



CONVEGNO FABRE
PONTI, VIADOTTI, E GALLERIE ESISTENTI:
RICERCA, INNOVAZIONE E APPLICAZIONI
LUCCA, 2-4 FEBBRAIO 2022



Valutazione della Classe di attenzione sismica secondo Linee Guida: analisi di sensitività

Eleonora Bruschi^a, Carlo Pettorruso^a, Virginio Quaglini^a

^a Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle costruzioni, Ambiente costruito (DABC), Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano, Italy

Parole chiave: Linee Guida; Classe di Attenzione Sismica; analisi di sensitività

SOMMARIO

La definizione della classe di attenzione sismica secondo le recenti Linee Guida tiene conto dei principali parametri che influenzano la risposta alle azioni sismiche del ponte in esame, distinguendo tra parametri principali (Schema strutturale, luce e materiale; Livello di difettosità; Livello di TGM e luce media della campata; Accelerazione di picco al suolo e categoria topografica del sito) e parametri secondari (Criteri di progettazione; Alternative stradali; Tipologia di ente scavalcato; Trasporto di merci pericolose; Strategicità dell'opera; Categoria di sottosuolo). Sebbene i dati relativi a questi parametri dovrebbero essere disponibili già durante la fase di censimento dell'opera (Scheda di Livello 0), spesso risultano difficili da reperire all'interno degli archivi documentali. Alcuni dati possono essere comunque acquisiti indipendentemente a partire dai database nazionali ovvero durante la fase di ispezione, ma altri si trovano unicamente all'interno della documentazione tecnica e dello studio trasportistico inerente il ponte, oppure richiedono indagini apposite (ad esempio per determinare la Categoria di sottosuolo). Nel caso tali informazioni non siano disponibili o incomplete, le Linee Guida prevedono di procedere in via cautelativa assumendo la peggiore condizione, ragionevolmente prevedibile per il manufatto in esame. Tuttavia, procedendo in tal modo, in assenza di un numero rilevante di informazioni relative ai parametri d'influenza, c'è il rischio di sopravvalutare, anche in modo pesante, l'effettivo rischio sismico e la conseguente classificazione del ponte.

Lo studio si pone pertanto l'obiettivo di investigare l'impatto che ciascuno dei parametri, primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione sismica, ha sulla valutazione finale della Classe di attenzione sismica, allo scopo di stimare la robustezza della valutazione compiuta in caso di dati parzialmente o totalmente non disponibili.

1 INTRODUZIONE

La classe di attenzione sismica viene individuata combinando le classi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione secondo la Tabella 4.10 delle Linee Guida (CSLLPP, 2020). Tali classi sono a loro volta determinate da diversi parametri, classificati come parametri primari e parametri secondari (Tabella 1).

Tabella 1. Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione sismica (§4.3 delle Linee Guida)

	Parametri primari	Parametri secondari
Pericolosità	ag cat. topografica	cat. sottosuolo
Vulnerabilità	schema strutturale luce materiale liv. difettosità	criteri di progettazione
Esposizione	livello TGM luce media	alternative stradali tipologia ente scavalcato trasporto merci pericolose strategicità opera

Una criticità maggiore nella applicazione della procedura ai fini della determinazione della classe di attenzione sismica è costituita dalla reperibilità dei valori dei suddetti parametri per la specifica opera, in quanto mancanti nella documentazione presente in archivio.

Alcuni di questi dati possono essere comunque acquisiti in modo indipendente, a partire dai database nazionali oppure durante la fase di ispezione, ma altre informazioni si trovano unicamente all'interno della documentazione tecnica e dello studio trasportistico inerente il ponte, oppure richiedono indagini apposite (ad esempio per determinare la categoria di sottosuolo). Nel caso tali informazioni non siano disponibili o incomplete, le Linee Guida prevedono di procedere in via cautelativa assumendo la peggiore condizione, ragionevolmente prevedibile per il manufatto in esame. Tuttavia, tale procedura può portare a sopravvalutare, anche in modo pesante, l'effettivo rischio sismico e ad incidere in modo eccessivamente peggiorativo sulla conseguente classificazione del ponte.

Il presente contributo si pone l'obiettivo di investigare l'impatto che i parametri incogniti hanno nella valutazione finale della classe di attenzione sismica. Nello specifico, si intende valutare l'influenza che ciascuna classe (pericolosità, vulnerabilità ed esposizione) esercita nella definizione della classe di attenzione sismica finale, ed in particolare, quanto le ipotesi necessarie a colmare l'assenza di alcune informazioni (relative ai parametri primari e secondari) influenzino l'esito finale della classe sismica.

In una prima fase, si procede a stimare quanto la valutazione finale sia influenzata da una singola classe, mantenendo fisse le altre due; si passa poi ad analizzare l'influenza della combinazione di due classi e infine l'influenza della combinazione delle tre classi.

2 L'INFLUENZA DEI PARAMETRI INCOGNITI SULLA DEFINIZIONE DELLE CLASSI DI PERICOLOSITÀ, VULNERABILITÀ ED ESPOSIZIONE

2.1 Classe di pericolosità

Il livello di pericolosità è influenzato dalla localizzazione del ponte, espressa in termini di accelerazione di picco al suolo a_g e categoria topografica T_i (considerati parametri primari), e dalla categoria di sottosuolo su cui è realizzato il

manufatto (che è invece un parametro secondario). Due di questi parametri sono noti in tutti i casi; infatti, l'accelerazione a_g è nota a priori, già a partire dalla Scheda di censimento L0, in quanto è direttamente deducibile dalla mappa di pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale. La categoria topografica T_i viene valutata in fase di ispezione sulla base delle caratteristiche della superficie topografica su cui è eretto il ponte. Pertanto, l'unico parametro che deve essere necessariamente ipotizzato in caso di assenza di documentazione progettuale o di indagini specifiche, è la categoria di sottosuolo. Le Linee Guida distinguono due fasce di categoria di sottosuolo: la prima fascia comprende le categorie A e B che corrispondono tipicamente alla categoria di terreni rocciosi, mentre la seconda fascia include tutti i terreni considerati soffici, quindi le categorie C, D ed E. Quest'ultima fascia porta in tutti i casi (tranne in quello più gravoso di classe alta) a stimare una pericolosità sismica di una classe superiore rispetto a quella di partenza, valutata secondo le sole informazioni relative ad a_g e T_i .

Ad esempio, ipotizzando di investigare un ponte sito in un'area pianeggiante in zona sismica 4, quindi con accelerazioni di picco a_g molto basse ($<0.05g$), che corrispondono ad una classe di partenza BASSA, ma non essendo in possesso di dati relativi alla stratigrafia del sottosuolo, è necessario in via cautelativa assumere la seconda fascia (categorie di sottosuolo C, D ed E) e quindi ricadere in una classe di pericolosità MEDIO-BASSA, cioè una classe più gravosa rispetto a quella di partenza, Figura 1.

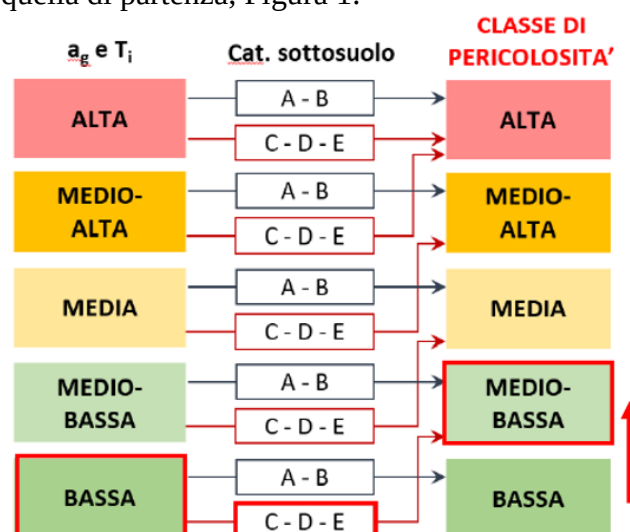


Figura 2. Flusso logico per la determinazione della classe di pericolosità sismica (§4.3 delle Linee Guida)

2.2 Classe di vulnerabilità

La classe di vulnerabilità è influenzata dalle caratteristiche strutturali e geometriche e dal livello di difettosità, considerati come parametri primari, e dai criteri di progettazione dell’opera (sismici o non-sismici) valutati come parametri secondari. Anche in questo caso, in assenza di opportuna documentazione, uno di questi fattori è incognito. Nello specifico, anche nella condizione in cui manchi documentazione tecnica relativa al ponte, è sempre possibile stabilire durante la fase di ispezione lo schema strutturale, la luce e il materiale così come il livello di difettosità in cui versa la struttura. È invece strettamente necessario essere in possesso di tutta la documentazione e conoscere esattamente il periodo di costruzione dell’opera al fine di stabilire se i criteri di progettazione del manufatto siano sismici o meno. In assenza di questa informazione, è necessario procedere in via cautelativa, assumendo la non-sismicità dei criteri di progettazione adottati e questo porta in tutti i casi (tranne in quello più gravoso di classe alta) a considerare una classe peggiorativa rispetto a quella di partenza, che deve essere poi combinata al livello di difettosità per stabilire la classe di vulnerabilità.

Pertanto, ipotizzando di investigare un ponte che presenta delle caratteristiche di schema statico, luce e materiale tali da collocarlo in classe di partenza BASSA, la assunzione a favore di sicurezza che il ponte sia stato progettato con criteri non-sismici, porta la classe di partenza da BASSA a MEDIO-BASSA, Figura 2.

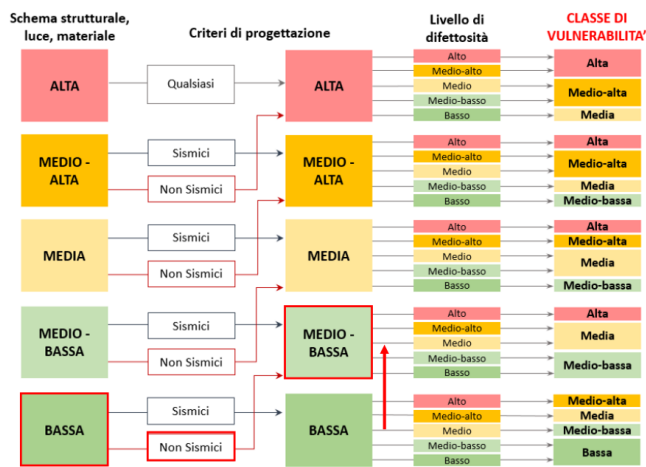


Figura 2. Flusso logico per la determinazione della classe di vulnerabilità sismica (§4.3 delle Linee Guida)

2.3 Classe di esposizione

La classe di esposizione sismica dipende dal livello del Traffico Giornaliero Medio (TGM) e dalla luce media della campata, che sono i parametri primari, e da altri fattori considerati parametri secondari, quali la presenza o meno di alternative stradali, la tipologia di ente scavalcato, il trasporto di merci pericolose e la strategicità dell’opera. Diversamente dai casi di pericolosità e vulnerabilità, in cui le potenziali incognite erano parametri secondari che quindi portavano al massimo al salto in avanti di una sola classe, nel caso della esposizione sismica, si hanno tre potenziali incognite, di cui un parametro primario e due parametri secondari. In particolare, il TGM è un parametro primario la cui conoscenza è strettamente legata a studi trasportistici specifici. In assenza di queste informazioni, è opportuno procedere in via cautelativa, assumendo il livello di TGM più alto ragionevolmente prevedibile per quel manufatto. Questo può portare a sovrastimare ad un massimo di due classi il livello di partenza per la valutazione della classe di esposizione strutturale e fondazionale (Tabella 2), che secondo il flusso logico riportato in Figura 4.3 delle Linee Guida deve essere combinato con l’informazione relativa alla presenza di alternative stradali, parametro considerato secondario per la valutazione della classe di esposizione sismica.

Tabella 2. Livello di Traffico Medio Giornaliero e luce media della campata del ponte (§4.2 delle Linee Guida)

Luce media della campata	Livello di TGM		
	Alta	Media	Bassa
Grande luce	Alta	Medio-Alta	Media
Media luce	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa
Piccola luce	Media	Medio-Bassa	Bassa

Anche in questo caso, la presenza di alternative stradali viene necessariamente valutata a valle di studi trasportistici specifici, e, in assenza di tali dati, le Linee Guida suggeriscono di procedere cautelativamente con l’opzione di assenza di alternative stradali, che porta ad un ulteriore salto di classe.

Pertanto, si immagini di investigare un ponte di piccola luce (campate di luce media non maggiore di 20 m), svincolo di collegamento ad una strada extraurbana principale, e di essere privi di dati trasportistici specifici; risulta quindi necessario ipotizzare il dato TGM a favore di sicurezza, assumendo (qualora sia in nostro possesso) quello relativo ad un altro ponte

presente lungo la medesima tratta o ad una strada prossima a quella di appartenenza del manufatto in analisi. Si immagini di essere in possesso del dato TGM della strada extraurbana principale ad esso collegata, caratterizzata da un TGM Alto (≥ 25000 veicoli/giorno, secondo Tabella 4.7 delle Linee Guida). Si procede dunque assumendo il medesimo dato e si ottiene così una classe di partenza (Livello di TGM e Luce media campata) MEDIA, Figura 3.

L'assenza di studi trasportistici specifici porta anche a non conoscere la presenza o meno di alternative stradali, e pertanto viene assunto, a favore di sicurezza, l'assenza di tali alternative da utilizzare in caso di crolli o perdite di funzionalità del manufatto in esame. Questo causa un ulteriore salto da classe MEDIA a MEDIO-ALTA, Figura 3.

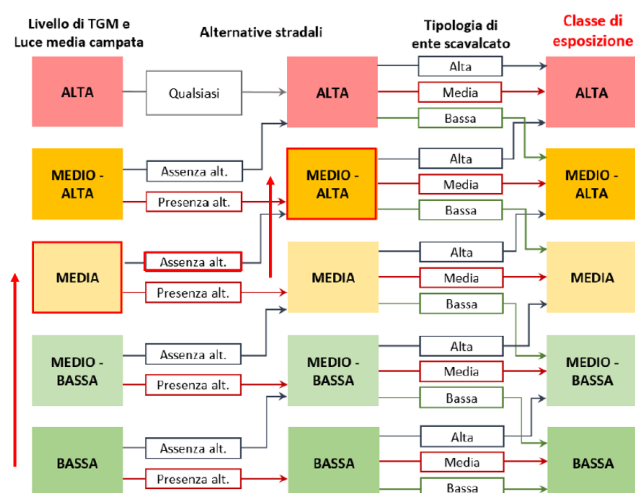


Figura 3. Flusso logico per la determinazione della classe di esposizione strutturale e fondazionale (§4.2 delle Linee Guida)

La classe di esposizione strutturale e fondazionale viene poi valutata sulla base della tipologia di ente scavalcato (Figura 3) e questa è una informazione facilmente reperibile e deducibile. L'ultimo passaggio per la valutazione della classe di esposizione sismica prevede di combinare la classe di esposizione strutturale e fondazionale con l'informazione relativa alla strategicità dell'opera, parametro considerato secondario per la determinazione del fattore di esposizione sismica. L'opera viene riconosciuta di interesse strategico qualora la sua funzionalità sia ritenuta fondamentale per la gestione delle emergenze a seguito di un evento sismico e tali opere sono espressamente indicate dalla protezione civile o dall'ente amministrativo competente. Qualora però questa informazione

sia mancante, è opportuno considerare il manufatto in esame un'opera strategica e questo porta in tutti i casi (tranne in quello più gravoso di classe di partenza alta) a stimare una esposizione sismica di una classe superiore rispetto a quella di partenza.

Pertanto, a conclusione dell'esempio sopra proposto, la struttura viene complessivamente valutata con una classe di esposizione sismica ALTA (Figura 4).

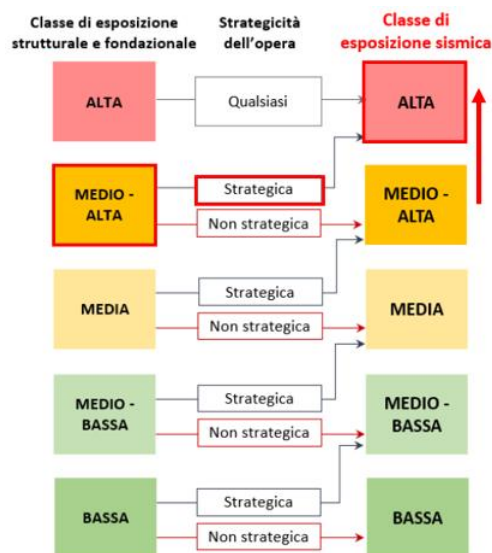


Figura 4. Flusso logico per la determinazione della classe di esposizione sismica (§4.3 delle Linee Guida)

3 L'INFLUENZA DELLE CLASSI DI PERICOLOSITÀ, VULNERABILITÀ ED ESPOSIZIONE SULLA DEFINIZIONE DELLA CLASSE DI ATTENZIONE SISMICA

La classe di attenzione sismica (CdA sismica nei grafici) è definita dalla combinazione delle classi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione secondo lo schema riportato nella Tabella 4.10 delle Linee Guida.

È stata analizzata la dipendenza di queste classi dai rispettivi parametri primari e secondari ed è stato ottenuto lo scenario mostrato in Figura 5.

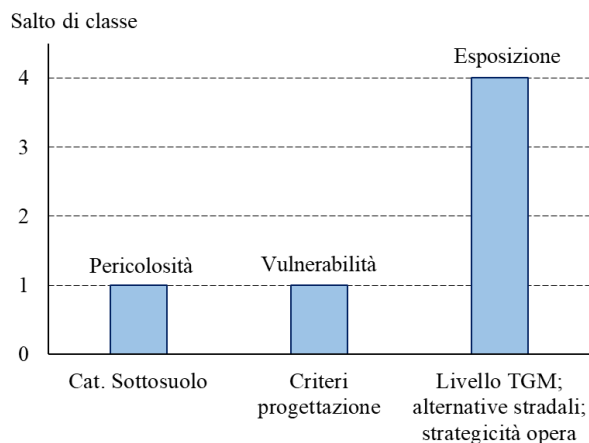


Figura 5. Influenza dei parametri primari e secondari incogniti nella definizione delle classi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione

È ora interessante valutare l'influenza che ciascuna classe (pericolosità, vulnerabilità ed esposizione) esercita nella definizione della classe di attenzione sismica finale, ed in particolare, quanto le ipotesi necessarie a colmare l'assenza di alcune informazioni influenzino l'esito finale della classe sismica.

In una prima fase, si procede a stimare quanto la valutazione finale sia influenzata da una singola classe, mantenendo fisse le altre due; si passa poi ad analizzare l'influenza della combinazione di due classi e infine l'influenza della combinazione delle tre classi.

A parità di classe di esposizione e vulnerabilità, la sovrastima del livello di pericolosità, dovuta all'assenza di informazioni relative al sottosuolo, può comportare al massimo un salto di una singola classe in fase di valutazione di classe di attenzione sismica (Figura 6).

Simile scenario appare anche in caso di sovrastima del livello di vulnerabilità dovuta all'assenza di documentazione tecnica: infatti, anche in questo caso, a parità di classe di esposizione e pericolosità, la sovrastima del livello di vulnerabilità comporta al massimo un salto di una singola classe in fase di valutazione di classe di attenzione sismica (Figura 6).

Diverso è il caso del livello di esposizione, che a parità di classe di pericolosità e vulnerabilità, può portare ad un salto massimo di due classi nella stima finale della classe di attenzione sismica (Figura 6). Questa differenza è dovuta al fatto che la definizione della classe di esposizione dipende da un numero superiore di parametri potenzialmente incogniti, di cui un parametro primario (il livello TGM) e due parametri

secondari (le alternative stradali e la strategicità dell'opera), diversamente dalle classi di pericolosità e vulnerabilità, la cui definizione è influenzata unicamente da un singolo parametro secondario (rispettivamente la categoria di sottosuolo e i criteri di progettazione).

La Figura 7 mostra l'influenza che la combinazione delle tre classi (pericolosità, vulnerabilità ed esposizione) esercita nella definizione della classe di attenzione sismica. Si nota che combinando due classi e mantenendo fissa la terza, si ha al massimo un salto di due classi nella valutazione finale, mentre la combinazione delle tre classi insieme porta a sovrastimare la classe di attenzione sismica fino ad un massimo di tre classi superiori.

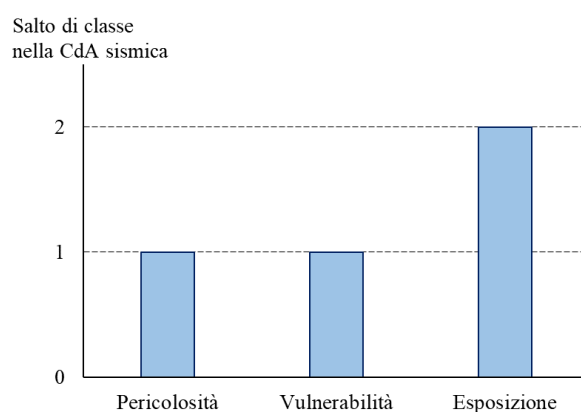


Figura 6. Influenza esercitata singolarmente dalle classi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione nella definizione della classe di attenzione sismica

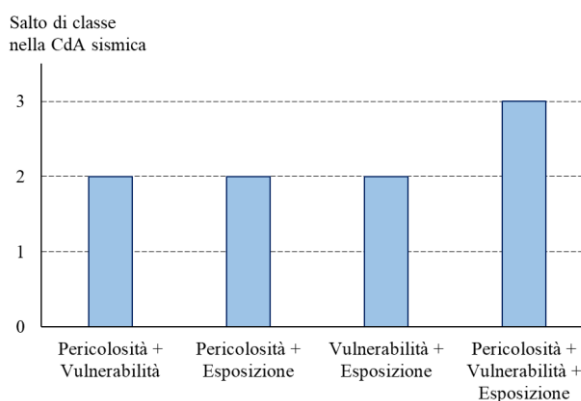


Figura 7. Influenza esercitata dalle possibili combinazioni delle classi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione nella definizione della classe di attenzione sismica

4 PRESENTAZIONE DI DUE CASI APPLICATIVI

A supporto della analisi condotta, si presentano due casi studio in cui le ipotesi avanzate per colmare l'assenza di alcune

informazioni hanno dato esiti diversi nella valutazione finale della classe di attenzione sismica.

4.1 Caso-studio 1

Il primo manufatto è un sovrappasso di una strada provinciale, costituito da un'unica campata di luce pari a 11.34 metri, composta da travi a I in C.A.P. e traversi in C.A., e sito in un'area prevalentemente pianeggiante. La **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** mostra la sezione longitudinale del ponte in esame. La documentazione progettuale originaria risulta assente, così come studi trasportistici specifici, utili a fornire informazioni relative al livello di TGM, presenza di alternative stradali e strategicità dell'opera; per questa ragione, è stato necessario procedere in via cautelativa assumendo la peggiore condizione, ragionevolmente prevedibile per il manufatto in esame.

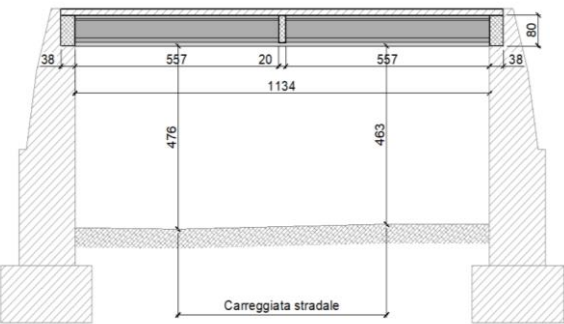


Figura 8. Sezione longitudinale del caso-studio 1 (misure in centimetri)

L'area in cui è sito il ponte è a bassa sismicità con $a_g < 0.05g$, e, trattandosi di un'area pianeggiante, la categoria topografica corrisponde a T_1 ; pertanto, la classe di pericolosità provvisoria è BASSA, Figura 9.

	T1, T2, T3	T4
$a_g \geq 0,25 g$	ALTA	ALTA
$0,15 g \leq a_g < 0,25 g$	MEDIO-ALTA	ALTA
$0,10 g \leq a_g < 0,15 g$	MEDIA	MEDIO-ALTA
$0,05 g \leq a_g < 0,10 g$	MEDIO-BASSA	MEDIA
$a_g < 0,05 g$	BASSA	MEDIO-BASSA

Figura 9. Classe di pericolosità provvisoria del caso-studio 1 (§4.3 delle Linee Guida)

Tuttavia, poiché sono assenti dati relativi alla stratigrafia del sottosuolo, a favore di sicurezza è stata assunta la seconda fascia (categorie di sottosuolo C, D ed E) e quindi la classe di

pericolosità è MEDIO-BASSA, cioè una classe più gravosa rispetto a quella di partenza, Figura 10.

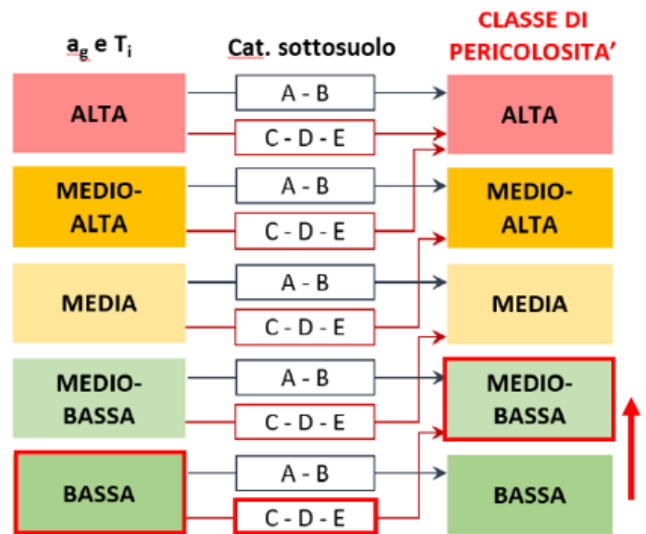


Figura 10. Classe di pericolosità del caso-studio 1 (§4.3 delle Linee Guida)

Il ponte caso-studio consiste in una singola campata composta da travate appoggiate di piccola luce ($< 20m$), pertanto la classe di vulnerabilità provvisoria è MEDIA, Figura 11.

		Schema isostatico		Schema iperstatico	
		L medio-piccola	L elevata	L medio-piccola	L elevata
C.A.	Singola campata	Media	Medio-alta	Bassa	Medio-bassa
	Multi-campata	Medio-alta	Alta	Medio-bassa	Media
C.A.P.	Singola campata	Media	Medio-alta	-	-
	Multi-campata	Medio-alta	Alta	Medio-bassa	Media
Muratura	Singola campata	-	-	Bassa	Medio-bassa
	Multi-campata	-	-	Medio-bassa	Media
Acciaio	Singola campata	Medio-bassa	Medio-bassa	Bassa	Bassa
	Multi-campata	Media	Media	Medio-bassa	Medio-bassa

Figura 11. Classe di vulnerabilità provvisoria del caso-studio 1 (§4.3 delle Linee Guida)

Dal momento che non si è in possesso di documentazione relativa al manufatto in esame, è necessario assumere che i criteri di progettazione con cui è stato realizzato il ponte siano non-sismici, e questo porta la classe di vulnerabilità provvisoria ad un salto, passando da MEDIA a MEDIO-ALTA, Figura 12.

Dall'ispezione condotta sull'opera è risultato un livello di difettosità sismica MEDIA, che quindi ha confermato la classe di vulnerabilità MEDIO-ALTA, Figura 12.

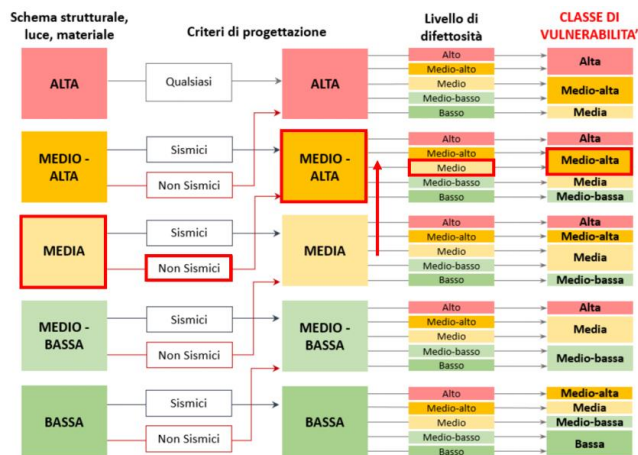


Figura 12. Classe di vulnerabilità del caso-studio 1 (§4.3 delle Linee Guida)

Infine, in assenza di dati trasportistici specifici, è stato necessario avanzare una ipotesi sul livello di TGM. Visto il contesto socio-economico in cui si colloca il manufatto, si è ritenuto a favore di sicurezza, assumere un livello di TGM ALTO, che in combinazione con la piccola luce (Figura 13) ha portato ad una classe di partenza MEDIA, Figura 14. L'assenza di dati specifici relativi al ponte, ha portato a selezionare in via cautelativa l'assenza di possibili alternative stradali, e questo ha causato il salto di una ulteriore classe (da MEDIA a MEDIO-ALTA). Il ponte è un sovrappasso di una strada provinciale e quindi la tipologia di ente scavalcato è MEDIA. La combinazione di queste informazioni all'interno del flusso logico di Figura 14 porta a stimare una classe di esposizione strutturale e fondazionale MEDIO-ALTA.

Luce media della campata	Livello di TGM		
	Alta	Media	Bassa
Grande luce	Alta	Medio-Alta	Media
Media luce	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa
Piccola luce	Media	Medio-Bassa	Bassa

Figura 13. Livello di TGM e luce media della campata del ponte caso-studio 1 (§4.2 delle Linee Guida)

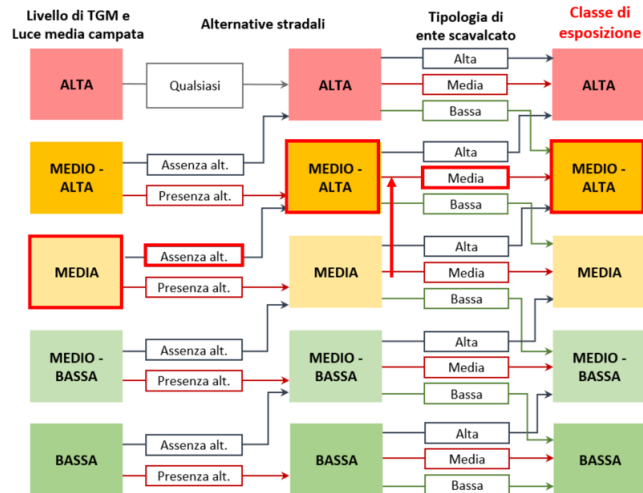


Figura 14. Classe di esposizione strutturale e fondazionale del caso-studio 1 (§4.2 delle Linee Guida)

La classe di esposizione strutturale e fondazionale deve essere poi combinata con l'informazione relativa alla strategicità dell'opera, anche questa mancante per il manufatto in analisi, che viene pertanto classificato come opera strategica a favore di sicurezza (Figura 15), portando così la classe di esposizione sismica ad ALTA.

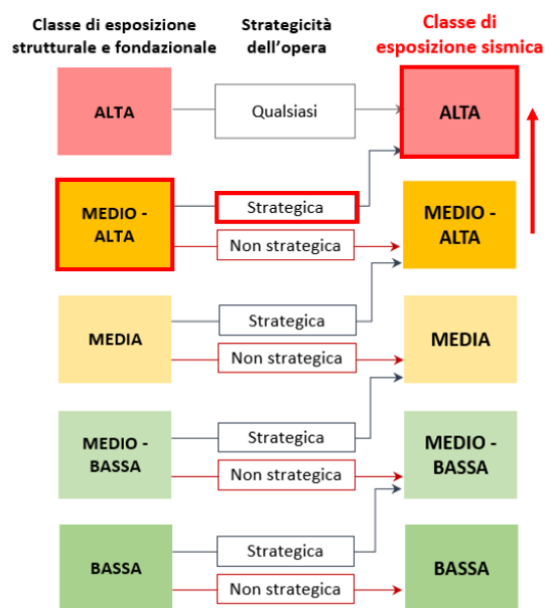


Figura 15. Classe di esposizione sismica del caso-studio 1 (§4.3 delle Linee Guida)

In conclusione, combinando gli esiti delle classi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, il ponte risulta classificato con una classe di attenzione sismica MEDIO-ALTA, Figura 16.

		Classe di pericolosità MEDIO-BASSA				
		Classe di esposizione				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di vulnerabilità	Alta	Alta				
	Medio-Alta	Medio-Alta		Media		
	Media	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa		
	Medio-Bassa	Media		Medio-Bassa	Bassa	
	Bassa	Media		Medio-Bassa	Bassa	

Figura 16. Classe di attenzione sismica del caso-studio 1 (§4.2 delle Linee Guida)

Si immagini ora di essere in possesso della documentazione tecnica relativa al ponte e si valuti l'influenza che la conoscenza dei dati mancanti può avere nella definizione della classe di attenzione sismica finale.

Si ipotizzi ad esempio che siano noti i dati relativi alla stratigrafia del terreno e che la categoria del sottosuolo ricada nella prima fascia (categoria A, B); questo porta ad avere una classe di pericolosità BASSA, Figura 17.

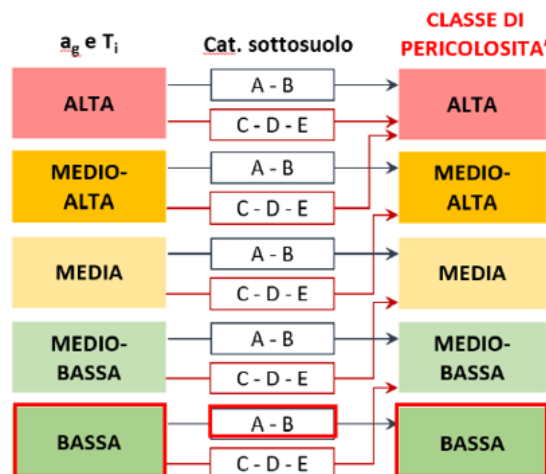


Figura 17. Nuova classe di pericolosità del caso-studio 1 (§4.3 delle Linee Guida)

Tuttavia, tale informazione non porterebbe alcuna modifica all'esito finale della classe di attenzione sismica, in quanto classe di esposizione ALTA e classe di vulnerabilità MEDIO-ALTA, porterebbero comunque ad ottenere una CdA MEDIO-ALTA, Figura 18.

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

Figura 18. Nuova classe di attenzione sismica del caso-studio 1 nel caso in cui sia disponibile l'informazione relativa alla categoria del sottosuolo (§4.2 delle Linee Guida)

Si immagini ora di essere in possesso della documentazione tecnica relativa al manufatto in

esame, la quale consente di stabilire che i criteri di progettazione usati per l'opera in analisi siano sismici. Questo porterebbe ad avere una classe di vulnerabilità provvisoria MEDIA, che combinata con il livello di difettosità sismica (MEDIA) valutato in fase di ispezione, classificherebbe la vulnerabilità in classe MEDIA, Figura 19.

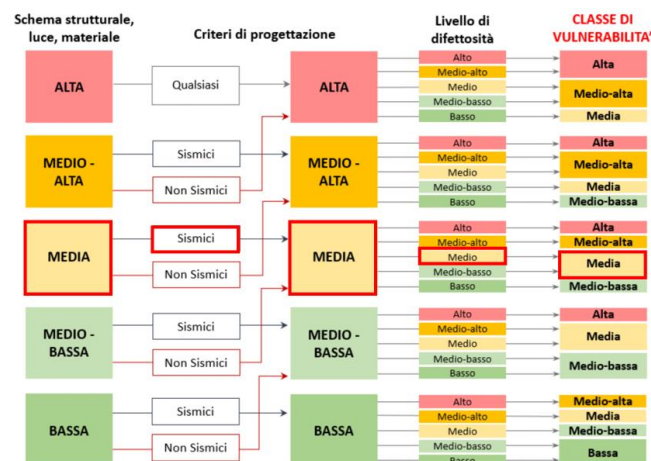


Figura 19. Nuova classe di vulnerabilità del caso-studio 1 (§4.3 delle Linee Guida)

Tale informazione, da sola, non porterebbe ad alcuna modifica nell'esito finale della classe di attenzione sismica, che risulterebbe comunque classificata come MEDIO-ALTA, Figura 20.

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

Figura 20. Nuova classe di attenzione sismica del caso-studio 1 nel caso in cui sia disponibile l'informazione relativa ai criteri di progettazione (simici o non-simici) (§4.2 delle Linee Guida)

Invece, immaginando di combinare il dato sui criteri di progettazione sismici con quello relativo alla categoria del sottosuolo, si passerebbe ad avere una CdA sismica MEDIA, quindi di una classe inferiore rispetto a quella ottenuta in assenza di questi dati, Figura 21.

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

Figura 21. Nuova classe di attenzione sismica del caso-studio 1 nel caso in cui sia disponibile l'informazione relativa alla categoria del sottosuolo e ai criteri di progettazione (simici o non-simici) (§4.2 delle Linee Guida)

Infine, si immagini di essere in possesso di studi trasportistici che consentano di valutare il livello di TGM MEDIO e non ALTO, come precedentemente stimato in via cautelativa, e che tale manufatto risulti presentare alternative stradali in caso di perdita di funzionalità (Figura 22), e che l'opera sia considerata non-strategica. Questo permetterebbe di valutare la classe di esposizione sismica MEDIO-BASSA, Figura 23.

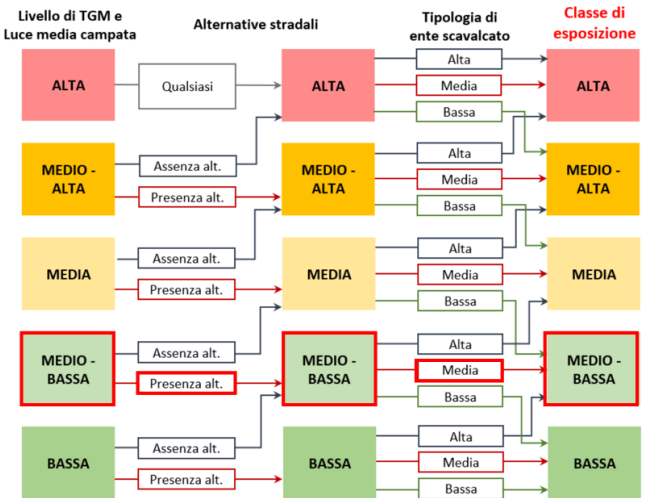


Figura 22. Nuova classe di esposizione strutturale e fondazionale (§4.2 delle Linee Guida)

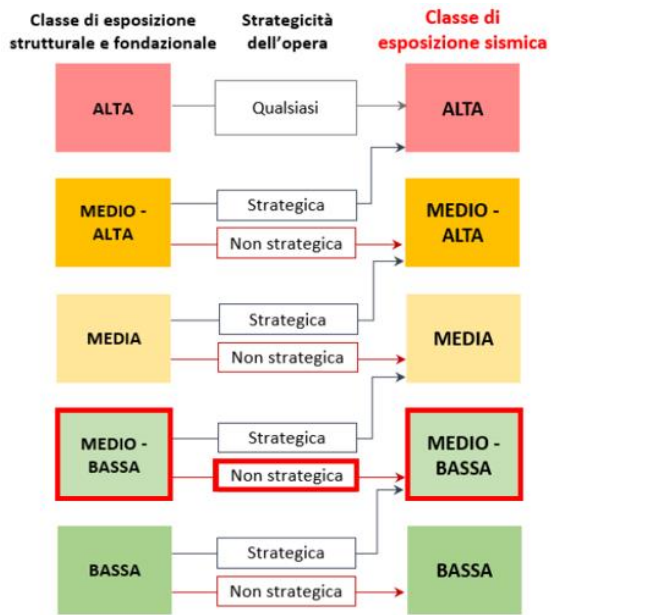


Figura 23. Nuova classe di esposizione sismica (§4.3 delle Linee Guida)

Tali informazioni, a parità di classe di pericolosità e vulnerabilità originali del manufatto in esame, porterebbero a valutare la classe di attenzione sismica in classe MEDIA, quindi una classe inferiore rispetto a quella definita precedentemente attraverso

l'introduzione di ipotesi conservative sulla stima dei parametri, Figura 24.

Classe di pericolosità MEDIO-BASSA

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

Figura 24. Nuova classe di attenzione sismica del caso-studio 1 nel caso in cui siano disponibili le informazioni relative al livello di TGM, alla presenza/assenza di alternative stradali e alla strategicità dell'opera (§4.2 delle Linee Guida)

Se si immagina infine che le informazioni sul livello di TGM, alternative stradali e strategicità dell'opera vengano aggiunte alle informazioni sulla categoria del sottosuolo e sui criteri di progettazione sismici, viste in precedenza, si potrebbe potenzialmente classificare la classe di attenzione sismica del manufatto in classe MEDIO-BASSA, cioè ben due classi inferiori rispetto a quella ottenuta in assenza di questi dati, Figura 25.

Classe di pericolosità BASSA

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

Figura 25. Nuova classe di attenzione sismica del caso-studio 1 nel caso in cui sia disponibile l'informazione relativa alla categoria del sottosuolo, ai criteri di progettazione (simici o non-simici), al livello di TGM, alla presenza/assenza di alternative stradali e alla strategicità dell'opera (§4.2 delle Linee Guida)

4.2 Caso-studio 2

Il secondo manufatto è lo svincolo di collegamento tra una strada statale e una strada provinciale, costituito da quattro campate di luce variabile con schema statico di semplice appoggio, Figura 26. Le pile presentano una sezione a fusto unico in C.A. a sezione poligonale; l'impalcato è una struttura in C.A.P., con travi a I in C.A.P. e traversi in C.A.

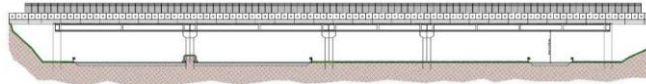


Figura 26. Sezione longitudinale del caso-studio 2

Anche per quest'opera, la documentazione progettuale originaria risulta assente, così come studi trasportistici specifici, utili a fornire informazioni relative al livello di TGM, presenza

di alternative stradali e strategicità dell’opera. Pertanto, al fine di valutare la classe di attenzione sismica del manufatto in esame, è opportuno procedere in via cautelativa assumendo la peggiore condizione, ragionevolmente prevedibile per il manufatto in esame.

L’area in cui è sito il ponte è caratterizzata da una accelerazione di picco a_g pari a 0.063g e da una categoria topografica T_1 , pertanto si colloca nella fascia MEDIO-BASSA di classe di pericolosità provvisoria, Figura 27.

	T1, T2, T3	T4
$a_g \geq 0,25 \text{ g}$	ALTA	ALTA
$0,15 \text{ g} \leq a_g < 0,25 \text{ g}$	MEDIO-ALTA	ALTA
$0,10 \text{ g} \leq a_g < 0,15 \text{ g}$	MEDIA	MEDIO-ALTA
$0,05 \text{ g} \leq a_g < 0,10 \text{ g}$	MEDIO-BASSA	MEDIA
$a_g < 0,05 \text{ g}$	BASSA	MEDIO-BASSA

Figura 27. Classe di pericolosità provvisoria del caso-studio 2 (§4.3 delle Linee Guida)

In assenza di dati relativi alla stratigrafia del sottosuolo, in via cautelativa viene assunta la categoria corrispondente ai terreni soffici (C, D ed E) e quindi la classe di pericolosità è MEDIO-BASSA, cioè una classe più gravosa rispetto a quella provvisoria, Figura 28.

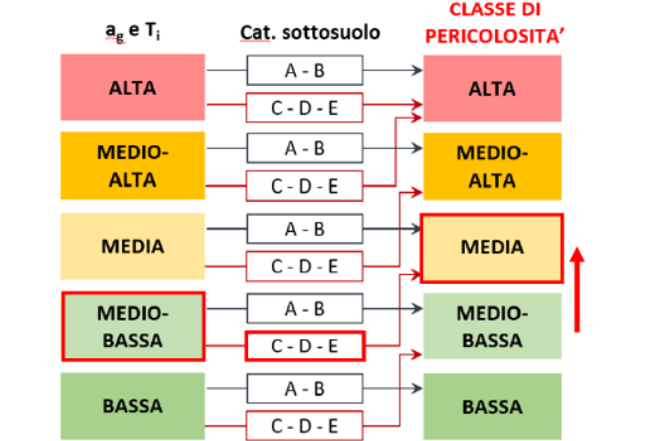


Figura 28. Classe di pericolosità del caso-studio 2 (§4.3 delle Linee Guida)

Si procede a valutare la classe di vulnerabilità ed in particolare, si passa a stimare la classe di vulnerabilità provvisoria in funzione di schema statico, luce media della campata e materiale di cui è fatto il ponte. Il ponte caso-studio 2 presenta uno schema isostatico di semplice appoggio, con impalcato in C.A.P. e luce media di circa 20.6 m, per un totale di 4 campate; pertanto, la classe di vulnerabilità provvisoria è ALTA, Figura 29.

		Schema isostatico		Schema iperstatico	
		L medio-piccola	L elevata	L medio-piccola	L elevata
C.A.	Singola campata	Media	Medio-alta	Bassa	Medio-bassa
	Multi-campata	Medio-alta	Alta	Medio-bassa	Media
C.A.P.	Singola campata	Media	Medio-alta	-	-
	Multi-campata	Medio-alta	Alta	Medio-bassa	Media
Muratura	Singola campata	-	-	Bassa	Medio-bassa
	Multi-campata	-	-	Medio-bassa	Media
Acciaio	Singola campata	Medio-bassa	Medio-bassa	Bassa	Bassa
	Multi-campata	Media	Media	Medio-bassa	Medio-bassa

Figura 29. Classe di vulnerabilità provvisoria del caso-studio 2 (§4.3 delle Linee Guida)

L’assenza di documentazione relativa al manufatto in esame, rende necessario assumere che i criteri di progettazione con cui è stato realizzato il ponte siano non-sismici. Tuttavia, tale ipotesi è influente in quanto la classe di vulnerabilità provvisoria è già ALTA, Figura 30.

Dall’ispezione condotta sull’opera è risultato un livello di difettosità sismica MEDIA, e pertanto la classe di vulnerabilità del ponte è stimata MEDIO-ALTA, Figura 30.

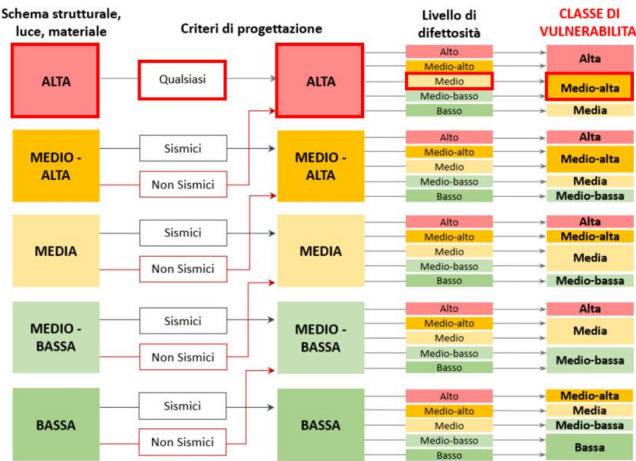


Figura 30. Classe di vulnerabilità del caso-studio 2 (§4.3 delle Linee Guida)

Infine, si passa alla valutazione della classe di esposizione. Anche in questo caso, l’assenza di dati trasportistici specifici, rende necessario stimare in via cautelativa il livello di TGM ragionevolmente prevedibile per il manufatto. In questo caso, l’ente gestore ha fornito i dati relativi al livello di TGM della strada statale collegata allo svincolo; a favore di sicurezza, è stato adottato il medesimo livello di TGM (Alto, ≥ 25000 veicoli/giorno), che, combinato con il fatto che il ponte è di Media luce ($20\text{m} < L \leq 50\text{m}$), porta a stimare una classe di esposizione preliminare MEDIO-ALTA (Figura 31). L’assenza di dati specifici relativi al ponte, ha portato a selezionare in via cautelativa l’assenza di possibili alternative stradali, e questo ha causato il salto di classe, da MEDIO-ALTA ad ALTA. Il ponte è uno svincolo di collegamento con una strada statale, che ricade quindi nella

tipologia ALTA di ente scavalcato. Pertanto, la classe di esposizione strutturale e fondazionale risulta ALTA, Figura 32.

Luce media della campata	Livello di TGM		
	Alta	Media	Bassa
Grande luce	Alta	Medio-Alta	Media
Media luce	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa
Piccola luce	Media	Medio-Bassa	Bassa

Figura 31. Livello di TGM e luce media della campata del ponte caso-studio 2 (§4.2 delle Linee Guida)

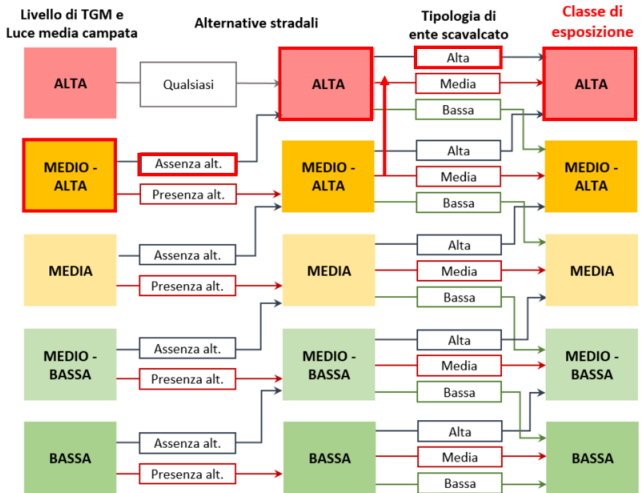


Figura 32. Classe di esposizione strutturale e fondazionale del caso-studio 2 (§4.2 delle Linee Guida)

La classe di esposizione strutturale e fondazionale deve essere poi combinata con l’informazione relativa alla strategicità dell’opera, anche questa mancante per il manufatto in analisi. Tuttavia, poiché la classe di esposizione strutturale e fondazionale è ALTA, indipendentemente dalla strategicità dell’opera, anche la classe di esposizione sismica viene valutata ALTA, Figura 33.

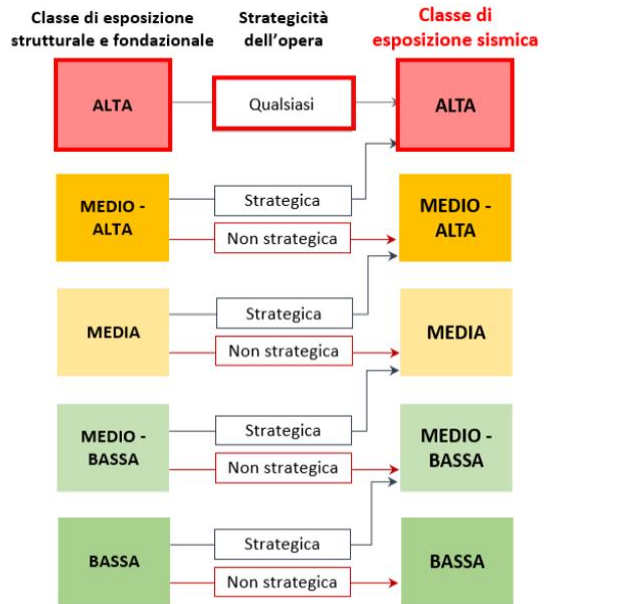


Figura 33. Classe di esposizione sismica del caso-studio 2 (§4.3 delle Linee Guida)

In conclusione, combinando gli esiti delle classi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, il ponte risulta classificato con una classe di attenzione sismica MEDIO-ALTA, Figura 34.

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

Figura 34. Classe di attenzione sismica del caso-studio 2 (§4.2 delle Linee Guida)

Come fatto per il caso-studio 1, si ipotizzi di essere in possesso della documentazione tecnica relativa al ponte e si valuti l’influenza che la conoscenza dei dati mancanti può avere sulla definizione della classe di attenzione sismica finale.

Si ipotizzi ad esempio che siano noti i dati relativi alla stratigrafia del terreno e che la categoria del sottosuolo ricada nella prima fascia (categoria A, B). La classe di pericolosità diventa quindi MEDIO-BASSA (Figura 35); tuttavia, tale informazione, a parità di classe di vulnerabilità ed esposizione, non porterebbe alcuna modifica all’esito finale della classe di attenzione sismica, che risulterebbe comunque MEDIO-ALTA, Figura 36.

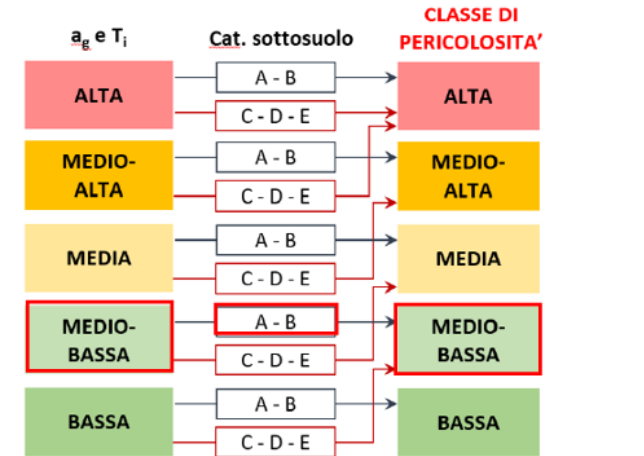


Figura 35. Classe di attenzione sismica del caso-studio 2 (§4.2 delle Linee Guida)

		Classe di pericolosità MEDIO-BASSA				
		Classe di esposizione				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di vulnerabilità	Alta	Alta				
	Medio-Alta	Medio-Alta		Media		
	Media	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa		
	Medio-Bassa	Media		Medio-Bassa	Bassa	
	Bassa	Media	Medio-Bassa	Bassa		

Figura 36. Nuova classe di attenzione sismica del caso-studio 2 nel caso in cui sia disponibile l'informazione relativa alla categoria del sottosuolo (§4.2 delle Linee Guida)

Anche nel caso in cui sia disponibile la documentazione tecnica relativa al manufatto in esame, in cui verificare se i criteri di progettazione siano sismici o meno, non si avrebbe alcuna modifica nella valutazione della classe di vulnerabilità (che ricadrebbe comunque nella classe ALTA, Figura 30) e di conseguenza nella classe di attenzione sismica (che sarebbe sempre MEDIO-ALTA, Figura 34, Figura 36).

Infine, immaginando che siano disponibili studi trasportistici relativi all'opera in analisi, si assume che il livello di TGM sia BASSO, in quanto tale svincolo di collegamento sia solitamente poco trafficato. Si ipotizzi inoltre che da tale documentazione risultino presenti alternative stradali; queste informazioni, combinate al fatto che l'ente scavalcato è di tipologia ALTA, porterebbero la classe di esposizione strutturale e fondazionale in MEDIA, Figura 37. Immaginando poi che l'opera sia considerata non-strategica, la classe di esposizione sismica risulterebbe MEDIA, Figura 38.

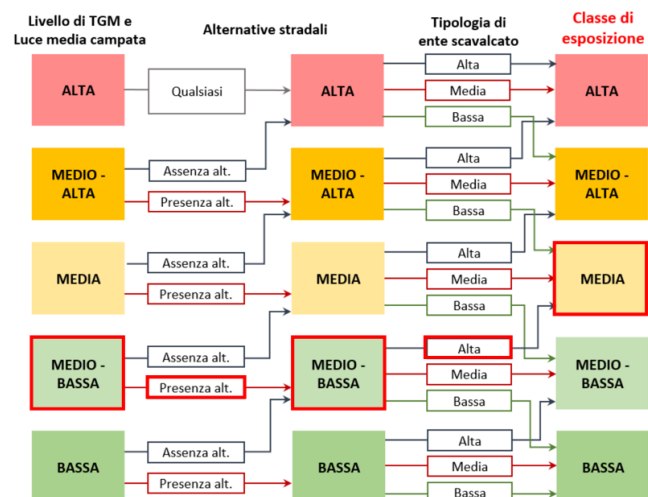


Figura 37. Nuova classe di esposizione strutturale e fondazionale del caso-studio 2 (§4.2 delle Linee Guida)

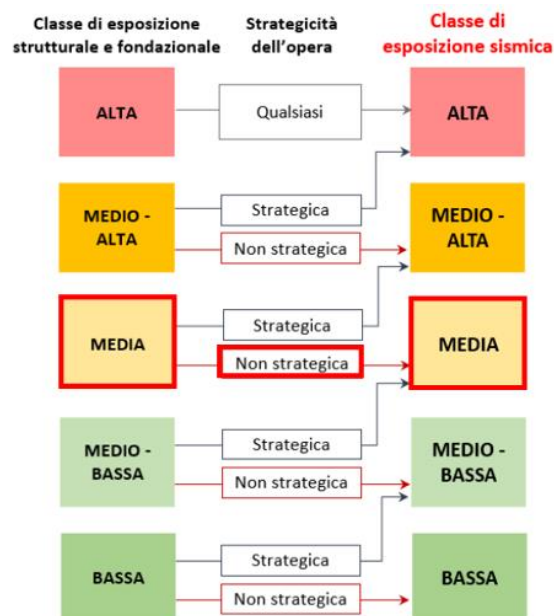


Figura 38. Nuova classe di esposizione sismica del caso-studio 2 (§4.3 delle Linee Guida)

Tali informazioni, a parità di classe di pericolosità e vulnerabilità originali del manufatto in esame, porterebbero a valutare comunque la classe di attenzione sismica in classe MEDIO-ALTA (Figura 39), quindi non si avrebbe alcuna modifica (Figura 34).

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

Figura 39. Nuova classe di attenzione sismica del caso-studio 2 nel caso in cui siano disponibili le informazioni relative al livello di TGM, alla presenza/assenza di alternative stradali e alla strategicità dell'opera (§4.2 delle Linee Guida)

Se invece si immagina di combinare la nuova classe di pericolosità (MEDIO-BASSA) con la nuova classe di esposizione sismica (MEDIA), la classificazione della classe di attenzione sismica diventerebbe MEDIA, cioè una classe inferiore rispetto a quella ottenuta in assenza di questi dati, Figura 40.

		Classe di pericolosità MEDIO-BASSA				
		Classe di esposizione				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di vulnerabilità	Alta	Alta				
	Medio-Alta	Medio-Alta		Media		
	Media	Medio-Alta	Media		Medio-Bassa	
	Medio-Bassa	Media		Medio-Bassa		Bassa
	Bassa	Media	Medio-Bassa		Bassa	

Figura 40. Nuova di attenzione sismica del caso-studio 2 nel caso in cui sia disponibile l'informazione relativa alla categoria del sottosuolo, ai criteri di progettazione (simici o non-simici), al livello di TGM, alla presenza/assenza di

5 CONCLUSIONI

Specialmente nel caso di opere datate o che abbiano subito un trasferimento di competenze da un ente ad un altro, vi è un evidente problema di carenza o incompletezza di informazioni necessarie alla valutazione della classe di attenzione sismica. Tali informazioni sono relative a categoria del sottosuolo, livello di TGM, criteri di progettazione (sismici o non-sismici), presenza di possibili alternative stradali e strategicità dell'opera.

Nel presente contributo è stato valutato l'impatto che ciascuno di questi parametri (primari e secondari) per la determinazione dei fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione sismica, ha sulla valutazione finale della classe di attenzione sismica. Le Linee Guida permettono, in assenza di dati, di procedere in via cautelativa assumendo la peggiore condizione, ragionevolmente prevedibile per l'opera in esame. Si è dimostrato che tale approccio può portare a sovrastimare la classe di attenzione sismica fino ad un massimo di 3 classi. In questo flusso logico, il parametro più influente risulta il livello di TGM, in quanto si tratta di un parametro primario. Tuttavia, come evidenziato nei due casi applicativi, anche i parametri secondari possono avere una certa influenza sull'esito finale quando vengono combinati assieme.

Infine, si nota come le ipotesi avanzate per colmare l'assenza di dati abbiano un peso meno rilevante quanto maggiore è il livello di difettosità dell'opera valutato in fase di ispezione.

BIBLIOGRAFIA

CSLLPP (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici), 2020.
Decreto del Ministero delle Infrastrutture n. 578 del 17.12.2020. Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti.