



Rete dei Laboratori Universitari
di Ingegneria Sismica e Strutturale

Accordo tra il CSLP ed il Consorzio ReLUIS attuativo dei DM 578/2020 e DM 204/2022



Attività di formazione per i tecnici degli Enti Locali

Modulo II - Rischi naturali e interventi di mitigazione per la sicurezza dei ponti

Napoli

Lezione n° 6 Il Rischio Idraulico

Giuseppe Barbaro, Daniele Ganora, Maurizio Giugni, Gustavo Marini, Carmelo Nasello,
Marco Pilotti, Francesco Pugliese, Luca Solari, Daniele Viero

a cura di
Daniele Ganora
Politecnico di Torino

Gustavo Marini
Università degli Studi del Sannio

Vulnerabilità idraulica dei ponti

Reluis

Quando si parla di aspetti idraulici relativi a un ponte, è necessario ricordare che non si può limitare l'analisi al solo attraversamento, ma occorre espandere lo studio ad un contesto territoriale più ampio

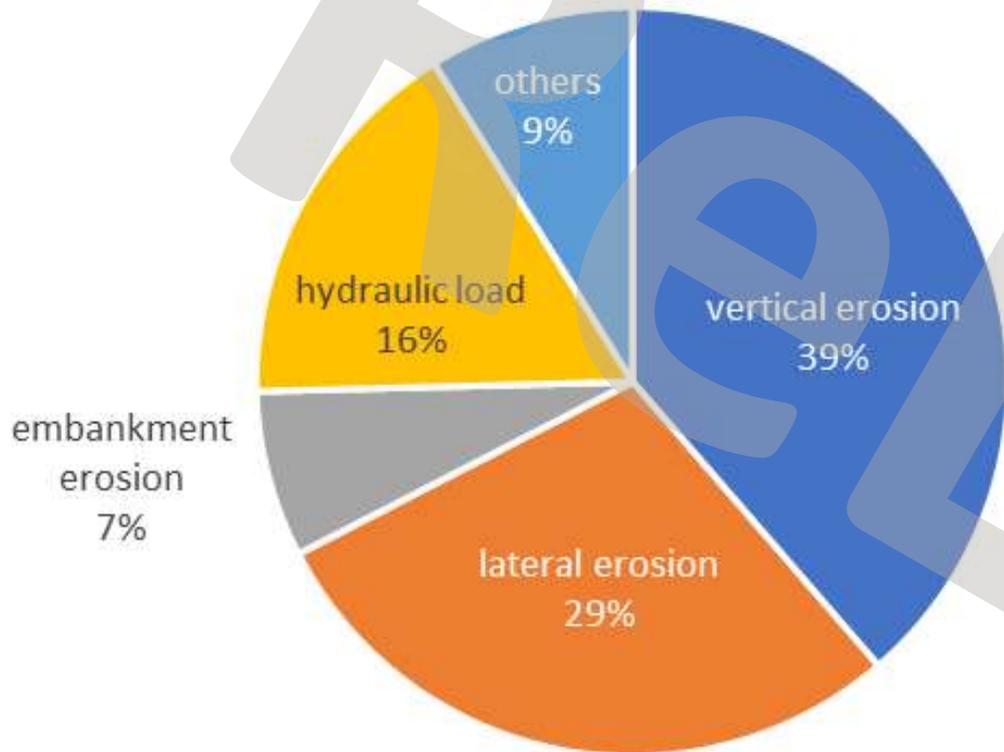


I fenomeni di collasso sono spesso riconducibili a cause idrauliche, sebbene gli aspetti idraulici siano poco trattati dalle norme tecniche di progettazione

- >150 Ponti crollati o gravemente danneggiati in Italia nel periodo 2000-2023
- > 25 decessi legati a tali crolli
- 500 ponti crollati negli Stati Uniti tra il 1989 e il 2000 → oltre il 50% dei casi da attribuire a processi fluviali
- Analisi a livello mondiale di Imhof: 60% dei casi per processi fluviali



Danni ai ponti in Italia (2000-2019)

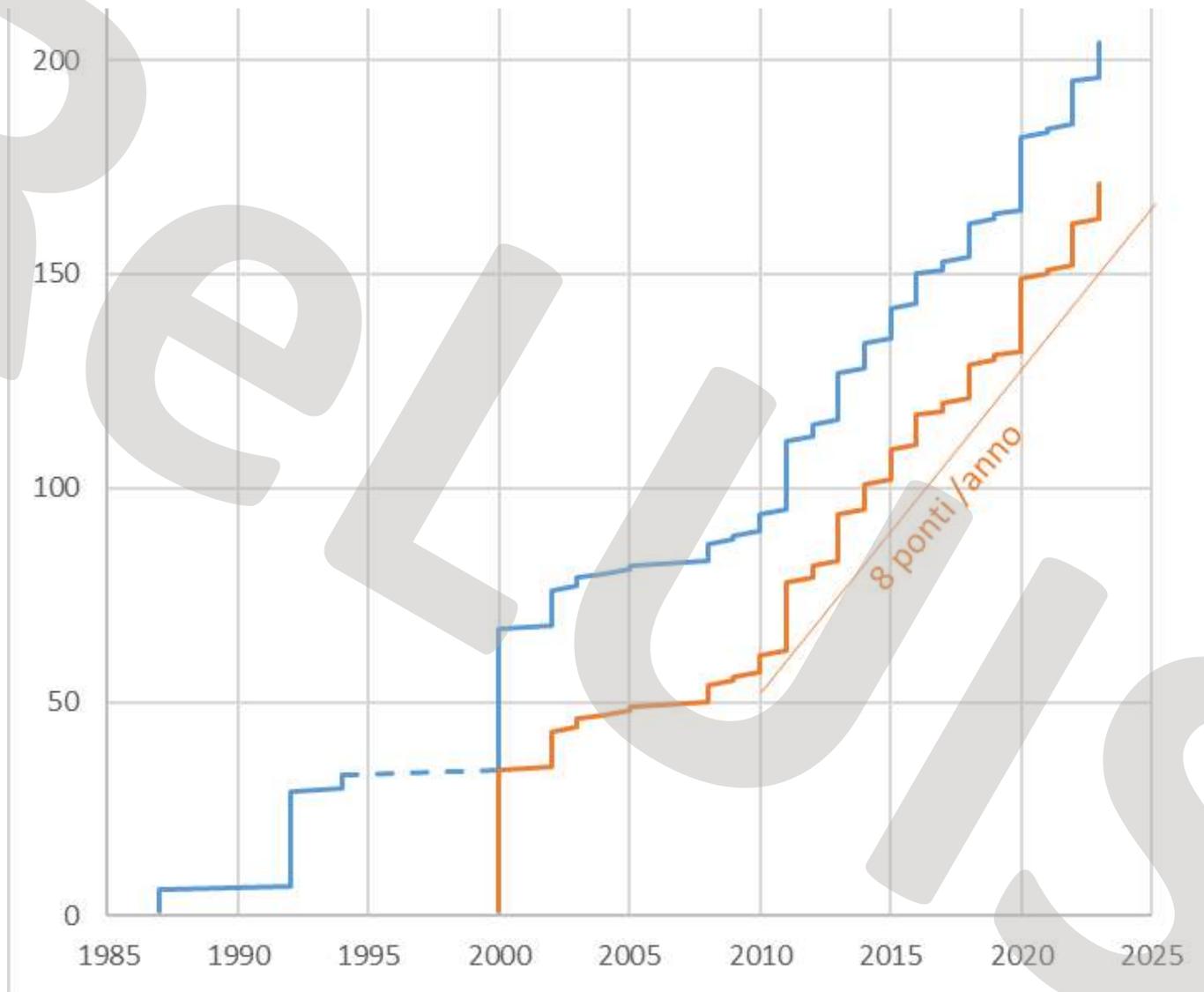


Stima numero attraversamenti fluviali = 50000

7 ponti crollati / anno



Danni ai ponti in Italia (2020-2023)



Le cause di vulnerabilità dei ponti sono diverse

Azioni dovute all'**acqua**

Evoluzione dell'**alveo**

Azioni dovute alla
presenza di **legname**

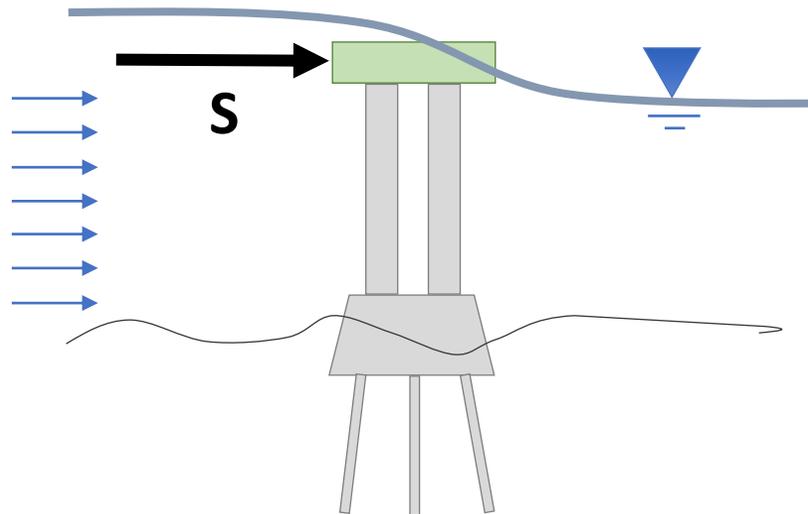
Altre cause



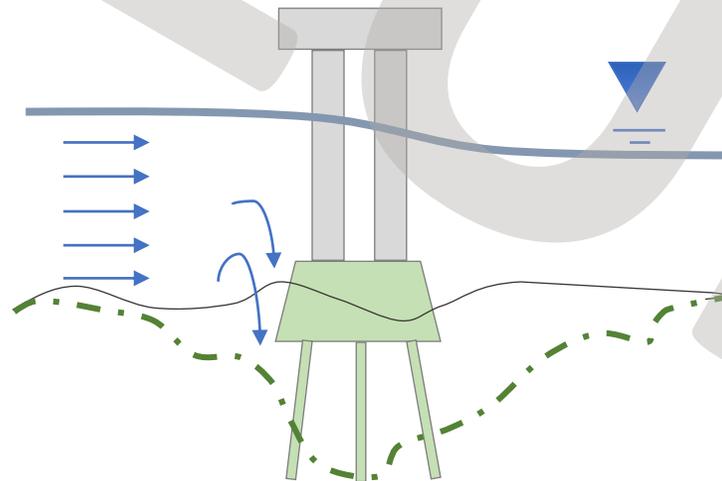
... spesso sono combinate tra di loro

Cause di vulnerabilità idraulica dei ponti dovute all'azione dell'acqua

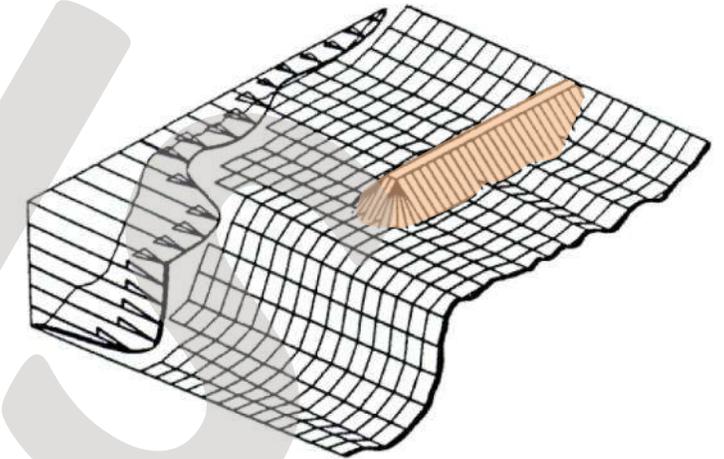
Spinta idrodinamica



Erosione alle
fondazioni



Erosione dei rilevati
d'accesso



Spinta idrodinamica



Ponte sul Tanaro. Località Garessio (CN). Evento 24 novembre 2016. Vista da monte

La struttura ha resistito alla spinta della corrente, ma ha fatto da diga e intensificato l'alluvionamento del paese (tipico ponte "urbano" con impalcato più basso delle sponde/argini)



27/12/23
Argentina,
provincia di
Catamarca, fiume
Rincon



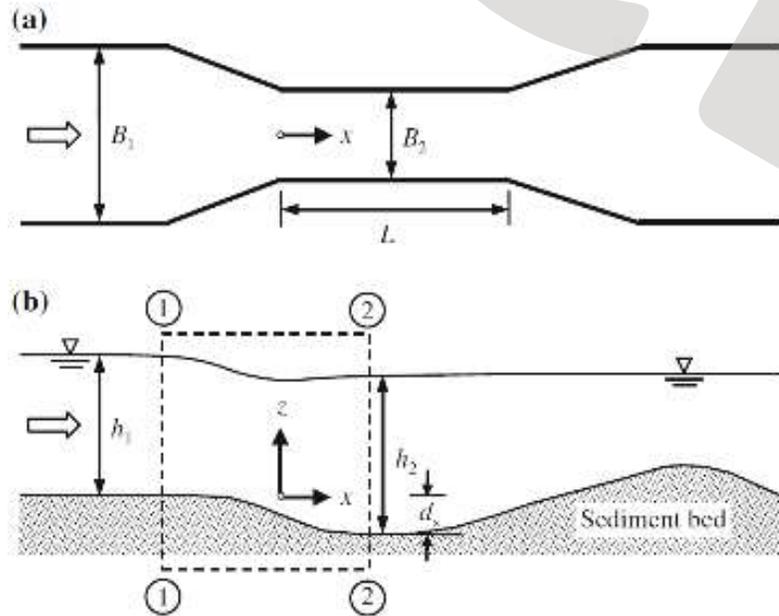
Spinta idrodinamica



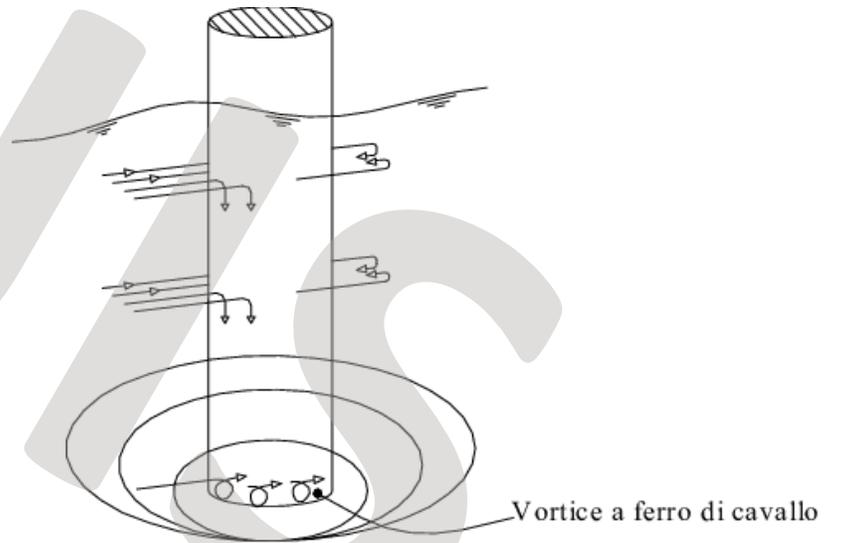
Ponte sul torrente Pignone. Località Pignone (SP). Evento 25 ottobre 2011. Vista da monte.

Erosione alle fondazioni

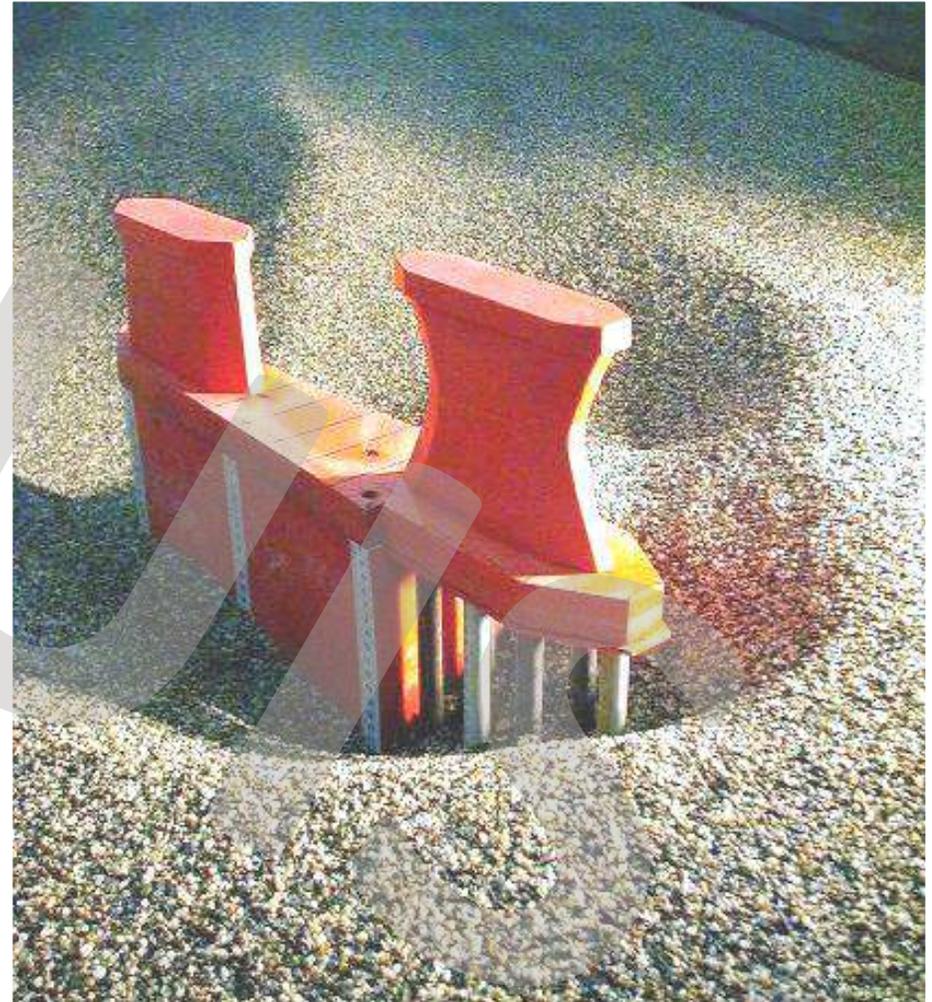
Per restringimento della sezione



Per scalzamento localizzato



Erosione alle fondazioni



Erosione alle
fondazioni



Ponte sul Po in provincia di Cremona



Ponte sul Tanaro a Monchiero (CN). Giugno 2011

Erosione alle
fondazioni



*Ponte sul Tammarecchia. Località Morcone (BN). Evento 15 ottobre 2015.
Foto da monte.*

Erosione al rilevato
d'accesso

*Ponte sul torrente Chisone.
Località Ponte Palestro (TO).
Evento 13-16 ottobre 2000.*



Erosione al rilevato
d'accesso

*Ponte sulla foce del Rio
Santa Lucia. Località
Capoterra (CA) Evento 10
ottobre 2018. Foto da valle*



Erosione al rilevato
d'accesso

*F. Tanaro a Corno di Cherasco (CN)
(Novembre 1994)*



*F. Tanaro a Naviate(CN)
(Novembre 1994)*



L'accumulo di legname o materiale flottante tipicamente accentua gli effetti di spinta ed erosione.

Spinta con accumulo
legname

Aumenta l'impronta
dell'impalcato con
aumento della spinta

Erosione localizzata con
accumulo legname

Aumenta la larghezza
apparente della pila con
aumento della
profondità di scavo

Ostruzione delle luci

Riduce l'area di deflusso

Spinta con accumulo legname



Ponte sul torrente Bormida a Murialdo (SV); evento novembre 2016.

Spinta con accumulo legname



Azioni dovute all'accumulo di legname

Spinta con accumulo legname



*Ponte sull'Adda. Località Pizzighettone (CR).
Evento 30 ottobre 2018*

<https://www.youtube.com/watch?v=PsyGQG-KAYg>

*Ponte sul Torrente Baganza a Pavia.
Evento 13 ottobre 2014.*



Erosione localizzata
con legname



*Ponte di Oloè sul torrente
Cedrino. Località Oliena (NU).
Evento 18 novembre 2013.*

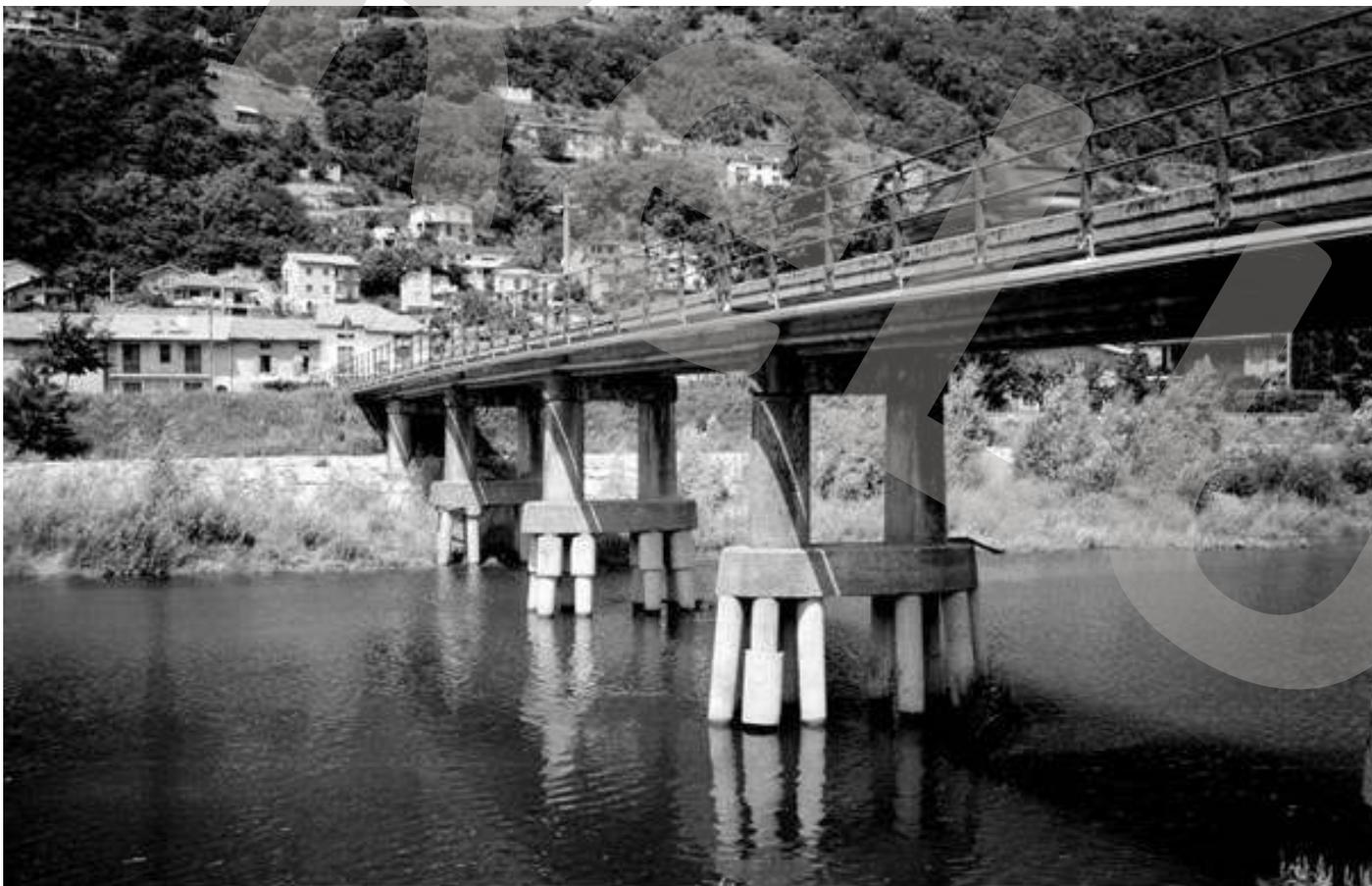
Abbassamento
d'alveo

Innalzamento
d'alveo

Instabilità
planimetrica d'alveo

L'evoluzione morfologica plano-altimetrica di un corso d'acqua è dipendente dal bilancio di sedimenti del corso d'acqua e da dinamiche a scala più ampia di quella dell'intersezione ponte-fiume. Non è direttamente influenzata dal ponte.

Si noti che nelle linee guida viene utilizzato il termine «erosione generalizzata» per indicare l'erosione per restringimento di sezione, mentre nella terminologia comune viene utilizzato per l'abbassamento generalizzato d'alveo.



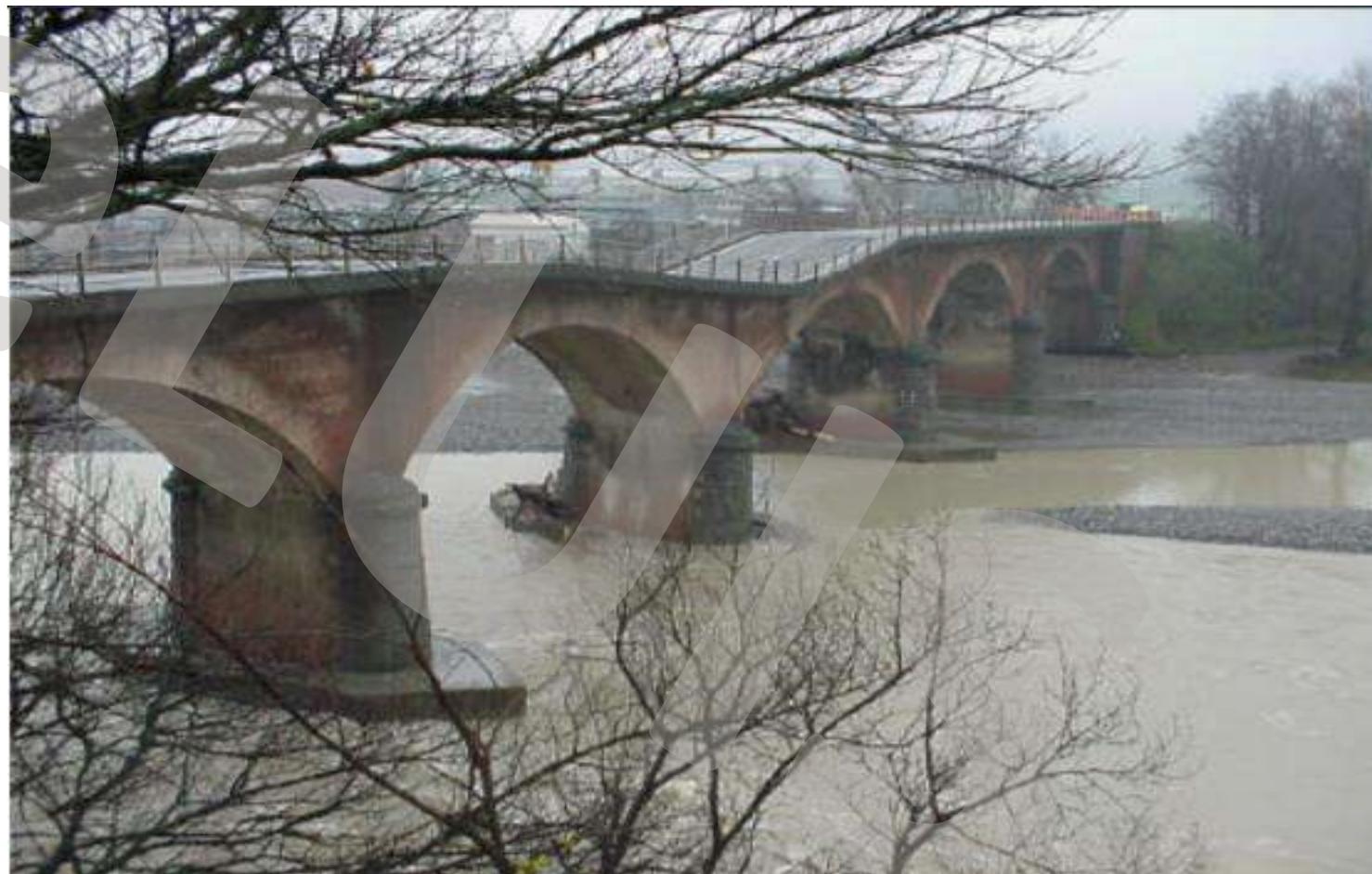
Abbassamento
d'alveo

*Corso d'acqua: Adda; località:
Mantello (SO). L'abbassamento
progressivo dell'alveo ha
scoperto le fondazioni delle pile,
senza peraltro causare il collasso
della struttura*

Abbassamento
d'alveo

+ erosione
localizzata

*Ponte su torrente Scrivia.
Località Arquata Scrivia (AL).
Evento 26 novembre 2002.
Flusso da sinistra verso destra*



Abbassamento d'alveo

+ collasso soglia a valle

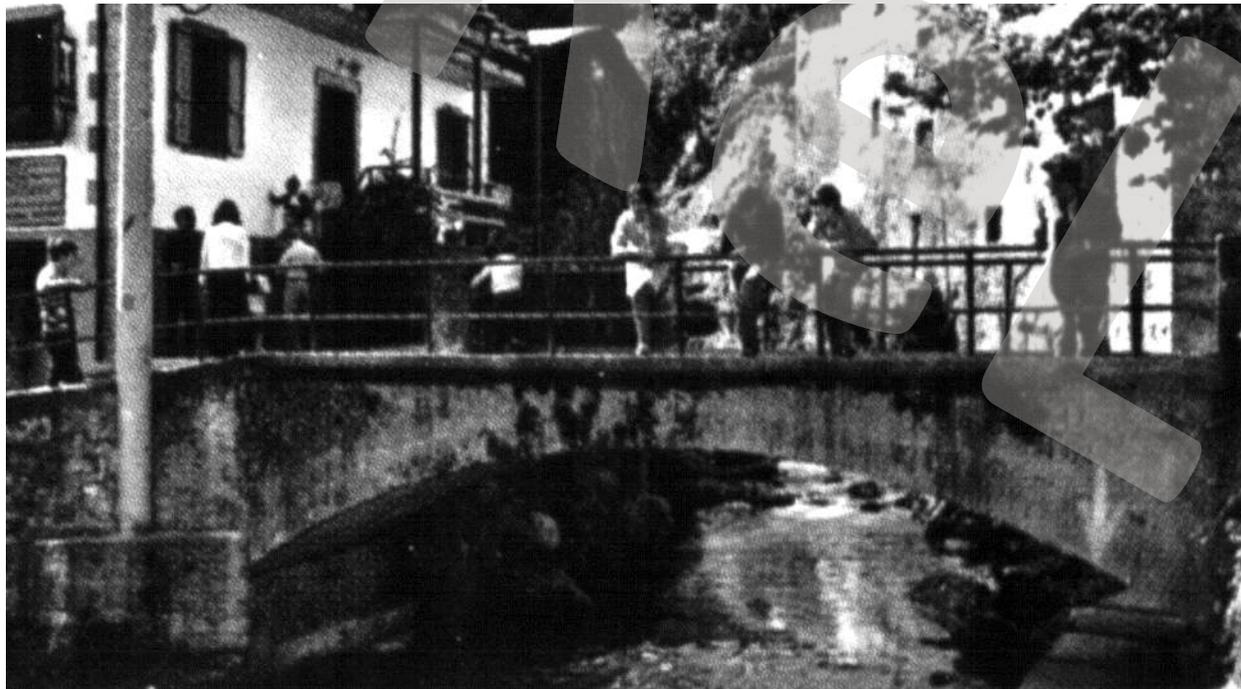


Ponte su torrente Cesano. Località Corinaldo (AN). Evento dicembre 2011.



cedimento soglia a
valle

Innalzamento d'alveo



Ponte su torrente Turrite; località: Fornovelasco (LU); evento giugno 1996.

Azioni dovute all'evoluzione dell'alveo

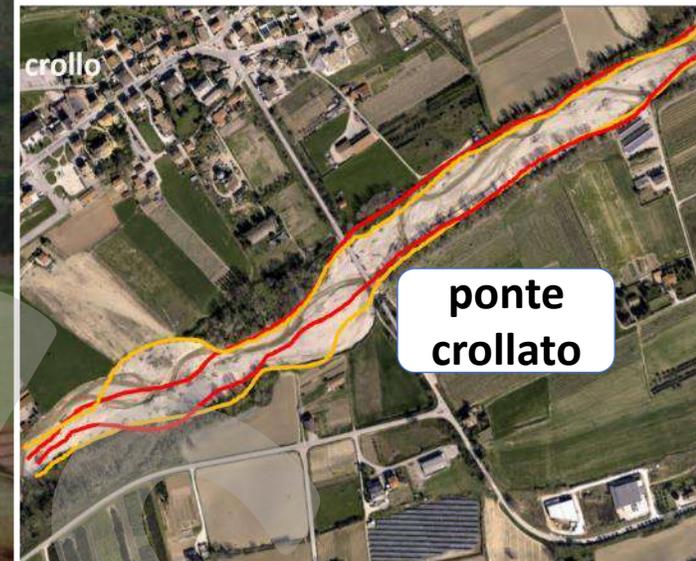
Instabilità planimetrica d'alveo

+ spinta



Ponte delle Fucine sul Torrente Bormida. Località Murialdo (SV). Evento 24 novembre 2016. Flusso da sinistra verso destra.

Instabilità planimetrica d'alveo



*Ponte sul fiume Aso. Località Rubbianello (FE). Evento 2 dicembre 2013
Flusso in direzione sud-ovest nord-est*

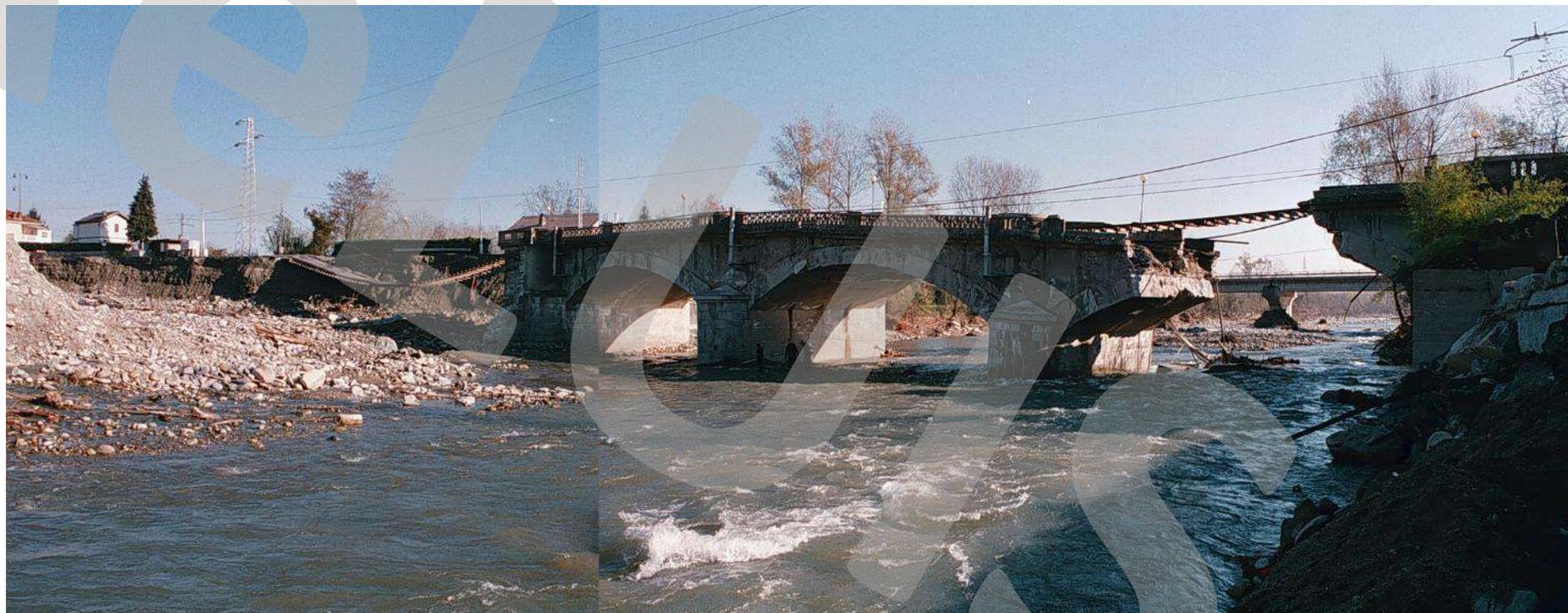
Instabilità
planimetrica d'alveo

*Ponte sul torrente
Sangone. Località Giaveno
(TO). Evento 15 ottobre
2000. Foto da valle.*



Instabilità planimetrica d'alveo

*Evento: ottobre 2000;
Corso d'acqua:
Chisone (Pinerolo,
Piemonte)
Erosione spondale in
sx ed erosione
localizzata pila in dx.*



Urti

Abrasionone

Altro?

Francis Scott Key Bridge, Baltimora, marzo 2024



Rivestimento di monte della pila centrale distrutto dall'impatto dei massi trasportati. Un masso di circa 4m di diametro si è fermato a pochi metri a monte della pila.

Corso d'acqua: affluente del Fella; località: Pietratagliata (UD); evento: giugno 1996.

Urti e potenziale occlusione



Ponte sul torrente
Baganza a Parma;
evento ottobre 2014



*Ponte sul Tevere a
Roma. Evento 3
Febbraio 2014.*

Reluis

Analisi quantitativa dei fenomeni idraulici

I fenomeni idraulici di interesse dipendono sostanzialmente dal livello e dalla velocità della corrente e possono evolvere nello spazio e nel tempo.



Tuttavia, ai fini delle valutazioni speditive previste dalle linee guida (come si vedrà in seguito), di fatto l'unica grandezza idraulica veramente necessaria è il livello del pelo libero in condizioni di piena per la verifica del franco. L'effetto dell'erosione (da restringimento e locale) viene valutato in maniera semplificata sulla base di criteri puramente geometrici.

In generale, occorre ricordare che i fenomeni idraulici agiscono a diverse scale spaziali e temporali

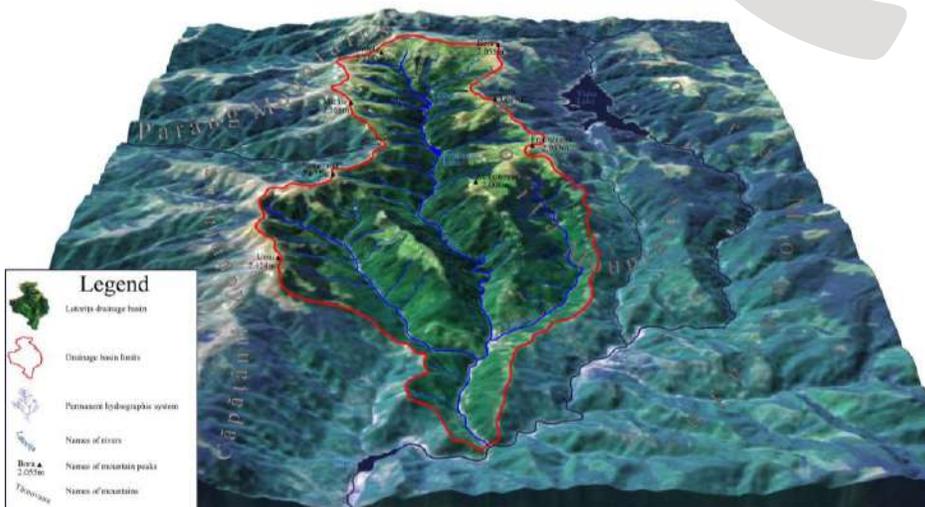
Bacino idrografico



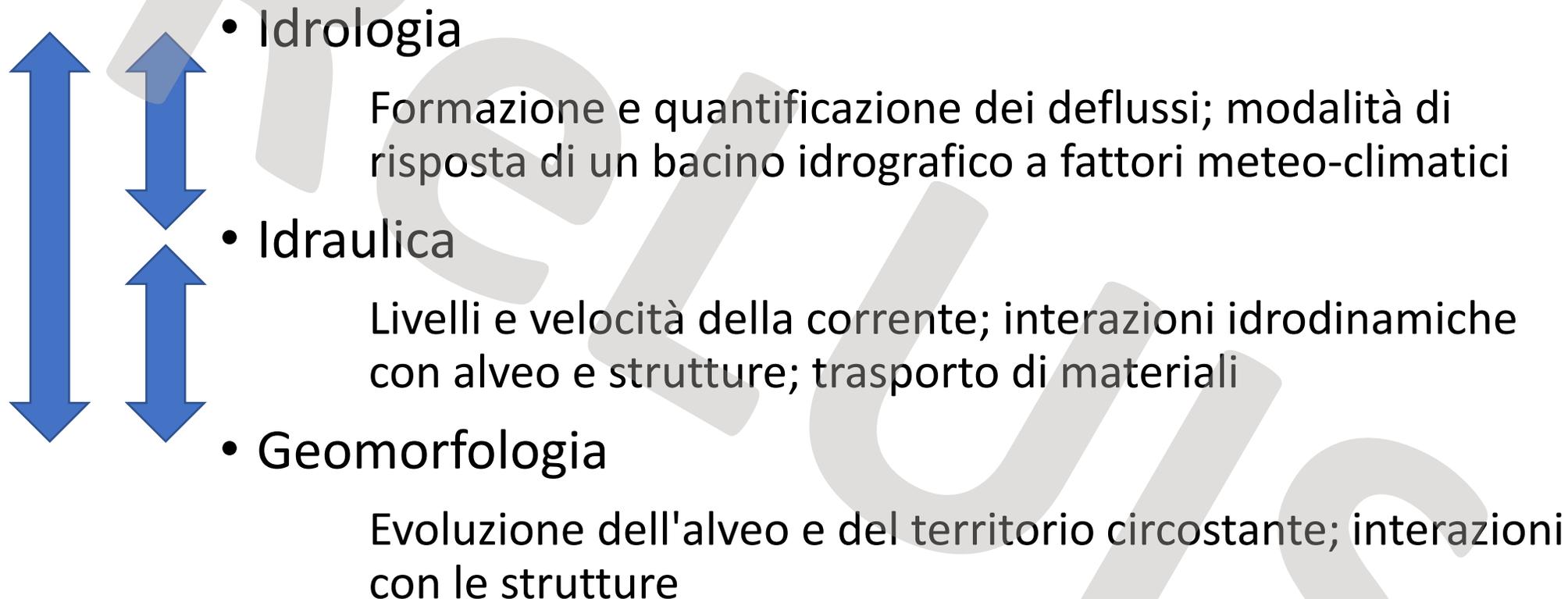
alveo/tronco fluviale

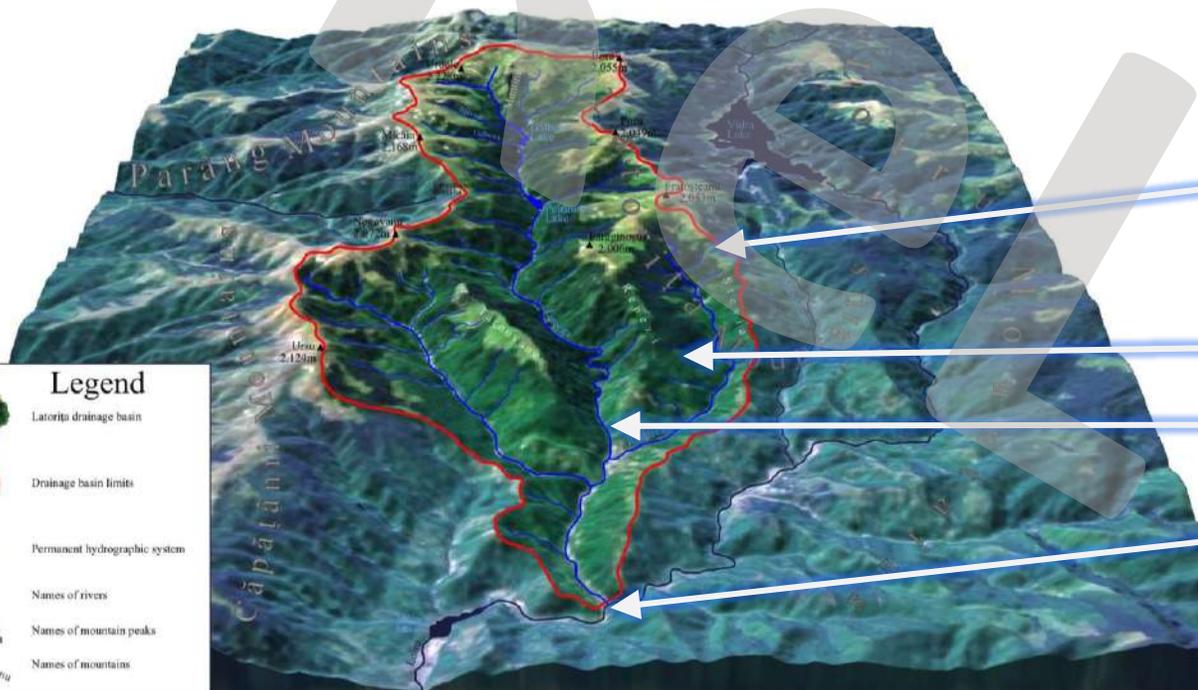


sezione locale



Possibile feedback





Bacino idrografico (da Wikipedia ENG)

Porzione di territorio che raccoglie e drena le acque

Definito in base agli spartiacque topografici (delimitazione del bacino)

Versanti

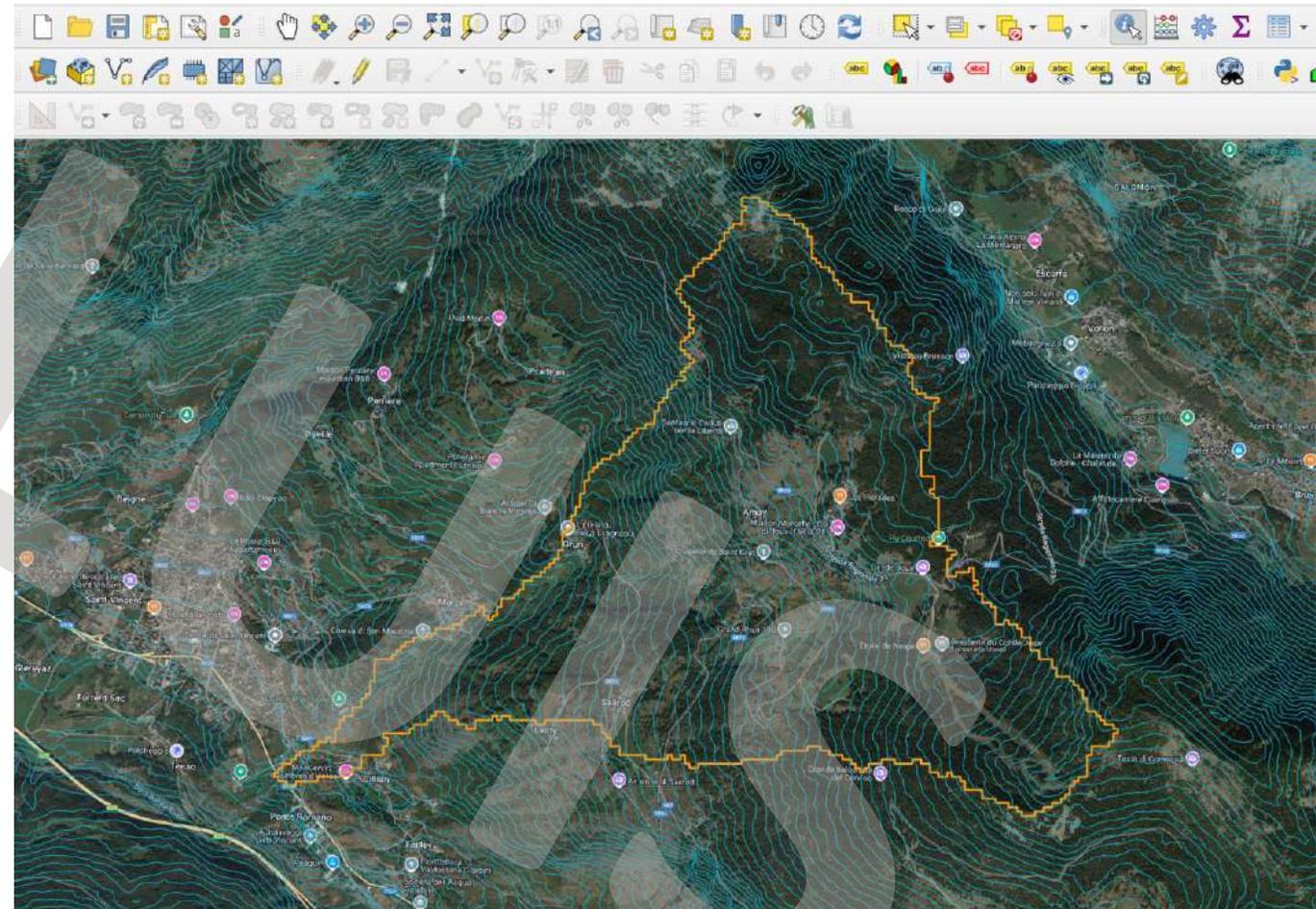
Reticolo idrografico

Sezione di chiusura (identificata sul reticolo idrografico)

Per i bacini più piccoli si trovano meno informazioni, ma la pericolosità idraulica può essere comunque elevata. Il caso tipico sono i torrenti montani.

Si noti che **l'area del bacino sotteso dal ponte è un parametro richiesto dalle linee guida** (e che concorre alla valutazione della vulnerabilità). Pertanto deve essere determinato.

La perimetrazione del bacino si può ottenere con operazioni GIS relativamente semplici.

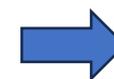


Informazioni per la valutazione dei livelli

Dove ottenere le informazioni sui livelli?
Sono possibili diverse soluzioni:

- Studi specifici → *Spesso non disponibili*
- Studi sistematici (PGRA/PAI) con mappe di dettaglio del livello/tirante → *Disponibili solo in alcuni hotspot (da verificare su prodotti AdB)*
- Studi sistematici (PGRA/PAI) con livello/tirante definito in specifiche sezioni → *Tipicamente disponibili in diverse sezioni dei corsi d'acqua principali (da verificare su prodotti AdB)*
- Combinazione di fasce di allagamento (PGRA/PAI) con dati topografici → *Fasce disponibili su molti corsi d'acqua; da valutare la qualità dei dati topografici*
- Analisi idrologico/idraulica semplificata → *Necessaria soprattutto nei piccoli corsi d'acqua che non rientrano nelle mappe PGRA/PAI*

Oppure: le linee guida prevedono alcune casistiche in cui si può ricorrere a considerazioni puramente geometriche



*Quota sponda + 50 cm
o quota argine + 20 cm*

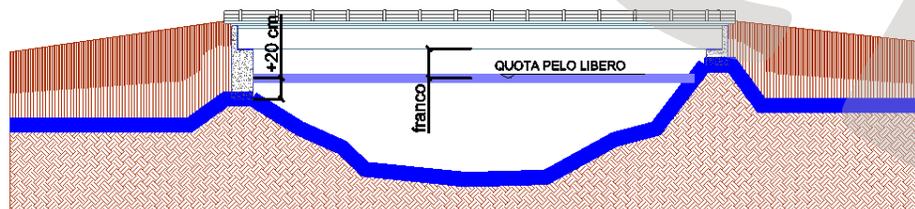
PRESENZA fasce PGRA/PAI

Livelli disponibili

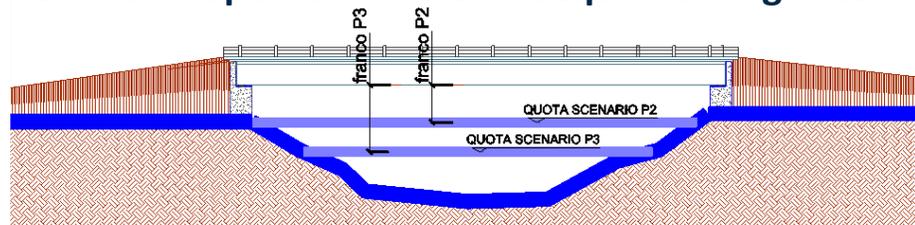
Pertanto, laddove sia possibile reperire le quote del pelo libero relative allo scenario P2 e/o P3 dai PGRA (Piano Gestione Rischio Alluvioni) o dai PAI (Piani Assetto Idrogeologico) o da altri studi approvati, è preferibile riferirsi direttamente a questi dati.

Se, invece, non esistono specifiche modellazioni del corso d'acqua o non sono reperibili i risultati di queste ultime o anche qualora la perimetrazione sia stata effettuata dall'Autorità di Distretto competente basandosi su criteri morfologici si potrà seguire la metodologia indicata nelle Linee Guida.

Livelli non disponibili – corso d'acqua arginato

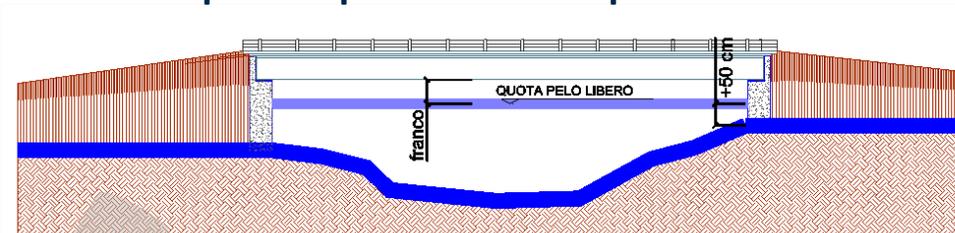


Livelli non disponibili – corso d'acqua non arginato

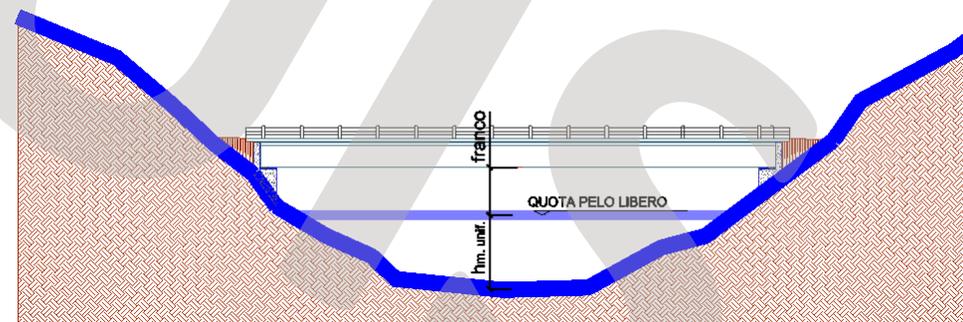


ASSENZA fasce PGRA/PAI

Corso d'acqua con possibilità di espansione laterale



Q idrologica + h moto uniforme



Es. da dati AdB Po

Tiranti: mappe di dettaglio

- Solo in alcune aree limitate

Tiranti: in specifiche sezioni

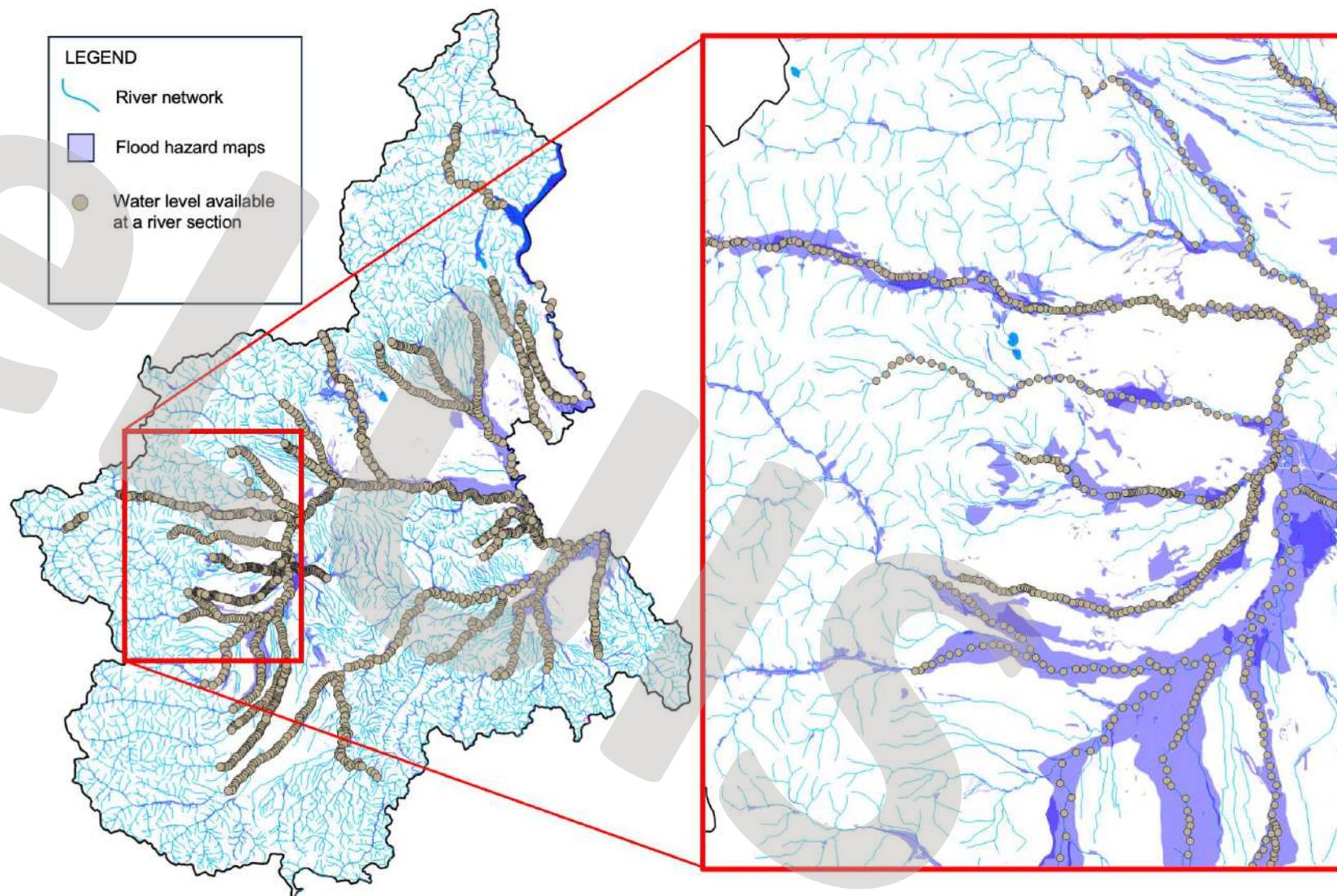
- In corrispondenza dei punti della mappa. Occorre valutare se il ponte è in prossimità di una sezione

Mappe di allagamento (senza dato li livello)

- Disponibili in molti corsi d'acqua, ma non in quelli minori

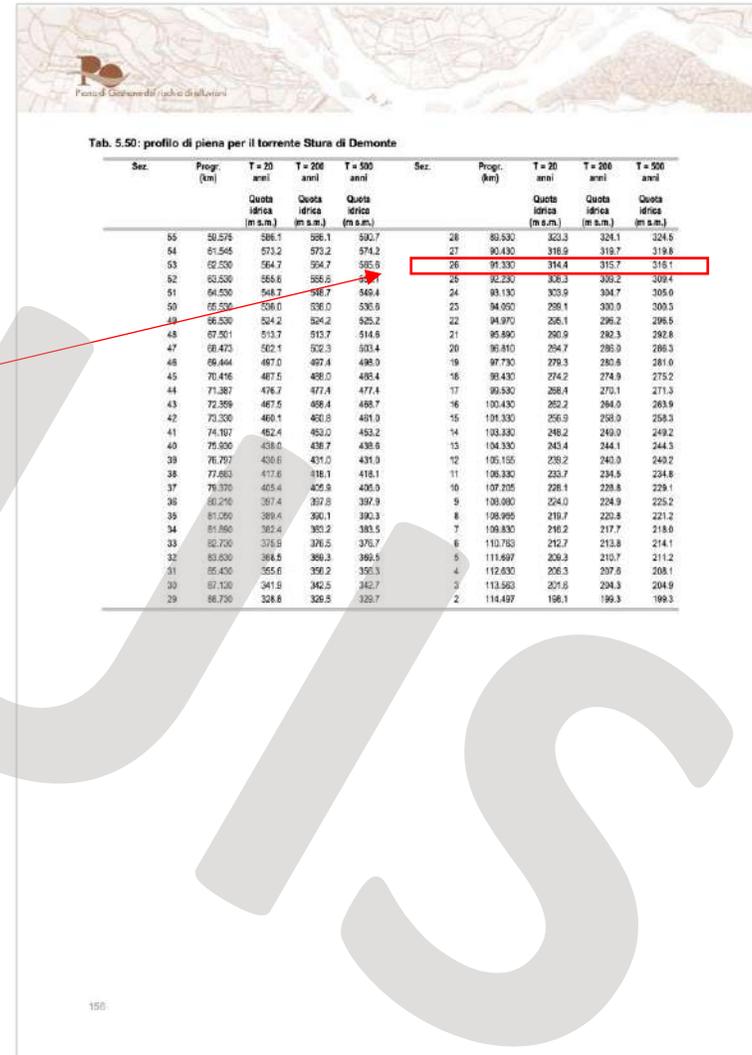
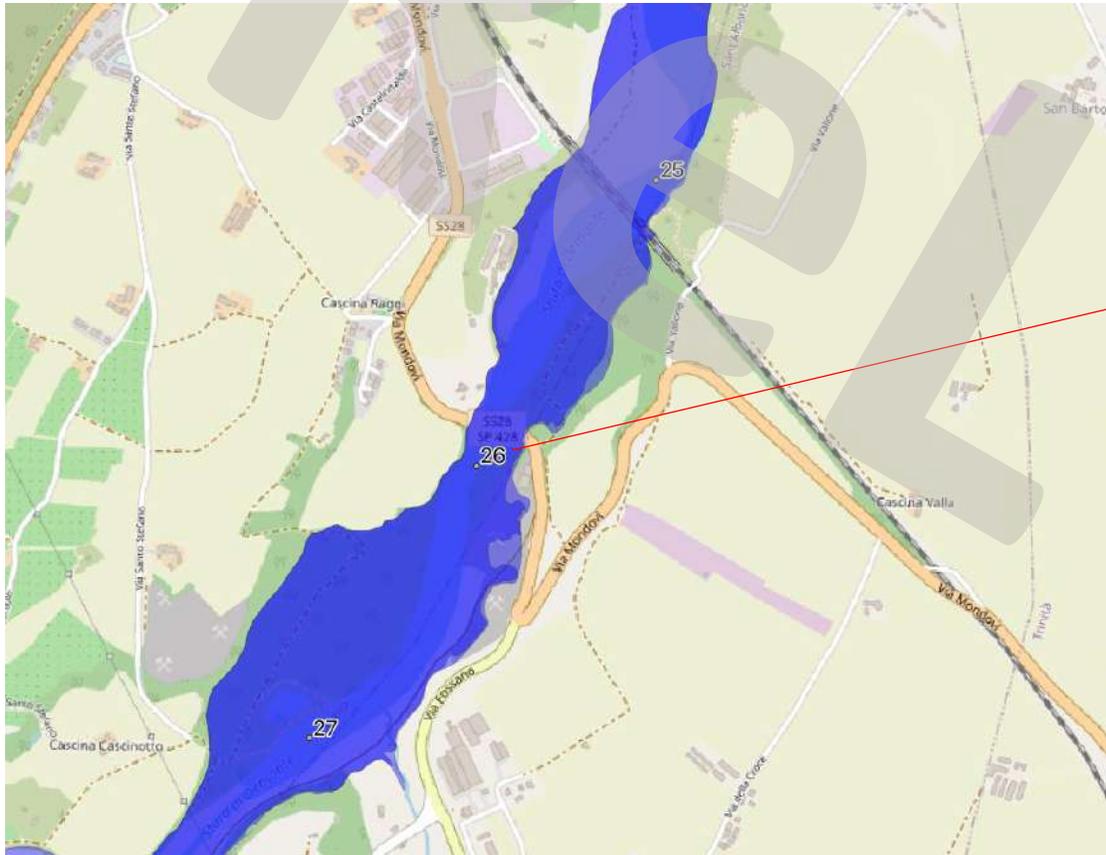
NO tiranti, NO mappe di allagamento

- Analisi idrologico-idraulica semplificata nel resto del reticolo

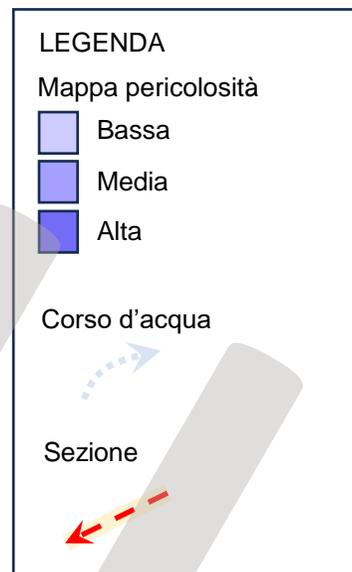
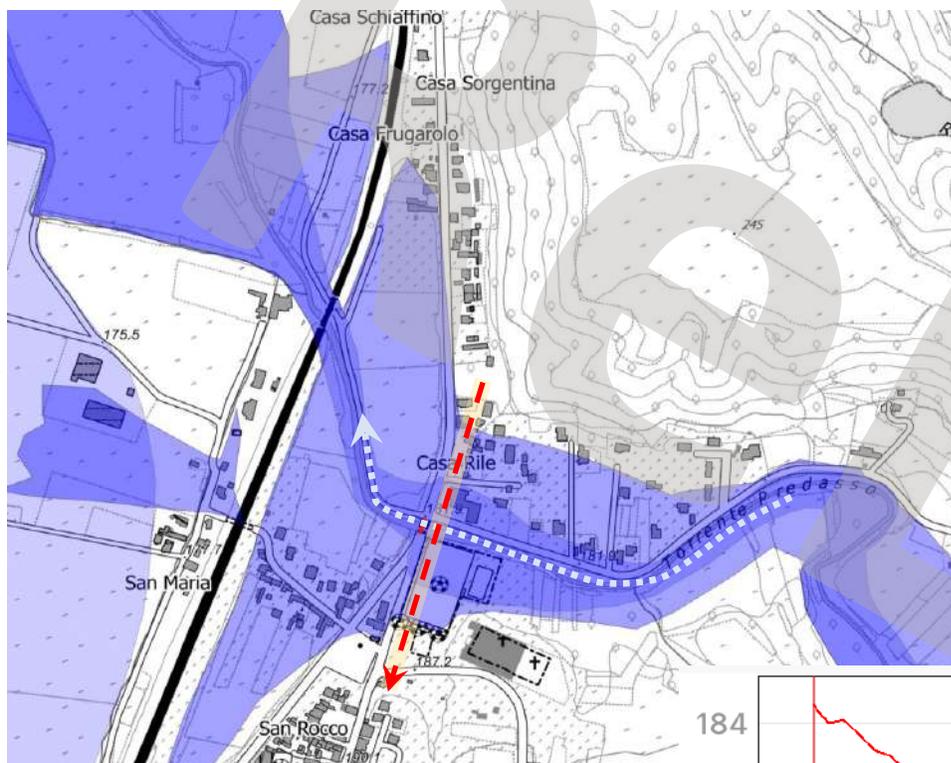


Studi sistematici (PGRA/PAI) con livello/tirante definito in specifiche sezioni

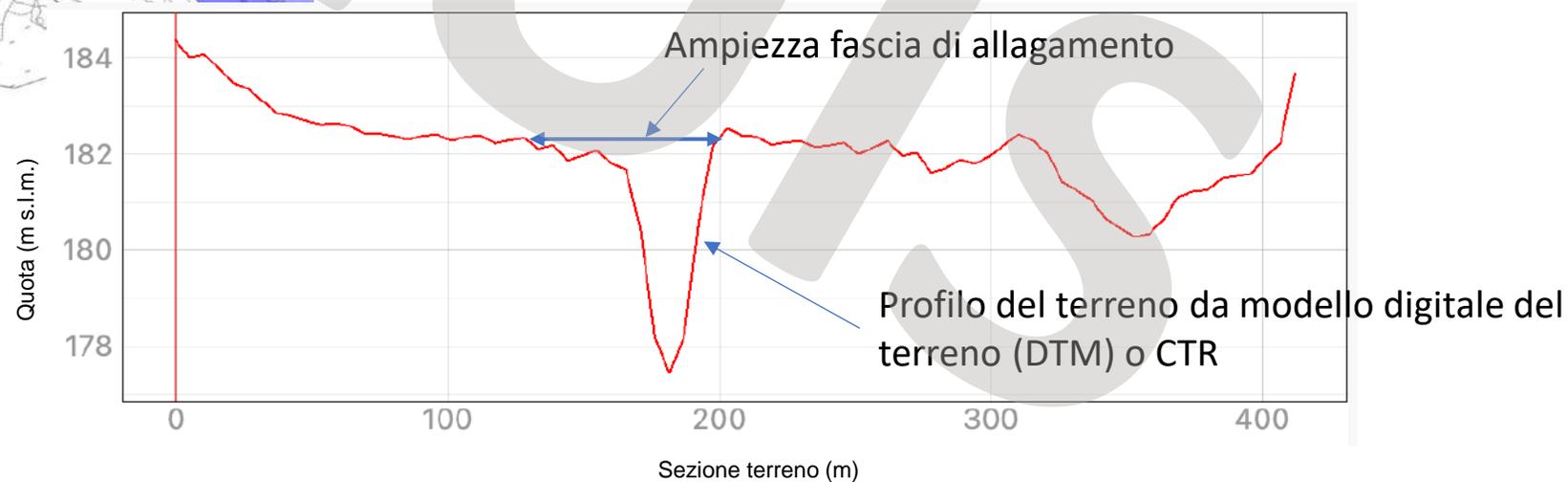
Es. da dati AdB Po



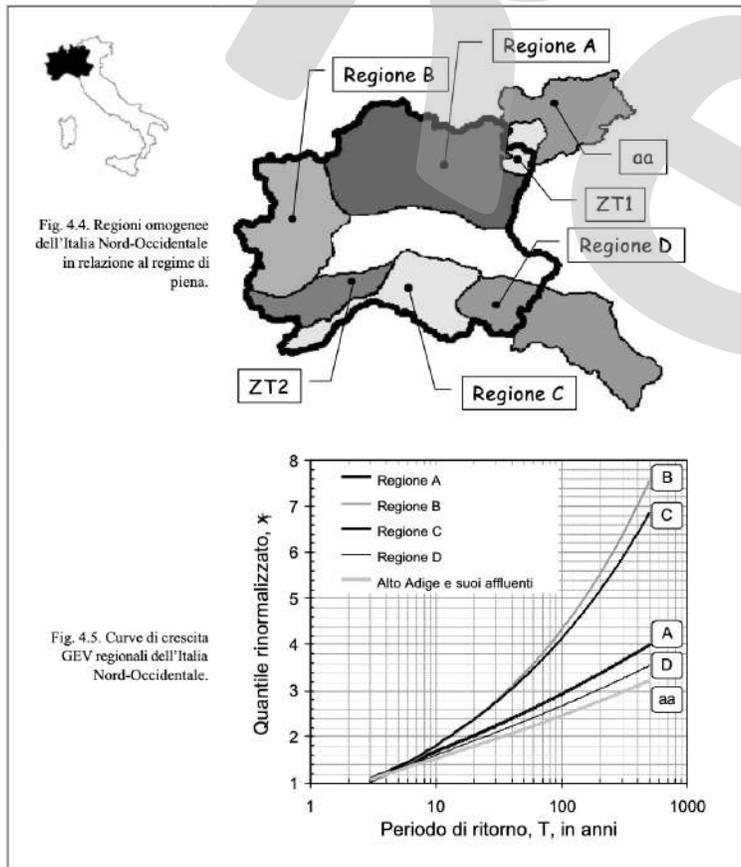
Combinazione di fasce di allagamento (PGRA/PAI) con dati topografici



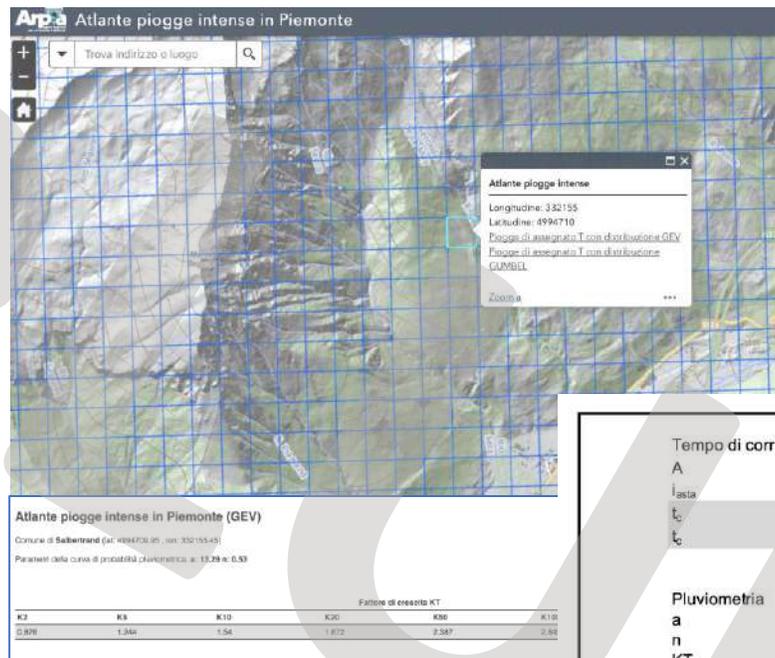
È importante verificare l'affidabilità del dato topografico e la congruenza delle fasce con l'andamento del terreno ottenuto



Per bacini di medie dimensione ($\sim >100 \text{ km}^2$) solitamente sono disponibili modelli «regionali» (ad esempio i VA.PI.)



Per bacini di piccola dimensione ($\sim <100 \text{ km}^2$) è possibile applicare modelli afflussi-deflussi semplificati (ad esempio la formula razionale)

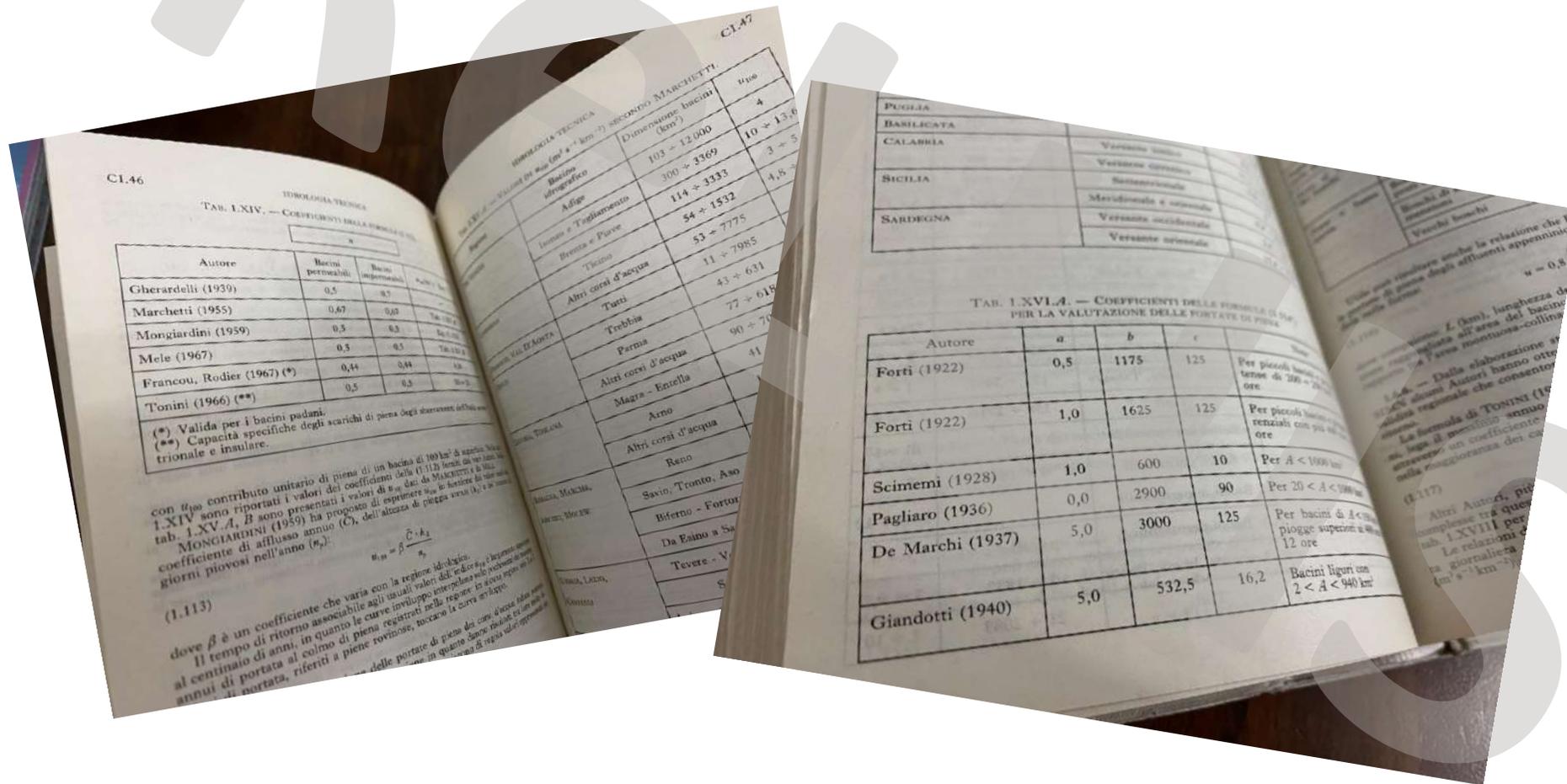


Tempo di corrivazione (formula di Ventura)		$t_c = 0.127 \sqrt{\frac{A}{i_{asta}}}$
A	3.8 km ²	
i _{asta}	0.35 m/m	
t _c	0.42 ore	$h_T(t_c) = a \cdot t_c^n \cdot K_T$
t _c	25.1 minuti	
Pluviometria		$i_T(t_c) = \frac{h_T(t_c)}{t_c}$
a	13.3 mm/h	
n	0.54	
KT	3.4	
T	200 anni (GEV)	
h _T (t _c)	28.3 mm	$Q = \frac{c \cdot i_T(t_c) \cdot A}{3.6}$
i _T (t _c)	67.5 mm/h	
Formula razionale		$Q = \frac{c \cdot i_T(t_c) \cdot A}{3.6}$
c	1	
Q	71.3 m ³ /s	coeff. di afflusso portata di picco

Di relativamente facile applicazione (solitamente richiedono minime analisi GIS)

I dati di pioggia intensa sono normalmente facili da reperire e le incertezze del modello sono compatibili con il livello speditivo dell'analisi.

Le linee guida suggeriscono il possibile uso di formule di letteratura «storiche» (anni '20-'30 del 1900). Tali formule non hanno una connotazione probabilistica e, vista la disponibilità di alternative, si suggerisce di non usarle.



È possibile valutare il tirante considerando condizioni di moto uniforme:
portata costante e geometria indefinita invariabile

$$Q = k_s \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot A \cdot \sqrt{i}$$

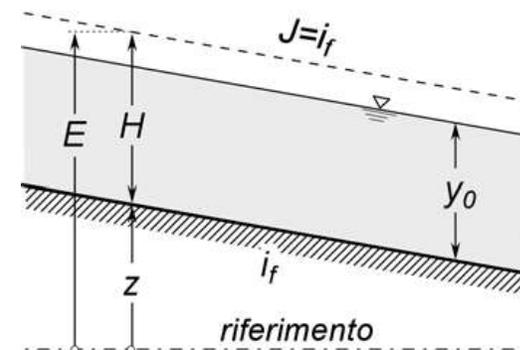
Q = portata precedentemente determinata;

k_s = scabrezza alveo;

A = area bagnata della sezione (dipende dal tirante y_0)

R = raggio idraulico della sezione (dipende dal tirante y_0)

i = pendenza alveo



Soluzione ragionevole quando
l'alveo è canalizzato e senza
interferenze significative



In generale, la valutazione più dettagliata dei fenomeni erosivi in prossimità richiede un'analisi idraulica (e idrologica) più raffinata e l'applicazione di modelli disponibili in letteratura.

Es. di modello di erosione localizzata da HEC n.18
(Arneson et al., 2012)

$$\frac{y_s}{a} = 2.0 K_1 K_2 K_3 \left(\frac{y_1}{a} \right)^{0.35} Fr_1^{0.43}$$

where:

- y_s = Scour depth, ft (m)
- y_1 = Flow depth directly upstream of the pier, ft (m)
- K_1 = Correction factor for pier nose shape from Figure 7.3 and Table 7.1
- K_2 = Correction factor for angle of attack of flow from Table 7.2 or Equation 7.4
- K_3 = Correction factor for bed condition from Table 7.3
- a = Pier width, ft (m)
- L = Length of pier, ft (m)
- Fr_1 = Froude Number directly upstream of the pier = $V_1/(gy_1)^{1/2}$
- V_1 = Mean velocity of flow directly upstream of the pier, ft/s (m/s)
- g = Acceleration of gravity (32.2 ft/s²) (9.81 m/s²)

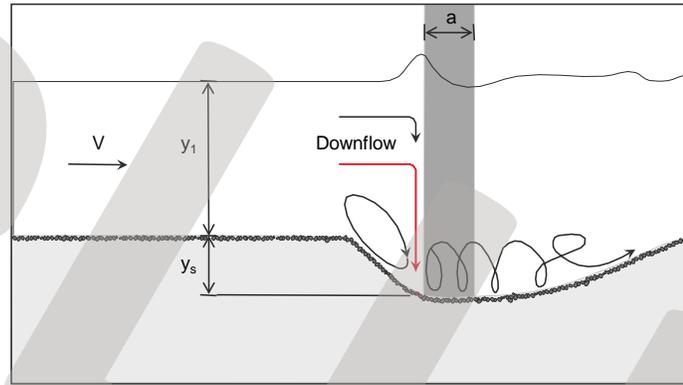


Figure 7.2. Definition sketch for pier scour.

Evaluating Scour at Bridges
Fifth Edition

Riferimenti bibliografici:

- L.A. Arneson, L.W. Zevenbergen, P.F. Lagasse, and P.E. Clopper, 'Evaluating scour at bridges, Hydraulic Engineering Circular No. 18', 2012.
- Bruce W. Melville and Stephen E. Coleman, 'Bridge scour', 2000.
- Franzetti S., Radice A., Rebai D., and Ballio F., 'Clear Water Scour at Circular Piers: A New Formula Fitting Laboratory Data with Less Than 25% Deviation', Journal of Hydraulic Engineering, 2022.

È comunque sempre opportuna, dove può essere rilevante, la valutazione della stabilità dell'alveo, anche in maniera qualitativa, attraverso l'uso di immagini satellitari ripresi in diversi momenti → monitoraggio



Reluis

Le linee Guida

- Normativa italiana di riferimento
- Generalità sulle Linee guida 2020 per i ponti esistenti
- Livello 0 – Reperimento ed interpretazione dei dati di base
- Livello 1 – Ispezione e rilievo dei fenomeni idraulici
- Livello 2 – Determinazione della Classe di Attenzione per i fenomeni idraulici

Normativa Italiana di Riferimento

NTC 2018 (+CIRC 2019)
LLGG20 (+ IO 2022)

Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale", n. 42 del 20 febbraio 2018 - Serie generale

Spedite: abb. post. - art. 1, comma 1
Legge 17-01-2004, n. 46 - Filiale di Roma

GAZZETTA UFFICIALE
DELLA REPUBBLICA ITALIANA

PARTE PRIMA Roma - Martedì, 20 febbraio 2018 SI PUBBLICA TUTTI I GIORNI NON FESTIVI

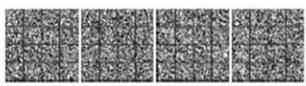
DIREZIONE E REDAZIONE: PRESSO IL MINISTERO DELLA GIUSTIZIA - UFFICIO PUBBLICAZIONE LEGGI E DECRETI - VIA ARENULA, 70 - 00186 ROMA
AMMINISTRAZIONE PRESSO L'ISTITUTO POLIGRAFICO E ZECCA DELLO STATO - VIA SALARIA, 691 - 00138 ROMA - CENTRALINO 06-85001 - LIBRERIA DELLO STATO
PIAZZA G. VERDI, 1 - 00198 ROMA

N. 8

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE
E DEI TRASPORTI

DECRETO 17 gennaio 2018.

**Aggiornamento delle «Norme tecniche per
le costruzioni».**



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

**LINEE GUIDA PER
LA CLASSIFICAZIONE E GESTIONE DEL RISCHIO,
LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA
ED IL MONITORAGGIO DEI PONTI ESISTENTI**

Normativa italiana di riferimento

Processi da considerare

Si chiede uno **studio di compatibilità idraulica** del ponte:

- Analisi idrologica degli eventi di piena, comprensiva dei mesi in cui si attendono le piene; tenere conto dei cambiamenti climatici [LLGG20]
- Scala delle portate e profilo di rigurgito
- Formazione di ammassi di detriti galleggianti
- Fenomeni erosivi localizzati e generalizzati (la LLGG20 aggiunge esplicitamente di tenere conto delle variazioni altimetriche globali del fondo)
- Trasporto solido di fondo
- Urti e abrasioni dovuti a natanti e corpi flottanti

Le NTC18 aggiungono un concetto importante: ponte e opere di difesa ed accessorie, quando interessino l'alveo, vanno considerate nel loro insieme. Chiedono inoltre di considerare:

- assetto morfologico e sua possibile evoluzione
- condizioni limite di navigabilità (ove rilevante)
- stabilità di argini e sponde in conseguenza dello scavo localizzato a pile e spalle
- sollecitazioni indotte dall'acqua (scalzamento e azioni idrodinamiche) in combinazione con le azioni variabili

Normativa italiana di riferimento

Indicazioni di non/minima interferenza

Le NTC18 riprendono la logica delle prescrizioni di natura fluviale (definite da autorità di distretto e simili). Tali prescrizioni riguardano principalmente:

- la geometria del p
 - il franco minimo
- In particolare si parla

CIRCOLARE 2019

§C5.1.2.3 «... s'intende per **alveo** la sezione occupata dal deflusso della portata di piena di progetto. Quest'ultima è a sua volta caratterizzata da un tempo di ritorno pari a $Tr=200$ anni, dovendosi intendere tale valore quale il più appropriato da scegliere, non escludendo tuttavia valori anche maggiori che devono però essere adeguatamente motivati e giustificati.»

- Portata di riferimento per le valutazioni che ne dipendono (Piena di progetto con $Tr \geq 200$ anni)
- Il manufatto (pile, spalle, rilevato) non deve interessare la sezione d'alveo né gli argini
- Franco idraulico minimo (≥ 1.5 m); quota di sottotrave superiore a quella dell'argine

NTC18

- Luce netta minima
 - Se si temono tro
- §5.1.2.3 «Il **franco idraulico**, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture...»

Normativa italiana di riferimento

Interfaccia con la verifica strutturale

Nelle NTC18 le azioni idrauliche sono (sommariamente) inquadrare nella logica delle **azioni variabili** e conseguenti combinazioni di carico (tipo: vento)

5.1.3. AZIONI SUI PONTI STRADALI

Le azioni da considerare nella progettazione dei ponti stradali sono:

- le azioni permanenti;
- distorsioni e deformazioni impresse;
- le azioni variabili da traffico;
- le azioni variabili (variazioni termiche, spinte idrodinamiche, vento, neve e le azioni sui parapetti);
- le resistenze passive dei vincoli;
- gli urti sulle barriere di sicurezza stradale di veicoli in svio;
- le azioni sismiche;
- le azioni eccezionali.

§5.1.2.3 «Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associate al **livello idrico massimo che si verifica mediamente ogni anno** (si assuma $T_r=1,001$) devono essere combinate con le **altre azioni variabili** adottando valori del **coefficiente ψ_0 unitario**.

§5.1.2.3 «Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associati all'**evento di piena di progetto** devono essere combinate **esclusivamente con le altre azioni variabili da traffico**, adottando per queste ultime i **coefficienti di combinazione ψ_1** .

Normativa italiana di riferimento

Interfaccia con la verifica strutturale

Quali effetti del corso d'acqua si considerano, quindi, “lo scalzamento e le azioni idrodinamiche”; tali scenari, che comprendono variazioni geometriche e forze, vengono gestiti nella logica delle *azioni variabili*; le LLGG20 indicano esplicitamente la necessità di includere gli effetti idraulici tra le azioni variabili ambientali.

Cercando di interpretare lo spirito delle NTC, riunificando affermazioni sparse in diversi punti del documento, si può proporre che gli scenari devono comprendere:

- Geometria del fondo alveo (quota del fondo attorno alle pile) quale conseguenza di erosione localizzata e generalizzata;
- Forze (drag, lift) idrodinamiche sulla struttura;
- Forze d'urto di natanti e corpi flottanti.

Le LLGG illustrano una *«procedura per la gestione della sicurezza dei ponti esistenti, ai fini di prevenire livelli inadeguati di danno, rendendo accettabile il rischio».*

Sono composte da 3 parti:

- ❖ Censimento e classificazione del rischio
- ❖ Verifica della sicurezza
- ❖ Sorveglianza e monitoraggio

§1.1 «... per **ponti e viadotti** si intendono le costruzioni, aventi luce complessiva superiore ai **6.0 m**, che permettono di oltrepassare una depressione del terreno o un ostacolo, sia esso un corso o uno specchio d'acqua, altro canale o via di comunicazione o una discontinuità naturale o artificiale.»

Le LLGG forniscono *«gli strumenti per la conoscenza a livello territoriale dei ponti, ... e per definire le priorità per l'esecuzione delle eventuali operazioni di sorveglianza e monitoraggio, di verifica e di intervento.»*

Non sono applicabili ai ponti aventi luce complessiva minore di 6.0 m

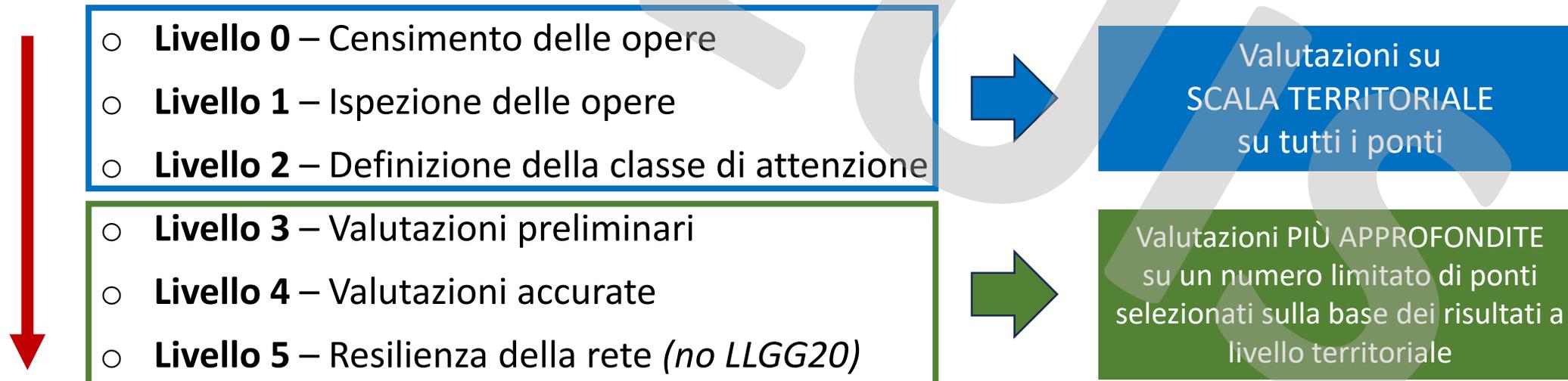
ma...

«sarà comunque cura del gestore dell'infrastruttura definire le modalità di sorveglianza e monitoraggio, anche in termini di cadenza temporale, in funzione delle specifiche peculiarità delle opere e delle caratteristiche territoriali.»

La classificazione del rischio è effettuata attraverso la definizione della CLASSE DI ATTENZIONE (CdA)

RISCHIO \approx CLASSE DI ATTENZIONE

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



La CdA è una **stima approssimata dei fattori di rischio**, utile per:

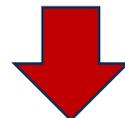
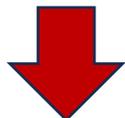
- la definizione di un ordine di priorità per l'approfondimento delle indagini/verifiche/controlli
- la programmazione degli interventi manutentivi e strutturali

Le LLGG prevedono **5 Classi di Attenzione**:

- 
- **Classe Bassa**
 - **Classe Medio-Bassa**
 - **Classe Media**
 - **Classe Medio-Alta**
 - **Classe Alta**

*Il valore della CdA è individuato mediante la valutazione semplificata della **Pericolosità**, della **Vulnerabilità** e dell'**Esposizione** associati alla singola opera (e ai singoli fattori di rischio, successivamente combinati).*

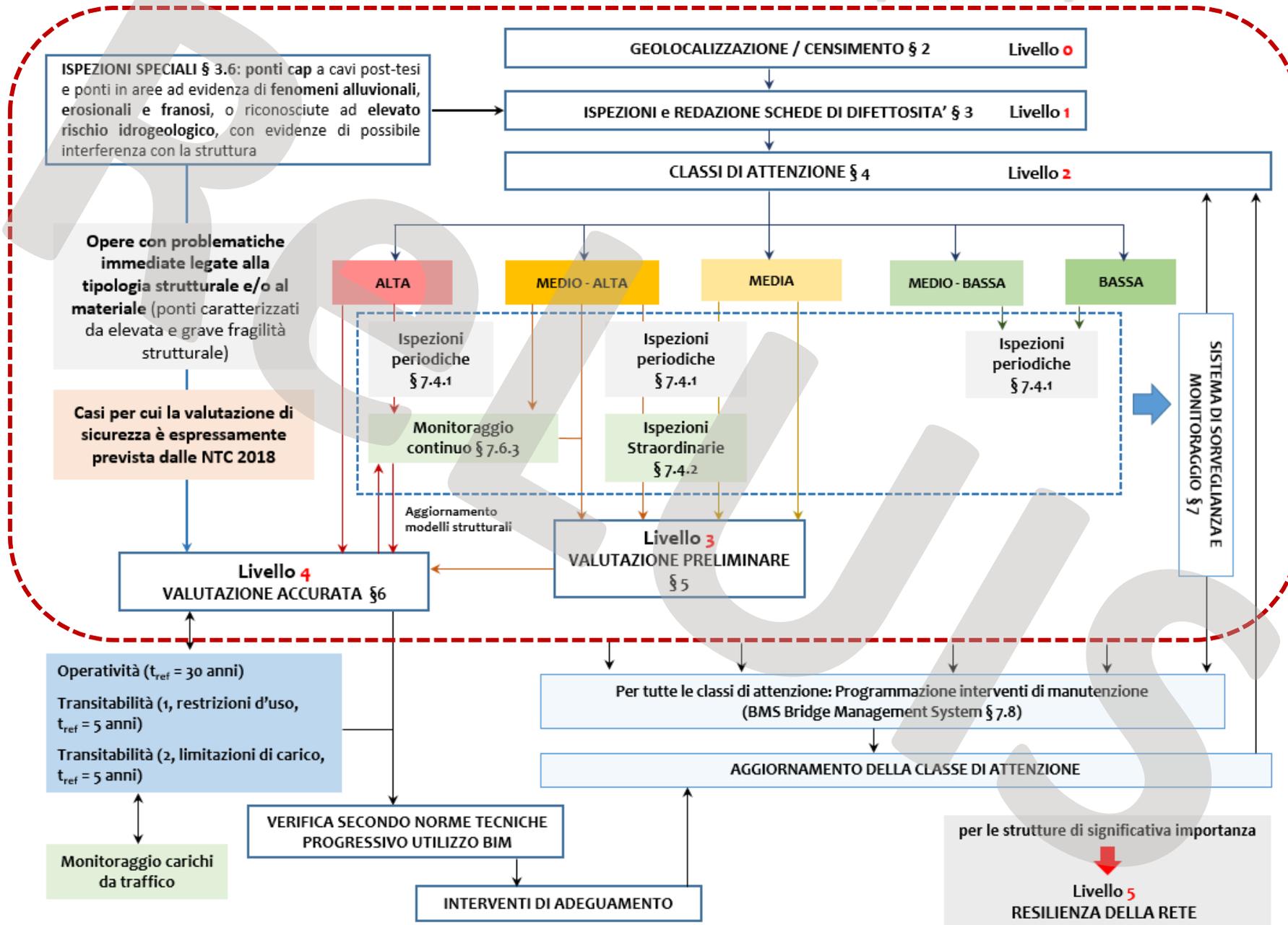
Valutazione della CdA in funzione dei possibili RISCHI RILEVANTI

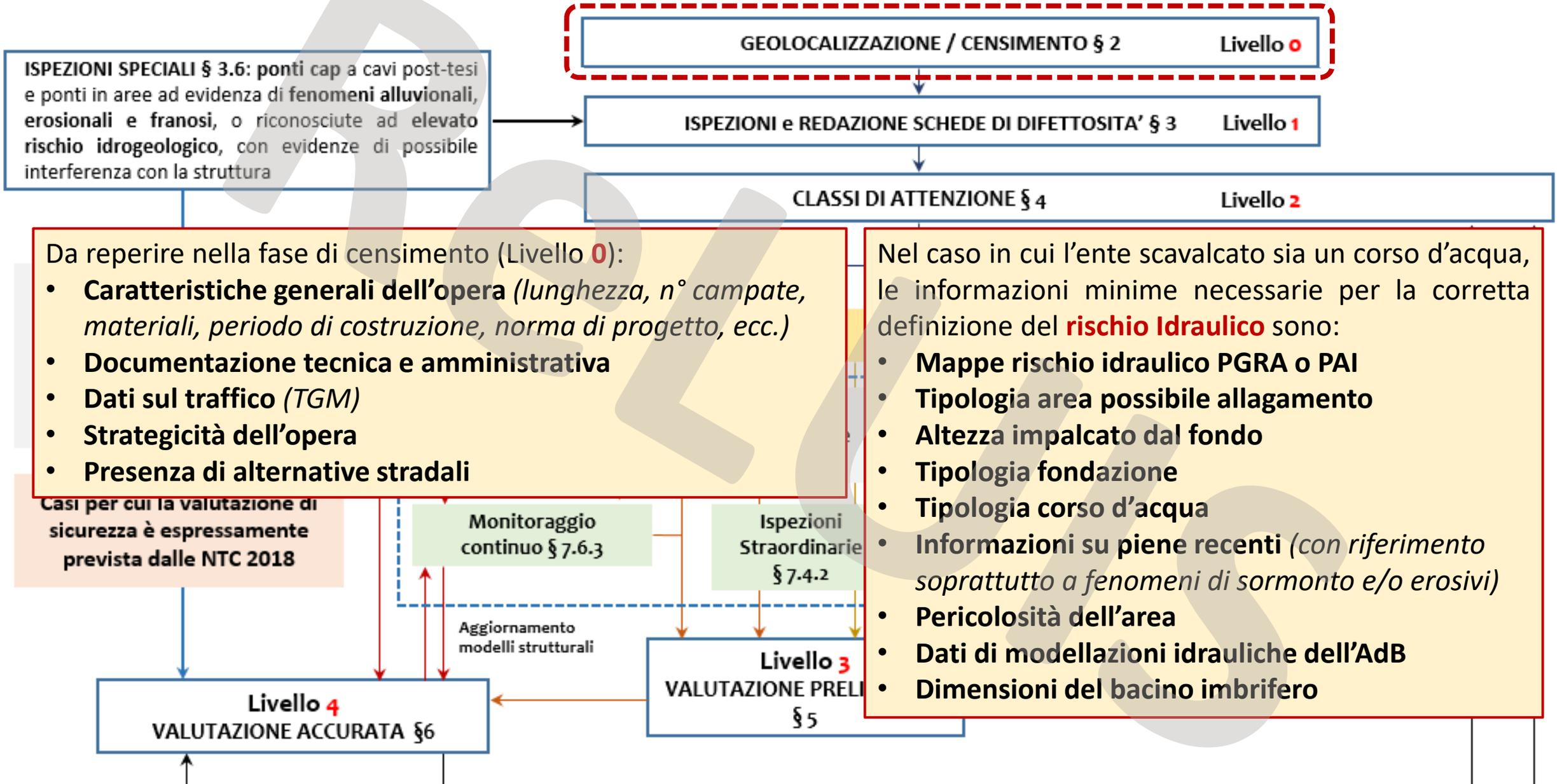


AZIONI che si
verificano nelle normali
**CONDIZIONI DI
ESERCIZIO**

AZIONI con periodo di ritorno più elevato

Relazione tra i livelli di analisi (LLGG20)





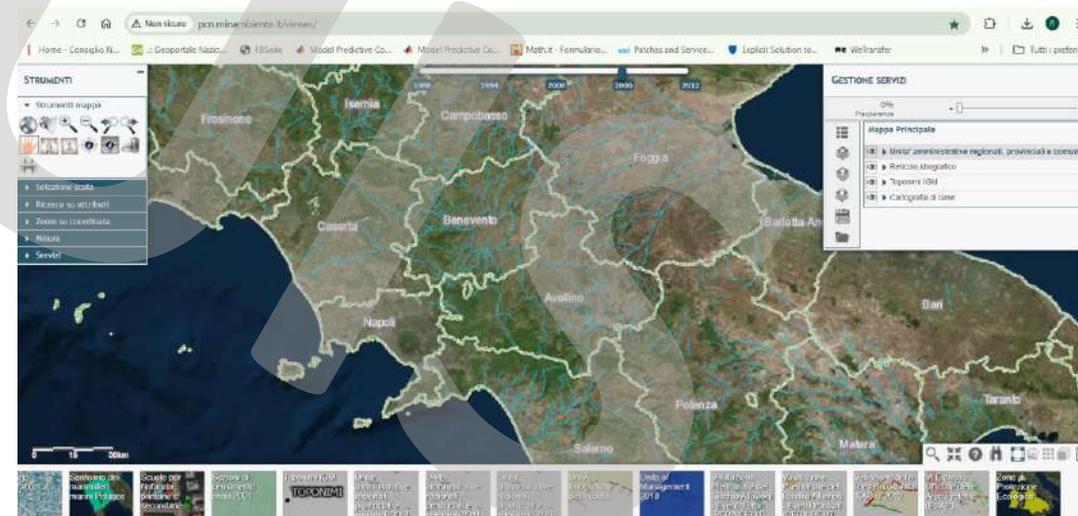
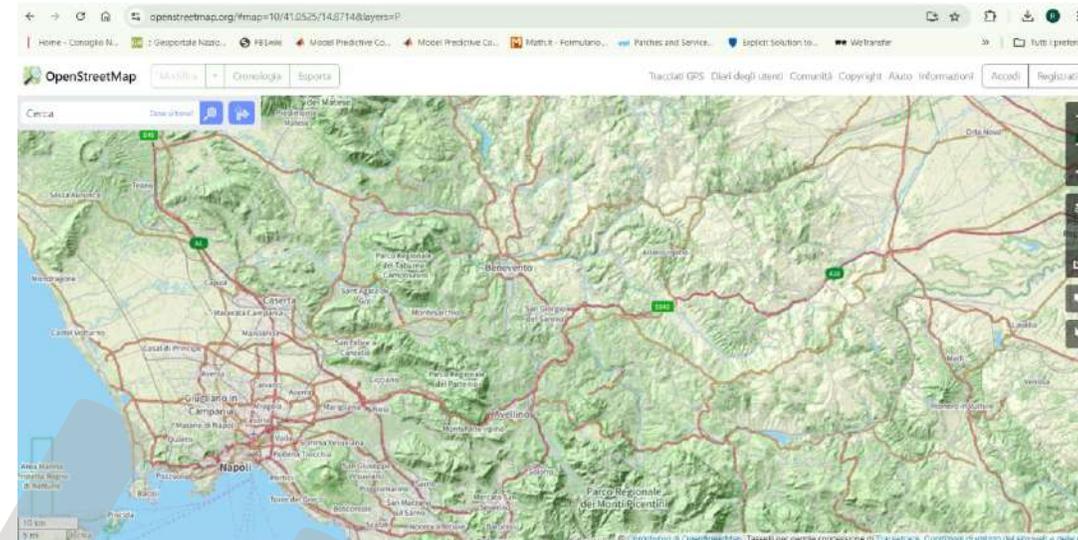
Informazioni minime da reperire Livello 0

Geolocalizzazione

- <http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>
- <https://www.openstreetmap.org/>
- <https://www.google.it/maps>
- Google Earth
- ...

Tipologia corso d'acqua attraversato

- Geoportale Nazionale
<http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>
- Piani dell'Autorità di Bacino Distrettuale



Informazioni minime da reperire Livello 0

Autorità di Bacino o Distretto a cui è nota pericolosa PGRA o PAI è possibile riscontrare le seguenti informazioni (PGRA o PAI)

- Fenomeno riconosciuto ma non ancora studiato
- **Stato di rischio idraulico** (PGRA o PAI) sulle mappe sulla base di dati storici
- **Tipologia corso d'acqua studiato** – è presente una perimetrazione sulle mappe sulla base di dati storici
- **Pericolosità dell'area**
- Fenomeno modellato ed oggetto di monitoraggio e presente una modellazione specifica e successivo monitoraggio
- Fenomeno oggetto di opere di mitigazione – ad esempio opere di laminazione quali vasche di espansione a monte del ponte



LEGENDA

Fasce fluviali

- A
- B
- B1
- B2
- B3
- C

Aree n

Squilibri (Rischio)

- R1
- R2
- R3
- R4

Aree n

Reticolo

Limiti Co

Limiti di UoM

SCENARIO ALLUVIONI POCO FREQUENTI - TEMPO DI RITORNO T = 100 ANNI							SCENARIO ALLUVIONI RARE DI ESTREMA INTENSITA' - TEMPO DI RITORNO T = 300 ANNI						
Corso d'acqua	Sezione	Q [m ³ /s]	V ₁ [m s.Lm.]	V ₂ [m s.Lm.]	h ₁ [m]	V ₁ [m/s]	Corso d'acqua	Sezione	Q [m ³ /s]	V ₁ [m s.Lm.]	V ₂ [m s.Lm.]	h ₁ [m]	V ₁ [m/s]
		Portata	Quota minima al fondo	Livello idrico assoluto	Timone idrico rispetto al fondo alveo	Velocità media nella sezione			Portata	Quota minima al fondo	Livello idrico assoluto	Timone idrico rispetto al fondo alveo	Velocità media nella sezione
LUPATA	sezione 129	597.33	361.14	365.99	4.85	4.20	LUPATA	sezione 129	727.69	361.14	366.44	5.30	4.41
	sezione 126 c	597.33	356.43	360.75	4.32	3.19		sezione 126 c	727.69	356.43	361.18	4.75	3.46
	sezione 122	597.33	353.08	356.61	3.53	4.69		sezione 122	727.69	353.08	356.89	3.81	5.12
	sezione 120	597.33	348.85	352.39	3.54	5.06		sezione 120	727.69	348.85	353.69	4.84	2.24
	sezione 117	597.33	346.87	349.19	3.12	2.11		sezione 117	727.69	346.87	349.27	3.20	2.40
	sezione 113 c	597.33	339.06	344.16	5.10	3.37		sezione 113 c	727.69	339.06	344.39	5.83	3.49
	sezione 112	597.33	336.92	340.74	3.82	5.91	sezione 112	727.69	336.92	341.37	4.65	6.38	

Informazioni minime da reperire Livello 0

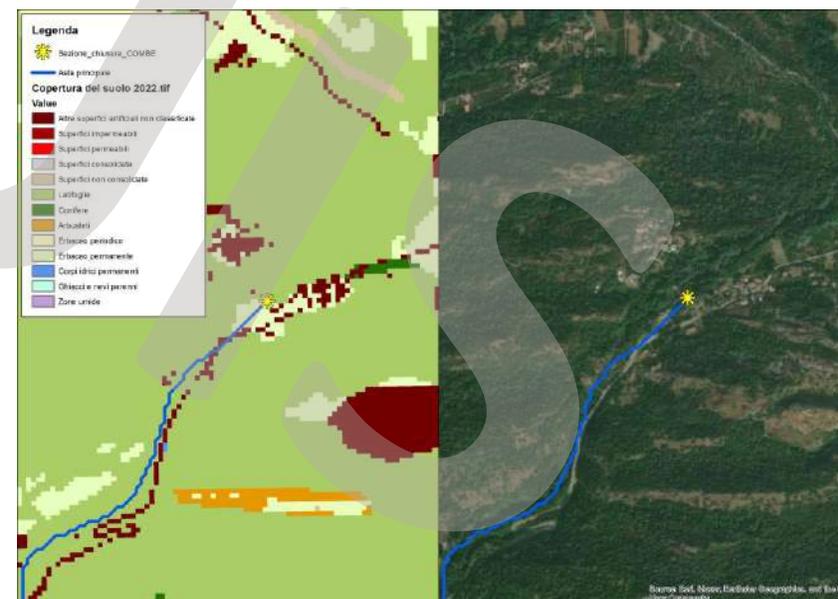
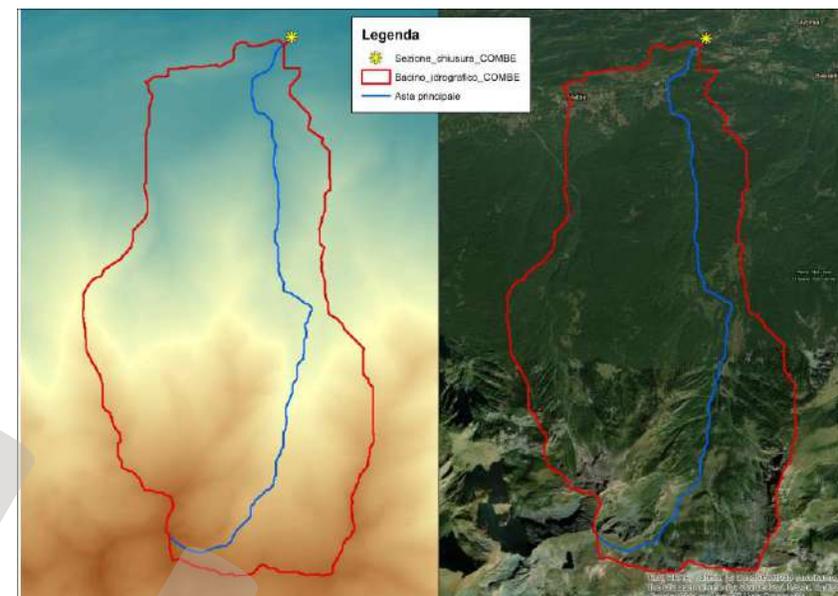
Utilizzando Strumenti GIS

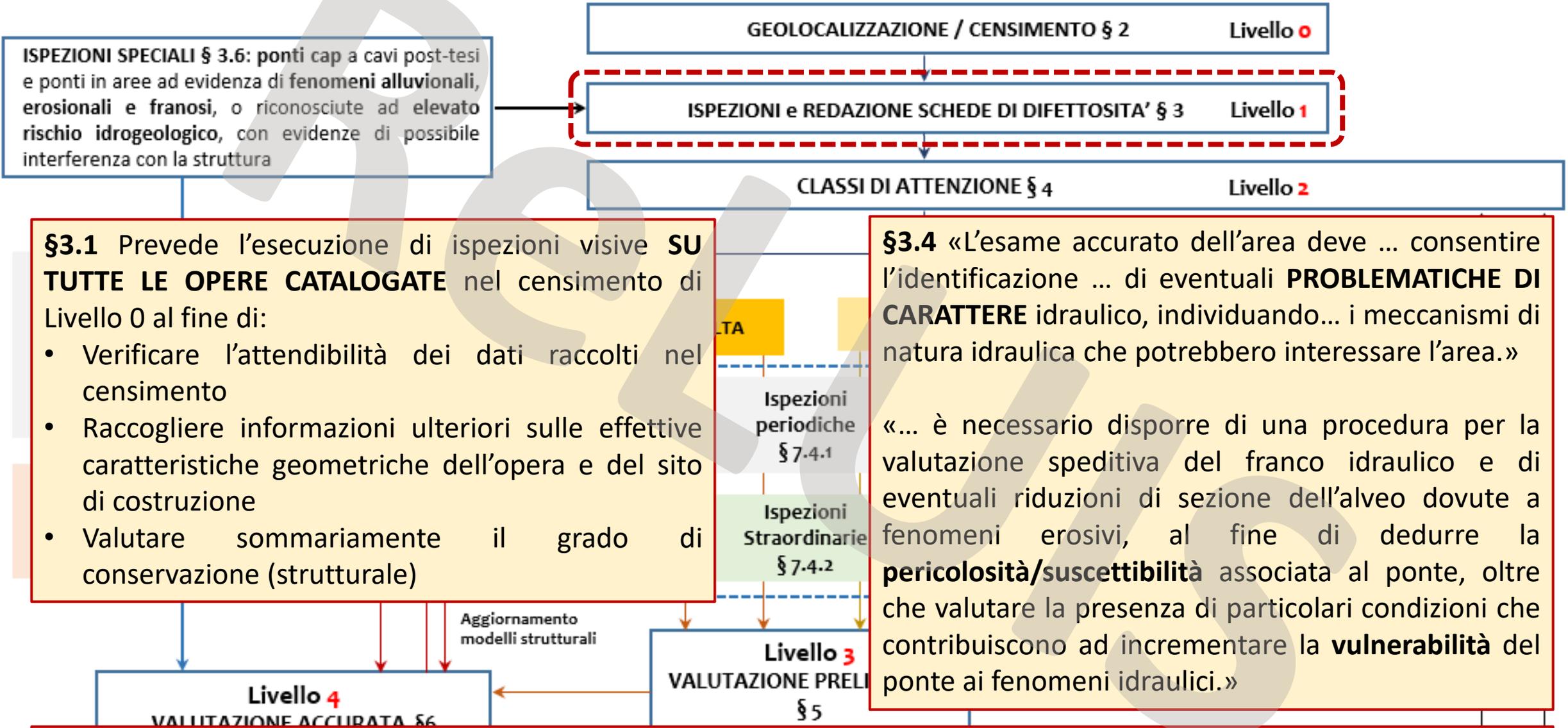
- Dimensioni del bacino imbrifero da CTR3D o DEM (*Digital Elevation Model*)



Carta Uso/Copertura del Suolo - ISPRA

- Tipologia area possibile allagamento





§3.4 Occorre inoltre considerare, quando rilevante, la **POSSIBILE INTERAZIONE TRA DUE DISTINTE OPERE D'ARTE.**

Scheda di ispezione ponti di Livello 1

Fenomeni di frana e fenomeni idraulici
(Allegato B - LLGG20)

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	_____			
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 _____

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



AINOP | Ministero delle infrastrutture e dei trasporti

Archivio Informativo delle Opere Pubbliche

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	_____			
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 _____

- Localizzazione già effettuata al Livello 0
- È opportuno, dal punto di vista idraulico, che siano presenti le coordinate geografiche iniziale e finale
- Eventuali ispezioni passate
- Presenza di rischio idraulico (da PGRA/PAI)

Ente vigilante _____

Autorità distrettuale _____

Bacino idrografico _____

- ADB territorialmente competente
- Bacino idrografico principale in cui ricade l'opera

Contesto Geomorfológico

Morfologia del sito

<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

Determinabili da cartografia tecnica regionale o modello digitale del terreno (*DEM*)

Confinamento alveo

Confinato Semiconfinato Non confinato

Definito sulla base di considerazioni idromorfologiche (*si veda Manuale IDRAIM – ISPRA*)

Stralcio Cartografico. Satellitare attuale e storico. Foto Aeree (Indicare Fonti e reperibilità) (vedi allegati)

Cartografie, foto satellitari e/o aeree e/o da drone

Riprese fotografiche e eventuale sezione schematica illustrativa (vedi allegati)

Rischio frane e rischio idraulico da documentazione disponibile

Condizione di pericolosità / rischio Cartografia PAI

Altri documenti (progetti, PUC cartografie tecnico scientifico)

Pericolosità PAI/PSAI – Frane

Pericolosità PAI/PSAI – Idraulico

AdB territorialmente competente

- Carte Pericolosità PGRA/PAI
- Carte Rischio PGRA/PAI

Altri documenti pianificatori Comunali,
Provinciali, ecc.

Rischio idraulico

Tipologia di fenomeno

- | | |
|--|----------------------------------|
| <input type="radio"/> Accertato | <input type="radio"/> Ipotizzato |
| <input type="radio"/> Sormonto o insufficienza di franco | |
| <input type="radio"/> Fenomeni di erosione localizzata e generalizzata | |

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 |

Individuazione area secondo le cartografie tematiche delle Autorità di Distretto

Individuazione delle parti della struttura che interessano l'alveo secondo le definizioni delle NTC 2018 e circolare

Confinamento alveo

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

Nel caso di **opere situate in area riconosciuta pericolosa PGRA/PAI** è

possibile riscontrare il seguente (ad es. situazione alluvionali passati)

- **Fenomeno riconosciuto ma non ancora studiato** – è presente una **perimetrazione sulle mappe sulla base di dati storici**

- **Fenomeno riconosciuto e studiato** – è presente una **perimetrazione sulle mappe sulla base di studi specifici**

- **Fenomeno modellato ed oggetto di monitoraggio** – è presente una **modellazione specifica e successivo monitoraggio**

- **Fenomeno oggetto di opere di mitigazione** – ad esempio opere di Pile e/o spalle che ricadono in alveo, laminazione quali vasche di espansione a monte del ponte

portata di piena di progetto - tempo di ritorno $T_r \geq 200$ anni (§C5.1.2.3 circolare NTC)

Definito sulla base di considerazioni idromorfologiche (si veda Manuale IDRAIM – ISPRA)

ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

IDRAIM
Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua

Versione aggiornata 2016

MANUALE LINEE GUIDA

131 / 2016

GRADO DI CONFINAMENTO (G_c)

Si tratta del grado di confinamento laterale considerato in senso longitudinale, alla scala del segmento o del tratto, cioè a prescindere dall'ampiezza della pianura.

Esso corrisponde alla **percentuale di lunghezza di un tratto in cui si verifica o meno la condizione di confinamento**, ovvero il contatto diretto con elementi che impediscono la mobilità laterale (versanti, depositi di frana, conoidi di affluenti, terrazzi fluviali antichi o depositi glaciali).

Ad es. per il tratto AB in figura, è la percentuale della lunghezza L_{AB} a contatto diretto con i versanti.

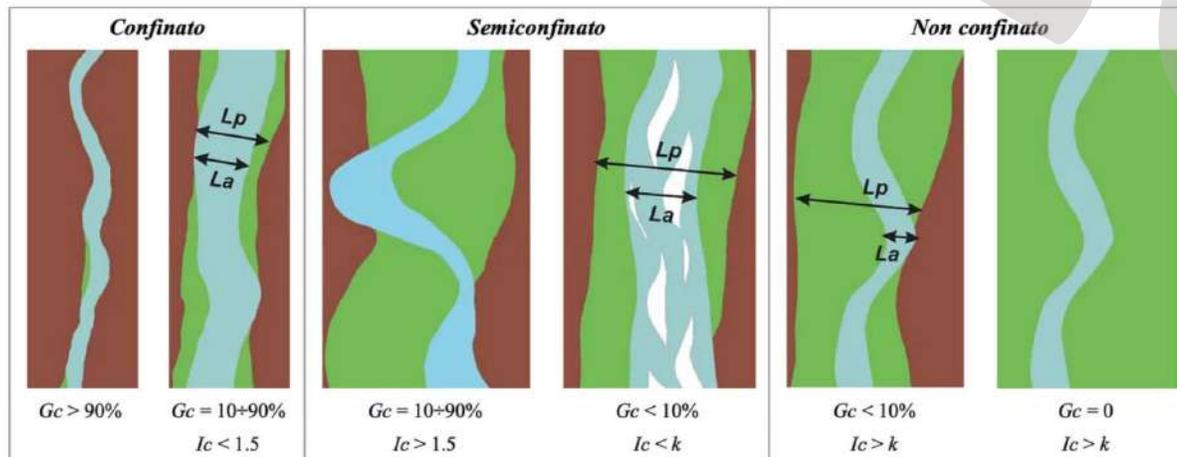
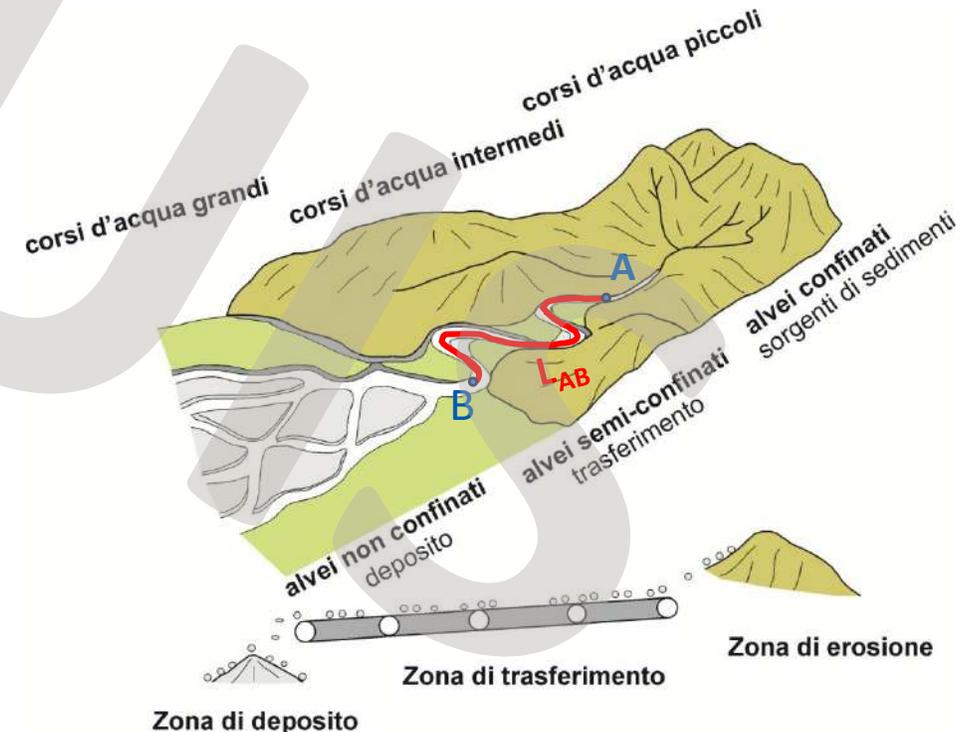


Figura A4.3 – Classi di confinamento. In verde: pianura alluvionale; in marrone: versanti (o terrazzi antichi). G_c : grado di confinamento; I_c : indice di confinamento = L_p/L_a , dove L_p : larghezza della pianura (compreso alveo) e L_a : larghezza dell'alveo.



MANUALE LINEE GUIDA



IDRAIM
Sistema di valutazione
idromorfologica,
analisi e monitoraggio
dei corsi d'acqua

Versione aggiornata 2016



131 / 2016

INDICE DI CONFINAMENTO (IC)

È il rapporto tra larghezza della pianura (L_p) (comprensiva dell'alveo) e larghezza dell'alveo (L_a), quindi esprime di quanto un alveo è confinato in sezione trasversale rispetto alla larghezza della pianura.

Il valore dell'indice di confinamento è inversamente proporzionale al confinamento stesso, con un valore minimo di 1, che indica che la pianura e l'alveo hanno stessa larghezza (vale a dire pianura assente, condizione di **confinamento**), mentre valori alti indicano che la pianura è molto larga rispetto alle dimensioni dell'alveo (condizioni di **non confinamento**).

In base all'indice di confinamento si definiscono le seguenti classi:

- *confinamento alto*, in cui l'indice è compreso tra 1 e 1,5;
- *confinamento medio*, in cui l'indice è compreso tra 1,5 e un valore k ;
- *confinamento basso*, in cui l'indice è maggiore di k ;

dove il valore di k , che permette di separare le classi di confinamento medio e basso, è definito a seconda della morfologia fluviale come segue:

- $k = 5$ per alvei a canale singolo, compresi i sinuosi a barre alternate
- $k = 2$ per alvei a canali intrecciati

Tabella 4.2 – Definizione delle classi di confinamento sulla base del grado e dell'indice di confinamento.

CLASSE DI CONFINAMENTO	DESCRIZIONE
<i>Confinati</i>	Tutti i casi con grado di confinamento > 90%
	Grado di confinamento compreso tra 10% e 90% e indice di confinamento ≤ 1.5
<i>Semiconfinati</i>	Grado di confinamento compreso tra 10% e 90% e indice di confinamento > 1.5
	Grado di confinamento < 10% e indice di confinamento $\leq k$
<i>Non confinati</i>	Grado di confinamento < 10% e indice di confinamento > k

Forma planimetrica dell'alveo

<input type="radio"/> A canale singolo	<input type="radio"/> Rettilineo
<input type="radio"/> Intrecciato	<input type="radio"/> Sinuoso
	<input type="radio"/> Meandriforme



Intrecciato



Rettilineo

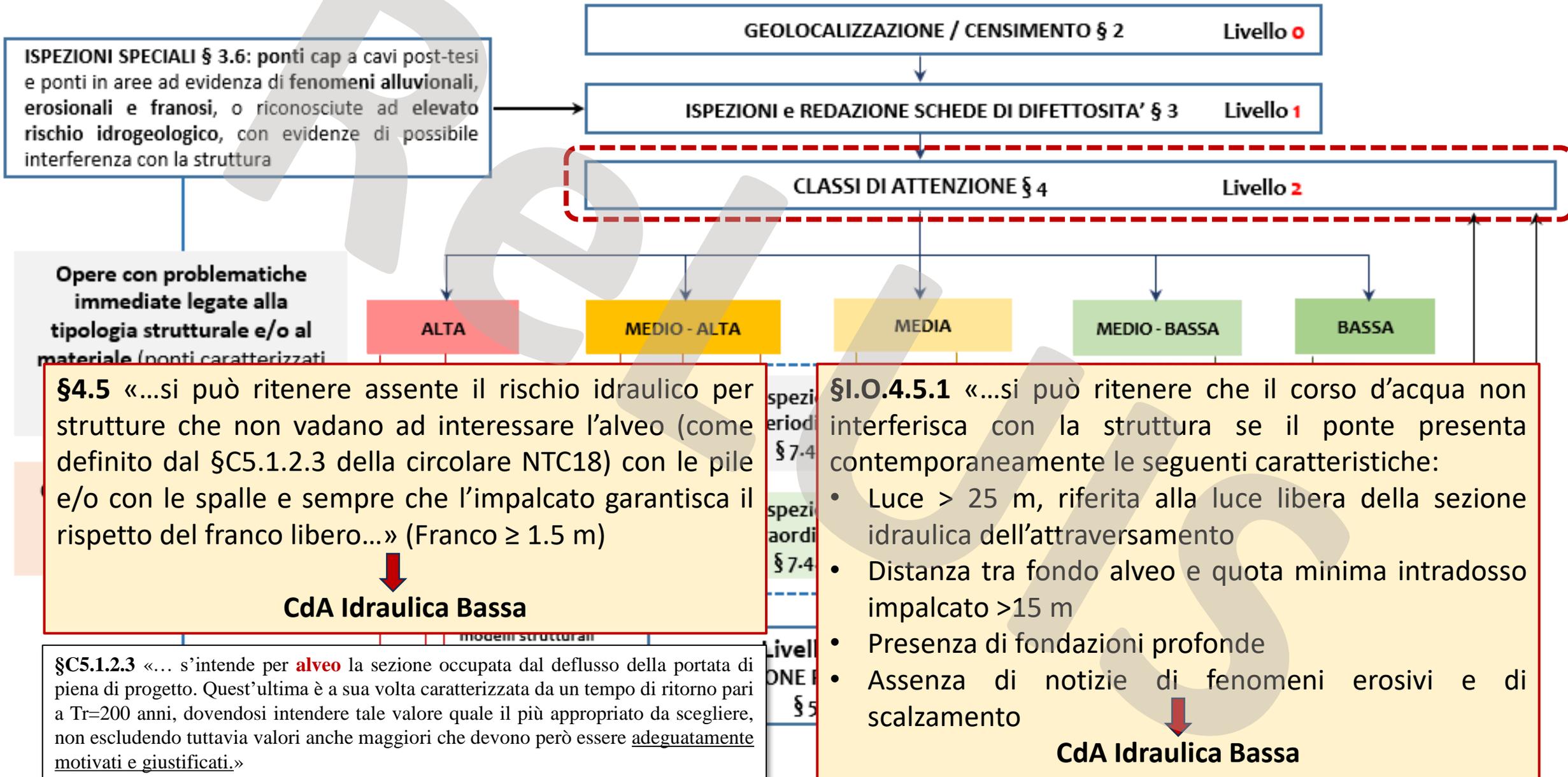


Sinuoso



Meandriforme

Classi di attenzione – Livello 2



Sormonto



Pericolosità

Vulnerabilità

Esposizione

**CLASSE DI ATTENZIONE
Sormonto**

Erosione Localizzata



Pericolosità

Vulnerabilità

Esposizione

**CLASSE DI ATTENZIONE
Erosione Localizzata**

Erosione Generalizzata (restringimento)



Pericolosità

Vulnerabilità

Esposizione

**CLASSE DI ATTENZIONE
Erosione Generalizzata**

Rischio di sormonto o insufficienza di franco

Tipologia di reticolo

Reticolo principale
 Reticolo secondario
 Reticolo artificiale di scolo

Quota del pelo libero (**scenario P3**) _____ Ricadente in area mappata ai sensi della direttiva alluvioni per esondazione di corsi d'acqua principali SI NO

Quota dell'intradosso dell'impalcato del manufatto _____ Quota del pelo libero (**scenario P2**) _____

Franco idraulico, F_{P3} _____ Franco idraulico, F_{P2} _____

Quota del pelo libero (**scenario P2**) _____

Quota dell'intradosso dell'impalcato del manufatto _____

Franco idraulico, F_{P2} _____

Presenza di argini SI NO
 Presenza di argini SI NO

Quota della sommità arginale (*min tra le due*) _____
 Quota della sommità arginale (*min tra le due*) _____

Mappa di pericolosità Allegato n. _____

pag. 8

Informazioni dal Livello 0:

- Geoportale Nazionale
- Piani dell'Autorità di Bacino Distrettuale

Scenari relativi ai livelli di pericolosità definiti nel PGRA/PAI in attuazione del D.Lgs. n. 49 del 2010:

- P_2 – Media probabilità di accadimento ($100 \leq Tr \leq 200$ anni)
- P_3 – Alta probabilità di accadimento ($20 \leq Tr \leq 50$ anni)

Identificabile da cartografie e/o da rilievi in sito

Identificabile da foto satellitari/aeree/da drone scattate in periodi diversi

Tipologia di alveo

In equilibrio
 In fase evolutiva

Fondo fisso
 Fondo mobile

Alvei a fondo fisso = pressoché privi di sedimenti, a causa delle elevate energie della corrente, in grado di smaltire tutto il materiale proveniente dai versanti.

Alvei a fondo mobile = hanno un letto con sedimento continuo; la configurazione del fondo può assumere varie morfologie che si differenziano soprattutto in base alla pendenza del fondo e alle dimensioni dei sedimenti.

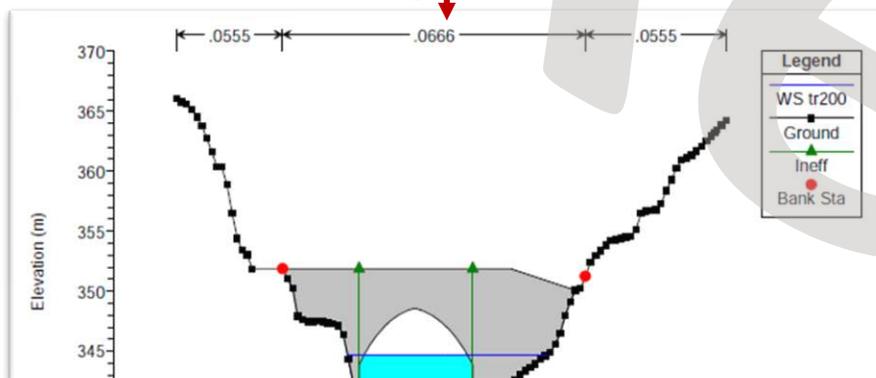


SI

Studio
idraulico
disponibile
?

NO

Indicazioni Linee Guida per
stima franco idraulico



§I.O.4.5.1.5

- Per i corsi d'acqua arginati, in cui sarà definito solo F , si potrà fare riferimento alla Tabella 4.21.
- Per i corsi d'acqua principali non arginati, qualora non sia definibile F_{p3} ma solo F_{p2} , si potrà fare riferimento alla Tabella 4.21.
- Per i corsi d'acqua secondari non arginati, dalla lettura della scheda di ispezione, per F è da intendersi F_{p2} , e la CdA si determina applicando la Tabella 4.21.

Tabella 4.20 - Classi di pericolosità per il fenomeno di sormonto (corsi d'acqua principali non arginati)

Alta	$F_{p2} \leq 0.80 \text{ m}$ e $F_{p3} \leq 1.50 \text{ m}$
Medio-Alta	$F_{p2} \leq 0.80 \text{ m}$ e $F_{p3} > 1.50 \text{ m}$
Media	$0.80 \text{ m} < F_{p2} \leq 1.00 \text{ m}$
Medio-Bassa	$1.00 \text{ m} < F_{p2} < 1.50 \text{ m}$
Bassa	$F_{p2} \geq 1.50 \text{ m}$

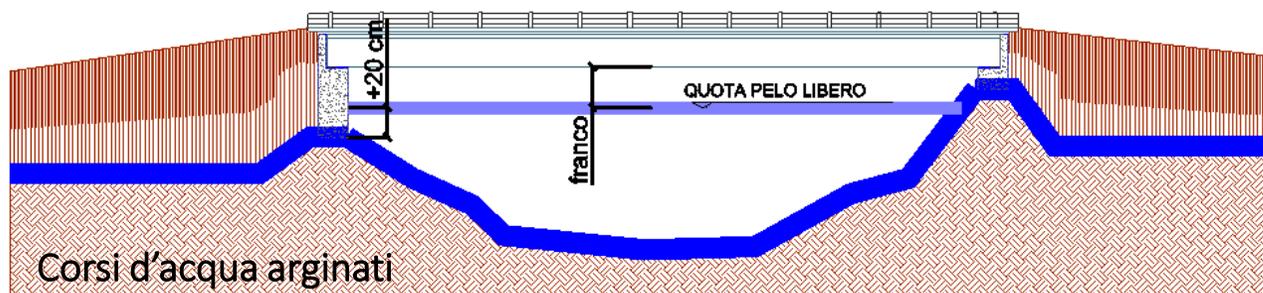
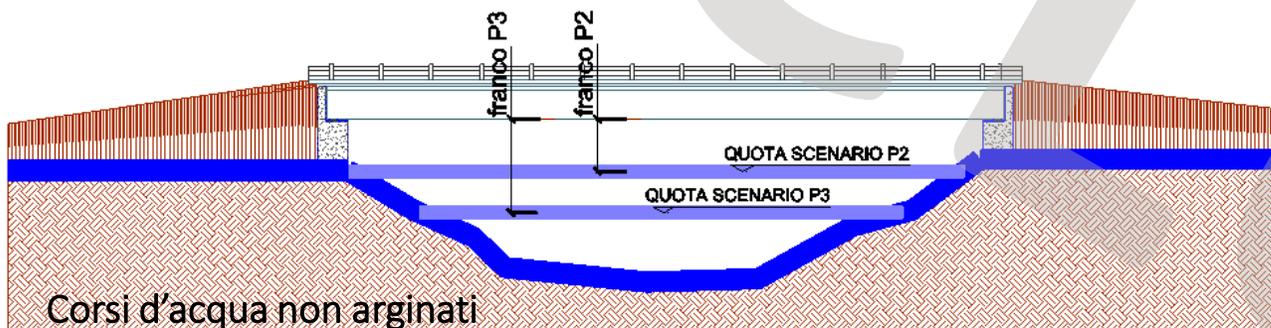
Tabella 4.21 - Classi di pericolosità per il fenomeno di sormonto (corsi d'acqua secondari non arginati)

Alta	$F < 0.80 \text{ m}$
Medio-Alta	$0.80 \text{ m} \leq F < 1.00 \text{ m}$
Media	$1.00 \text{ m} \leq F < 1.20 \text{ m}$
Medio-Bassa	$1.20 \text{ m} \leq F < 1.50 \text{ m}$
Bassa	$F \geq 1.50 \text{ m}$

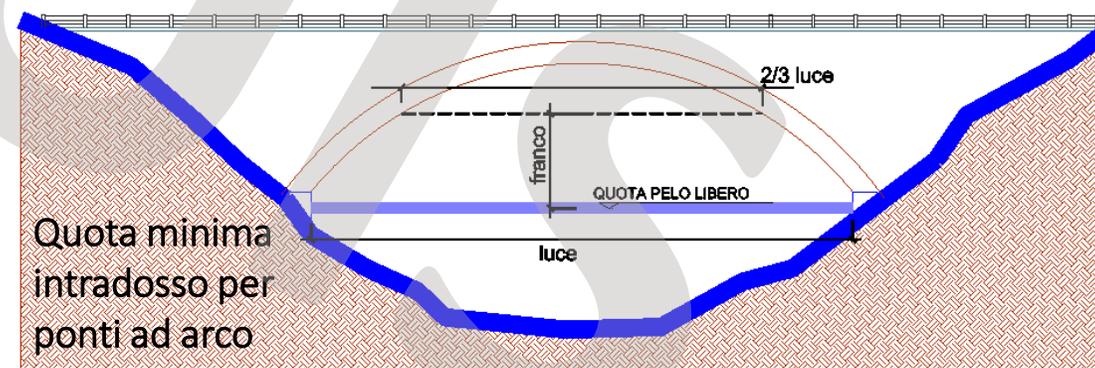


Le LLGG presentano una valutazione speditiva del franco idraulico per i corsi d'acqua principali e secondari, in particolare se oggetto di mappatura ai sensi del D. Lgs. N. 49 del 2010, stimandolo come la **differenza tra la quota minima dell'intradosso del ponte con la stimabile quota del pelo libero**, da individuare come segue:

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



ALCUNI CASI PARTICOLARI...

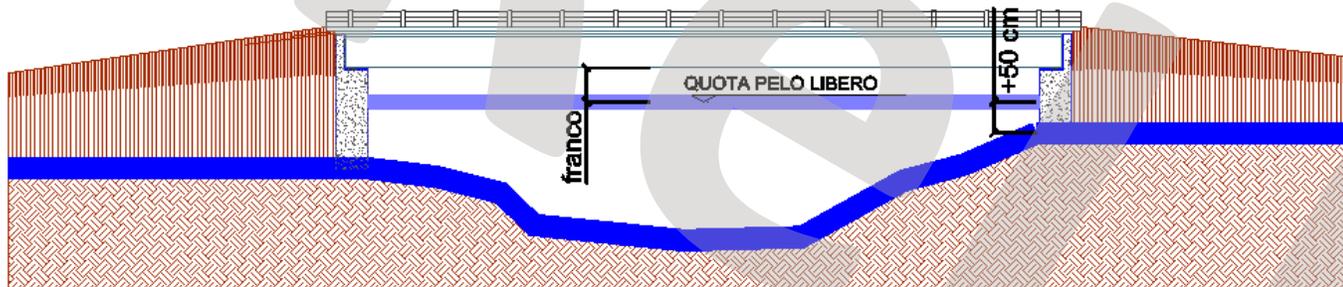




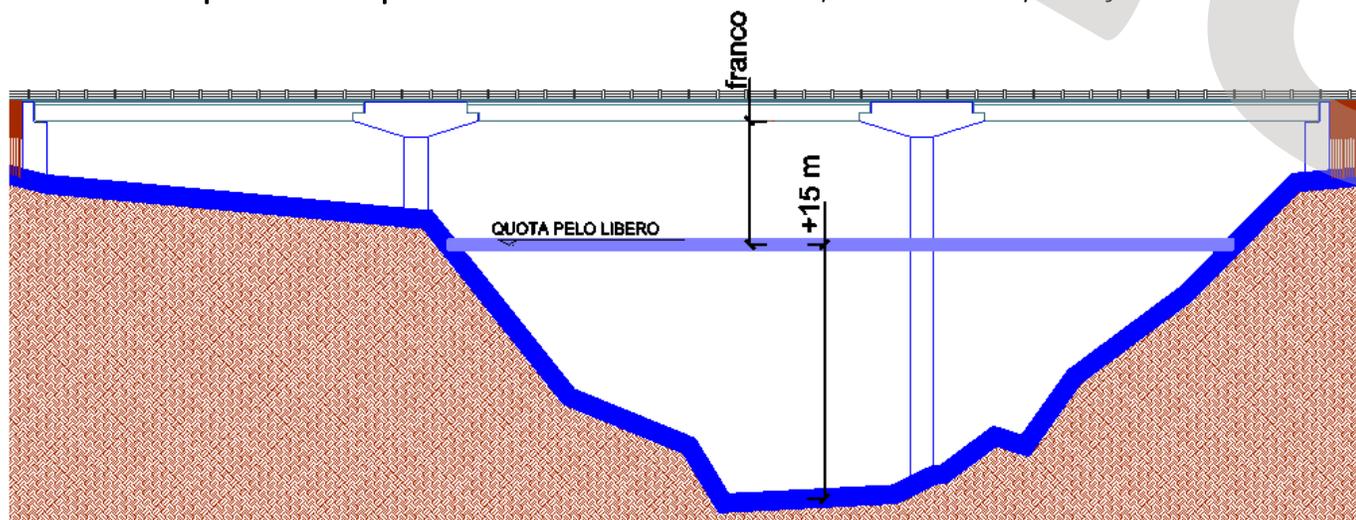
CORSI D'ACQUA NON ARGINATI IN ASSENZA DI PERIMETRAZIONE DELLE FASCE P2 E/O P3

- Corsi d'acqua con possibilità di espansione laterale

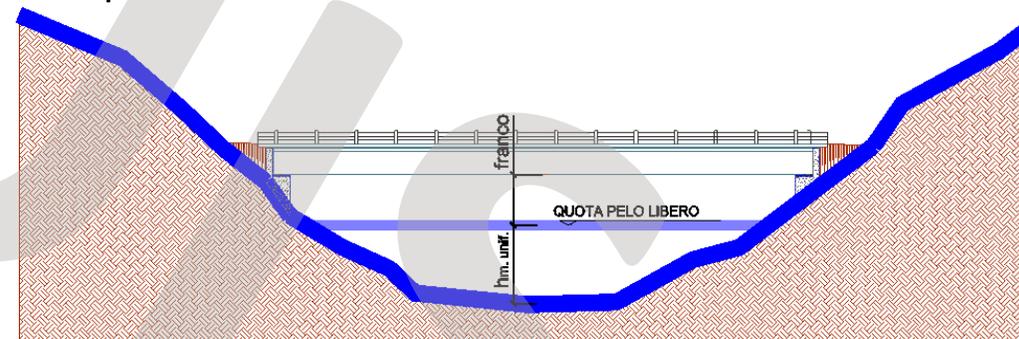
Quota pelo libero = quota sponda più alta + 50 cm



- Corsi d'acqua senza possibilità di espansione laterale e con impalcato molto alto rispetto alla quota di fondo alveo *Quota pelo libero = quota fondo + 15 m*



- Corsi d'acqua senza possibilità di espansione laterale con impalcato potenzialmente interferente con la piena



Quota del pelo libero ricavata dall'**altezza di moto uniforme** della corrente relativa al deflusso della **portata di piena almeno centennale**, calcolata mediante formule derivanti dalla pianificazione di bacino o da formule empiriche.



Tabella 4.24 Classi di vulnerabilità per il fenomeno di sormonto

<p>Sussistenza di almeno 2 delle seguenti 3 condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Evidenza di accentuati fenomeni di deposizione di sedimenti, soprattutto se grossolani, o di fenomeni d'erosione d'alveo. <input type="checkbox"/> Evidenza di trasporto di materiale vegetale di notevole dimensione. <input type="checkbox"/> Dimensioni del bacino idrografico $S < 100 \text{ km}^2$ 	Alta
<p>Sussistenza di almeno 1 delle seguenti 3 condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Evidenza di accentuati fenomeni di deposizione di sedimenti, soprattutto se grossolani, o di fenomeni d'erosione d'alveo. <input type="checkbox"/> Evidenza di trasporto di materiale vegetale di notevole dimensione. <input type="checkbox"/> Dimensioni del bacino idrografico $S < 100 \text{ km}^2$ 	Medio-Alta
<p>Sussistenza di almeno 1 delle seguenti 3 condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Evidenza di significativi fenomeni di deposizione di sedimenti o di d'erosione d'alveo. <input type="checkbox"/> Evidenza di significativo trasporto di materiale vegetale di notevole dimensione. <input type="checkbox"/> Dimensioni del bacino idrografico $S < 500 \text{ km}^2$ 	Media
<p>Sussistenza di almeno 2 delle seguenti 3 condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Assenza di evidenza di significativi fenomeni di deposizione o di erosione d'alveo. <input type="checkbox"/> Assenza di evidenza di trasporto di materiale vegetale di notevole dimensione. <input type="checkbox"/> Dimensioni del bacino idrografico $S > 500 \text{ km}^2$ 	Medio-Bassa
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Assenza di evidenza di significativi fenomeni di deposizione o di erosione d'alveo. <input type="checkbox"/> Assenza di evidenza di trasporto di materiale vegetale di notevole dimensione. <input type="checkbox"/> Dimensioni del bacino idrografico $S > 500 \text{ km}^2$ 	Bassa

Voci presenti nella **scheda frane e idraulica** (pag. 10) riferite alla Tab. 4.24

Evidenza di accentuati fenomeni di deposizione di sedimenti, soprattutto se grossolani , o di fenomeni d'erosione d'alveo	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Evidenza di trasporto di materiale vegetale di notevole dimensione	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Dimensioni del bacino idrografico $S < 100 \text{ km}^2$	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Evidenza di presenza di fondazioni superficiali delle pile e delle spalle del ponte	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Evidenza di presenza di fondazioni profonde delle pile e delle spalle del ponte	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Evidenza di fenomeni di abbassamento generalizzato dell'alveo a monte e a valle del ponte	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Ponte posizionato...	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Presenza di accumuli di detriti o materiale flottante a monte della pila	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Tendenza dell'alveo alla divagazione planimetrica	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Evidenza di presenza di protezione al piede delle pile e delle spalle del ponte	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Presenza di una briglia di protezione immediatamente a valle del ponte	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>

**NESSUNA CORRISPONDENZA
NELLA SCHEDA DI ISPEZIONE**

EVIDENZA DI TRASPORTO DI MATERIALE VEGETALE DI NOTEVOLE DIMENSIONE



Deve intendersi la presenza di materiale, anche potenziale, le cui **dimensioni, in relazione alla distanza tra le pile e/o spalle del ponte, siano tali da far temere la possibilità di una importante ostruzione** della sezione idraulica con conseguente riduzione della capacità di deflusso.

Qualora le dimensioni delle luci di deflusso siano molto maggiori di quelle del materiale vegetale presente in alveo la condizione “evidenza di significativo trasporto di materiale vegetale di notevole dimensione” non deve essere considerata ai fini del fenomeno di sormonto.

In assenza di notizie di recenti eventi alluvionali che abbiano coinvolto il ponte in esame, nel caso in cui la struttura attraversi corsi d'acqua con bacino imbrifero inferiore a 100 km², qualora si rilevi Bassa pericolosità per sormonto e franco idraulico pari ad almeno il doppio dell'altezza del pelo libero con un valore minimo di 3 m, l'ispettore può valutare se attribuire o meno significatività all'evidenza di trasporto di materiale vegetale di notevole dimensione.

Fenomeni di erosione

Larghezza complessiva dell'alveo inciso occupata dall'ingombro di pile e spalle ($W_{a,l}$) _____ m

Larghezza complessiva dell'alveo inciso a monte del ponte (W_a) _____ m

Larghezza complessiva delle golene occupata dai rilevati di accesso, dalle spalle e dalle pile ($W_{g,l}$) _____ m

Larghezza complessiva delle golene a monte del ponte (W_g) _____ m

Caratteristiche geometriche Pile

Geometria sezione trasversale: _____

Dimensioni sezione trasversale: _____

Stato di conservazione (giudizio sintetico) _____

Caratteristiche

Natura del mater _____

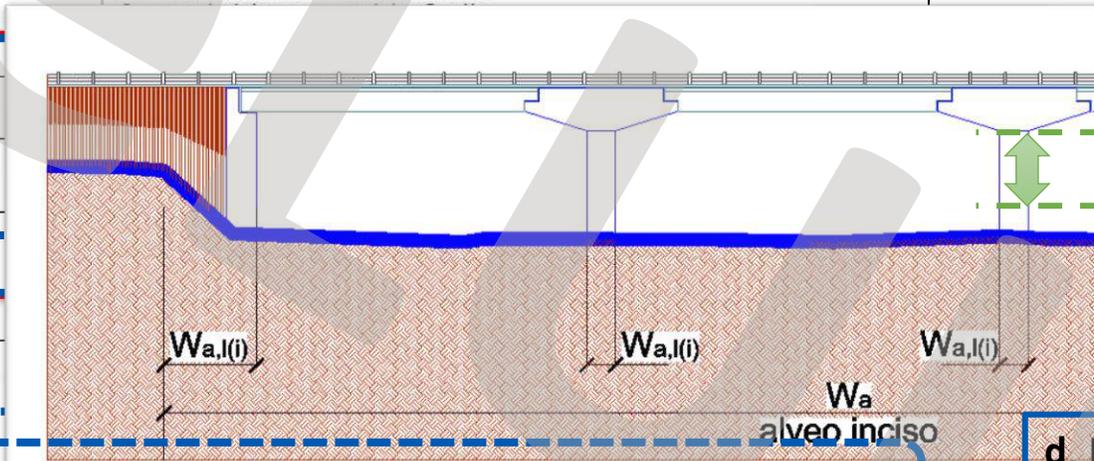
Sensibile accum _____



Cilindrica

Massima profon _____

Profondità di po _____ (d_f): _____



Info

-
-

d_s Reperibile da ispezione o informazioni su eventi alluvionali passati (**Erosione localizzata**)



Tabella 4.22 – Classe di pericolosità relativa al fenomeno di erosione generalizzata

C_a	C_g				
	> 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



Corsi d'acqua in assenza di area golenale: si assume $C_g < 15\%$

$$C = \frac{W_{ostruita}}{W_{totale}} [\%]$$

C_a = fattore di restringimento dell'alveo inciso

C_g = fattore di restringimento delle aree golenali

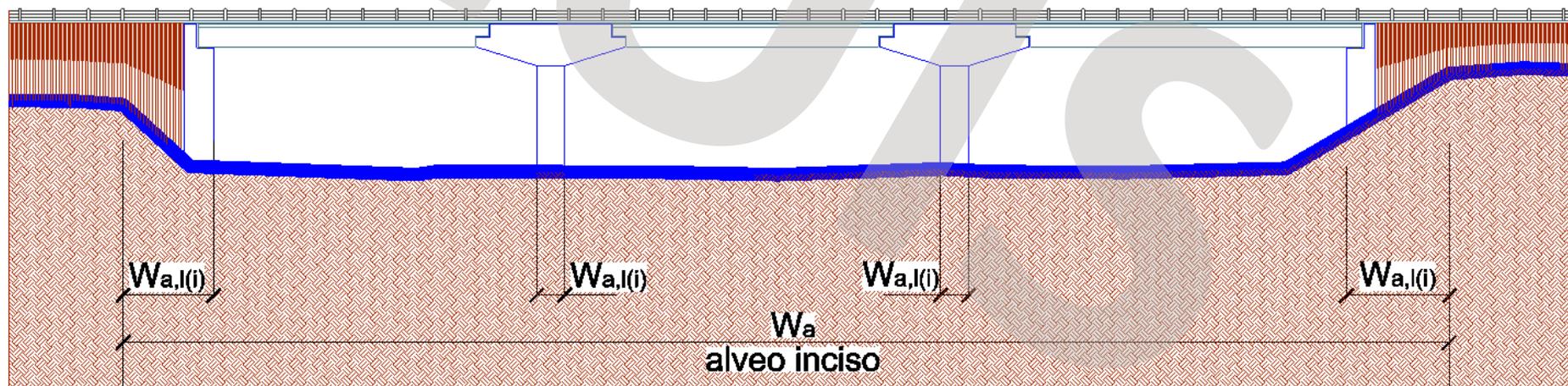




Tabella 4.25 Classi di vulnerabilità per il fenomeno di erosione generalizzata

Voci presenti nella **scheda frane e idraulica** (pag. 10) riferite alla Tab. 4.25

<p>Sussistenza di almeno 3 delle seguenti 3 condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Evidenza di presenza di fondazioni superficiali delle pile e delle spalle del ponte. <input type="checkbox"/> Evidenza di fenomeni di abbassamento generalizzato dell'alveo a monte e a valle del ponte. <input type="checkbox"/> Ponte posizionato in tratto di alveo avente sensibile curvatura. 	Alta
<p>Sussistenza di almeno 2 delle seguenti 3 condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Evidenza di presenza di fondazioni superficiali delle pile e delle spalle del ponte. <input type="checkbox"/> Evidenza di fenomeni di abbassamento generalizzato dell'alveo a monte e a valle del ponte. <input type="checkbox"/> Ponte posizionato in tratto di alveo avente sensibile curvatura. 	Medio-Alta
<p>Sussistenza di almeno 1 delle seguenti 3 condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Evidenza di presenza di fondazioni superficiali delle pile e delle spalle del ponte. <input type="checkbox"/> Evidenza di fenomeni di abbassamento generalizzato dell'alveo a monte e a valle del ponte. <input type="checkbox"/> Ponte posizionato in tratto di alveo avente sensibile curvatura. 	Media
<p>Evidenza di presenza di fondazioni profonde delle pile e delle spalle del ponte.</p> <p>Sussistenza di almeno 1 delle seguenti 2 condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Evidenza di fenomeni di abbassamento generalizzato dell'alveo a monte e a valle del ponte. <input type="checkbox"/> Ponte posizionato in tratto di alveo avente sensibile curvatura. 	Medio-Bassa
<p>Evidenza di presenza di fondazioni profonde delle pile e delle spalle del ponte.</p> <p>Insussistenza delle seguenti condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Evidenza di fenomeni di abbassamento generalizzato dell'alveo a monte e a valle del ponte. <input type="checkbox"/> Ponte posizionato in tratto di alveo avente sensibile curvatura. 	Bassa

Evidenza di accentuati fenomeni di deposizione di sedimenti, soprattutto se grossolani, o di fenomeni d'erosione d'alveo	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Evidenza di trasporto di materiale vegetale di notevole dimensione	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Dimensioni del bacino idrografico $S < 100 \text{ km}^2$	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Evidenza di presenza di fondazioni superficiali delle pile e delle spalle del ponte	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Evidenza di presenza di fondazioni profonde delle pile e delle spalle del ponte	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Evidenza di fenomeni di abbassamento generalizzato dell'alveo a monte e a valle del ponte	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Ponte posizionato in tratto di alveo avente sensibile curvatura	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Presenza di accumuli di detriti o materiale flottante a monte della pila	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Tendenza dell'alveo alla divagazione planimetrica	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Evidenza di presenza di protezione al piede delle pile e delle spalle del ponte	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Presenza di una briglia di protezione immediatamente a valle del ponte	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>

Significativo abbassamento generalizzato dell'alveo



- Nel caso in cui non sia possibile stabilire con sufficiente affidabilità se la fondazione sia di tipo profondo si suggerisce di **assumere cautelativamente che la fondazione sia di tipo superficiale**.
- Le fondazioni superficiali a struttura monolitica di calcestruzzo impostate su roccia compatta o debolmente fratturata, ai fini della vulnerabilità per erosione generalizzata, possono essere equiparate a fondazioni profonde.

Erosione localizzata - pericolosità

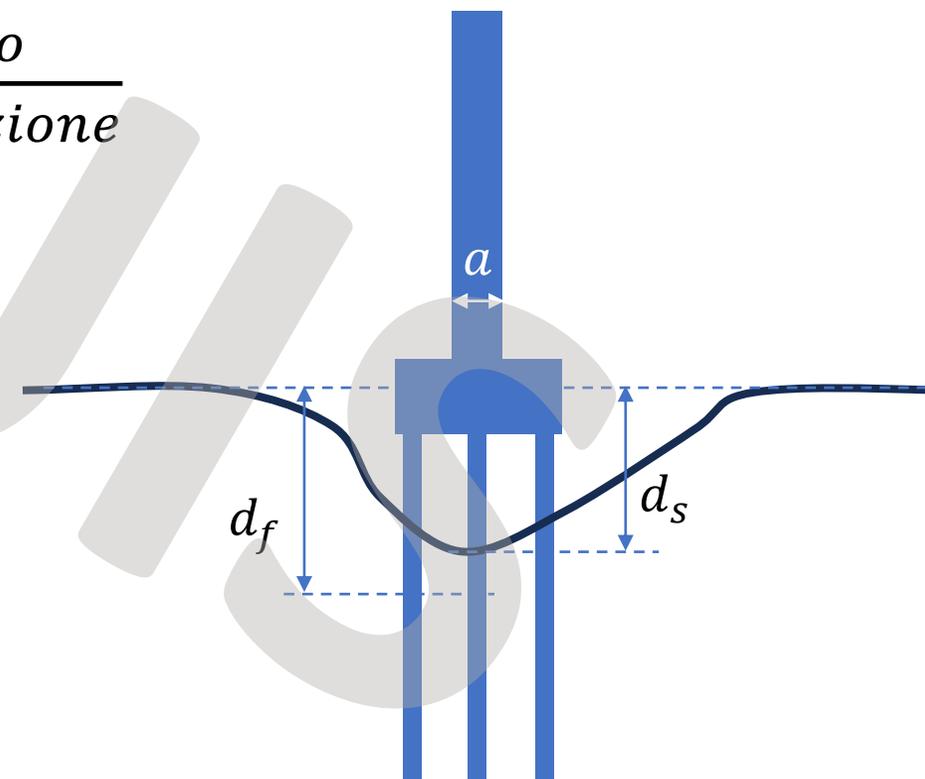
- Causa principale → Formazione di vortici alla base delle pile
- Principali fattori → Velocità e profondità della corrente
Larghezza, lunghezza, forma della pila e angolo di attacco
Natura del materiale d'alveo
Presenza di detriti trasportati dalla corrente



$$IEL = \frac{d_s}{d_f} = \frac{\text{Stima della max profondità di scavo}}{\text{Profondità di posa del piano di fondazione}}$$

Tabella 4.23 – Classe di pericolosità per il fenomeno di erosione localizzata

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	$IEL < 0.60$



Erosione localizzata - pericolosità

- Fondazioni superficiali → d_f è la profondità della superficie di appoggio della fondazione
- Fondazioni profonde → d_f è pari a 1/2 della lunghezza dei pali di fondazione. Se non è nota la lunghezza, si può assumere per essa 8 m, ovvero $d_f = 4$ m



Nel caso di **mancanza di informazioni sul tipo di fondazioni**, le LLGG suggeriscono di considerare la **fondazione** come **superficiale** e di assumere **$d_f = 2$ m**

Valutazione di d_s :

- $d_s = 2a$ → per pila circolare di diametro a (o larghezza nel verso della corrente)
- per spalle si assume a pari al doppio dell'aggetto

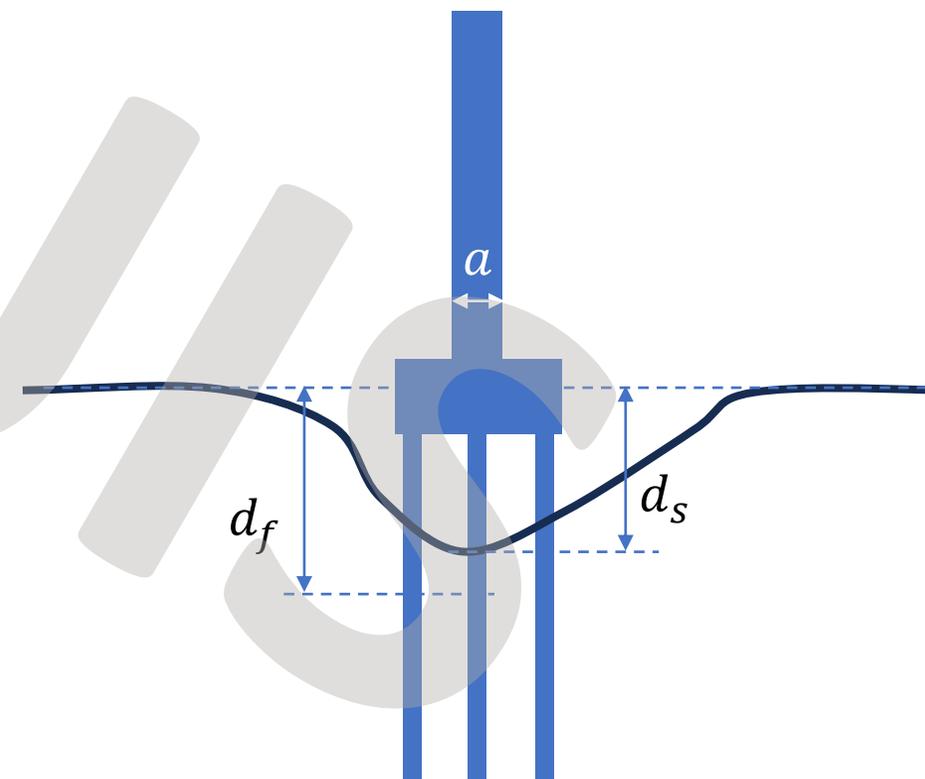




Tabella 4.26 Classi di vulnerabilità per il fenomeno di erosione localizzata

<p>Sussistenza di almeno 3 delle seguenti 4 condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Evidenza di presenza di fondazioni superficiali delle pile e delle spalle del ponte. <input type="checkbox"/> Evidenza di fenomeni di abbassamento generalizzato dell'alveo a monte e a valle del ponte. <input type="checkbox"/> Presenza di accumuli di detriti o materiale flottante a monte della pila. <input type="checkbox"/> Tendenza dell'alveo alla divagazione planimetrica 	Alta
<p>Sussistenza di almeno 2 delle seguenti 4 condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Evidenza di presenza di fondazioni superficiali delle pile e delle spalle del ponte. <input type="checkbox"/> Evidenza di fenomeni di abbassamento generalizzato dell'alveo a monte e a valle del ponte. <input type="checkbox"/> Presenza di accumuli di detriti o materiale flottante a monte della pila. <input type="checkbox"/> Tendenza dell'alveo alla divagazione planimetrica 	Medio-Alta
<p>Sussistenza di almeno 1 delle seguenti 4 condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Evidenza di presenza di fondazioni superficiali delle pile e delle spalle del ponte. <input type="checkbox"/> Evidenza di fenomeni di abbassamento generalizzato dell'alveo a monte e a valle del ponte. <input type="checkbox"/> Presenza di accumuli di detriti o materiale flottante a monte della pila. <input type="checkbox"/> Tendenza dell'alveo alla divagazione planimetrica 	Media
<p>Sussistenza di almeno 2 delle seguenti 3 condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Evidenza di presenza di fondazioni profonde delle pile e delle spalle del ponte. <input type="checkbox"/> Evidenza di presenza di protezione al piede delle pile e delle spalle del ponte. <input type="checkbox"/> Presenza di una briglia di protezione immediatamente a valle del ponte. 	Medio-Bassa
<p>Sussistenza di entrambe le seguenti condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Evidenza di presenza di fondazioni profonde delle pile e delle spalle del ponte. <input type="checkbox"/> Evidenza di protezione al piede delle pile e delle spalle del ponte. 	Bassa

Voci presenti nella **scheda frane e idraulica** (pag. 10) riferite alla Tab. 4.26

Evidenza di accentuati fenomeni di deposizione di sedimenti, soprattutto se grossolani, o di fenomeni d'erosione d'alveo	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Evidenza di trasporto di materiale vegetale di notevole dimensione	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Dimensioni del bacino idrografico $S < 100$ kmq	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Evidenza di presenza di fondazioni superficiali delle pile e delle spalle del ponte	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Evidenza di presenza di fondazioni profonde delle pile e delle spalle del ponte	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Evidenza di fenomeni di abbassamento generalizzato dell'alveo a monte e a valle del ponte	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Ponte posizionato in tratto di alveo avente sensibile curvatura	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Presenza di accumuli di detriti o materiale flottante a monte della pila	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Tendenza dell'alveo alla divagazione planimetrica	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Evidenza di presenza di protezione al piede delle pile e delle spalle del ponte	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Presenza di una briglia di protezione immediatamente a valle del ponte	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>

La **Classe di Esposizione idraulica** si determina in analogia a quella sismica

- Livello di TGM e luce campata
- Presenza di alternative stradali (sì/no)
 - Tipologia di ente scavalcato
 - Strategicità dell'opera

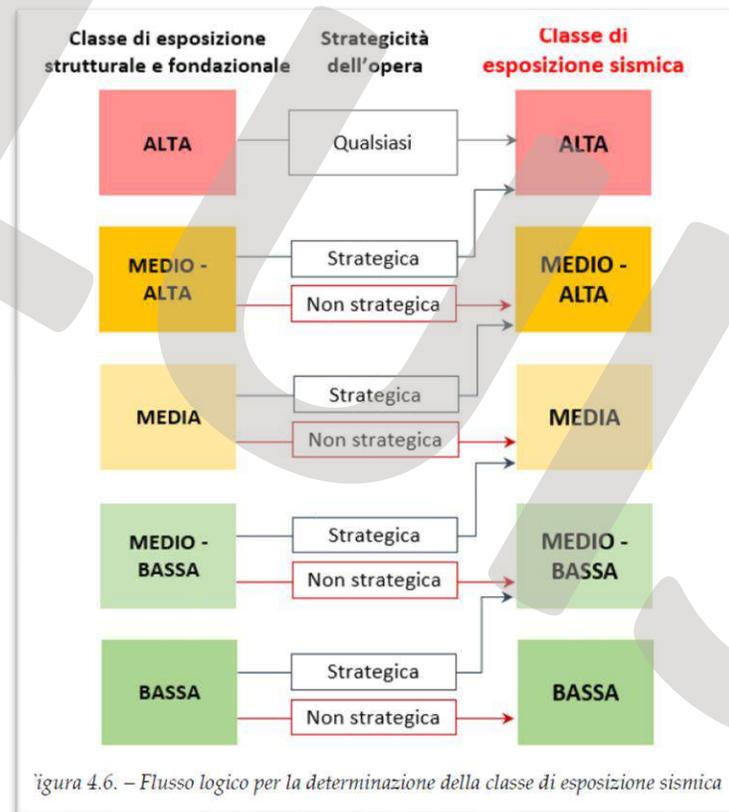
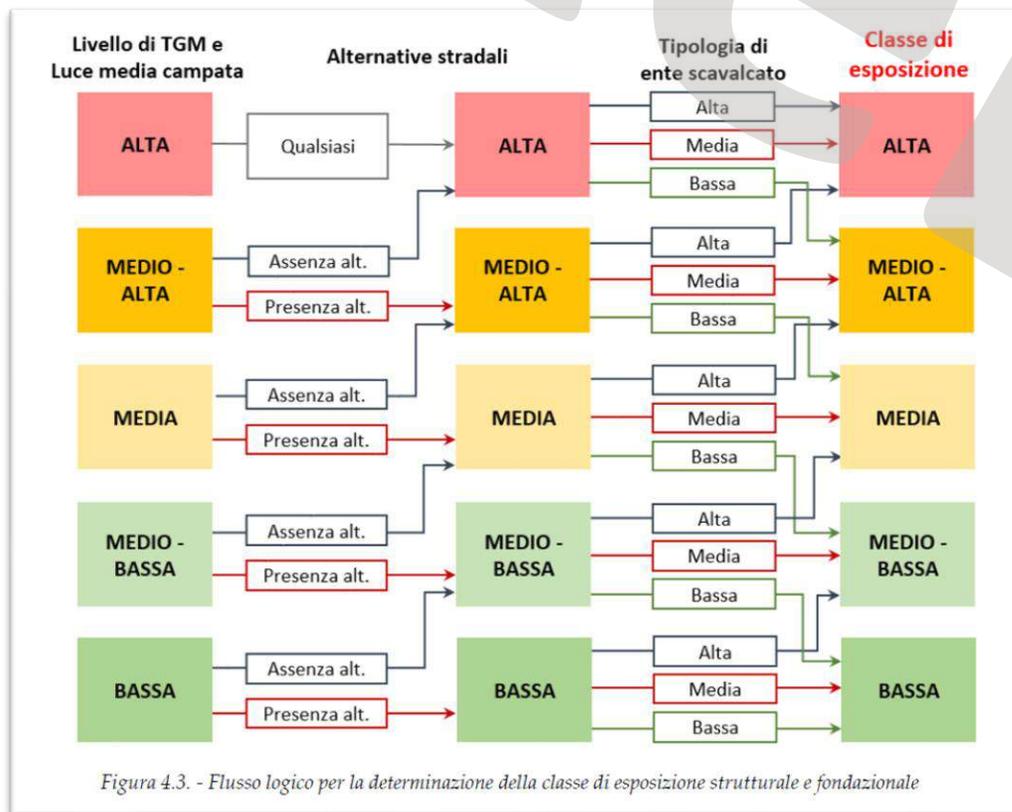


Tabella 4.7. – Livello di Traffico Medio Giornaliero (veicoli/giorno sull'intera carreggiata)

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



Oltre che dal livello di TGM previsto sulla strada di interesse, 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. Il livello di TGM individuato mediante la Tabella 4.7, pertanto, si corregge in funzione della luce media della campata del ponte, secondo la Tabella 4.8, distinguendo:

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

Tabella 4.8. – Livello di Traffico Medio Giornaliero e luce media della campata del ponte

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 4.9. – Tipologia di ente scavalcato

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.)



Strategicità dell'opera

Le opere considerate di interesse strategico, 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.

A tal fine, la classe identificata secondo gli altri parametri aumenta, come riportato in *Figura 4.6*, nel caso in cui il ponte rientri tra le opere ritenute di interesse strategico per le emergenze a seguito di un evento sismico (con riferimento alle Condizioni Limite di Emergenza) o, in altre parole, se rientra nelle classi d'uso III o IV. Tali opere sono espressamente indicate dalla protezione civile o dall'ente amministrativo competente.

Prima si compongono Pericolosità, Vulnerabilità, Esposizione *per ogni singolo processo idraulico ...*

1. Si individua la tabella in base al valore della Classe di pericolosità
2. In base ai valori delle Classi di Vulnerabilità e di Esposizione si ottiene la **Classe di Attenzione**

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

		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



CdA per ogni processo

... poi si compongono i **processi idraulici di erosione ...**

CdA Erosione Localizzata



CdA Erosione Generalizzata



Tabella 4.27 – Classe di attenzione idraulica del ponte in relazione ai fenomeni erosivi

		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



CdA Fenomeni erosivi

... poi si compongono i processi idraulici ...

CdA Sormonto



CdA Fenomeni Erosivi



+



- La CdA legata al Rischio Idraulico è la più elevata tra quelle risultanti dall'analisi separata dei due meccanismi



CdA Rischio Idraulico

... poi si compongono i diversi rischi



Tabella 4.29. – Combinazioni delle CdA per la determinazione della classe di attenzione idraulica e frane

		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	Media		Medio-Bassa		Bassa



CdA COMPLESSIVA

I risultati dell'applicazione del Livello 0, del Livello 1 e del Livello 2 **per ciascuna opera analizzata**, e tutte le considerazioni in merito alle varie fasi, sono riportate in un **unico documento**, dove si devono riportare almeno:

- le informazioni raccolte durante il Livello 0, con particolare riferimento a quelle minime necessarie per la valutazione della Classe di Attenzione;
- una descrizione dello stato di conservazione dell'opera, come riscontrato durante l'ispezione (Livello 1), e le altre considerazioni fatte, sempre durante l'ispezione, in merito al rischio frane e idraulico;
- i dati rilevanti ed i parametri per la valutazione della CdA, con definizione della stessa per ogni rischio e complessiva, da corredarsi con un'analisi critica in merito alla sua genesi.

Tale documento deve altresì includere:

1. la contestualizzazione dell'opera (inserimento di dati minimi di anagrafica, caratteristiche essenziali di geometria, tipologia strutturale, inquadramento territoriale, sia per gli aspetti idraulici che geologici/geotecnici);
2. i risultati della ricerca delle informazioni minime del livello 0 (individuati nell'istruzione operativa al § 1.5);
3. la descrizione dell'ispezione eseguita e dello stato di conservazione dell'opera;
4. la determinazione della CdA strutturale fondazionale, con definizione di tutti i parametri rilevanti;
5. la determinazione della CdA sismica, con definizione di tutti i parametri rilevanti;
6. la determinazione della CdA idraulica, con definizione di tutti i parametri rilevanti;
7. la determinazione della CdA frane, con definizione di tutti i parametri rilevanti;
8. la definizione della CdA complessiva, con commento al giudizio ottenuto.

Al suddetto documento sono allegate tutte le schede compilate in fase di ispezione, ed elencata tutta la documentazione raccolta durante la fase di Livello 0.