



PROVINCIA DI
AREZZO (AR)

SETTORE VIABILITÀ - LL.PP. SERVIZIO
COORDINAMENTO LAVORI PUBBLICI E PNRR
DELLA LA PROVINCIA DI AREZZO



LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.45
PONTE ALLA PIERA, KM. 5+400, LOCALITÀ LE STRETTE, COMUNE DI ANGHIANI
CUP: I97H21003470001



PROGETTO ESECUTIVO

COMMITTENTE
PROVINCIA DI AREZZO (AR)

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
ARCH. GIUSEPPINA BOCCHINI

RTP PROGETTAZIONE
CAPOGRUPPO

operating.studio

VIA FUCILARI, 43/A
84014 - NOCERA INFERIORE (SA)

OPERATING S.R.L.
Via Fucilari 43/A - 84014
Nocera Inferiore (SA)
P.IVA 05927360651

DIRETTORE TECNICO
ING. ANTONIO PAUCIULO

Antonio
Pauciulo
24.08.2026
15:20:02
GMT+01:00

MANDANTI

DOTT. GEOL. UMBERTO BORGIA

VIA PANORAMICA, 25/D
84125 - SALERNO (SA)

REDATTO |

ING. E. BELLO

VERIFICATO |

ING. F. PAUCIULO

APPROVATO |

ING. A. PAUCIULO

CODICE ELABORATO

SP45_PE_DOC_12

NOME ELABORATO

RELAZIONE CDA

DATA EMISSIONE

DICEMBRE 2023

GIUGNO 2024

REV

00

PRIMA EMISSIONE

01

SECONDA EMISSIONE

SCALA

-



SOMMARIO

1	DESCRIZIONE DELL'OPERA	3
2	INTRODUZIONE	5
3	VALUTAZIONE DELLA CLASSE DI ATTENZIONE.....	7
3.1	CdA strutturale e fondazionale	14
3.1.1	Classe di pericolosità.....	15
3.1.2	Classe di vulnerabilità.....	17
3.1.3	Classe di esposizione.....	19
3.1.4	Determinazione CdA strutturale e fondazionale	22
3.2	CdA sismica	23
3.2.1	Classe di pericolosità.....	24
3.2.2	Classe di vulnerabilità.....	26
3.2.3	Classe di esposizione.....	29
3.2.4	Determinazione CdA sismica	30
3.3	CdA associata al rischio frane.....	31
3.3.1	Instabilità di versante	32
3.3.2	Suscettibilità.....	34
3.3.3	Classe di vulnerabilità.....	36
3.3.4	Determinazione CdA rischio frane.....	36
3.4	CdA associata al rischio idraulico	37
3.4.1	Stima della pericolosità legata al rischio idraulico	39
3.4.2	Determinazione CdA associata al rischio idraulico.....	42



4 DEFINIZIONE CDA COMPLESSIVA 43

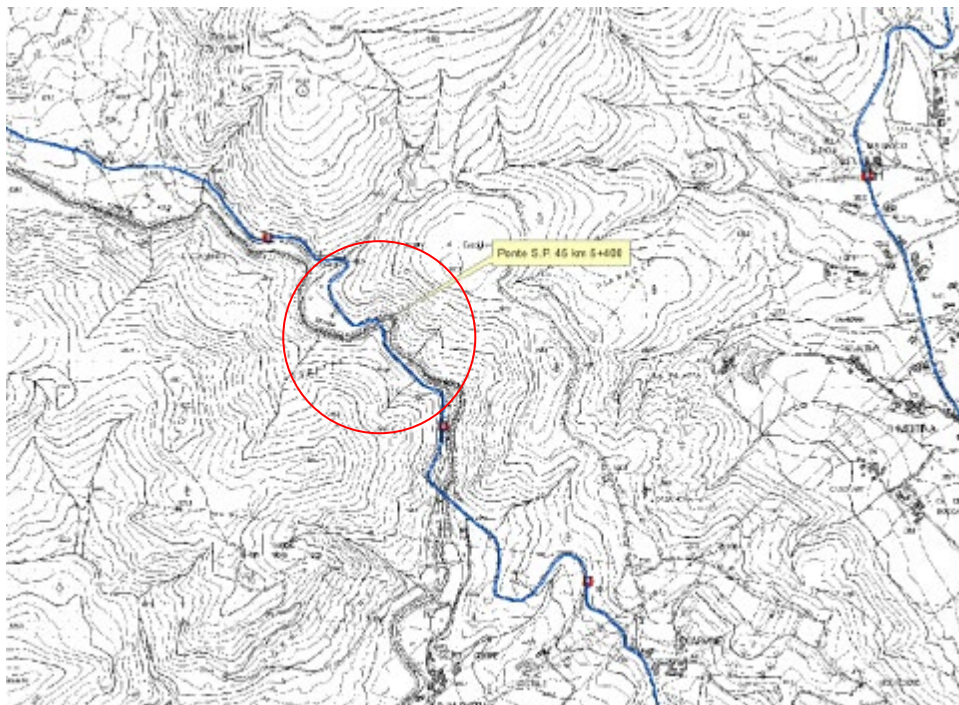
Figura 1 - Approccio multilivello e relazione tra i livelli di analisi.....	9
Figura 2 - Flusso logico per la determinazione della classe di attenzione.....	14
Figura 3 - Flusso logico per la determinazione della classe di esposizione strutturale e fondazionale.....	19
Figura 4 - Flusso logico per la determinazione della classe di pericolosità sismica.....	26
Figura 5 - Flusso logico per la determinazione della classe di vulnerabilità sismica.....	29
Figura 6 - Flusso logico per la determinazione della classe di esposizione sismica.....	30
Figura 7 - Flusso logico per la determinazione della classe di suscettibilità	35
Figura 8 - Flusso logico per la determinazione della classe di vulnerabilità	36



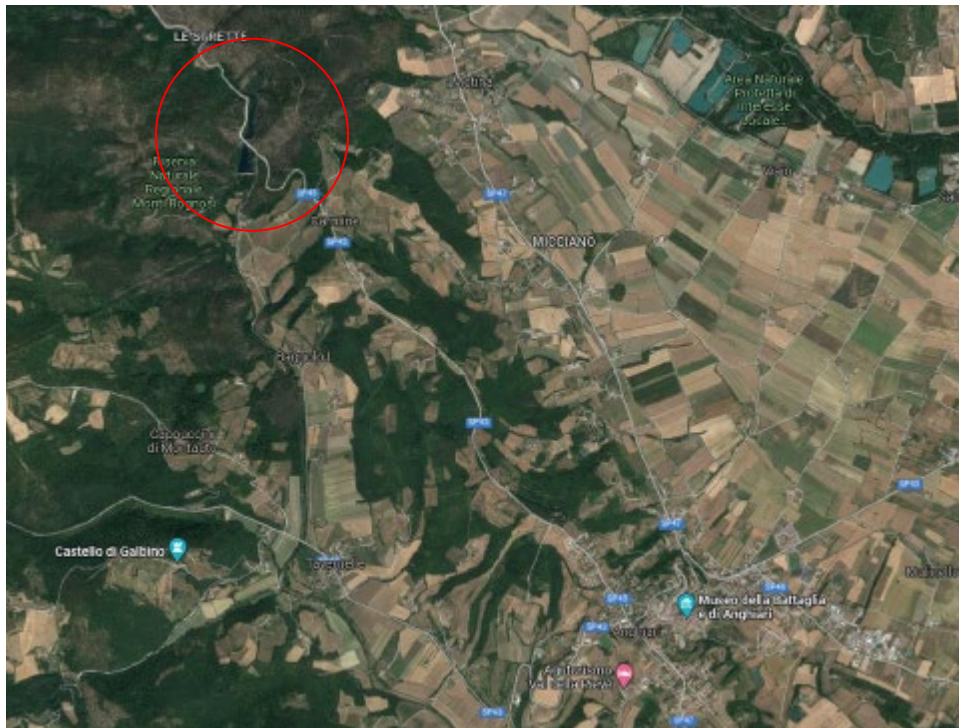
1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'oggetto della presente riguarda il servizio di progettazione esecutiva svolta per conto di ANAS S.p.A. riguardante "Lavori di manutenzione straordinaria di ripristino del ponte sulla S.P.45 Ponte della Piera, km. 5+400, località le Strette, Comune di Anghiari"

L'opera si colloca sulla Strada Provinciale SP 45 Ponte della Piera al km 5+400 attraversante il Torrente Sovara in località Le Strette nel Comune di Anghiari.



Al catasto è individuabile all'interno del Foglio 26 e 27 del comune di Anghiari.





2 INTRODUZIONE

La **valutazione della sicurezza** di una struttura esistente è un procedimento quantitativo, volto a determinare l'entità delle azioni (statiche e sismiche) che la struttura è in grado di sostenere con il livello di sicurezza minimo richiesto dalla vigente normativa.

Nella valutazione della sicurezza deve essere esplicitato, esprimendolo in termini di **rapporto fra capacità e domanda**, il livello di sicurezza della struttura al suo stato attuale.

Nell'ambito delle determinazioni dei vari livelli di sicurezza, gioca un ruolo certamente fondamentale il **livello di conoscenza** della struttura in termini di materiali, procedimenti progettuali originari e stato di degrado delle opere. Per poter avere un adeguato livello di conoscenza dello stato di consistenza delle varie opere, oltre che reperire tutto il materiale originario di progetto (sia esso composto da elaborati di progetto, elaborati di contabilità e quant'altro disponibile) è necessario effettuare una adeguata campagna di indagini materiche prevedendo prove di natura sia invasiva che non, ubicando le stesse in ambiti sensibili determinati dal progettista, fondamentali per la staticità dell'opera nell'obiettivo di un corretto dimensionamento strutturale. Per tale motivo sono state poste in essere campagne di indagine le quali hanno permesso di prevenire al Livello di Conoscenza **LC2**. Nel seguito saranno esplicitate tutte le procedure di analisi che hanno permesso di pronunciarsi in maniera quantitativa sulla vulnerabilità dell'opera in oggetto.





3 VALUTAZIONE DELLA CLASSE DI ATTENZIONE

La classificazione dei ponti consiste nella stima, semplificata e speditiva, dei fattori di “rischio” associata ai manufatti, censiti ed ispezionati nei livelli precedenti. Il rischio associato ai ponti è stimato in modo approssimato mediante la *Classe di Attenzione* (CdA).

Sono previste 5 classi di attenzione:

- Classe alta
- Classe media-alta
- Classe media
- Classe media-bassa
- Classe bassa

Il valore della classe di attenzione è individuato mediante la valutazione semplificata della pericolosità, dell’esposizione e della vulnerabilità associati alla singola opera, effettuata elaborando i risultati scaturenti dalle ispezioni visive. In ogni caso, la classe di attenzione determinata non può essere inferiore alla CdA bassa e superiore alla CdA alta.

Nello specifico occorre innanzitutto specificare quali sono i rischi considerati rilevanti per le strutture da ponte considerando le loro peculiarità e delle dei contesti in cui esse sono generalmente inserite. Anche in considerazione dei diversi periodi di ritorno e della diversa natura delle azioni preponderanti da cui esse dipendono, risulta conveniente distinguere quattro tipologie di rischio:

- Rischio strutturale e fondazionale
- Rischio sismico
- Rischio frane
- Rischio idraulico



È dunque necessario analizzare i rischi rilevanti in maniera separata ed indipendente, definendo un metodo di classificazione e, quindi, una classe di attenzione diversa per ognuno di essi distinguendo:

- Classe di attenzione strutturale e fondazionale;
- Classe di attenzione sismica;
- Classe di attenzione frane;
- Classe di attenzione idraulica.

I metodi con cui sono valutati e classificate le diverse CdA si basano su regole e approcci comuni.

Note le CdA associate ai rischi rilevanti, esse sono poi combinate tra di loro in modo da ottenere la CdA complessiva del ponte su cui basare le successive azioni da intraprendere.

Come si evince da Figura 1, il fulcro centrale dell'approccio, sui cui risultati si basano le valutazioni successive, è il Livello 2, ossia la definizione delle classi di attenzione.

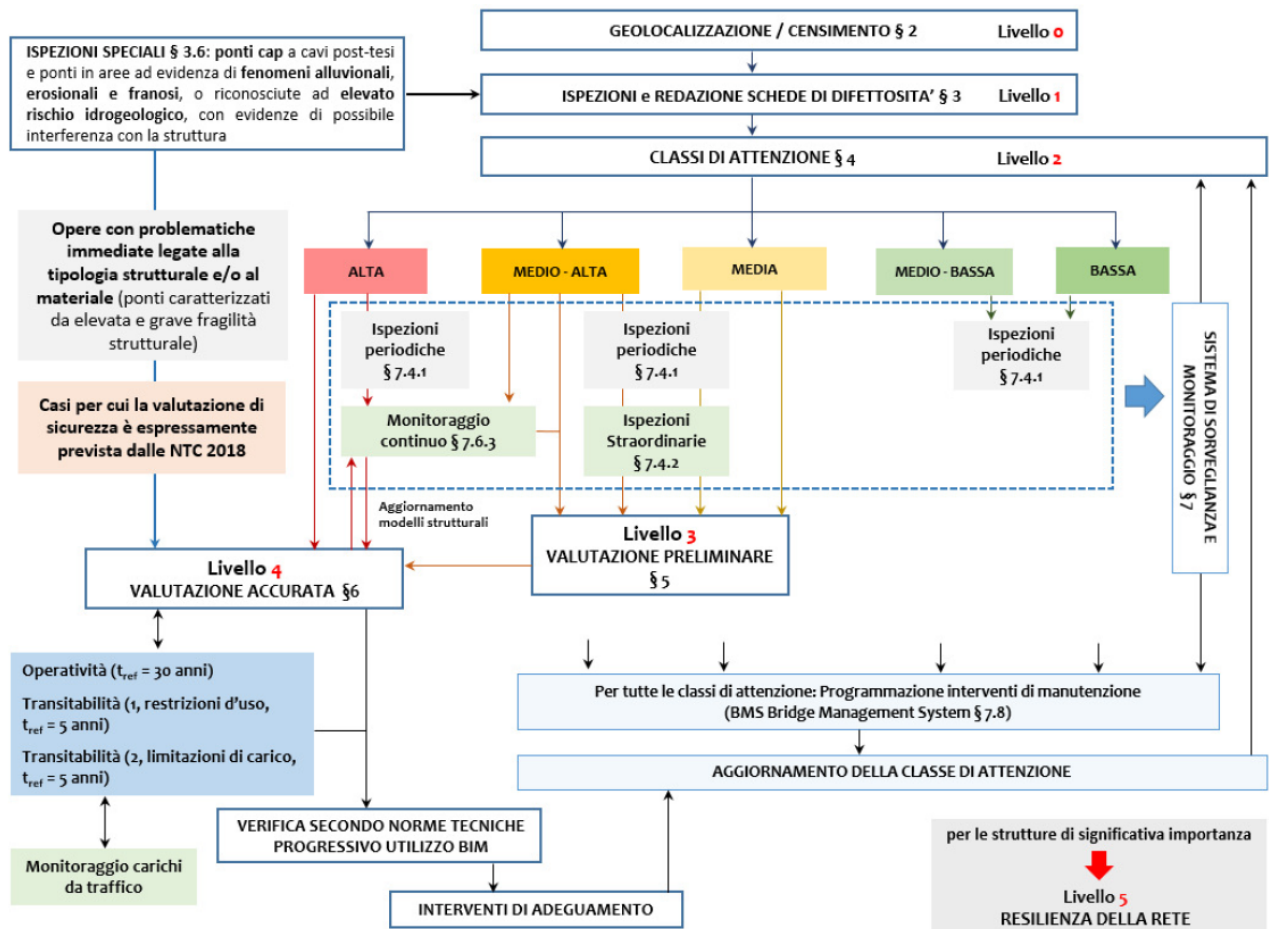


Figura 1- Approccio multilivello e relazione tra i livelli di analisi

Ad ogni classe, quindi, corrispondono determinate conseguenti azioni in termini di indagini/monitoraggio/verifiche.

In particolare:

- Per i ponti con classe di attenzione Alta è opportuno l'immediato avvio di valutazioni più accurate, sia in termini di valutazioni di sicurezza sia di approfondimenti sulle caratteristiche geotecniche e/o strutturali, laddove necessario. Per i ponti di Classe di Attenzione Alta è prevista l'esecuzione delle ispezioni periodiche ordinarie e, ove si rendesse necessario, delle ispezioni periodiche straordinarie e l'installazione di sistemi di monitoraggio periodico o continuo.
- Per i ponti con classe di attenzione Medio-Alta è previsto l'impiego di valutazioni preliminari di Livello 3 e l'esecuzione delle ispezioni periodiche ordinarie.



- Per ponti con CdA Media occorre eseguire valutazioni preliminari di Livello 3, così come descritto per la CdA Medio-Alta, ed ispezioni periodiche ordinarie. Ove si rendesse necessario nel caso, sulla base delle ispezioni periodiche ordinarie, siano stati rilevati fenomeni di degrado in rapida evoluzione, è necessario eseguire anche ispezioni periodiche straordinarie.
- Per i ponti in CdA Medio-Bassa e Bassa non sono previste valutazioni o analisi diverse da quelle già eseguite bensì l'esecuzione di ispezioni periodiche frequenti.

L'approccio multilivello rappresentato in figura 1 prevede 6 livelli differenti conoscitivi, con grado di approfondimento e complessità crescenti:

- Il **Livello 0** prevede il censimento di tutte le opere e delle loro caratteristiche principali mediante la raccolta delle informazioni e della documentazione disponibile;
- Il **Livello 1** prevede l'esecuzione di ispezioni visive dirette e il rilievo speditivo della struttura e delle caratteristiche geo-morfologiche ed idrauliche dell'area, tese ad individuare lo stato di degrado e le principali caratteristiche strutturali ed geometriche di tutte le opere, nonché le potenziali condizioni di rischio.
- Il **Livello 2** consente di giungere alla classe di attenzione di ogni ponte, sulla base dei parametri di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, determinata elaborando i risultati ottenuti dai livelli precedenti. In funzione di tale classificazione, si procede con uno dei livelli successivi.
- Il **Livello 3** prevede l'esecuzione di valutazioni preliminari atte a comprendere, unitamente all'analisi eseguita al Livello 1, se sia comunque necessario procedere ad approfondimenti mediante l'esecuzione di verifiche accurate di Livello 4.
- Il **Livello 4** prevede l'esecuzione di valutazioni accurate sulla base di quanto indicato dalle Norme Tecniche per le costruzioni vigenti.
- Il **Livello 5** si applica ai ponti considerati di significativa importanza e per tali manufatti sono previste delle analisi più sofisticate.



Il primo step, dunque, si traduce nella raccolta delle informazioni disponibili in maniera coerente riguardanti localizzazione, informazioni generali, dati del progetto, dati geomorfologici etc.. (Livello 0).

Il Livello 1 consiste nell'esecuzione di ispezioni visive che hanno il principale scopo di raccogliere ulteriori informazioni circa le effettive caratteristiche geometriche e strutturali dell'opera e del sito di costruzione ed, inoltre, valutare in maniera speditiva il grado di conservazione del ponte. La procedura prevede un accurato rilievo fotografico e geometrico ed inoltre la compilazione della cosiddetta scheda di difettosità che consentirà di individuare eventuali elementi critici soggetti a fenomeni di degrado e i cui eventuali malfunzionamenti possono incidere sul comportamento strutturale globale del ponte. Nel caso in esame è possibile individuare porzioni di murature mancante (peso del difetto $G=3$), queste ultime non sono localizzate in corrispondenza di fessure e per tale ragione è possibile individuare le cause del deterioramento dei materiali per effetto del tempo e contestualmente per la presenza di vegetazione infestante che in concomitanza con gli agenti atmosferici facilita la disgregazione della muratura. I fenomeni di degrado correlati fanno riferimento ad una possibile progressione del tempo che potrebbe comportare una riduzione della sezione resistenze, molto pericolosa se si sviluppa su elementi portanti primari. Si riscontra, inoltre, anche la presenza di polverizzazione, ovvero, la caduta spontanea del materiale costituente i giunti di malta o gli elementi lapidei in forma di polveri o granuli. La rapidità di evoluzione del degrado è stimata in funzione del periodo di costruzione del ponte, nel caso di assenza di interventi manutentivi, o del periodo di attuazione dell'ultimo intervento di manutenzione significativo, in caso contrario.

Alla fine si distinguono 3 categorie in funzione del periodo di costruzione o dell'ultimo intervento di manutenzione significativa:

- Periodo di costruzione o dell'ultimo intervento di manutenzione significativo antecedente al 1945;
- Periodo di costruzione o dell'ultimo intervento di manutenzione significativo compreso tra il 1945 e 1980;



- Periodo di costruzione o dell'ultimo intervento di manutenzione significativo posteriore al 1980;

ALTO	Difetti di gravità alta o medio-alta ($G=5$ o $G=4$) e di qualsiasi intensità su elementi critici (selle Gerber, appoggi, cavi di precompressione, fondazioni scalzate, si veda definizione del § 3.3) o presenza di condizioni critiche (quadri fessurativi molto estesi ed intensi, cinematismi in atto, incipiente perdita di appoggio)
MEDIO-ALTO	Difetti di gravità alta o medio-alta ($G=5$ o $G=4$) e di intensità elevata su elementi la cui crisi può compromettere la statica dell'opera, come segnalato nella scheda di rilievo all'Allegato B
MEDIO	Difetti di gravità alta o medio-alta ($G=5$ o $G=4$) e di intensità elevata su elementi la cui crisi non può compromettere il comportamento statico globale dell'opera e difetti di gravità alta ($G=5$) e di intensità medio-bassa
MEDIO-BASSO	Difetti di gravità medio-alta ($G=4$) con intensità medio-bassa e difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$) e di qualsiasi intensità, in numero elevato
BASSO	Difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$) e di qualsiasi intensità, in numero esiguo

Di seguito si riporta la documentazione fotografica derivante dell'ispezione visiva dell'opera.



13





3.1 CdA strutturale e fondazionale

14

Il **Livello 2** è sicuramente quello più articolato e importante poiché consente di giungere al fondamentale concetto della classe di attenzione ed ha come obiettivo quello di stimare il rischio associato al ponte esistente come precedentemente descritto. La CdA strutturale e fondazionale si forma considerando i fattori che influenzano il comportamento strutturale del ponte: parametri relativi all'entità e alla frequenza dei carichi da traffico, caratteristiche prettamente strutturali delle opere

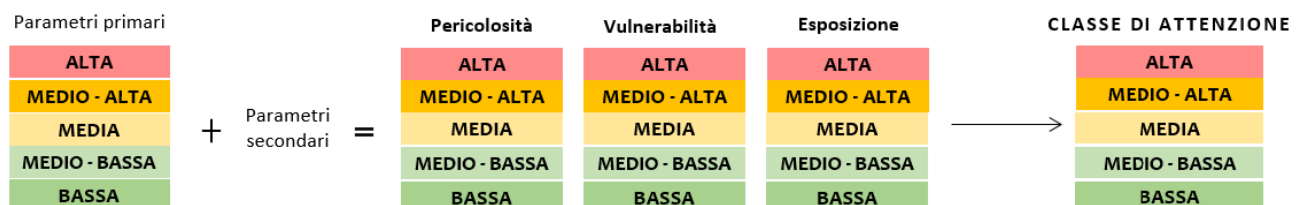


Figura 2 - Flusso logico per la determinazione della classe di attenzione



Per la classe di attenzione strutturale e fondazionale considera i principali parametri influenti sul comportamento strutturale dell'opera nelle sue usuali condizioni di esercizio. Si tratta quindi di parametri relativi all'entità e alla frequenza dei carichi da traffico, nonché fattori inerenti alle caratteristiche prettamente strutturali delle opere o, ancora, parametri legati al corretto funzionamento e gestione della rete stradale di appartenenza. Essi sono distinti in "parametri primari" e "parametri secondari"

	Parametri primari	Parametri secondari
Pericolosità	Entità dei carichi presenti con particolare riferimento al transito di trasporto eccezionale	-
Vulnerabilità	Livello di difettosità Schema statico, luce, materiale e numero di campate	Rapidità di evoluzione del degrado Norma di progettazione
Esposizione	Livello di TGM e luce media della campata	Alternative stradali Tipologia di ente scavalcato Trasporto di merci pericolose

Tabella 1 - Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione strutturale e fondazionale

3.1.1 Classe di pericolosità

La pericolosità è legata alla probabilità che il ponte sia interessato dal passaggio di carichi di massa rilevante; l'attribuzione della CdA fa quindi riferimento alle limitazioni di transito vigenti all'atto della relativa valutazione.

In funzione della massima massa ammissibile, le strade si classificano come nel seguito:

- Classe A: carichi di progetto previsti dalle Norme tecniche;
- Classe B: limitazione di carico a 44 t (circa 73% carichi di progetto NTC);
- Classe C: limitazione di carico a 26 t (circa 43% carichi di progetto NTC);
- Classe D: limitazione di carico a 8,0 t (circa 13% carichi di progetto NTC);
- Classe E: limitazione di carico a 3,5 t (circa 6 % carichi di progetto NTC).



Le percentuali sono riferite ai carichi concentrati su due assi in tandem, complessivamente pari a 600 kN, previsto dallo schema di carico I delle Norme tecniche.

La classificazione della strada va poi combinata con la frequenza del transito di veicoli commerciali per singola corsia di marcia:

- *Frequenza alta*: ≥ 700 veicoli/giorno;
- *Frequenza media*: $300 < \text{veicoli/giorno} < 700$;
- *Frequenza bassa*: ≤ 300 veicoli/giorno;

Combinando quindi, attraverso la seguente tabella, classificazione e frequenza, si ottiene la **classe di pericolosità** del ponte.

Classe A Carichi di progetto previsti dalle Norme Tecniche	Frequenza passaggi di veicoli commerciali		
	Alta	Media	Bassa
	ALTA	ALTA	MEDIO-ALTA
Classe B Limitazione di carico a 44 t	Frequenza passaggi di veicoli commerciali		
	Alta	Media	Bassa
	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIA
Classe C Limitazione di carico a 26 t	Frequenza passaggi di veicoli commerciali		
	Alta	Media	Bassa
	MEDIO-ALTA	MEDIA	MEDIO-BASSA
Classe D Limitazione di carico a 8,0 t	Frequenza passaggi di veicoli commerciali		
	Alta	Media	Bassa
	MEDIA	MEDIO-BASSA	BASSA
Classe E Limitazione di carico a 3,5 t	BASSA		

Tabella 2 - Classi di pericolosità in funzione della classe stradale e della frequenza del passaggio di veicoli commerciali



3.1.2 Classe di vulnerabilità

Il fattore di vulnerabilità dipende da diversi parametri; in particolare:

- Parametri principali: livello di difettosità, schema strutturale, luce, materiale e numero di campate;
- Parametri secondari: rapidità di evoluzione del degrado e norme di progettazione

Nei capitoli precedenti è stato valutato il livello di difettosità tenendo conto delle norme di progettazione, affrontiamo adesso la vulnerabilità strettamente connessa con le caratteristiche strutturali, in termini di schema statico, luce e materiale da costruzione. Con riferimento alla tabella che segue, si caratterizza il ponte in esame:



Schema statico	Materiale	$L \leq 5 \text{ m}$	$5 \text{ m} < L < 15 \text{ m}$	$15 \text{ m} \leq L < 25 \text{ m}$	$L \geq 25 \text{ m}$
Travate appoggiate	C.a.	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA	ALTA
	C.a.p.	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIA	MEDIO-ALTA
	Acciaio	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA
	Metallo (Ponti storici)	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA	ALTA
	Legno	MEDIA	MEDIO-ALTA	ALTA	ALTA
	Misto*	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA	ALTA
Travate continue / Telaio	C.a.	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA
	C.a.p.	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIA
	Acciaio	BASSA	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA
	Metallo (Ponti storici)	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA
	Misto*	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA
Arco massiccio	Muratura	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA
	C.a.	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIA
Arco sottile	C.a.	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIA	MEDIO-ALTA
Travate Gerber / Ponti a stampella con travi tampone	C.a.	MEDIO-ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
	C.a.p.	MEDIO-ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-ALTA	ALTA
	Acciaio	MEDIA	MEDIO-ALTA	MEDIO-ALTA	ALTA
	Metallo (Ponti storici)	MEDIO-ALTA	MEDIO-ALTA	ALTA	ALTA
	Misto*	MEDIO-ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
Soletta appoggiata	C.a.	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA	ALTA
Soletta incastrata	C.a.	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA

Tabella 3 - Classi di vulnerabilità in funzione di schema statico, luce e materiale (L = luce della campata più lunga)

Si individua una classe **MEDIO-BASSA** in funzione dello schema statico del ponte.



3.1.3 Classe di esposizione

La stima del livello di esposizione è basata sui dati di traffico relativi alla rete stradale di interesse, in termini di frequenza, veicoli transitati, oltre che su fattori legati alla capacità della rete di fronteggiare situazioni impreviste.

I parametri da considerare per la valutazione del fattore di esposizione sono:

- Parametri primari: Livello di Traffico Giornaliero Medio (TGM) e luce della campata;
- Parametri secondari: presenza o meno di alternative stradali, tipologia di ente scavalcato, trasporto merci pericolose.

Il valore dei parametri primari determina una distinzione in 5 classi o livelli di esposizione che è poi modificata dal valore dei parametri secondari secondo lo schema che segue:

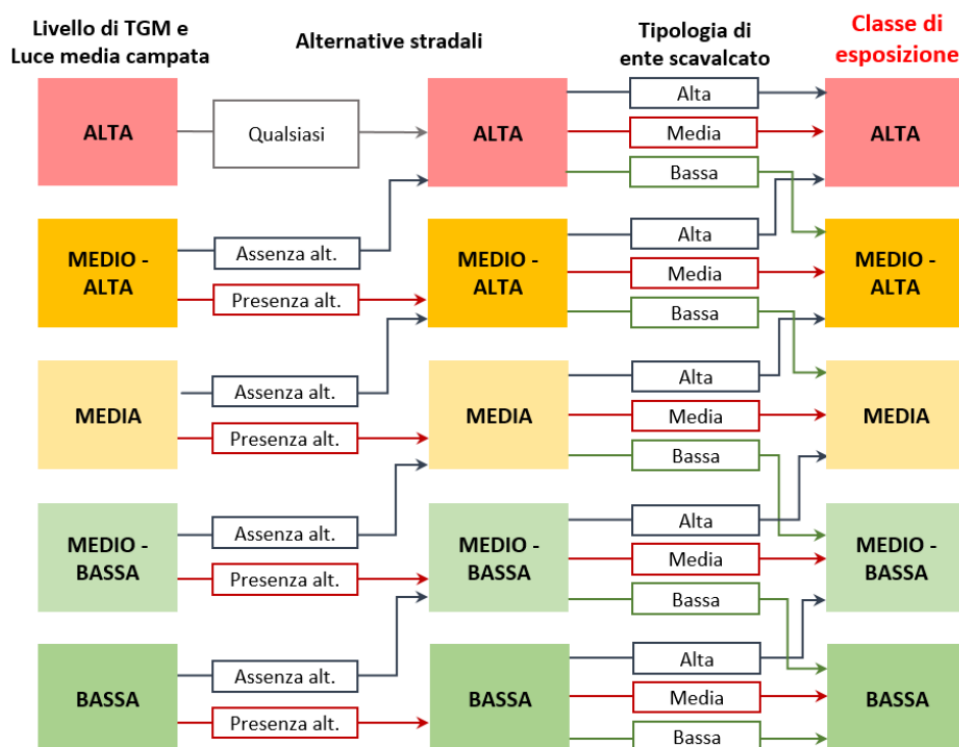


Figura 3 - Flusso logico per la determinazione della classe di esposizione strutturale e fondazionale

Mediante le informazioni relative alle reti stradali di appartenenza si può ricavare il volume di traffico previsto in termini di Traffico Medio Giornaliero (TGM) ossia il numero medio di veicoli



transitanti in un giorno sull'intera larghezza di carreggiata servita dal ponte. Sulla base di questo, si determina il livello di TGM da tabella che segue. Dai dati forniti si può individuare una classe **BASSA** in termini di TGM.

Alta	Media	Bassa
≥ 25000 veicoli/giorno	$10000 < \text{veicoli /giorno} < 25000$	≤ 10000 veicoli/giorno

Tabella 4 - Livello di Traffico Medio Giornaliero (veicoli/giorno sull'intera carreggiata)

Come prima specificato, oltre che dal livello di TGM previsto, il livello di esposizione, inteso come probabilità di subire perdite di vite umane a seguito di un evento quale il crollo di un ponte, dipende dalla luce media della campata della struttura, in quanto al suo aumentare, aumenta il rischio a cui l'utente della strada è esposto. In relazione alla luce le ponte si definisce:

- Grande luce: ponti con campate di luce media maggiore di 50 m;
- Media luce: ponti con campate di luce media maggiore di 20 m e non maggiore di 50 m;
- Piccola luce: per ponti con campate di luce media non maggiore di 20 m.

Il ponte di interesse si individua come ponte di piccola luce (campata non superiore a 20 m). A questo punto si tiene conto di tale caratteristica con la seguente tabella

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

Tabella 5 - Livello di Traffico Medio Giornaliero e luce media della campata del ponte



Gli ultimi aspetti che restano da considerare al fine di ottenere la classe di esposizione sono le alternative stradali e la tipologia di ente scavalcato. Per quanto concerne la possibilità di avere delle alternative stradali, è lecito considerare, data la sua posizione, l'assenza di queste ultime.

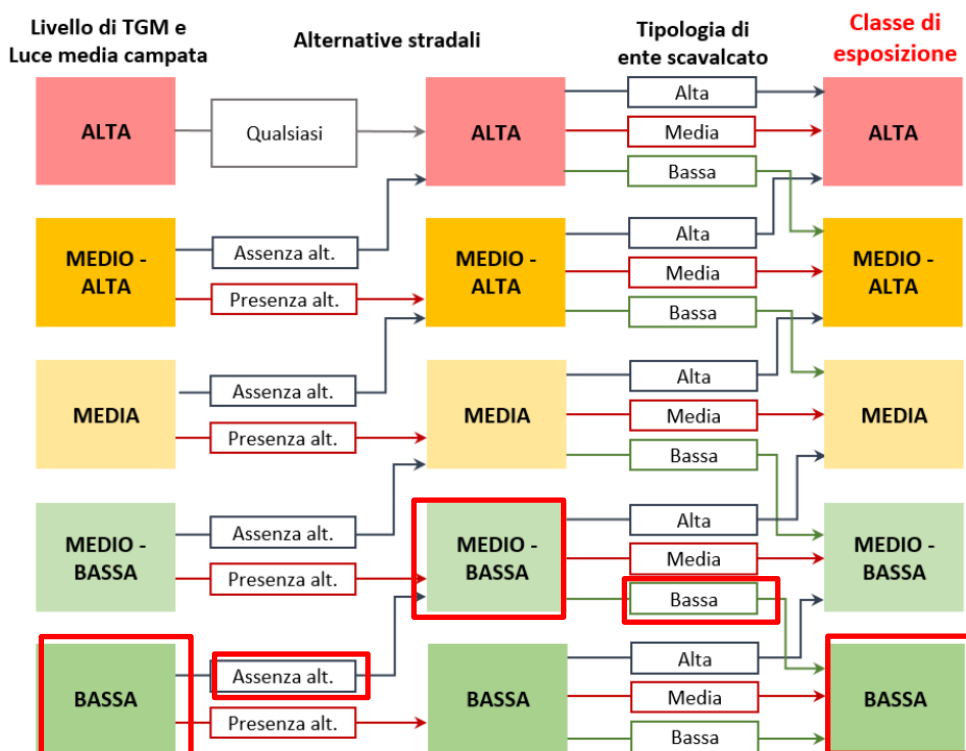
Per quanto riguarda la tipologia di ente scavalcato si fa riferimento alla seguente tabella:

ALTA	Ente scavalcato il cui uso preveda affollamenti significativi e/o con funzioni pubbliche e sociali essenziali e/o la cui interruzione provochi situazioni di emergenza e/o enti di elevato valore naturalistico, economico e sociale (Ferrovia, zona edificata/antropizzata, strade a viabilità primaria, etc.)
MEDIA	Ente scavalcato il cui uso preveda normali affollamenti, senza funzioni pubbliche e sociali essenziali, la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza e/o enti con limitato valore naturalistico, economico e sociale (strade a viabilità secondaria, corsi d'acqua, laghi, specchi d'acqua marini, etc.)
BASSA	Ente scavalcato con presenza occasionale di persone e privi di valore naturalistico, economico e sociale (discontinuità naturali, depressioni del terreno, etc.)

Tabella 6 - Tipologia di ente scavalcato



A questo punto è possibile individuare una classe di esposizione:



3.1.4 Determinazione CdA strutturale e fondazionale

Noti i parametri in gioco, è possibile individuare una classe di attenzione strutturale e fondazionale in funzione della classe di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione. Una maggiore importanza è data dalla classe di vulnerabilità del ponte: se essa è alta, la CdA è alta qualsiasi siano le classi di pericolosità e di esposizione. In tal modo, poiché la classe di



vulnerabilità è strettamente connessa con il livello di difettosità, un ponte con uno stato di conservazione preoccupante ha sempre una CdA e quindi una priorità elevata.

Facendo riferimento alla Tabella 4.10 delle Linee guida le Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti, è possibile quindi stimare la classe di attenzione strutturale e fondazionale:

Classe di pericolosità MEDIO-ALTA

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

23

Tabella 7 - Determinazione della classe di attenzione strutturale e fondazionale in funzione di classe di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione

Quindi, in definitiva, è possibile individuare una **Classe di Attenzione strutturale e fondazionale Medio-Bassa.**

3.2 CdA sismica

La definizione della classe di attenzione sismica tiene conto dei principali parametri che influenzano la risposta alle azioni sismiche dei ponti e delle reti stradali di appartenenza. Analogamente alla CdA strutturale e fondazionale, la classe di attenzione sismica dipenda da fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, determinati sempre attraverso la combinazione di parametri primari e secondari (indicati in Tabella 1). L'approccio utilizzato per la determinazione del CdA sismica è un approccio per classi ed operatori logici, per cui devono



essere seguiti flussi logici che permettono di passare dalla classificazione dei parametri primari e secondari, alla classificazione dei fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione e, infine, alla determinazione della Classe di Attenzione sismica.

Come anticipato, alcuni parametri sono gli stessi considerati per la CdA strutturale e fondazionale. A differenza però dei parametri di esposizione, ossia il TGM e la luce media della campata, alternative stradali, la cui definizione può essere presa tal quale a quella impiegata per la CdA strutturale e fondazione, i parametri di vulnerabilità, quali schema statico, luce e materiale e livello di difettosità, seppur indicati con la stessa dicitura, sono tenuti in conto con criteri, in parte o del tutto, differenti.

	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 scavalco Trasporto di merci pericolose Strategicità dell'opera

24

Tabella 8 - Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione sismica

3.2.1 Classe di pericolosità

Per la valutazione della pericolosità sismica si fa riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti assumendo come parametri significativi l'accelerazione di picco al suolo, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni e riferita a suoli rigidi, la categoria topografica e l'amplificazione stratigrafica valutata attraverso l'approccio semplificato della categoria di



sottosuolo. Sono quindi parametri legati esclusivamente alle caratteristiche geomorfologiche e stratigrafiche del sito di costruzione. Mentre i primi due parametri, accelerazione di picco al suolo e categoria topografica, si possono determinare in tutti i casi mediante i dati relativi alla localizzazione del ponte raccolti nel censimento di Livello 0 e dalle ispezioni visive di Livello 1, la determinazione della categoria di sottosuolo necessita di informazioni specifiche sulla stratigrafia del sottosuolo, ricavabili dai documenti progettuali disponibili o da indagini apposite.

La classificazione propedeutica alla definizione della classi di pericolosità si basa sulla accelerazioni di picco al suolo a_g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni e riferita a suoli rigidi e sulla categoria topografica (T_i) della zona di interesse e si determina mediante la tabella che segue (Tabella 9), nel caso in esame, questo parametro è pari a 0,082g (classi più alte sono associate ad accelerazioni maggiori e a condizioni topografiche più sfavorevoli):

	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

Tabella 9 - Classificazione sulla base dell'accelerazione di picco al suolo (a_g) e categoria topografica (T_i)

I risultati delle indagini sismiche come la MASW e HVSr hanno registrato una velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri di 594 m/s, pertanto, è possibile individuare il sottosuolo come categoria **B**. La combinazione di tali parametri permette di determinare la classe di pericolosità sismica associata ai ponti:

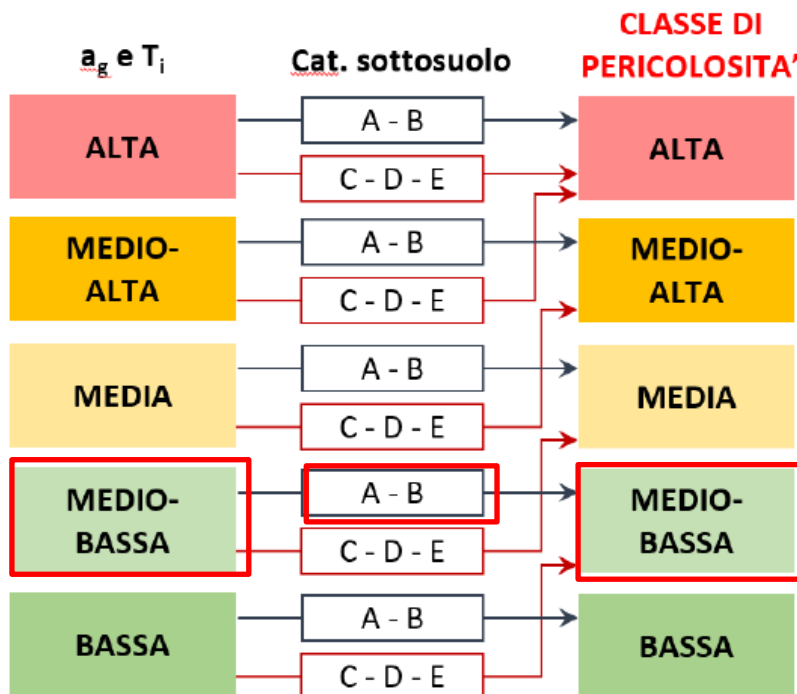


Figura 4 - Flusso logico per la determinazione della classe di pericolosità sismica

Si definisce, quindi, una classe di pericolosità Medio-Bassa.

26

3.2.2 Classe di vulnerabilità

Analogamente a quanto già visto per la vulnerabilità strutturale e fondazionale, la vulnerabilità sismica dei ponti dipende dalle caratteristiche strutturali influenti sul loro comportamento sismico, e da come esse rispondono alle richieste indotte dalle azioni sismiche.

È evidente che ponti caratterizzati da schemi statici, luci e materiali differenti hanno comportamenti diversi nei confronti delle azioni sismiche. Ciò dipende essenzialmente dalla ridondanza degli schemi statici e dal loro comportamento dinamico, dal numero di elementi vulnerabili soggetti all'azione sismica, quali pile ed apparecchi di appoggio, dalla massa delle strutture, dal livello di conservazione dei manufatti al momento dell'evento sismico e dalla presenza di eventuali altri elementi che contribuiscono ad incrementare la vulnerabilità del ponte



alle azioni sismiche; è questo il caso, ad esempio, degli impalcati sghebbi. Per tener conto di tali differenze di comportamento, la prima classificazione che occorre fare dipende da schema statico, luce e materiale:

		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

Tabella 10 - Classificazione sulla base di schema statico, luce e materiale

dove per luci medio-piccole si intendono luci non maggiori di 20 m, per luci elevate le luci maggiori di 20 m.

Ulteriore variabile che influenza il comportamento sismico delle strutture è la modalità con cui esse sono state progettate e, in particolare, l'impiego di criteri di progettazione sismica specifici. Occorre infatti considerare l'eventualità per cui l'azione sismica non sia stata affatto messa in conto nel progetto delle strutture. Tali aspetti sono strettamente correlati con la normativa tecnica di riferimento per la progettazione del ponte. Storicamente, infatti, ad eccezione di decreti specifici emanati a seguito di forti terremoti avvenuti sul territorio italiano, sulla base dei quali erano individuate zone caratterizzate da alta sismicità (ad esempio il Regio Decreto n. 193 del 18 aprile 1909 a seguito del terremoto di Messina), occorre aspettare la legge n. 64 del 1974 per avere un approccio più attento al problema della sicurezza sismica e addirittura l'Ordinanza n. 3274 del 2003 per la classificazione sismica su base probabilistica dell'intero territorio italiano e per le prime norme tecniche di progettazione antisismica in un unico documento comprendente le diverse tipologie di costruzioni e materiali.



Sulla base della normativa di progettazione, l'anno di progettazione e il sito di costruzione, pertanto, occorre distinguere i ponti realizzati secondo criteri di progettazione antisismica e i ponti realizzati con criteri nei quali l'azione sismica non era messa in conto nella progettazione. Ovviamente, i primi hanno un livello di vulnerabilità minore rispetto ai secondi: tale considerazione porta a correggere la classificazione fatta sulla base di schema statico, luce e materiale secondo il flusso logico. Qualora l'analisi della documentazione disponibile non consenta di risalire alle informazioni necessarie per la valutazione dei criteri di progettazione adottati, si considera il ponte come progettato con criteri "non sismici", per procedere a favore di sicurezza.

Per quanto concerne la difettosità, quindi lo stato di conservazione del ponte, è stimata con criteri simili a quelli utilizzati per la determinazione della classe di vulnerabilità strutturale e fondazionale.

Definiti questi parametri è possibile individuare una classe di vulnerabilità secondo il flusso logico:

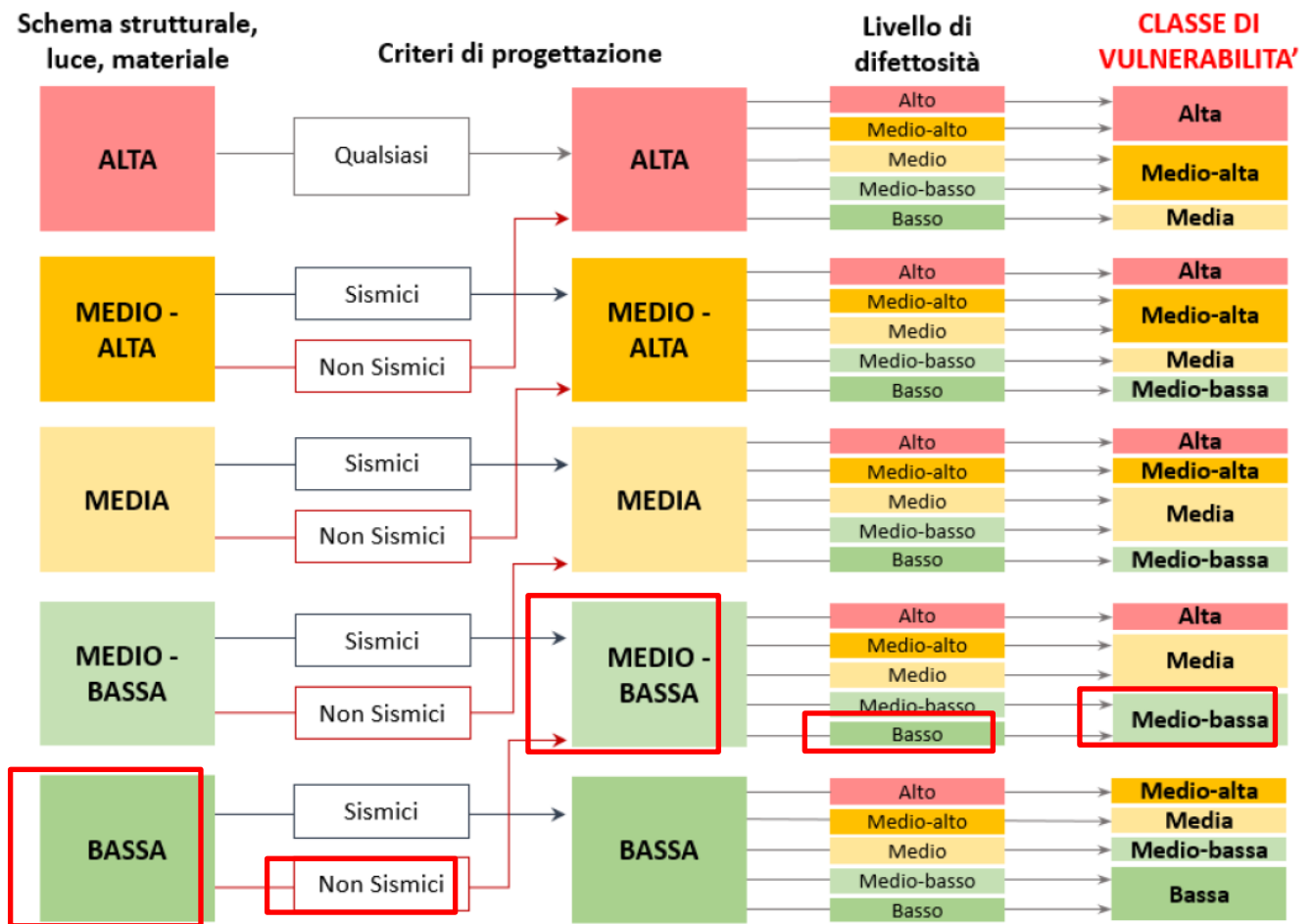


Figura 5 - Flusso logico per la determinazione della classe di vulnerabilità sismica

3.2.3 Classe di esposizione

La definizione del livello di esposizione sismica segue gli stessi criteri e considera gli stessi parametri impiegati per la stima della classe di esposizione strutturale e fondazionale, ossia il livello di TGM e la luce media della campata, la presenza di alternative stradali, la tipologia di ente scavalcato e il trasporto di merci pericolose, oltre che un ulteriore parametro legato alla strategicità del ponte in caso di emergenza. La classe di esposizione sismica pertanto è determinata a partire dalla classe di esposizione strutturale e fondazionale.



In questa fase si tiene conto anche della strategicità dell'opera, ovvero, la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile, devono avere una più elevata priorità, in quanto è necessario garantirne l'efficienza in caso di emergenza.

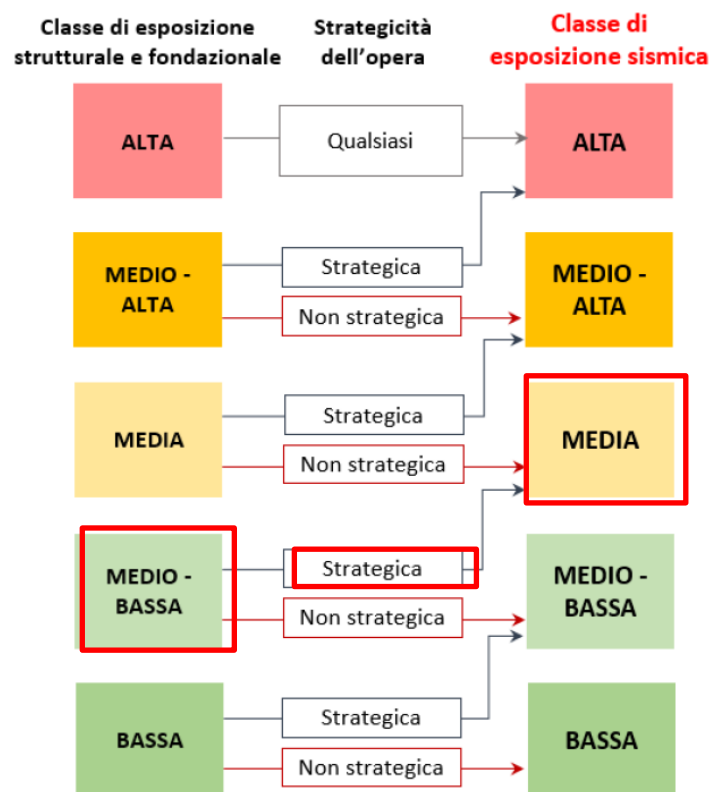


Figura 6 - Flusso logico per la determinazione della classe di esposizione sismica

30

3.2.4 Determinazione CdA sismica

Come già fatto precedentemente con la CdA strutturale e fondazionale, una volta ricavate le classi di pericolosità, vulnerabilità e di esposizione, attraverso la tabella che segue è possibile definire la CdA sismica:



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	

Tabella 11 - Determinazione della classe di attenzione sismica in funzione di classe di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione

La classe di attenzione sismica risulta essere Medio-Bassa.

3.3 CdA associata al rischio

La definizione della classe di attenzione (CdA) associata al rischio frane tiene conto di alcuni specifici parametri che indicano il livello di coinvolgimento della struttura in eventuali fenomeni franosi, sia dal punto di vista spaziale che temporale.

Analogamente alla definizione della classe di attenzione strutturale e fondazionale e della classe di attenzione sismica, la classe di attenzione per rischio frane fa riferimento a fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, determinati mediante la combinazione di parametri primari e secondari. L'approccio utilizzato per la determinazione della CdA frane è, ancora una volta, un approccio per classi e operatori logici. Ne consegue che devono essere seguiti flussi logici che permettano di passare dalla classificazione dei parametri primari e secondari, alla classificazione dei fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione e, infine, alla determinazione della Classe di Attenzione frane. Si sottolinea che, a differenza dell'usuale nomenclatura impiegata per la definizione degli altri tipi di CdA analizzati, si adotta il termine di "suscettibilità" piuttosto che di pericolosità; in tal modo, viste le specifiche difficoltà intrinseche alla definizione della probabilità di accadimento dell'evento, si vuole far riferimento alla sola previsione spaziale, trascurando la previsione di tipo



temporale.

I parametri primari e secondari individuati come rilevanti per la determinazione delle CdA frane sono riportati nella tabella che segue:

	Parametri primari	Parametri secondari
Suscettibilità	Instabilità di versante (Magnitudo, Velocità, Stato di attività)	Incertezza di modello Misure di mitigazione
Vulnerabilità	Tipologia/robustezza del ponte e tipologia di fondazioni	Estensione dell'interferenza
Esposizione	Livello di TGM e luce della campata	Alternative stradali Tipologia di ente scavalcato Strategicità dell'opera

Tabella 12 - Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di suscettibilità, vulnerabilità ed esposizione associati al rischio frane

Anche per la definizione di questa CdA, alcuni parametri sono gli stessi adottati per la determinazione della CdA strutturale e fondazionale e sismica (TGM, luce campata, alternative ...).

32

3.3.1 Instabilità di versante

Il livello di pericolosità/suscettibilità legato al rischio frane dipende dall'ambito geomorfologico (aree di pianure/versanti) in cui il ponte è inserito. Tale informazione si può acquisire attraverso i dati di censimento di Livello 0 e confermare mediante l'esecuzione di ispezioni visive di Livello 1.

Qualora si possa ritenere che la probabilità di accadimento di un evento franoso coinvolgente la struttura in esame sia assente, non occorre proseguire con la valutazione della CdA frane, in quanto non influente ai fini della determinazione della CdA complessiva associata al ponte.

Si è valutata fondamentalmente la definizione di tre parametri ritenuti di specifica importanza nel caso di ponti, in particolare:



- Parametro dello stato di attività per le frane riconosciute (P_A), o di grado di criticità per le frane potenziali (P_C).
- Parametro della massima velocità potenziale di spostamento in funzione della tipologia di frana in atto o potenziale P_V .
- Parametro della magnitudo, intesa come volume mobilizzabile P_M .

La valutazione del livello di instabilità si sviluppa sulla base della sommatoria dei valori associati ai tre parametri ovvero $P = P_A + P_M + P_V$ per le frane conosciute e $P = P_C + P_M + P_V$ per le frane potenziali.

Le informazioni sulle quali si basano le prossime valutazioni fanno riferimento ai dati ISPRA pubblicati.

Stato di attività per le frane riconosciute o di grado di criticità per le frane potenziali

Frana riconosciuta (P_A)	Attiva al momento del rilievo o con segni di movimento in atto	Inattiva Non attiva da diversi cicli stagionali	Stabilizzata
Frana potenziale (P_C)	Altamente critica	Critica	Scarsamente critica
P_A o P_C	5	3	1

33

Massima velocità attesa in funzione della tipologia di frana in atto o potenziale

	> 3 m/min	3 m/min – 1,8 m/h	1,8 m/h – 13 m/mese	13 m/mese – 1,6 m/anno	< 1,6 m /anno
	Estremamente/molto rapida	Rapida	Moderata	Lenta	Estremamente/molto lenta
P_V	5	4	3	2	1



Magnitudo attesa su base volumetrica in metri cubi

	$> 10^6$	$2,5 \cdot 10^5 - 10^6$	$2,5 \cdot 10^5 - 10^4$	$10^2 - 10^4$	$< 5 \cdot 10^2$
	<i>Estremamente/molto grande</i>	<i>Grande</i>	<i>Media</i>	<i>Piccola</i>	<i>Molto piccola</i>
P_M	15	12	9	6	3

Tabella 13 - Attribuzione dei valori numerici dei parametri di suscettibilità in funzione della di stato di attività, magnitudo, e velocità dell'evento

$P = P_A + P_M + P_V$ (frana riconosciuta) $P = P_C + P_M + P_V$ (frana potenziale)	Instabilità di versante
20 – 25	ALTA
16 – 19	MEDIO – ALTA
12 – 15	MEDIA
8 – 11	MEDIO – BASSA
5 – 7	BASSA

Tabella 14 - Determinazione dell'instabilità di versante in funzione della sommatoria dei valori numerici associati ai parametri influenti

34

3.3.2 Suscettibilità

Un ulteriore parametro che determina la classe di suscettibilità del ponte è la presenza o meno di sistemi di stabilizzazione, quali reti e galleria paramassi, barriere per flussi detritici, interventi di drenaggio ecc., oltre che i sistemi di monitoraggio ed il loro attuale stato di conservazione. Si distinguono pertanto i ponti *stabilizzati*, qualora le misure di mitigazione del rischio siano effettivamente attuate, *monitorati*, nel caso di presenza di sistemi di monitoraggio atti a controllare l'insorgere di eventuali eventi franosi, e i ponti per cui le misure di stabilizzazione/monitoraggio risultano assenti. L'assenza di sistemi finalizzati alla mitigazione del rischio frane induce l'innalzamento della classe di suscettibilità e quindi della classe di attenzione, secondo il flusso logico già rappresentato.



A seguito della determinazione dell'instabilità di versante, dal flusso che segue è possibile determinare la classe di suscettibilità

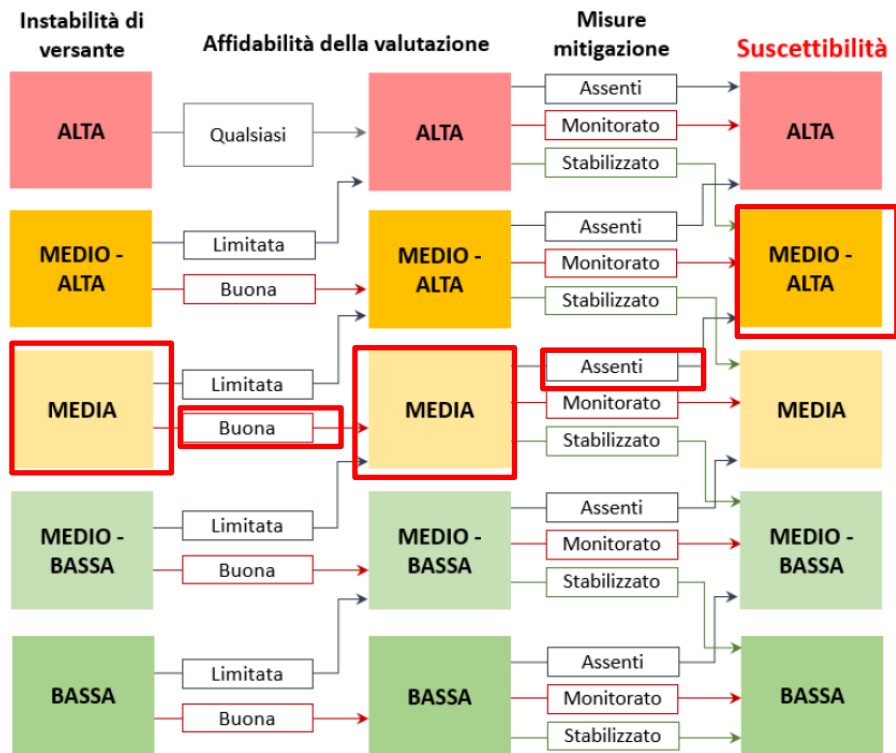


Figura 7 - Flusso logico per la determinazione della classe di suscettibilità



3.3.3 Classe di vulnerabilità

Alla base della definizione della vulnerabilità nel caso di rischio frane vi è la classificazione delle tipologie strutturali dei ponti. Quest'ultima è poi corretta mediante un parametro legato all'estensione dell'interferenza tra il possibile evento di frana e la struttura o parti di essa, secondo lo schema che segue:

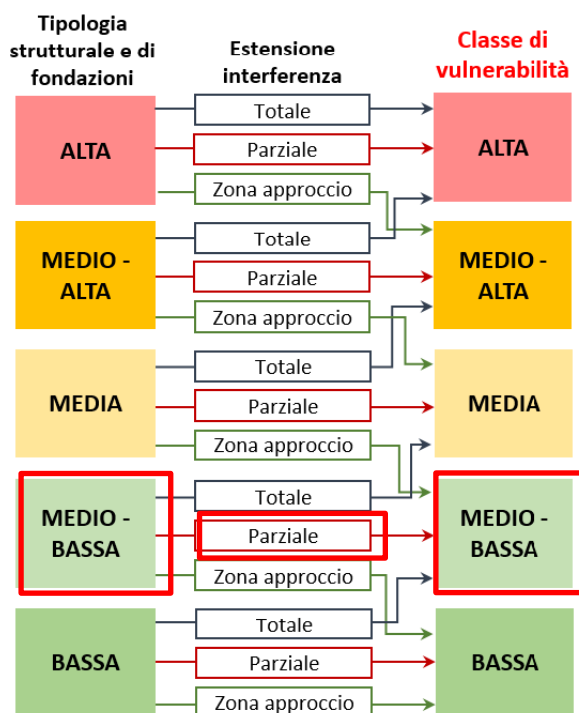


Figura 8 - Flusso logico per la determinazione della classe di vulnerabilità

3.3.4 Determinazione CdA rischio frane

Note le classi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione legate al rischio frane del ponte, si procede con la determinazione della classe di attenzione (CdA) frane, combinandole come di seguito riportato:



Classe di suscettibilità MEDIO-ALTA

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

Tabella 15 - Determinazione della classe di attenzione frane in funzione di classe di suscettibilità, vulnerabilità ed esposizione

3.4 CdA associata al rischio idraulico

In generale, il rischio idraulico dipende da alcuni specifici parametri rappresentativi del coinvolgimento della struttura sia da un punto di vista spaziale che temporale. Analogamente alle precedenti definizioni di “classe di attenzione” associata a problematiche strutturali e fondazionali, sismiche e da frane, la classe di attenzione per rischio idraulico fa riferimento a fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione. Si ritiene opportuno adottare il termine “suscettibilità” piuttosto che pericolosità, come per il rischio frane, attese le specifiche difficoltà intrinseche relative alla definizione della probabilità di accadimento dell’evento. Tuttavia non si può prescindere, in merito alla consistenza dell’accadimento, dall’associazione della previsione spaziale e di quella temporale, in ragione dell’estensione, dell’intensità e della durata del verificarsi di eventi meteorologici con specifiche caratteristiche.



	Parametri primari	Parametri secondari
Pericolosità/Suscettibilità	Probabilità di accadimento e consistenza evento	Incertezza di modello Misure di mitigazione
Vulnerabilità	Resilienza all'evento naturale	Tipologia, magnitudo e frequenza evento Tipologia ed efficienza opere di mitigazione
Esposizione	Danno potenziale	Tipologia di ente scavalcato Importanza strategica dell'opera Estensione del danno

Tabella 16 - Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di suscettibilità, vulnerabilità ed esposizione associati al rischio idraulico

occorre tenere in conto la probabilità di accadimento dell'evento meteorico e la sua consistenza in termini di intensità, durata ed estensione areale sulla base dei dati registrati, di analisi speditive e degli studi sugli sviluppi a lungo termine, tra cui, in particolare, le conseguenze dei cambiamenti climatici.

Comunque, atteso che tra i principali fenomeni che da un punto di vista idraulico possono dare luogo a condizioni di crisi dei ponti occorre considerare i fenomeni di sormonto o di insufficienza di franco e quelli di erosione del fondo alveo di natura generalizzata e/o localizzata, si riportano nel seguito alcuni approcci speditivi per la loro stima. Tali fenomeni sono valutati separatamente al fine di determinare due classi di attenzione distinte: una relativa al rischio idraulico da sormonto o insufficienza di franco e una al rischio idraulico di crisi per erosione. Quest'ultima, in particolare, si ricava dalla combinazione delle classi di attenzione relative ai due fenomeni erosivi di diversa natura, ovvero l'erosione generalizzata e l'erosione localizzata. La classe di attenzione idraulica

complessiva è quindi la più severa tra le due classi di attenzione determinate.



3.4.1 Stima della pericolosità legata al rischio idraulico

Per la valutazione della pericolosità/suscettibilità idraulica, oltre alle caratteristiche geometriche della struttura in rapporto con il territorio attraversato, occorre fare riferimento ai livelli di pericolosità come definiti dal D.Lgs. 23.02.2010, n. 49 – “Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni” e simili che assumono la probabilità di accadimento come parametro principale di gerarchizzazione:

- alluvioni rare di estrema intensità: tempo di ritorno dell’evento fino a 500 anni (P1: bassa probabilità, 2 per mille di superamento in un anno);
- alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno fra 100 e 200 anni (P2: media probabilità, tra il 5 ed il 10 per mille);
- alluvioni frequenti: tempo di ritorno fra 20 e 50 anni (P3: elevata probabilità, tra il 2 ed il 5%).

La valutazione della pericolosità dovrà inoltre tenere in conto la tipologia e il livello di efficienza di eventuali opere di mitigazione o di laminazione delle portate di piena.

39

Volendo stimare la suscettibilità idraulica con riferimento al sormonto arginale o insufficienza di franco, è possibile operare una valutazione speditiva dei franchi idraulici per i corsi d’acqua principali e secondari, in particolare se oggetto di mappatura ai sensi della direttiva alluvioni, stimando in prima approssimazione il franco F come la differenza tra la quota minima dell’intradosso del ponte con la stimabile quota di pelo libero, da individuare come segue:

- per alvei non arginati di corsi d’acqua principali, la quota massima della fascia di terreno interessata dallo scenario di alluvione P2; analogamente per lo scenario di alluvione P3;
- per alvei non arginati di corsi d’acqua secondari, la quota massima della fascia di terreno interessata dallo scenario di alluvione P2;
- per alvei arginati, la minore quota della sommità arginale esistente incrementata di 20 cm.



L'erosione generalizzata in prossimità del ponte è dovuta alla riduzione, operata dall'attraversamento, della sezione trasversale indisturbata caratteristica dell'alveo tale da ingenerare un'accelerazione locale della corrente. In prima approssimazione, secondo formulazioni empiriche di letteratura di frequente utilizzo, si può ritenere che l'erosione da contrazione dipenda dal rapporto tra la larghezza dell'alveo in assenza del manufatto di attraversamento e la larghezza dell'alveo lasciata libera dall'attraversamento medesimo. Nel presente approccio speditivo, ai fini della stima della suscettibilità si definiscono:

$$C_a = \frac{W_{a,l}}{W_a} * 100 \quad C_g = \frac{W_{g,l}}{W_g} * 100$$

dove

Ca è il fattore di restringimento dell'alveo inciso, essendo $W_{a,l}$ la larghezza complessiva dell'alveo inciso occupata dall'ingombro di pile e spalle e W_a la larghezza complessiva dell'alveo inciso a monte del ponte; Cg è il fattore restringimento delle aree golenali, essendo $W_{g,l}$ la larghezza complessiva delle golene occupata dai rilevati di accesso, dalle spalle e dalle pile e W_g la larghezza complessiva delle golene a monte del ponte.

40

Ca	Cg				
	> 45 %	35-45 %	25-35 %	15-25 %	<15 %
>35 %	Alta				
25-35 %	Alta		Medio-alta		
15-25 %	Alta		Medio-alta	Media	
10-15 %	Alta	Medio-alta	Media	Medio-bassa	
<10%	Alta	Medio-alta	Media	Medio-bassa	Bassa

Tabella 17 - Classe di pericolosità relativa al fenomeno di erosione generalizzata



L'erosione localizzata alla base delle pile o delle spalle è una delle cause più frequenti di crollo o di danneggiamento dei manufatti di attraversamento fluviale. La causa principale dell'erosione localizzata in corrispondenza delle pile è la formazione di vortici alla loro base.

I principali fattori che influenzano il processo di erosione alla base delle pile sono la velocità e la profondità della corrente, la larghezza della pila e la sua forma, la lunghezza della pila e l'angolo d'attacco della corrente, la natura del materiale d'alveo e l'eventuale presenza di detriti trasportati dalla corrente. Occorre inoltre considerare con attenzione i fenomeni di evoluzione morfologica del letto del fiume.

L'altezza di scavo raggiungibile in condizioni di assenza di trasporto solido (clear-water scour) è superiore alla corrispondente in presenza di trasporto (live bed scour). Per questo motivo, il trasferimento alle pratiche applicazioni di numerose formule di letteratura è da valutare con attenzione.

Per la valutazione della pericolosità da erosione localizzata, si suggerisce in prima approssimazione la stima della massima profondità di scavo d_s . Valutato d_s , è possibile definire un indice adimensionale IEL dato dal rapporto tra d_s e la profondità di posa del piano di fondazione d_f rispetto all'alveo

$$IEL = \frac{d_s}{d_f}$$

La valutazione di IEL non è semplice, essendo complesso valutare sia d_s che d_f . La valutazione di quest'ultima può essere fatta sulla base della documentazione di progetto dell'opera, se disponibile, o di indicazioni specifiche derivanti da evidenze di campo; nel caso molto frequente di mancanza di entrambi, come nel nostro caso, si può assumere in prima approssimazione una profondità di riferimento d_f pari 2,00 m, risultante dai valori medi normalmente adottati nella pratica costruttiva per fondazioni superficiali. Per quanto concerne d_s dai rilievi effettuati è possibile stimare, a vantaggio di sicurezza intorno ai 1,50 m.



In funzione dei valori assunti è possibile, grazie alla tabella seguente, definire la classe di pericolosità per il fenomeno di erosione localizzato:

Alta	$IEL > 1.2$
Medio-Alta	$1.00 < IEL \leq 1.20$
Media	$0.80 < IEL \leq 1.00$
Medio-Bassa	$0.80 < IEL \leq 0.60$
Bassa	$IEL < 0.60$

Tabella 18 - Classe di pericolosità per il fenomeno di erosione localizzata

3.4.2 Determinazione CdA associata al rischio idraulico

Note le classi di attenzione del ponte, distinte per fenomeni di erosione generalizzata e per fenomeni di erosione localizzata, si determina la classe di attenzione in relazione ai fenomeni erosivi dalla combinazione delle due:

42

		Classe di attenzione per erosione generalizzata				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di attenzione per erosione localizzata	Alta	Alta				
	Medio-Alta	Alta			Medio-alta	
	Media	Alta		Medio-Alta	Media	
	Medio-Bassa	Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	
	Bassa	Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa

Tabella 19 - Classe di attenzione idraulica del ponte in relazione ai fenomeni erosivi



4 DEFINIZIONE CDA COMPLESSIVA

Alle valutazioni separate della CdA strutturale e fondazionale, CdA sismica, CdA legata al rischio idraulico e CdA legata al rischio frane deve conseguire la valutazione di un parametro unitario che permetta di pervenire ad un indice sintetico. Quest'ultimo parametro indica la Classe di Attenzione complessiva del ponte ed è il risultato della combinazione delle CdA associate alle quattro tipologie di rischio, condotta, ancora una volta, secondo un approccio per classi e operatori logici. La CdA complessiva è classificata, in analogia a quanto visto per le singole CdA, in bassa, medio-bassa, media, medio-alta e alta.

Nella definizione delle possibili combinazioni, un peso maggiore è dato alla CdA strutturale e fondazionale in quanto legata alle usuali condizioni di esercizio delle strutture. Ciò comporta che se essa è alta, la CdA complessiva è alta qualsiasi siano le CdA sismica e idraulica e frane.

Come si evince dalla Tabella 18, la classe di attenzione legata al rischio idraulico e la classe di attenzione legata al rischio frane sono accorpati in un unico indicatore "Classe di attenzione idraulica e frane" che si stabilisce utilizzando sempre lo stesso approccio da tabella come segue

43

		Classe di attenzione frane				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di attenzione idraulica	Alta	Alta		Medio-Alta		Media
	Medio-Alta	Alta	Medio-Alta		Media	
	Media	Medio-Alta		Media		Medio-Bassa
	Medio-Bassa	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa		Bassa
	Bassa	Media			Medio-Bassa	Bassa

Tabella 20 - Combinazioni delle CdA per la determinazione della classe di attenzione idraulica e frane

Di seguito si riporta la tabella con la valutazione complessiva.

In particolare la tabella che segue tiene conto della CdA strutturale/fondazione e troviamo al suo interno la CdA idraulica e frane e la CdA rispetto all'attenzione sismica.

Classe di attenzione strutturale/fondazionale **MEDIO-BASSA**

		Classe di attenzione idraulica e frane				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di attenzione sismica	Alta	Medio-Alta	Media			
	Medio-Alta	Media				Medio-Bassa
	Media	Media			Medio-Bassa	
	Medio-Bassa	Media		Medio-Bassa		
	Bassa	Media	Medio-Bassa			

Tabella 21 - Classe di attenzione strutturale/fondazionale **MEDIO-BASSA**

Pertanto è possibile definire la CdA complessiva **Medio-Bassa**.

Come meglio specificato al Capitolo 3, per i ponti in CdA **Medio-Bassa** non sono previste valutazioni o analisi diverse da quelle eseguite.

44

La periodicità delle visite è definita dalla tab. 7.4.1 delle Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio

CDA -	Bassa	Medio - Bassa	Media	Medio-Alta	Alta
Frequenza Opere "Tipo 1"	Biennale	18 mesi	Annuale	In funzione del monitoraggio o semestrale	In funzione del monitoraggio o semestrale
Frequenza Opere "Tipo 2"	Annuale	9 mesi	Semestrale	In funzione del monitoraggio o trimestrale	In funzione del monitoraggio o trimestrale

Tabella 22 - tab. 7.4.1 - Frequenza minima delle ispezioni ordinarie

Le opere si differenziano in Tipo 1 se sono inserite all'interno di un sistema di sorveglianza conforme alla Circolare n° 6736/61/Al del 1967 e Tipo 2 se non sono state effettuate ispezioni periodiche di cui alla Circolare sopra citata e che quindi non sia noto lo stato di conservativo/manutentivo.