4 Giugno 2024

Vulnerabilità sismica di una rete infrastrutturale

ing. Giuseppe Pasqualato

SINA
ASTM GROUP

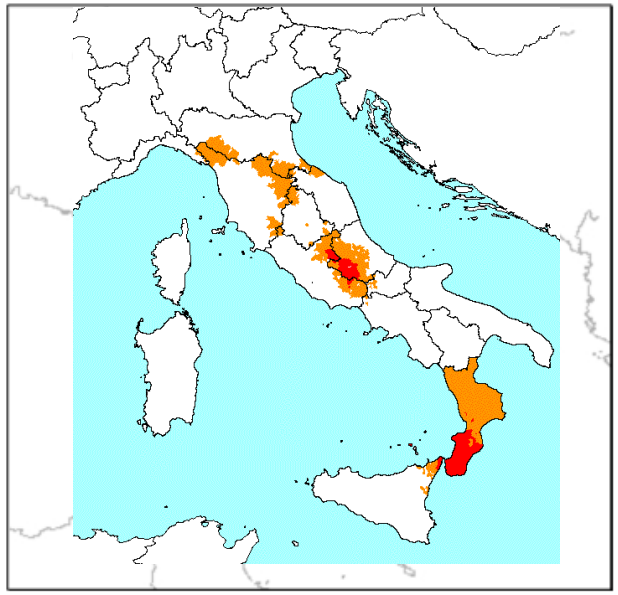
SINA | Sommario

- Sicurezza delle infrastrutture
- Esposizione al rischio sismico
- Resilienza e robustezza delle infrastrutture
- Pianificazione e progettazione
- Sostenibilità e ciclo di vita dell'infrastruttura

SINA | Cronologia

- OPCM 3274 **2003** introduce la necessità di caratterizzare la vulnerabilità sismica delle infrastrutture «opere strategiche», per capire il grado di risposta agli eventi sismici (5 anni di tempo)
- NTC **2008** (proroghe per il completa delle verifiche di vulnerabilità)
- **2010** Circolari esplicative per l'esecuzione delle analisi di vulnerabilità di LIVELLO 2
- NTC **2018**
- **2020** subentro delle Linee Guida per i ponti esistenti (approccio multilivello finalizzato ad una completa analisi di rischio statica e sismica)

SINA | Classificazione sismica, evoluzione

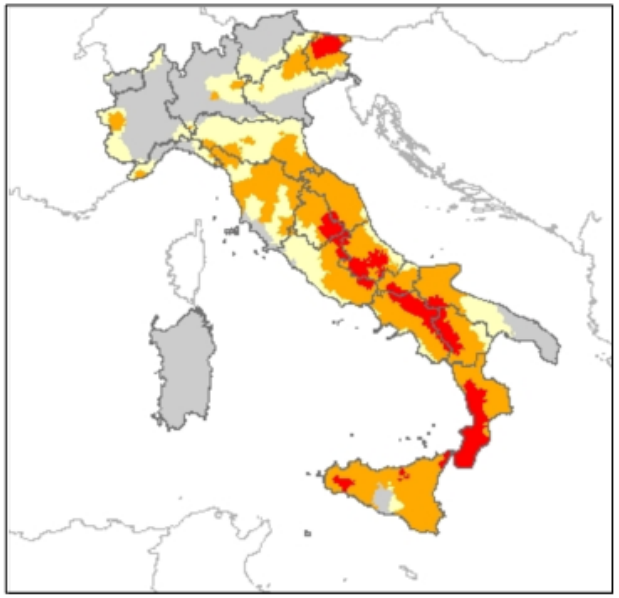


Classificazione 1927

1ª 2ª

Vecchia classificazione

1ª 2ª 3ª NC



Classificazione 2003

1ª 2ª 3ª 4ª

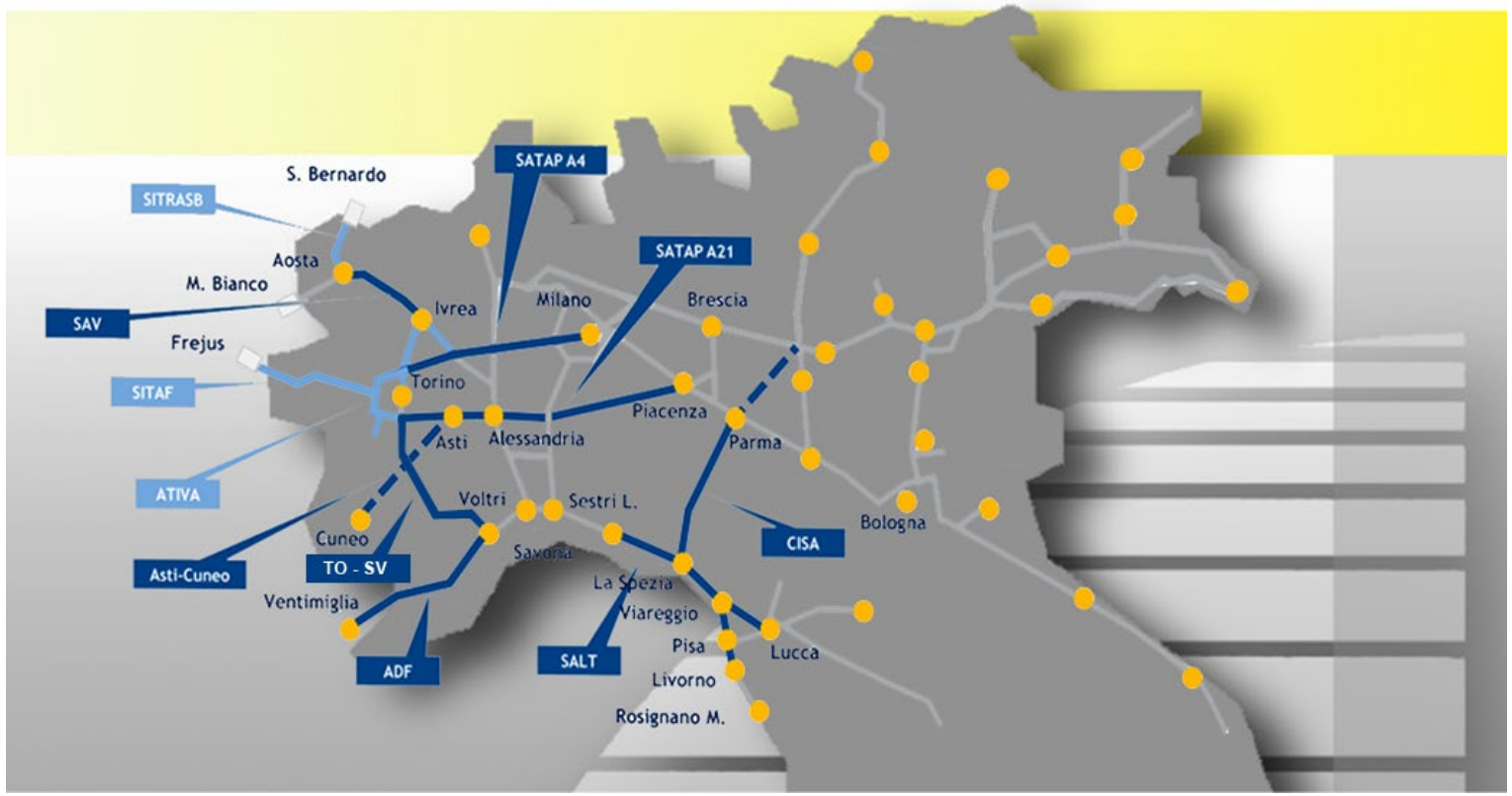
La classificazione del territorio sismico ha avuto una importante evoluzione soprattutto nell'ultimo decennio.
L'anno 2003 segna con OPCM 3274 l'avvio della valutazione di vulnerabilità sismica delle opere con l'obbligatorietà delle verifiche delle opere strategiche entro 5 anni.

SINA | Ponti e viadotti: tipologie strutturali

SINA

Vulnerabilità sismica

SINA | Rete Gruppo ASTM



Circa 1400 km di rete autostradale

SINA | Verifiche di vulnerabilità - livello 2

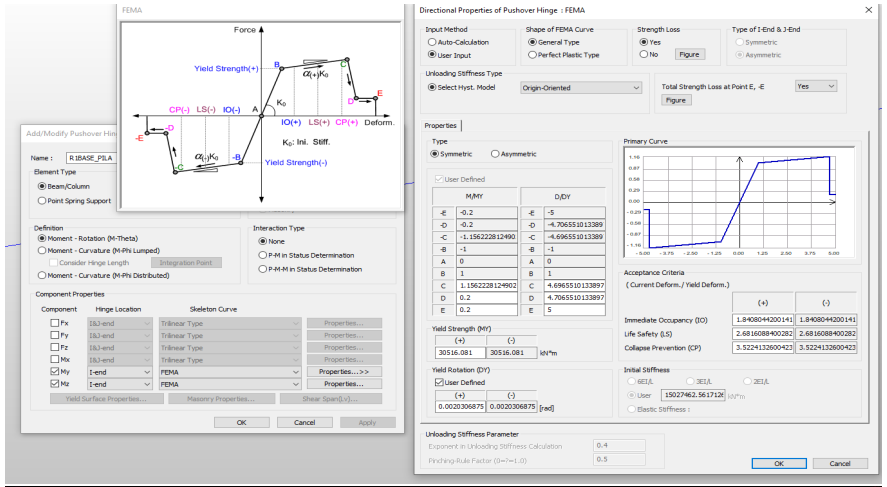
In accordo con il Dipartimento di Protezione Civile e le circolari emanate nel 2010, si è avviata, in virtù delle proroghe concesse, la verifica estesa su tutte le opere presenti nelle autostrade di riferimento del gruppo per tutte le classi di esposizione sismica.

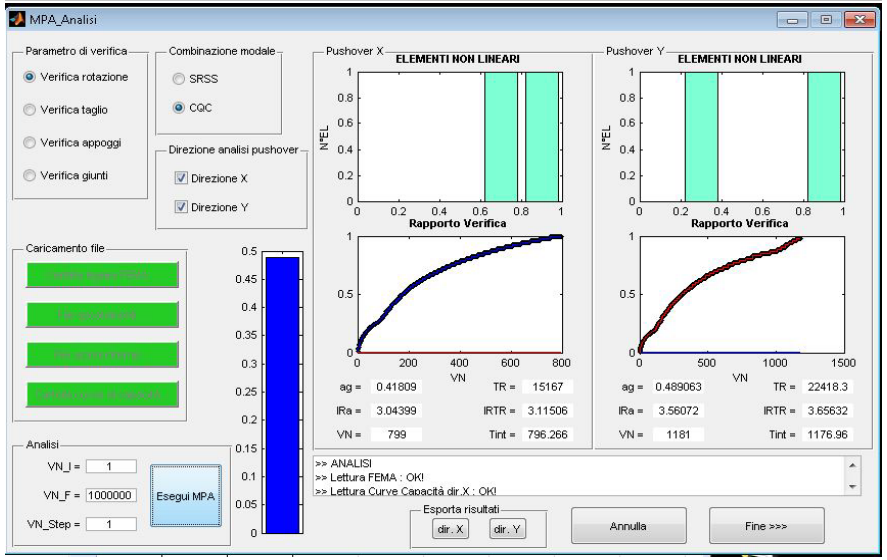
<u>L'analisi di vulnerabilità intrapresa è stata di livello 2.</u>

Tale metodo approfondisce gli elementi con maggiori criticità ottimizzando l'impegno di modellazione ed il tempo di analisi.

La procedura, denominata **MPA®** basata sulle tecniche di statica non lineare (tipo push over), è stata sviluppata in collaborazione con la scuola di Master F.lli Pesenti con l'approfondimento di 3 tesi di Master.

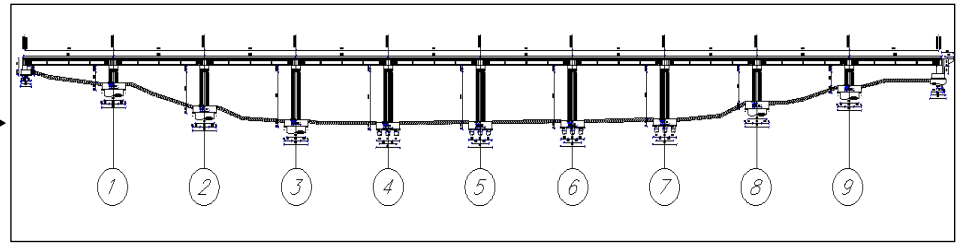
Questa metodologia consente di indagare tre differenti meccanismi di collasso: la rotazione ultima delle strutture portanti, la perdita dell'appoggio dell'impalcato e la verifica a taglio delle strutture portanti



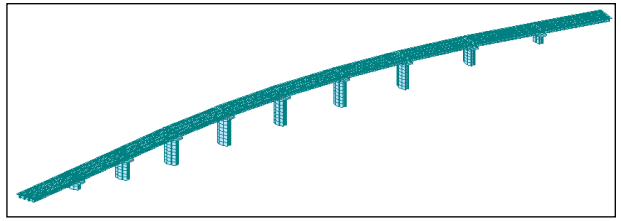


SINA | Verifiche di Livello 2

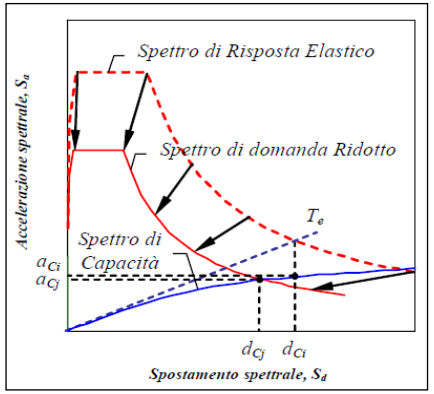
SIOS



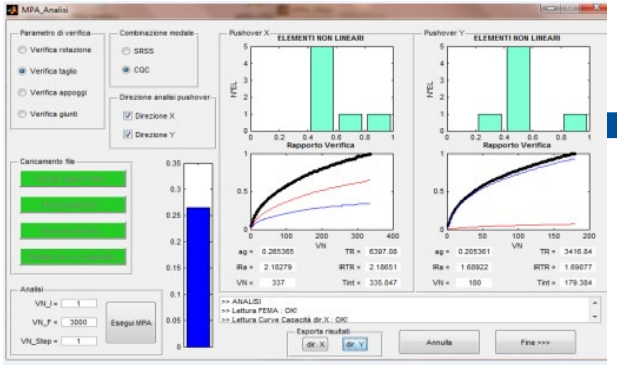
MODELLAZIONE



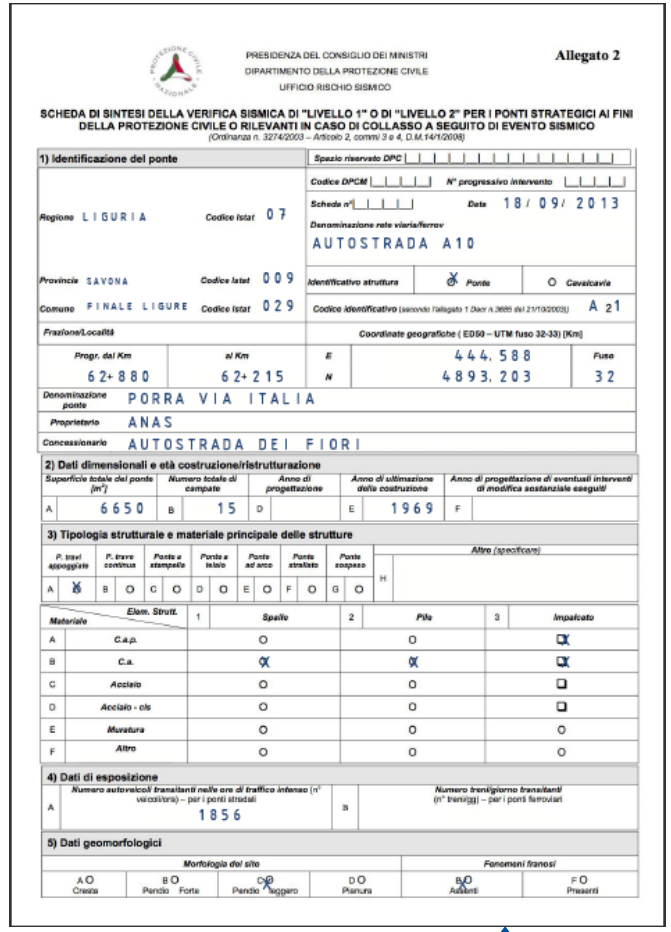
ANALISI NON LINEARI



RISULTATI VULNERABILITA' SISMICA



Ir
Tint



PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI
DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE
UFFICIO RISCHIO SISMICO

Allegato 2

SCHEDA DI SINTESI DELLA VERIFICA SISMICA DI "LIVELLO 1" O DI "LIVELLO 2" PER I PONTI STRATEGICI AI FINI DELLA PROTEZIONE CIVILE O RILEVANTI IN CASO DI COLLASSO A SEGUITO DI EVENTO SISMICO

(Ordinanza n. 3274/2003 – Articolo 2, commi 3 e 4, D.M.14/1/2008)

1) Identificazione del ponte

Spazio riservato DPC

Codice DPCM | N° progressivo intervento

Regione LIGURIA — Codice Istat 07

Scheda n° | Data 18/09/2013

Denominazione rete viaria/ferrov: AUTOSTRADA A10

Provincia SAVONA — Codice Istat 009

Identificativo struttura: Ponte / Cavalcavia

Comune FINALE LIGURE — Codice Istat 029

Codice identificativo (secondo l'allegato 1 Decr n.3685 del 21/10/2003): A 21

Frazione/Località

Coordinate geografiche (ED50 – UTM fuso 32-33) [Km]

Progr. dal Km	al Km	E		Fuso
62+880	62+215	E	444,588	32
		N	4893,203	

Denominazione ponte: PORRA VIA ITALIA

Proprietario: ANAS

Concessionario: AUTOSTRADA DEI FIORI

2) Dati dimensionali e età costruzione/ristrutturazione

Superficie totale del ponte (m²)	Numero totale di campate	Anno di progettazione	Anno di ultimazione della costruzione	Anno di progettazione di eventuali interventi di modifica sostanziale eseguiti
A 6650	B 15	D	E 1969	F

3) Tipologia strutturale e materiale principale delle strutture

P. travi appoggiate	P. travi continua	Ponte a stampello	Ponte a telaio	Ponte ad arco	Ponte strallato	Ponte sospeso	Altro (specificare)
A ☒	B ○	C ○	D ○	E ○	F ○	G ○	H

Materiale \ Elem. Strutt.	1 Spalle	2 Pile	3 Impalcato
A C.a.p.	○	○	☒
B C.a.	☒	☒	☒
C Acciaio	○	○	☐
D Acciaio - cls	○	○	☐
E Muratura	○	○	○
F Altro	○	○	○

4) Dati di esposizione

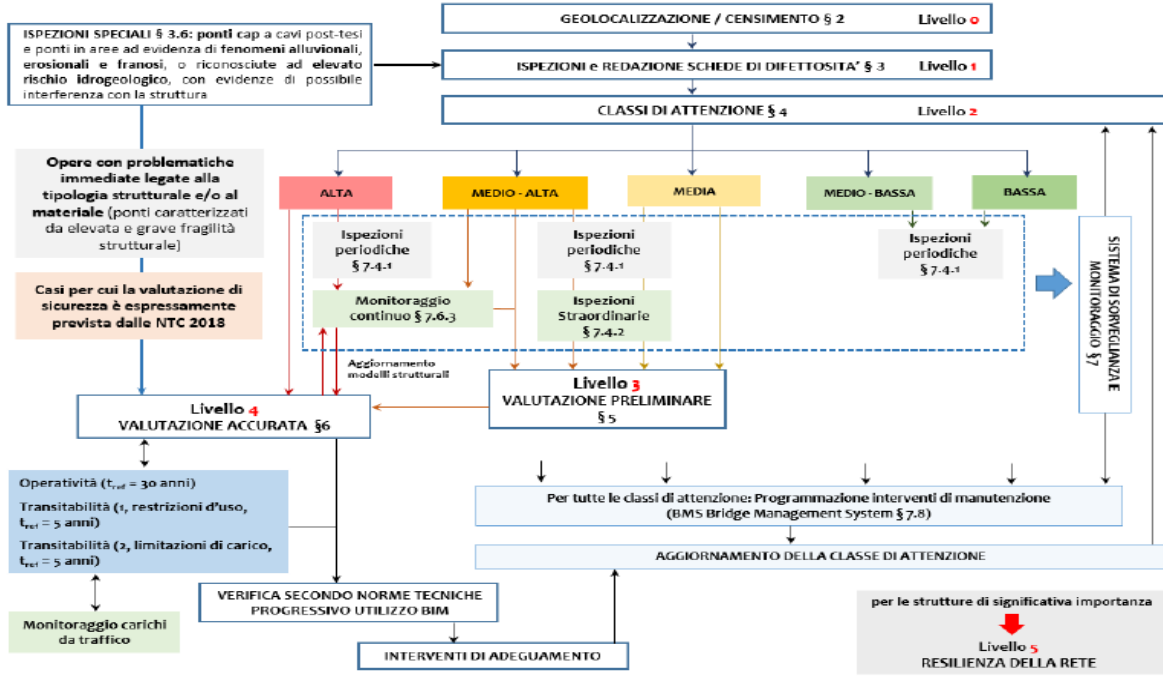
Numero autoveicoli transitanti nelle ore di traffico intenso (n° veicoli/ora) – per i ponti stradali	Numero treni/giorno transitanti (n° treni/gg) – per i ponti ferroviari
A 1856	B

5) Dati geomorfologici

Morfologia del sito				Fenomeni franosi	
A ○ Cresta	B ○ Pendio Forte	C ☒ Pendio Leggero	D ○ Pianura	E ○ Assenti	F ○ Presenti

Linee Guida per la classificazione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti (LLGG), 2020

- Livello 0: censimento delle opere;
- Livello 1: ispezioni visive e schede di difettosità;
- **Livello 2: analisi dei rischi rilevanti e classificazione su scala territoriale;**
- Livello 3: valutazione preliminare dell'opera;
- **Livello 4: verifica accurata;**
- Livello 5: verifica di resilienza della rete.



Livello 2
Classe d'attenzione complessiva

- Classe di Attenzione strutturale e fondazionale;
- **Classe di Attenzione sismica**;
- Classe di Attenzione frane;
- Classe di Attenzione idraulica.

	Parametri primari	Parametri secondari
Pericolosità	Accelerazione di picco al suolo e categoria topografica	Categoria di sottosuolo
Vulnerabilità	Schema strutturale, luce e materiale Livello di difettosità	Criteri di progettazione
Esposizione	Livello di TGM e luce media della campata	Alternative stradali Tipologia di ente scavalcato Trasporto di merci pericolose Strategicità dell'opera

Analisi dati, confronto e considerazioni

SINA | Approcci a confronto

Fonte tesi Silvia Devecchi Politecnico di Milano, 2024 relatore prof. Pietro Crespi

➢ Vulnerabilità sismiche Ordinanza n.3274 2003

Compilazione delle schede di sintesi della Protezione Civile
Stato di conservazione della rete autostradale mediante Indicatori di rischio

22) Risultati dell'analisi: Capacità in termini di accelerazione al suolo e periodo di ritorno per diversi SL

		Tipo di rottura										
		Cemento armato, Acciaio					Muratura			Tutti		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		Primo collasso a taglio	Collasso di un nodo	Rotazione totale rispetto alla corda o verifiche a flessione o pressoflessione	Collasso di un appoggio	Impalcato	Resistenza a pressoflessione	Resistenza a taglio	Deformazione ultima nel piano	Capacità limite del terreno di fondazione	Capacità limite fondazioni	Deformazione di danno
A	PGA_{DLC}	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	
B	PGA_{DLV}	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	
C	PGA_{DLD}											⌊_⌊_⌊_⌊
D	PGA_{DLO}											⌊_⌊_⌊_⌊
E	T_{RDLC}	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	
F	T_{RDLV}	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	⌊_⌊_⌊_⌊	
G	T_{RDLD}											⌊_⌊_⌊_⌊
H	T_{RDLO}											⌊_⌊_⌊_⌊

23) Domanda: valori di riferimento delle accelerazioni e dei periodi di ritorno dell'azione sismica

	Stato limite	Accelerazione (g)	T_{RD} (anni)
A	Stato limite di collasso (SLC)	PGA_{DLC} ⌊_⌊_⌊_⌊	T_{RDLC} ⌊_⌊_⌊_⌊
B	Stato limite di salvaguardia (SLV)	PGA_{DLV} ⌊_⌊_⌊_⌊	T_{RDLV} ⌊_⌊_⌊_⌊
C	Stato limite di danno (SLD)	PGA_{DLD} ⌊_⌊_⌊_⌊	T_{RDLD} ⌊_⌊_⌊_⌊
D	Stato limite di operatività (SLO)	PGA_{DLO} ⌊_⌊_⌊_⌊	T_{RDLO} ⌊_⌊_⌊_⌊

24) Indicatori di rischio

	Stato limite	Rapporto fra le accelerazioni	Rapporto fra i periodi di ritorno elevato ad a
1	di collasso (α_{sc})	⌊_⌊_⌊_⌊ =(PGA_{DLC}/ PGA_{DLC})	⌊_⌊_⌊_⌊ =(T_{RDLC}/T_{RDLC})*
2	per la vita (α_{sv})	⌊_⌊_⌊_⌊ =(PGA_{DLV}/PGA_{DLV})	⌊_⌊_⌊_⌊ =(T_{RDLV}/T_{RDLV})*
3	di inagibilità (α_{sd})	⌊_⌊_⌊_⌊ =(PGA_{DLD}/PGA_{DLD})	⌊_⌊_⌊_⌊ =(T_{RDLD}/T_{RDLD})*
4	per l'operatività (α_{so})	⌊_⌊_⌊_⌊ =(PGA_{DLO}/PGA_{DLO})	⌊_⌊_⌊_⌊ =(T_{RDLO}/T_{RDLO})*

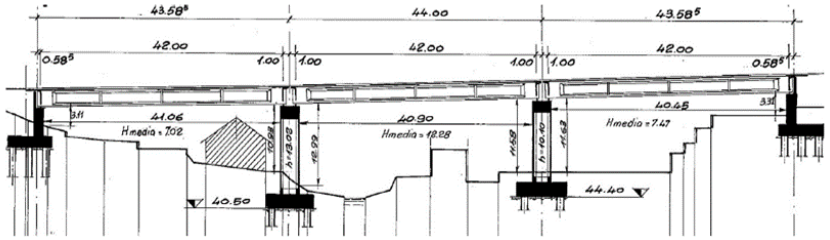
➢ Linee Guida per la classificazione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti 2020

CdA sismica = Pericolosità x Vulnerabilità x Esposizione

- Pericolosità: accelerazione di picco al suolo, categoria topografica e categoria di sottosuolo
- Vulnerabilità: schema strutturale, luce, materiale, livello di difettosità e criteri di progettazione
- Esposizione: livello di TGM, luce media della campata, alternative stradali, tipologia di ente scavalcato, trasporto di merci pericolose, strategicità dell'opera

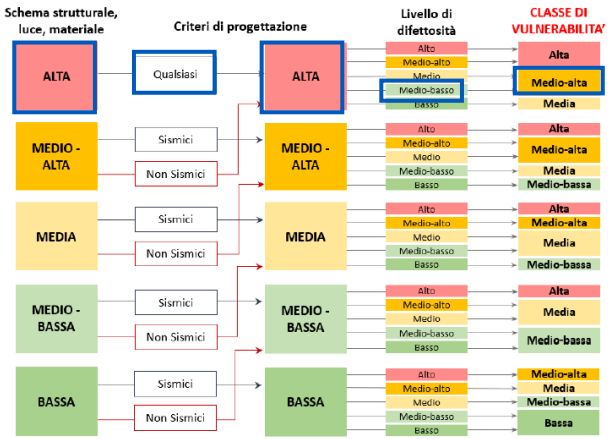
Scopo del lavoro di tesi sviluppata è l'analisi puntuali di confronto su alcune opere ed una analisi statistica su grandi numeri al fine di analizzare il livello di approfondimento della metodologia secondo Linea Guida ed evidenziare eventuali approssimazioni.

SINA | Esempio applicativo ad un viadotto esistente



LLGG

- Classe di Pericolosità sismica
- Classe di Vulnerabilità sismica
- Classe di Esposizione sismica

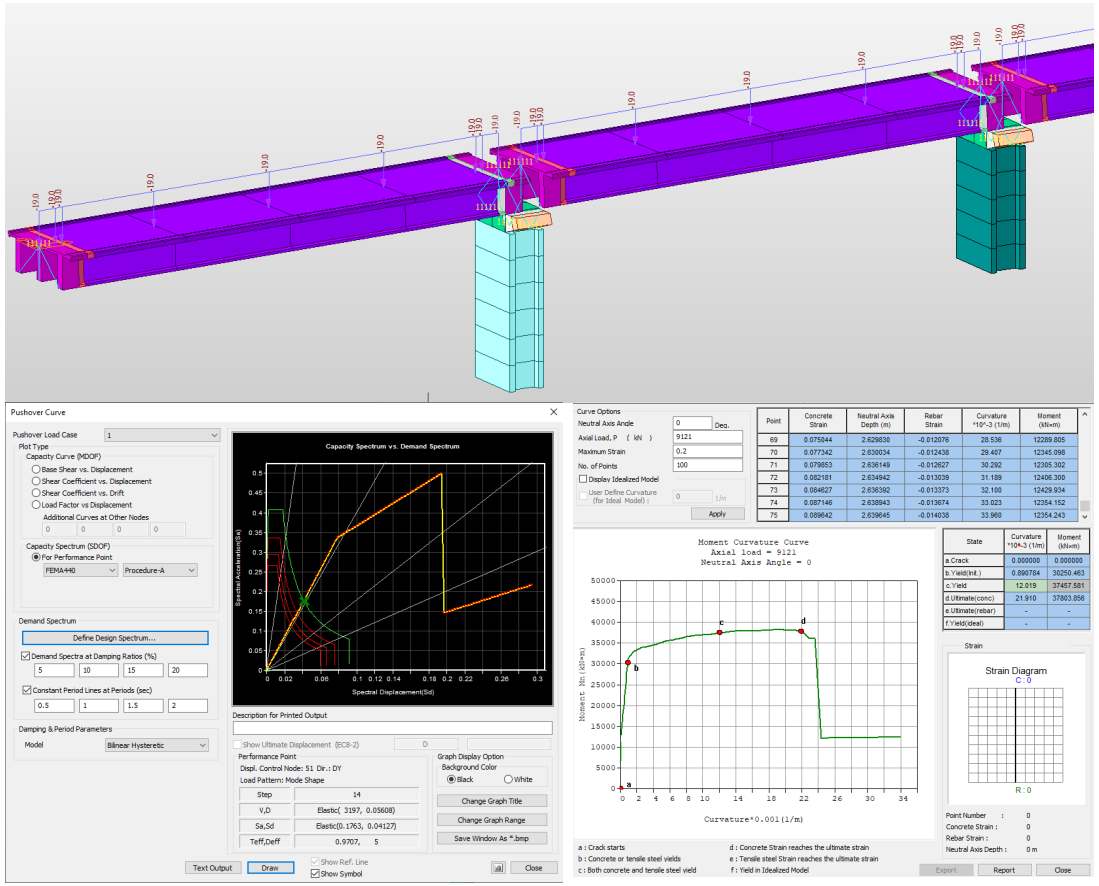


Determinazione della Classe di Attenzione sismica in funzione di classe di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione

Classe di pericolosità MEDIO-ALTA

Classe di vulnerabilità	Classe di esposizione				
	Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Alta	Alta				
Medio-Alta	Alta	Medio-Alta			Media
Media	Medio-Alta		Media		
Medio-Bassa		Media		Medio-Bassa	
Bassa		Media	Medio-Bassa		Bassa

- Vulnerabilità sismica ai sensi dell'Ordinanza del 2003



Il tempo di ritorno ottenuto con l'analisi di Vulnerabilità risulta pari a 835 anni, di poco minore al valore soglia di 949 anni.

I risultati delle due analisi applicati ad una singola opera hanno condotto ad esiti piuttosto coerenti

SINA | Analisi di 382 opere

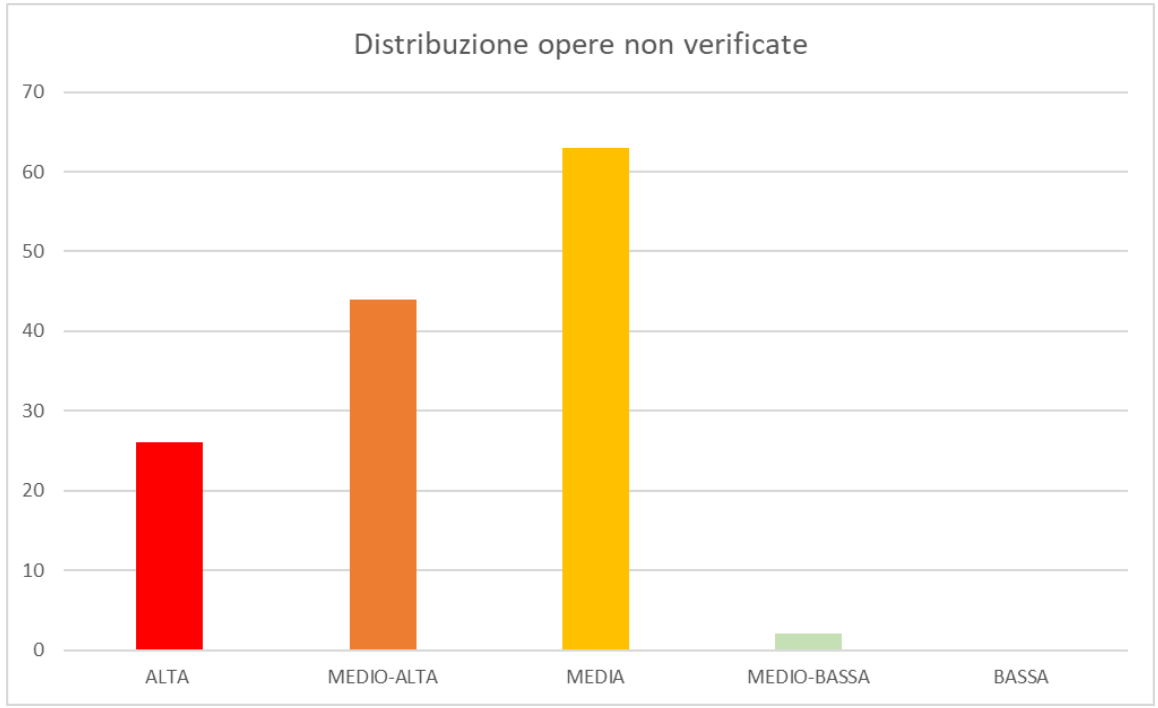
Due tratte autostradali del Nord Italia

Tempo di ritorno del sisma di progetto

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} = -\frac{2\,x\,50}{\ln(1-0.1)} = 949 \text{ anni}$$

(Per una probabilità di superamento del 10% in 100 anni)

CdA-Sism	opere tot.	opere con T_R<949	
	382	135	% sul totale
ALTA	55	26	19.3%
MEDIO-ALTA	172	44	32.6%
MEDIA	142	63	46.7%
MEDIO-BASSA	13	2	1.5%
BASSA	0	0	0.0%



SINA | Analisi del confronto

CdA Complessiva	
ALTA	45
MEDIO-ALTA	98
MEDIA	60
MEDIO-BASSA	0
BASSA	0

Tot. 203 opere

CdA sismica	
ALTA	34
MEDIO-ALTA	151
MEDIA	18
MEDIO-BASSA	0
BASSA	0

di cui 34 in CdA sismica alta

CdA Complessiva	
ALTA	15
MEDIO-ALTA	19
MEDIA	0
MEDIO-BASSA	0
BASSA	0

VdS prevista da LLGG

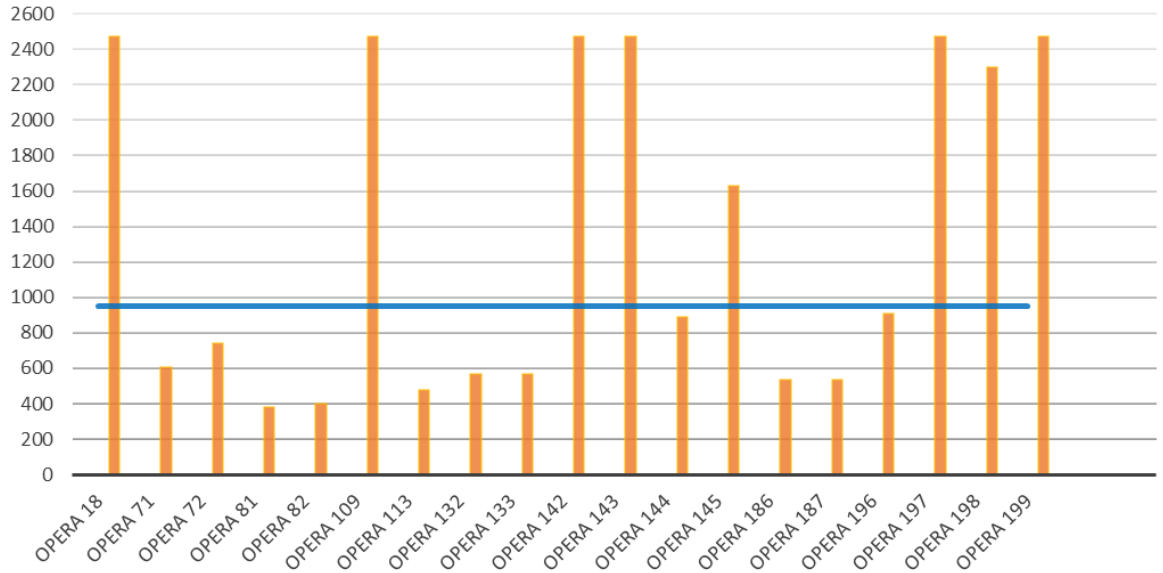
VdS non prescritta da LLGG

11 opere che non richiederebbero approfondimenti di calcolo secondo le LG20, presentano potenziali criticità evidenziate dalle analisi di Livelo 2 avendo un tempo di ritorno e quindi un indice di rischio non verificato.

Le conclusioni del lavoro di tesi riportano le seguenti considerazioni:

- la vulnerabilità di un ponte/viadotto è molto sensibile alla snellezza delle pile
- Il Tr è un parametro da considerare in modo opportuno nell'approccio multilivello,
- la vulnerabilità di livello 2 permette un maggior dettaglio del comportamento dell'opera

Approfondimento delle 19 opere in CdA complessiva MEDIO-ALTA con riferimento alle analisi di vulnerabilità sismica svolte



SINA | Punti focali

- Metodi consistenti per la valutazione della sicurezza delle infrastrutture
- Per la specifica tematica dell'esposizione al rischio sismico, si ritine utile approfondire gli aspetti di vulnerabilità
- Si osserva una esposizione del territorio alla vulnerabilità simica non trascurabile (nel campione analizzato risultano vulnerabili sismicamente il 35% di opere)
- La pianificazione «BMS» deve considerare in modo efficace tutti i parametri al fine di garantire una progettazione mirata alla risoluzione di tutte le criticità (manutentive e sismiche)
- La programmazione delle progettazioni deve perseguire i criteri di sostenibilità e ciclo di vita dell'infrastruttura LCC

#movingtothefuture

SINA
ASTM GROUP