70 (Offenegg-Tunnel) e su vaghe concezioni inerenti le prestazioni dei sistemi di sicurezza formulate negli anni dagli esperti. Queste quindi offrivano, standard basati su regole progettuali dai fondamenti incerti e spesso sconosciuti agli ingegneri progettisti.

Le conoscenze acquisite dalle prove su scala reale condotte negli anni '90 (Memorial Tunnel, Eureka Project), i fondamenti fisicochimici degli eventi incidentali rilevanti, i principi della progettazione prestazionale dei sistemi di sicurezza, il metodo dell'ingegneria della sicurezza, compaiono negli standard attuali di progettazione, previsti dagli ultimi strumenti normativi, poiché essi risultino determinanti nella valutazione del livello di sicurezza di un sistema di trasporto in sotterraneo.

Il legislatore, nella stesura degli ultimi strumenti normativi, cosciente del continuo sviluppo imposto dal percorso di ricerca intrapreso negli ultimi anni, nella formulazione degli standard di base individuati, introduce un approccio sistemico e prestazionale già suggerito dalla Direttiva quando si sollecita l'identificazione e l'adozione di misure alternative ed integrative di progettazione delle gallerie, con l'indicazione degli strumenti analitici da utilizzare per giustificare le scelte e la definizione di idonei criteri di accettabilità come elemento di conforto per le autorità preposte alla valutazione dei progetti.

Lo strumento normativo diventa quindi, una base di partenza per il progettista, il gestore o in generale il decisore, poiché numerosi aspetti quali quelli a seguire, pur non essendo trattati direttamente dalla norma, non possono essere in alcun modo trascurati dal decisore.

Il comportamento atteso degli utenti in condizioni incidentali dovrebbe anch'esso essere inglobato nel progetto, e nella formulazione dei piani di emergenza, come peraltro richiesto dalla Direttiva quando essa prescrive la realizzazione di prove di evacuazione periodiche condotte riproducendo scenari di esodo rappresentativi nella forma e nella sostanza di condizioni reali possibili, avendo esso un peso sulla sicurezza del sistema galleria comparabile con il peso dei sistemi di sicurezza.

L'incremento sensibile dei volumi di merci trasportate, l'aumento della lunghezza media delle gallerie in fase di progetto e la realizzazione di gallerie in contesto

urbano, l'accresciuta complessità strutturale ed impiantistica dei sistemi di trasporto in sotterraneo; stridono con la prassi progettuale corrente, in larga misura basata su idee e tradizioni sviluppate per sistemi strutturalmente semplici, interessati da volumi di traffico di veicoli pesanti, ridotti e limitati nelle tipologie di merci trasportate, a basso contenuto tecnologico dei sistemi di sicurezza e ridotta complessità di gestione.

In funzione di quanto detto, le fasi del progetto per le quali è necessaria un'attenta revisione, possono essere come di seguito sintetizzate:

- nelle metodiche di analisi, inerenti il mutuo accoppiamento tra il ciclo comburente (ventilazione) ed il ciclo combustibile (focolai) in caso di eventi di incendio;
- la caratterizzazione dei flussi d'aria in galleria (ventilazione) e del processo di dispersione di sostanze tossiche e nocive (sorgenti) in caso di eventi di rilascio;
- la caratterizzazione della resistenza e della reazione al fuoco degli elementi strutturali ed impiantistici (curve Temperatura - Tempo);
- la caratterizzazione dell'interazione tra focolai e sorgenti di rilascio ed impianti di mitigazione e spegnimento;
- la quantificazione dei vantaggi e degli svantaggi dei sistemi di protezione attiva (impianti ad acqua frazionata, impianti ad acqua nebulizzata).

Infine, prove su scala reale condotte in anni recenti (Runehamar Tunnel 2003) hanno evidenziato come le potenze termiche massime generate da focolai costituiti da veicoli pesanti non adibiti al trasporto di merci pericolose e le temperature di picco raggiunte dai prodotti della combustione superino in modo significativo i valori di progetto suggeriti nei documenti redatti da consessi di esperti.

Rielaborazioni teoriche condotte sui dati ottenuti nel caso di prove realizzate su scala reale ed in laboratorio hanno evidenziato il ruolo svolto dalla geometria e dai regimi di ventilazione sulla dinamica dei focolai (effetto tunnel).

Le considerazioni svolte, mettono in luce la necessità di operare analisi di maggior dettaglio e complessità, che sulla base dei requisiti minimi richiesti dagli strumenti normativi vigenti, permettano una valutazione globale e completa delle problematiche alla base del fenomeno analizzato, trovando naturale collocazione nel metodo moderno di progettazione della sicurezza dettagliato nei successivi capitoli.

1.5. OPERATO DELLE ASSOCIAZIONI GOVERNATIVE E NON

Introdotta il quadro normativo europeo e nazionale, risulta evidente che se l'adeguamento normativo da un punto di vista infrastrutturale ed impiantistico risulta di maggiore facilità per le opere in progettazione, il quadro diventa di maggiore complessità se si valutano le infrastrutture già in esercizio, in quanto chiaramente queste sono state realizzate e progettate secondo delle specifiche non osservanti la normativa riportata nel D.Lgs. 264/2006.

Al fine di valutare come evolve il mondo della sicurezza nei tunnel stradali, occorre analizzare quanto viene fatto anche dalle strutture non governative, che operano nel settore della sicurezza stradale in ottica più ampia.

Tra le associazioni non governative, attive nell'ambito della sicurezza stradale, il TCS (Touring Club Svizzero) è una delle più attive nel settore. Anche in seguito ai tragici incidenti avvenuti nelle gallerie alpine, il TCS, assieme ai suoi partner europei, informa sul comportamento corretto da adottare, e testa ogni anno queste grandi opere sotterranee, al fine di fare un punto sui passi compiuti nell'ambito della sicurezza stradale in galleria, e per proporre dei nuovi spunti di ricerca e di valutazione per il futuro del settore.

Dal 1999 al 2008 sono stati testati dall'Eurotap, ben 293 tunnel in Europa, di cui 43 in Svizzera e 23 in Italia; nella seguente tabella si riporta l'elenco dei tunnel italiani testati

Tunnel Italiani testati

1) Appia antica	13) Monte Crevola
2) Breva	14) Mongex
3) Cernobbio	15) Paci 2
4) Colle apretto	16) Piedi Castello
5) Colle di tenda	17) Quarto
6) Colle giardino	18) Roccaccia
7) Fornaci	19) San Pellegrino
8) Fossino	20) Segesta
9) Giaglione	21) Serra Rotonda
10) Marinasco	22) Serrone Tondo
11) Monte Barro	23) Valsassina
12) Monte Pergola	

Nella seguente figura, si mostra la disposizione geografica delle infrastrutture testate sul territorio nazionale.

FIGURA 1.1. DISLOCAZIONE INFRASTRUTTURE ITALIANE, TESTATE DELL'EUROTAP

Di grande interesse sono sicuramente i test svolti dall'Eurotap nel 2006-07-08-09. Da questi si evince una condizione del territorio italiano non particolarmente buona, difatti il giudizio dell'Eurotap, per gli ultimi 3 anni è stato sempre negativo e nel 2007 ha assegnato, addirittura all'Italia la maglia nera; difatti nella classifica stilata dagli ispettori internazionali, per quell'anno, tre delle ultime quattro posizioni sono state occupate da strutture italiane, rispettivamente:

- tunnel di Colle Capretto sulla E45,
- tunnel Paci 2 sulla Salerno Reggio Calabria
- tunnel Serra Rotonda sulla Salerno Reggio Calabria.

I report del 2009 mostrano 13 test effettuati in l'Europa, nessuno dei quali presso strutture italiane.

Dal 2009 ad oggi numerosi sono stati i passi in avanti, difatti l'Anas si è adoperata per l'ammodernamento e la messa in sicurezza di buona parte delle infrastrutture Anas in esercizio appartenenti alla rete TEN; ancora il percorso non si può ritenere

ERROR: undefinedresource
OFFENDING COMMAND: findresource

STACK:

/0
/CSA
/0
/CSA
-mark-