

1222·2022
800
ANNI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

ICEA



Lo stato della ricerca sulla valutazione del rischio e la verifica della sicurezza dei ponti e dei viadotti

Giornata di Studio – 2 settembre 2021

Il rischio frane *Prof. Paolo Simonini*

Viadotto della Madonna del Monte, A6 Torino-Savona. Crollo del 24 novembre 2019



Il problema dei viadotti in frana

Lo stato della ricerca sulla valutazione del rischio e la verifica della sicurezza dei ponti e dei viadotti: a che punto siamo ?

Frane: la ricerca ha prodotto contributi avanzati per lo studio, la classificazione, l'interpretazione, il monitoraggio e la modellazione (anche predittiva) con metodi numerici classici e avanzati (FEM, SPH, MPM ecc.) dei fenomeni franosi.

Ponti e viadotti: la ricerca in ingegneria geotecnica si è occupata principalmente di interazione tra fondazioni superficiali e profonde e terreno/roccia in condizioni statiche e sismiche.

Interazione ponte-frana: State-of-the-Art Review on the Causes and Mechanisms of Bridge Collapse (Deng et al. , 2015; Journal of Performance of Constructed Facilities, ASCE): Landslide & Debris Flow

Linee guida CSLP- Consorzio FABRE: valutazione (e ricerca) di questo particolare tipo di fenomeno.

Monitoraggio delle linee guida

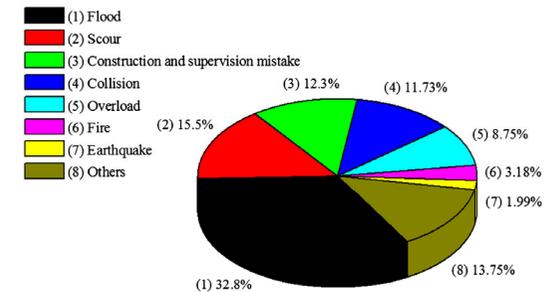


Fig. 2. Distribution of causes of the 503 reported bridge collapses during the period between 1989 and 2000 in the United States (data from Wardhana and Hadipriono 2003)



Fig. 4. Collapse of a bridge due to landslide (image courtesy of Xi Zhang)

Il problema dei viadotti in frana

Il territorio italiano, a causa delle sue caratteristiche geologiche, morfologiche e idrografiche, è naturalmente predisposto a fenomeni di dissesto quali **frane e alluvioni**.



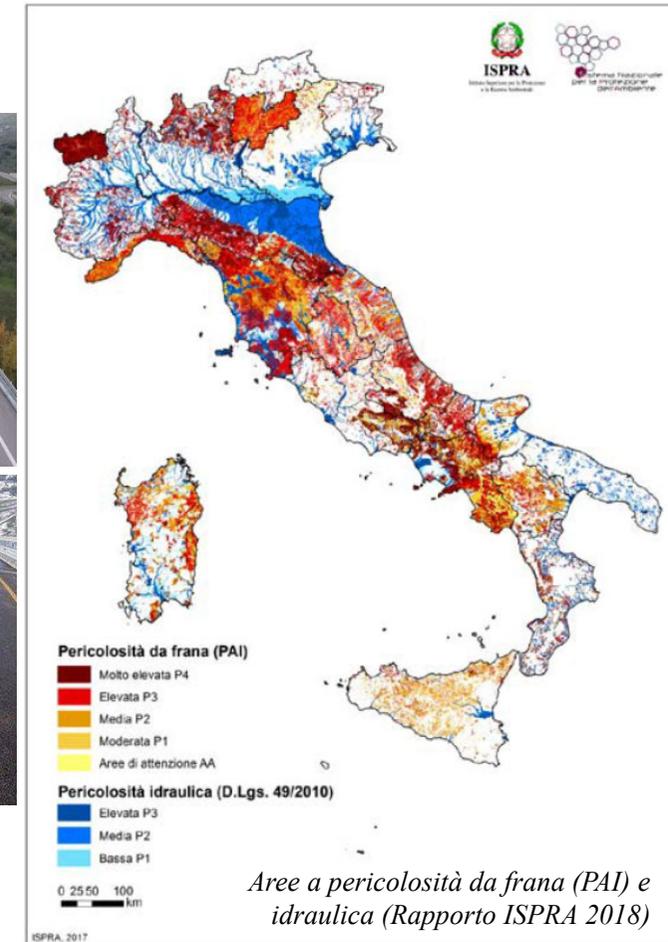
*Viadotto sulla A6, Liguria
24 novembre 2019*



*Viadotto Biondi, Lazio
13 marzo 2013*



*Viadotto Himera, Sicilia
10 aprile 2015*



Frane sconosciute, conosciute e studiate



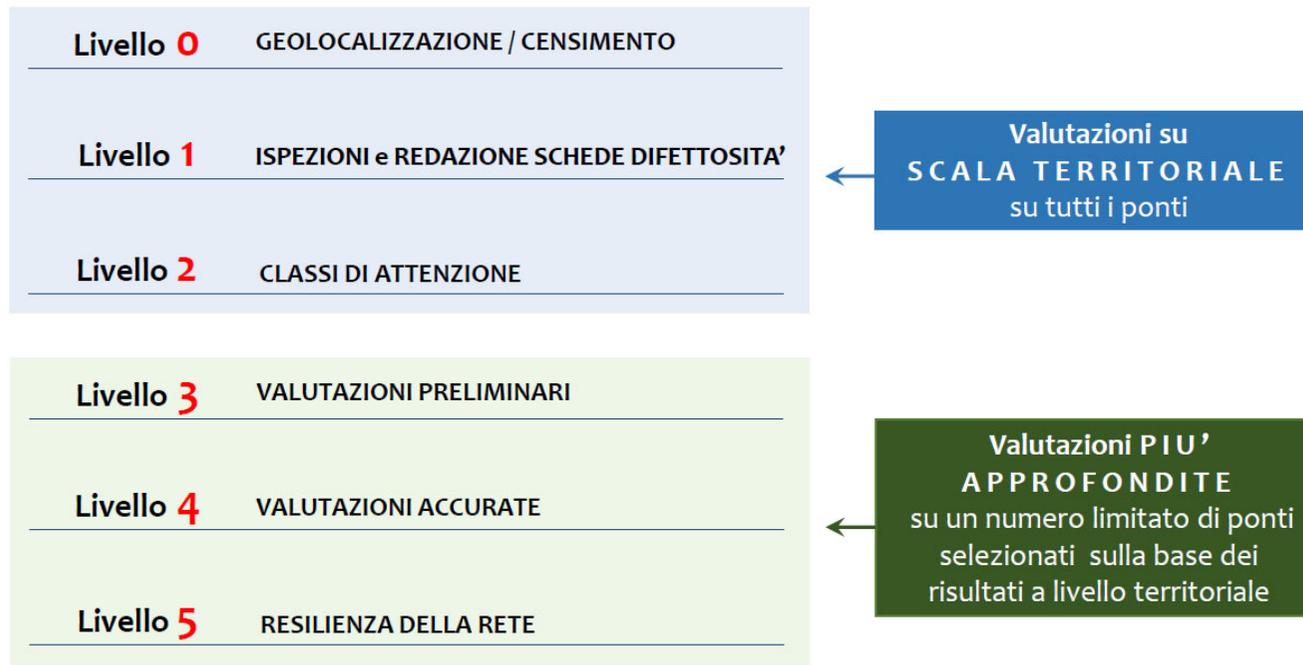
Esistono **inventari dei fenomeni franosi** in Italia, che aiutano nell'**analisi preliminare** del sito in cui è posizionato un viadotto.

Situazioni particolarmente critiche che richiedono adeguamenti includono **ponti parzialmente in frana**, soggetti a possibili **movimenti differenziali** tra le spalle.



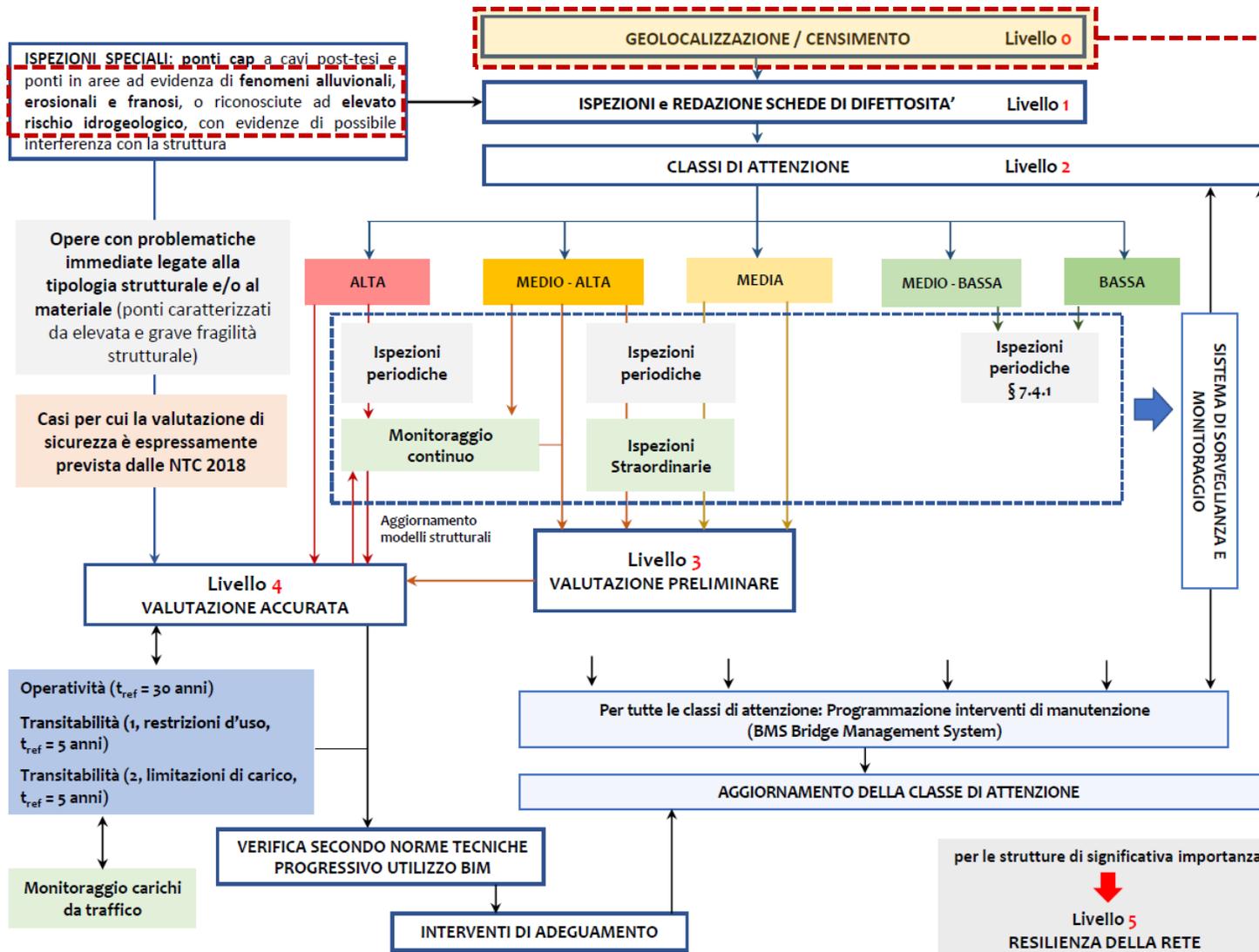
Approccio Multilivello

L'approccio si sviluppa su **6 livelli differenti**, aventi grado di approfondimento e complessità crescenti.



Dal Livello 0 al Livello 5, la complessità, il **livello di dettaglio** e l'**onerosità** delle indagini e delle analisi **aumentano**, ma il **numero di infrastrutture** su cui applicarle, così come il **livello di incertezza** dei risultati ottenuti, **si riduce**.

Approccio Multilivello



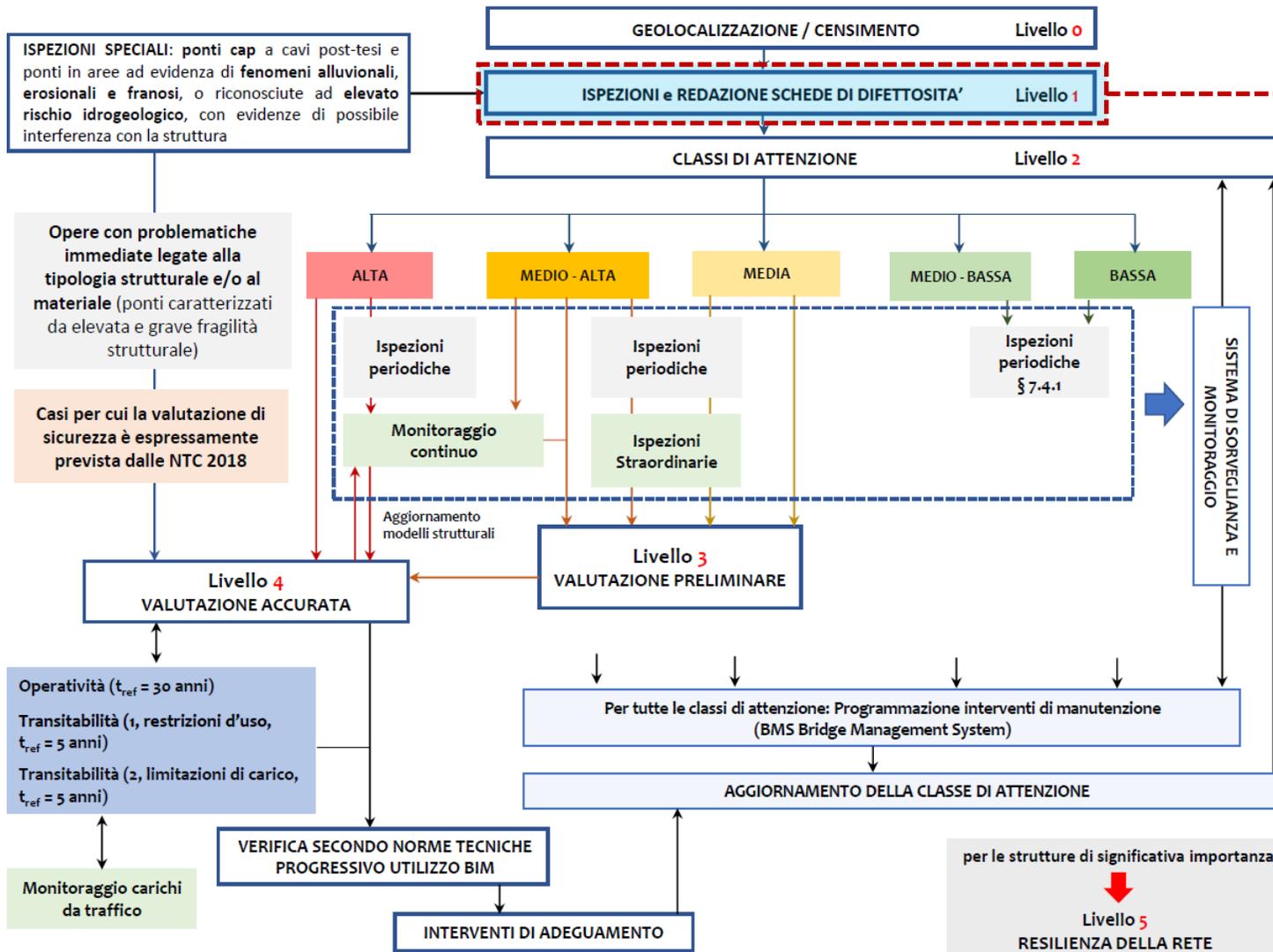
Da reperire nella fase di censimento (Livello 0):

- **Caratteristiche generali dell'opera** (lunghezza del ponte, n° campate, materiali)
- **Dati sul traffico (TGM)**
- **Strategicità della strada**

Informazioni necessarie per la CdA – Rischio Frane:

- *Stralci fotografici e foto aeree*
- *Dati satellitari*
- *Relazioni monitoraggi specifici*
- *Indagini geotecniche/geofisiche*
- *Progetti eseguiti su ponte o versante*
- *Eventuali note del gestore*

Approccio Multilivello



Compilazione scheda **FRANE** (Livello 1):

- Pericolosità/suscettibilità della frana
- Grado di affidabilità della valutazione
- Presenza o meno di misure di mitigazione
- Estensione della potenziale interazione con il ponte

Compilazione scheda FRANE

Schede di ispezione ponti di Livello 1 – Fenomeni di frana e fenomeni idraulici

Codice IOP _____ Nome Ponte/Viadotto _____
 Strada di appartenenza: _____ Progressiva km iniziale: _____ Progressiva km finale: _____
 Rilevatore _____ Data _____

Localizzazione

Provincia/Regione	_____	Coordinate Geografiche <input type="radio"/> ED50 <input type="radio"/> WGS84	Centro	Quota s.l.m. [m]: _____ Longitudine: _____ Latitudine: _____
Comune	_____		Iniziale	Quota s.l.m. [m]: _____ Longitudine: _____ Latitudine: _____
Località	_____		Finale	Quota s.l.m. [m]: _____ Longitudine: _____ Latitudine: _____
Coordinate CTR	_____			Quota s.l.m. [m]: _____ Longitudine: _____ Latitudine: _____
Scala	_____			
Numero Toponimo	_____			

Ispezioni precedenti

Numero	_____	Data ultima ispezione	_____	Esito	_____
RISCHIO FRANA	<input type="radio"/> Assente			<input type="radio"/> Presente	
RISCHIO IDRAULICO	<input type="radio"/> Assente			<input type="radio"/> Presente	

Informazioni generali

Proprietario _____
 Concessionario _____
 Ente vigilante _____
 Autorità distrettuale _____
 Bacino idrografico _____

Contesto Geomorfologico

<input type="radio"/> Cresta	<input type="radio"/> Pendio poco acclive (0 – 10°)
<input type="radio"/> Pendio moderatamente acclive (10° - 25°)	<input type="radio"/> Pendio ripido (> 25°)
<input type="radio"/> Pianura	<input type="radio"/> Pianura alla base dei versanti

Unità fisiografica

<input type="radio"/> Montuosa	<input type="radio"/> Collinare
<input type="radio"/> Pianura intermontana	<input type="radio"/> Pianura bassa

Confinamento alveo

<input type="radio"/> Confinato	<input type="radio"/> Semiconfinato	<input type="radio"/> Non confinato
---------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------

Una scheda apposita è predisposta per il rilievo degli elementi influenti sulla **valutazione del rischio frane e idraulico**.

La scheda è composta da una prima parte comune alla valutazione del rischio idraulico, in cui sono inserite le informazioni generali:

- *Localizzazione*
- *Contesto geomorfologico*
- *Unità fisiografica*
- *Confinamento alveo*
- *Rischio frane/idraulico da documentazione disponibile (es. PAI)*

Queste informazioni non modificano la CdA del viadotto.

Compilazione scheda FRANE

Area riconosciuta pericolosa (allegare riferimenti)

<input type="radio"/> Fenomeno riconosciuto ma non ancora studiato	<input type="radio"/> Fenomeno riconosciuto e studiato
<input type="radio"/> Fenomeno modellato e oggetto di monitoraggio	<input type="radio"/> Fenomeno oggetto di opere di mitigazione

Contesto geologico

Formazioni _____

Unità 1 _____

Unità 2 _____

.... _____

Tipologia di fenomeno

<input type="radio"/> Accertato	<input type="radio"/> Ipotizzato		
<input type="radio"/> Crollo in roccia	<input type="radio"/> Ribaltamento	<input type="radio"/> Scorrimento rotazionale	<input type="radio"/> Scorrimento traslativo
<input type="radio"/> Colate e valanghe detritiche	<input type="radio"/> Colate viscosse e traslative	<input type="radio"/> Complesso e composito	<input type="radio"/> Fenomeni gravitativi profondi

Distribuzione di attività (se definibile dai dati in possesso)

<input type="radio"/> Costante	<input type="radio"/> Retrogressivo	<input type="radio"/> In allargamento	<input type="radio"/> Avanzante	<input type="radio"/> In diminuzione
<input type="radio"/> Confinato	<input type="radio"/> Multidirezionale			

Uso suolo dell'area potenzialmente coinvolta (incidente sulla difficoltà di determinazione)

<input type="radio"/> Area urbanizzata	<input type="radio"/> Area estrattiva	<input type="radio"/> Seminativo	<input type="radio"/> Colture	<input type="radio"/> Vegetazione riparia
<input type="radio"/> Rimboscimento	<input type="radio"/> Bosco ceduo	<input type="radio"/> Bosco d'alto fusto	<input type="radio"/> Incolto nudo	<input type="radio"/> Incolto macchia cespugliata
<input type="radio"/> Incolto prato pascolo	<input type="radio"/> Altro: _____			

Morfometria frana

Posizione instabilità sul versante

<input type="radio"/> Alta	<input type="radio"/> Media
<input type="radio"/> Bassa	<input type="radio"/> Fondovalle

Dati generali (frane riconosciute / ipotizzate)

Quota orlo superiore zona distacco [m] _____	Quota ponte o viadotto [m] _____
Area totale [m ²] _____	Profondità superficie di distacco [m] _____
Volume massa [m ³] _____	

Parametro dello Stato di Attività per la quantificazione di P_A (frane riconosciute / ipotizzate)

<input type="radio"/> Frane riconosciute	<input type="radio"/> Frane ipotizzate
<input type="radio"/> Attivo al momento del rilievo o con segni di movimento in atto	
<input type="radio"/> Sospesa - attivo nell'ultimo ciclo stagionale	
<input type="radio"/> Quiescente - non attivo da più di un ciclo stagionale ma riattivabile	
<input type="radio"/> Inattiva - non attivo da diversi cicli stagionali	
<input type="radio"/> Stabilizzata	

Parametro della magnitudo su base volumetrica in metri cubi P_M (frane riconosciute / ipotizzate)

<input type="radio"/> Estremamente/molto grande (> 10 ⁶)
<input type="radio"/> Grande (2,5 · 10 ⁵ - 10 ⁶)

La seconda parte della scheda affronta in maniera specifica il **rischio frane** e include:

- *Definizione dell'area riconosciuta pericolosa*
- *Contesto geologico*
- *Tipo di fenomeno*
- *Distribuzione di attività*
- *Uso suolo dell'area potenzialmente coinvolta*
- *Morfometria*
- *Dati generali della frana*
- **Parametro dello Stato di Attività, P_A**
- **Parametro della Magnitudo (m³), P_M**
- **Parametro della Massima Velocità Attesa, P_V**
- *Estensione interferenza*
- *Affidabilità della valutazione*

Parametri primari per la **CdA frane**

Compilazione scheda FRANE

Parametro dello Stato di Attività per la quantificazione di P_A (frane riconosciute / ipotizzate)

<input type="radio"/> Frane riconosciute	<input type="radio"/> Frane ipotizzate
<input type="radio"/> Attivo al momento del rilievo o con segni di movimento in atto	
<input type="radio"/> Sospesa - attivo nell'ultimo ciclo stagionale	
<input type="radio"/> Quiescente - non attivo da più di un ciclo stagionale ma riattivabile	
<input type="radio"/> Inattiva - non attivo da diversi cicli stagionali	
<input type="radio"/> Stabilizzata	

Parametro della magnitudo su base volumetrica in metri cubi P_M (frane riconosciute / ipotizzate)

<input type="radio"/> Estremamente/molto grande ($> 10^6$)
<input type="radio"/> Grande ($2,5 \cdot 10^5 - 10^6$)
<input type="radio"/> Media ($2,5 \cdot 10^4 - 10^5$)
<input type="radio"/> Piccola ($10^2 - 10^4$)
<input type="radio"/> Molto piccola ($< 5 \cdot 10^2$)

Parametro della massima velocità attesa in funzione della tipologia di frana in atto o potenziale P_V

<input type="radio"/> Estremamente/molto rapida (> 3 m/min)
<input type="radio"/> Rapida (3 m/min - 1,8 m/h)
<input type="radio"/> Moderata (1,8 m/h - 13 m/mese)
<input type="radio"/> Lenta (13 m/mese - 1,6 m/anno)
<input type="radio"/> Estremamente/molto lenta ($< 1,6$ m/anno)

Estensione interferenza

<input type="radio"/> Totale	<input type="radio"/> Parziale (spalle o pile)
<input type="radio"/> Zona di approccio	<input type="radio"/> Altro

Affidabilità complessiva della valutazione

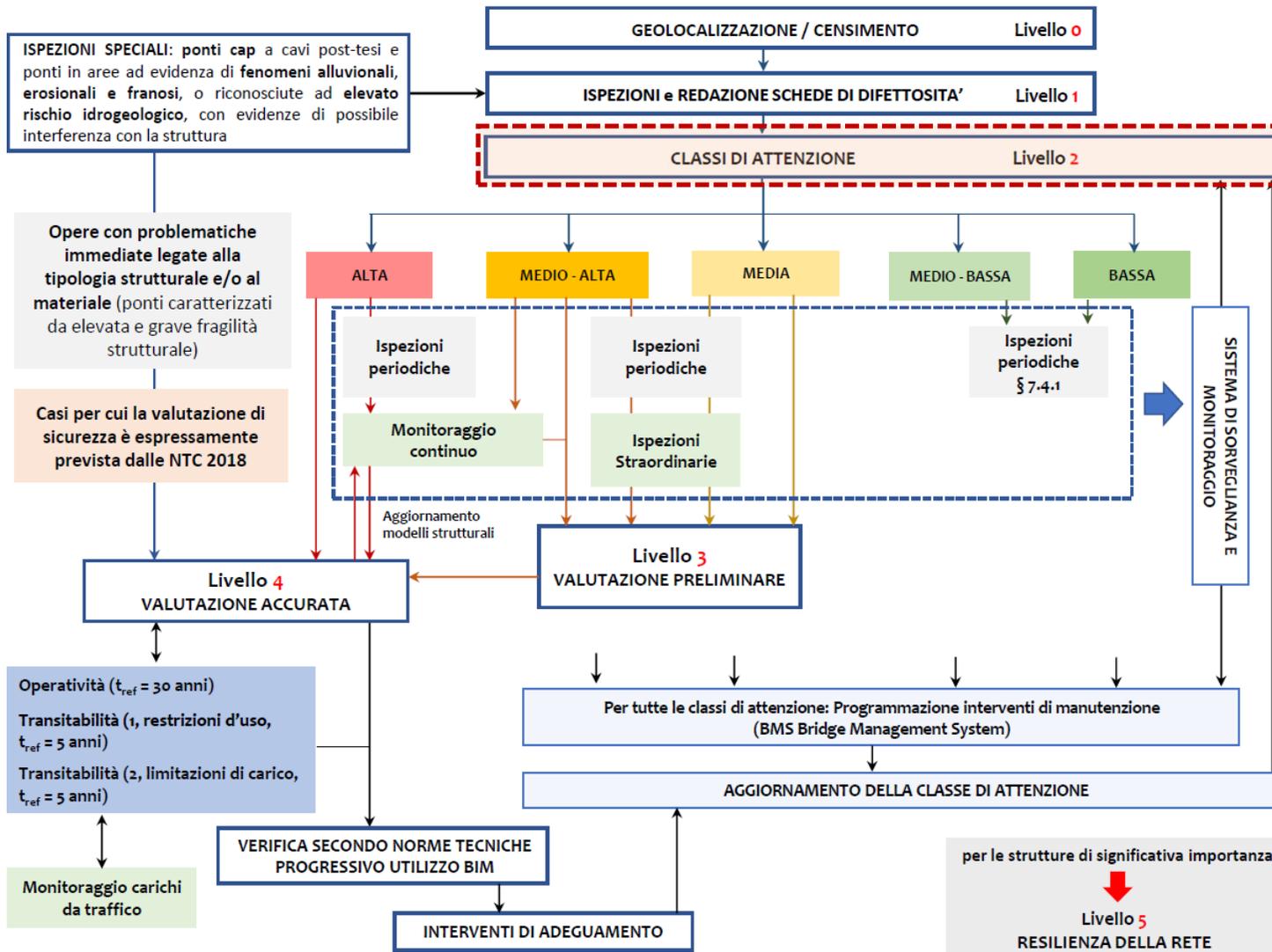
<input type="radio"/> Buona	<input type="radio"/> Limitata
-----------------------------	--------------------------------

La seconda parte della scheda affronta in maniera specifica il **rischio frane** e include:

- Definizione dell'area riconosciuta pericolosa
- Contesto geologico
- Tipo di fenomeno
- Distribuzione di attività
- Uso suolo dell'area potenzialmente coinvolta
- Morfometria
- Dati generali della frana
- **Parametro dello Stato di Attività, P_A**
- **Parametro della Magnitudo (m^3), P_M**
- **Parametro della Massima Velocità Attesa, P_V**
- Estensione interferenza
- Affidabilità della valutazione

Parametri primari per la **CdA frane**

Approccio Multilivello



Classe di attenzione (Livello 2):

Elaborando i dati raccolti nel **Livello 0** e nel **Livello 1** si dividono i ponti in **classi di attenzione** e si individua un **ordine di priorità** da seguire per l'applicazione dei livelli successivi.

1. Individuazione dei rischi rilevanti

2. Valutazione separata dei rischi rilevanti

3. Analisi Multi-Hazard

Determinazione della Classe di Attenzione

CLASSI DI ATTENZIONE



Elaborando i dati raccolti nel **Livello 0** e nel **Livello 1** si dividono i ponti in classi di attenzione e si individua un ordine di priorità da seguire per l'applicazione dei livelli successivi.

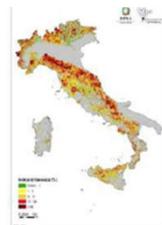
1° passo: **individuazione dei rischi rilevanti**



2° passo: **valutazione (speditiva e semplice) dei rischi**

$$\text{CdA} = \text{Pericolosità} * \text{Vulnerabilità} * \text{Esposizione}$$

Pericolosità



Vulnerabilità



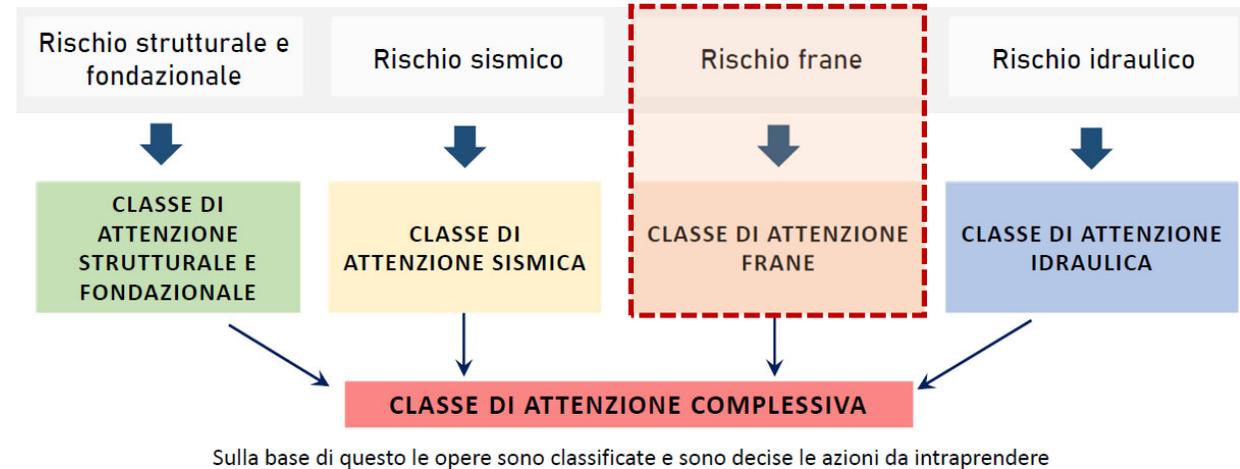
Esposizione



Gerarchia tra i rischi rilevati

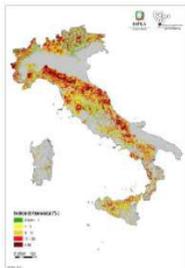
Non si può parlare di vero e proprio **RISCHIO** in quanto le valutazioni e le analisi che si svolgono a questo livello **sono semplificate e approssimate**.

Sono comunque presi in considerazione **tutti i fattori** che influenzano il rischio frane attraverso la definizione della **CLASSE DI ATTENZIONE**.



Analisi MULTI - HAZARD

Pericolosità / suscettibilità



Vulnerabilità



Esposizione



CdA = Pericolosità * Vulnerabilità * Esposizione

**** si fa riferimento alla suscettibilità legata alla sola previsione spaziale, trascurando la previsione di tipo temporale**

Classificazione sulla base del RISCHIO FRANE

PARAMETRI PRIMARI	PARAMETRI SECONDARI
Pericolosità/suscettibilità	
<i>Instabilità di versante (Magnitudo, Velocità, Stato di attività)</i>	<i>Incertezza modello Misure di mitigazione</i>
Vulnerabilità	
<i>Tipologia/robustezza del ponte e tipologia di fondazioni</i>	<i>Estensione dell'interferenza</i>
Esposizione	
<i>Traffico Medio Giornaliero (TGM) e Luce della campata</i>	<i>Alternative stradali Tipologia di ente scavalcato Strategicità dell'opera</i>

La **suscettibilità alla frana** è classificata in funzione di 3 componenti, determinate al **Livello 1**:

- Parametro dello Stato di Attività, P_A
- Parametro della Massima Velocità Attesa, P_V
- Parametro della Magnitudo (m^3), P_M

$P = P_A + P_M + P_V$ (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

P_A 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

P_V 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

P_M Magnitudo attesa su base volumetrica in metri cubi

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

Affidabilità della valutazione

Presenza di misure di mitigazione

Suscettibilità

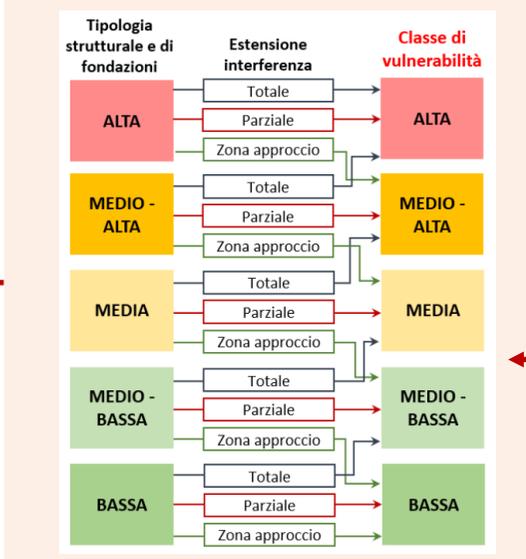
Classificazione sulla base del RISCHIO FRANE

PARAMETRI PRIMARI	PARAMETRI SECONDARI
Pericolosità/suscettibilità	
<i>Instabilità di versante (Magnitudo, Velocità, Stato di attività)</i>	<i>Incertezza modello Misure di mitigazione</i>
Vulnerabilità	
<i>Tipologia/robustezza del ponte e tipologia di fondazioni</i>	<i>Estensione dell'interferenza</i>
Esposizione	
<i>Traffico Medio Giornaliero (TGM) e Luce della campata</i>	<i>Alternative stradali Tipologia di ente scavalcato Strategicità dell'opera</i>

La classificazione della **vulnerabilità** dipende dalla tipologia strutturale e dalla capacità di resistere alle azioni indotte dal movimento di frana. Essa è funzione di

- **Schema statico, luce e materiale**
- **Numero di campate**

		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



Vulnerabilità

La classificazione è corretta tenendo conto dell'**estensione dell'interferenza**

Totale

Parziale

Zona Approccio

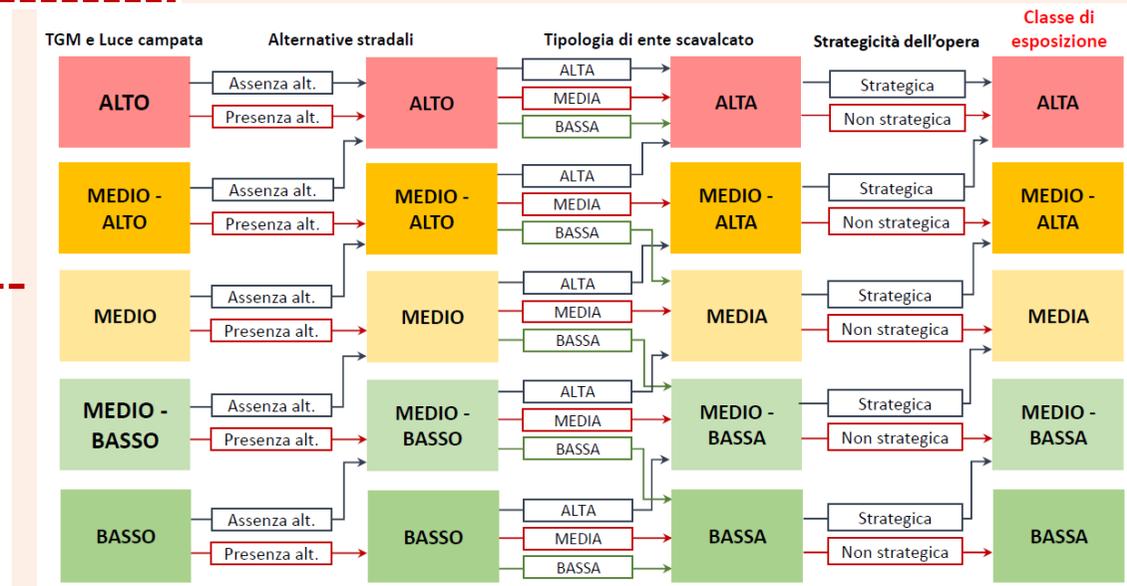
Classificazione sulla base del RISCHIO FRANE

PARAMETRI PRIMARI	PARAMETRI SECONDARI
Pericolosità/suscettibilità	
<i>Instabilità di versante (Magnitudo, Velocità, Stato di attività)</i>	<i>Incertezza modello Misure di mitigazione</i>
Vulnerabilità	
<i>Tipologia/robustezza del ponte e tipologia di fondazioni</i>	<i>Estensione dell'interferenza</i>
Esposizione	
<i>Traffico Medio Giornaliero (TGM) e Luce della campata</i>	<i>Alternative stradali Tipologia di ente scavalcato Strategicità dell'opera</i>

L'Esposizione considera

- il **Traffico Giornaliero Medio** ordinario
- la **luce** media della **campata**
- la presenza o meno di **alternative stradali**
- la **tipologia di ente scavalcato**
- la **strategicità dell'opera** in caso di emergenza

Classe di esposizione



Metodo di CLASSIFICAZIONE del RISCHIO FRANE

Combinando quindi i 3 fattori si ottiene la **Classe di Attenzione** associata ad ogni opera. Ad esempio:

suscettibilità MEDIO-ALTA + esposizione MEDIA + vulnerabilità MEDIO-BASSA



CdA FRANE = MEDIA

Classe di suscettibilità ALTA

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

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	Media	
	Bassa	Medio-Alta	Media			

Classe di suscettibilità MEDIA

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

Classe di suscettibilità MEDIO-BASSA

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

Classe di suscettibilità BASSA

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

ANALISI MULTI - HAZARD

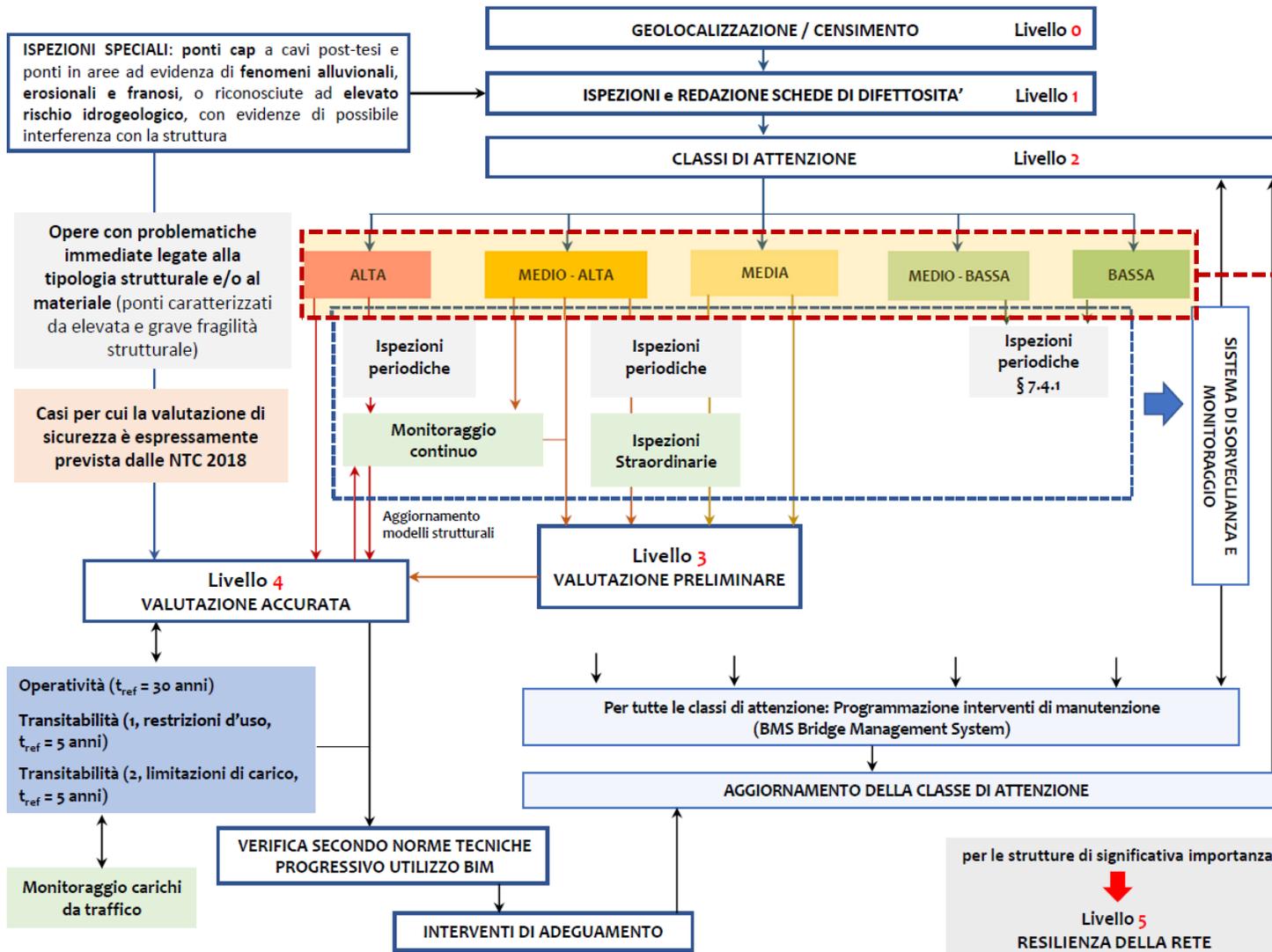
Lo stesso approccio, variando opportunamente i parametri in gioco, è usato per la determinazione delle classi associate alle **altre tipologie di rischio**, che combinate tra loro permettono di valutare **la classe di attenzione complessiva del ponte**.



Indice sintetico risultato della **combinazione delle classi di attenzione strutturale e fondazionale, sismica**, legata al rischio **idraulico** e legata al rischio **frane**, valutate prima separatamente e poi combinate ancora una volta secondo un approccio per classi e operatori logici.

Le classi non hanno lo stesso peso. Un **peso maggiore** è data alla **CdA strutturale e fondazionale** in quanto legata alle usuali condizioni di esercizio delle strutture.

Approccio Multilivello



In base alla CdA ottenuta al **Livello 2**, è possibile:

- Programmare la frequenza e la tipologia delle ispezioni (§7.4)
- Definire i sistemi di sorveglianza (§7.2) e monitoraggio (§7.6)
- Individuare l'eventuale necessità di valutazioni accurate (§6)

Per le CdA più elevate, si passa ad una **valutazione accurata (Livello 4)**

1222·2022
800
ANNI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

ICEA



Lo stato della ricerca sulla valutazione del rischio e la verifica della sicurezza dei ponti e dei viadotti

Giornata di Studio – 2 settembre 2021

Grazie per l'attenzione



Viadotto della Madonna del Monte, A6 Torino-Savona. Crollo del 24 novembre 2019

