



STRADA CANTONALE S607
Traversa Lodrino

Dipartimento
del
territorio

Comune di Riviera

Divisione delle
costruzioni

Via Franco Zorzi 13
Casella Postale 2170
6501 BELLINZONA

PROGETTO D'APPALTO

Area del supporto e del
coordinamento

Ufficio della gestione dei
manufatti
Tel. 091 814 79 76

Opere di risanamento

Piano no.: 631.400 A / 011

Scala: -

Data: 19 dicembre 2022

Modifiche:

Ponte di Lodrino
PR 0+053

Operatore:

INGEGNERISPP

via Centrale 13
CH - 6500 Bellinzona
+41 91 825 44 60
ingegnerispp.ch

Sicurezza idraulica pila Est

Piano no.: 22803-061

Progettato Disegnato Controllato

AT DLR RS

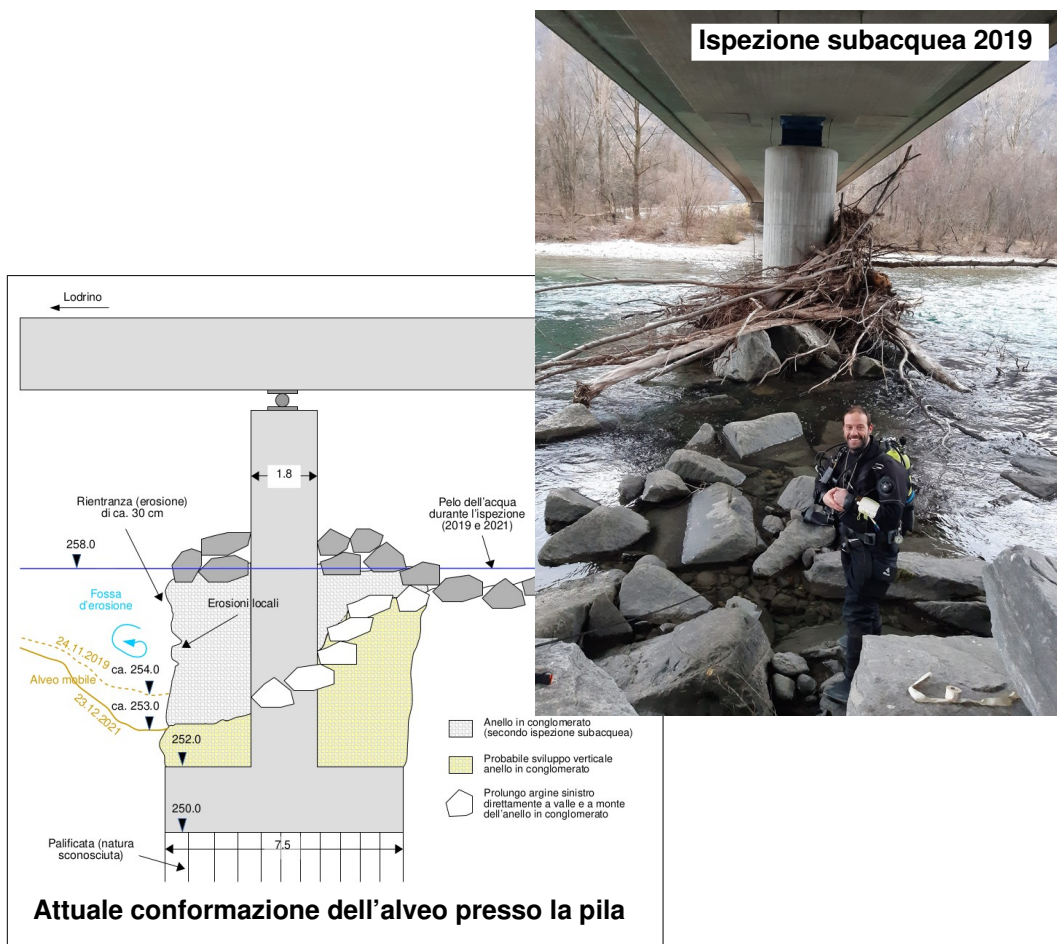
Dimensione:

No. 2319.601

Ponte strada cantonale Lodrino-Osogna

Sicurezza idraulica pila est

Rapporto



Committente:

Divisione delle costruzioni, Ufficio gestione manufatti
Via Franco Zorzi 13
CH-6500 Bellinzona

Progetto: Strada cantonale Lodrino-Osogna, Sicurezza idraulica pila lato est

Responsabile: Stefano Tognacca (stognacca@fluvial.ch)
Dipl. Ing. ETH

Supervisione: Christian Tognacca (ctognacca@fluvial.ch)
Dr., dipl. Ing. ETH

beffa tognacca sagl

Economia delle acque e costruzioni fluviali

Bahnhofstrasse 13a, CH-6422 Steinen
Tel. 041 810 07 35

In Carèe Ventivi 27, CH-6702 Claro
Tel. 091 863 44 41

	Data	Osservazioni
Rev. 0	30.08.2019	Prima versione all'attenzione di UCA
Rev. 1	04.09.2019	Quantificazione erosione per HQ ₃₀ e HQ ₁₀₀ , aggiornamento capitoli 3, 4, 5 e allegati
Rev. 2	16.02.2022	Nuova ispezione subacquea 23.12.2021, nuovo capitolo 6 e allegato 2

Indice generale

1	Introduzione.....	1
2	Ispezione subacquea.....	2
3	Valutazione della sicurezza idraulica della pila.....	4
4	Misure da adottare a protezione della pila.....	7
5	Conclusioni.....	8
6	Nuova ispezione subacquea del 23.12.2021.....	9
6.1	Introduzione.....	9
6.2	Piène del Ticino tra il 2019 e il 2021.....	9
6.3	Risultati ispezione subacquea.....	9
6.4	Valutazione dell'evoluzione dell'alveo e conclusioni.....	10
7	Documentazione utilizzata.....	11

Allegato

Allegato 1: Calcolo della profondità della fossa di erosione

Allegato 2: Piène del Ticino, del Brenno e della Moesa a partire dal 2019

1 Introduzione

Nell'ambito dell'allestimento del progetto definitivo relativo al risanamento della rampa di Lodrino /1/ è stato eseguito un rilievo geodetico della tratta di fiume Ticino che va dalla rampa sino direttamente a monte della foce del riale di Lodrino.

L'analisi delle immagini aeree scattate dal drone /2/ ha messo in risalto una possibile situazione critica in corrispondenza della pila est del ponte sul Ticino che collega Lodrino a Osogna. I rilievi (vedi figura 1) paiono infatti indicare la presenza attorno alla pila di un anello in conglomerato, elemento in parte sottoeroso con possibili ripercussioni sulla stabilità della pila. L'ipotesi da verificare è che l'anello in conglomerato presenti un'altezza contenuta (dalle immagini si lascia stimare uno spessore di ca. 2 m) e che lo spazio compreso tra lo stesso e la fondazione sia stato almeno in parte eroso ponendo in pericolo la fondazione. Le sollecitazioni al fondo presso la pila in caso di evento di piena del Ticino (già elevate in ragione della situazione di curva) risulterebbero ancora maggiori proprio in seguito alla presenza dell'anello, il quale accentuerebbe la concentrazione del deflusso e l'instaurarsi di correnti secondarie.



Fig. 1: Ponte strada cantonale Lodrino-Osogna /2/

La problematica è stata da noi sollecitamente segnalata all'ing. Viviana Prada dell'Ufficio dei corsi d'acqua, unitamente alla proposta di eseguire un'ispezione subacquea in modo da verificare le ipotesi riguardo lo stato della pila. L'ing. Viviana Prada ha dal canto suo informato tempestivamente l'ing. Marco Frangi dell'Ufficio gestione manufatti, il quale ci ha conferito l'incarico per la verifica dello stato del manufatto.

2 Ispezione subacquea

L'ispezione subacquea è stata eseguita da Marco Bernasocchi il 24 luglio 2019. Il sub si è immerso presso la pila est accedendo dalla sponda sinistra del Ticino e assicurandosi per mezzo di una corda (vedi figura 2). L'immersione effettiva è durata ca. 1.5 ore con una portata del Ticino a Lodrino di indicativamente 80 m³/s.



Fig. 2: Ispezione subacquea del 24 luglio 2019

Contrariamente a quanto si poteva dedurre dalle immagini scattate dal drone lo scorso aprile, l'anello in conglomerato attorno alla pila non presenta un'altezza limitata (e quindi potenzialmente critica in relazione a correnti secondarie in caso di piena e di riflesso in rapporto alla sicurezza della pila) bensì si estende almeno 4 metri al di sotto del pelo dell'acqua. L'ispezione ha infatti evidenziato un'importante fossa d'erosione lungo più della metà della circonferenza della ciambella, dove l'alveo mobile si trova appunto ca. 4 metri al di sotto del pelo dell'acqua presente durante l'ispezione (vedi figura 3).

Il controllo subacqueo ha evidenziato una forma abbastanza regolare dell'anello in conglomerato, che presenta un diametro variabile tra ca. 7 e 8 m equivalente indicativamente al diametro della fondazione (vedi figura 4). A partire da ca. 1 metro sotto al tappeto in blocchi l'anello in conglomerato ha subito un'erosione e presenta uno spessore di ca. 30 cm inferiore rispetto alla parte superiore. La struttura è relativamente omogenea, con localmente delle erosioni più marcate nell'ordine massimo di ca. 50 cm.

Durante l'ispezione non è stata fatta una valutazione delle caratteristiche fisiche e in particolare della resistenza del conglomerato.



Fig. 3: Alveo mobile in corrispondenza della fossa di erosione presso l'anello in conglomerato (profondità di ca. 4 metri rispetto al pelo dell'acqua durante l'immersione).

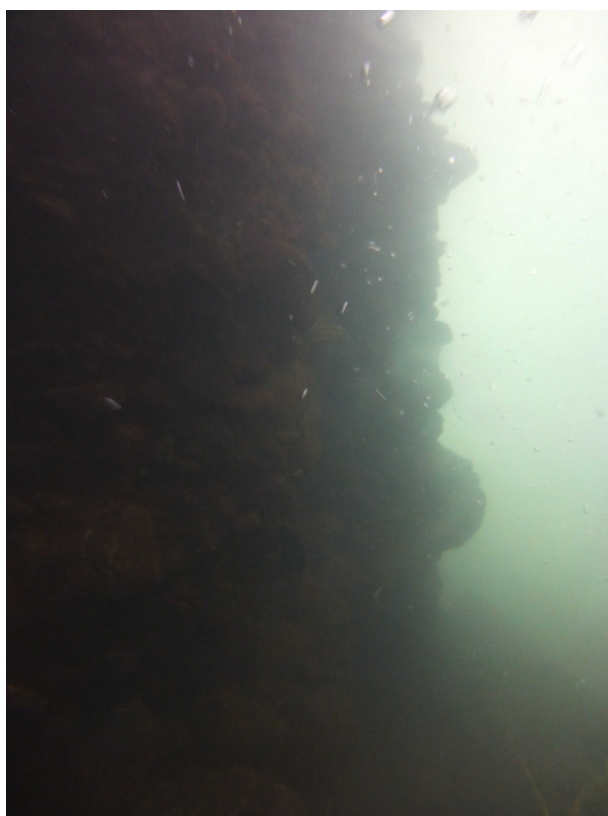


Fig. 4: L'anello in conglomerato si estende verso il basso più o meno verticalmente con una struttura relativamente regolare.

In base ai piani di progetto del ponte /3/, la differenza tra la quota della fondazione della pila e la fossa d'erosione è di ca. 2 metri, il che lascia supporre che l'anello in conglomerato si estenda sino a collegarsi alla fondazione. Nella figura seguente è illustrata schematicamente la situazione risultante dalla combinazione tra i piani di progetto e i dati raccolti durante l'ispezione subacquea.

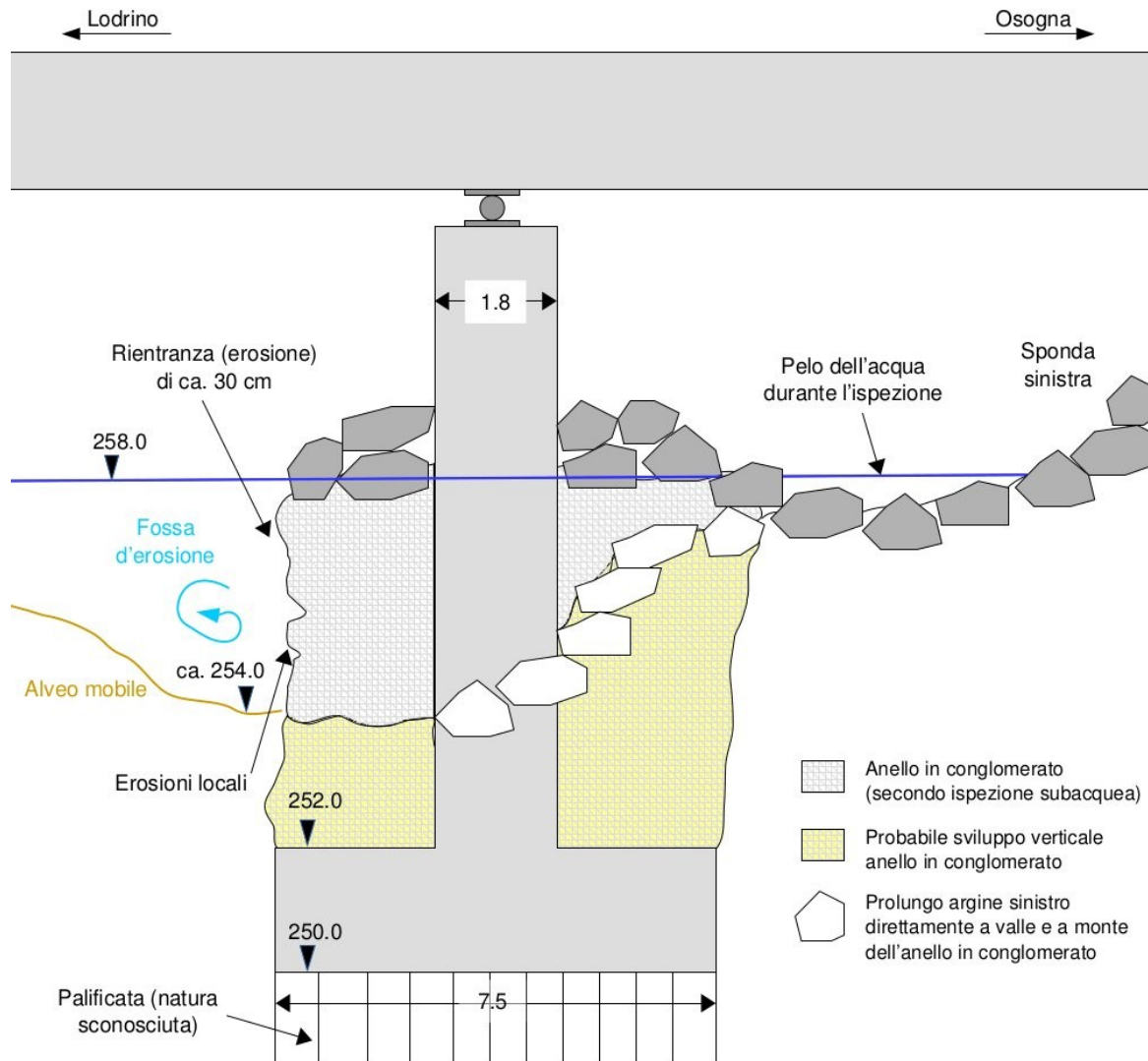


Fig. 5: Rappresentazione schematica della possibile struttura dell'anello di conglomerato attorno alla pila est (sezione, vista verso monte). Fonte piani vedi /3/.

3 Valutazione della sicurezza idraulica della pila

Per la valutazione della sicurezza idraulica della pila abbiamo quantificato la possibile profondità della fossa d'erosione sulla base di formule empiriche. Considerato come l'alveo mobile sia presente unicamente sulla porzione della pila (rispettivamente dell'anello in conglomerato) rivolta verso il centro della sezione di deflusso e corrispondente indicativamente a metà della circonferenza della fondazione della pila, e che la parte rimanente rivolta verso l'argine sinistro è stabilizzata in blocchi e quindi non erodibile, per il calcolo della fossa d'erosione vengono utilizzate le formule per la quantificazione dei processi erosivi in corrispondenza di manufatti quali pennelli e spalle di ponti.

La profondità della fossa di erosione in caso di piena è stato eseguito per gli eventi trentennale (HQ_{30}), centenario (HQ_{100}) e straordinario (EHQ). Le grandezze idrauliche determinanti per il calcolo della fossa di erosione sono state attinte dallo studio sulla carta dei pericoli del Ticino da Bodio ad Arbedo-Castione allestito dal nostro ufficio nel 2011 /4/.

Per valutare la sicurezza idraulica della pila in relazione al rilievo della situazione attuale occorre specificare come dopo la costruzione del ponte a inizio anni Novanta lungo il fiume Ticino all'altezza di Lodrino non siano state osservate piene straordinarie, bensì eventi con un periodo di ritorno compreso indicativamente tra il trentennale e il centenario (analisi sommaria delle piene registrate dalle stazioni di misura UFAM di Ticino-Pollegio, Brenno-Loderio e Ticino-Bellinzona).

Come risulta dai risultati prodotti nell'ambito dello studio sulla valutazione dei pericoli lungo il Ticino in Riviera /4/, a partire dall'evento trentennale si osserva la tracimazione degli argini in sponda destra lungo la tratta compresa tra il viadotto autostradale e il ponte della strada cantonale. I deflussi caratteristici indicati nell'allegato 1 si compongono quindi della somma tra il deflusso lungo il Ticino e i deflussi tracimati in sponda destra.

Froehlich (1989) propone un approccio empirico che tiene in considerazione la geometria del manufatto, le condizioni di deflusso in corrispondenza dello stesso (velocità e profondità di deflusso, numero di Froude) e la granulometria dell'alveo (d_{50} , d_{16} e spettro granulometrico $\phi = (d_{86}/d_{16})^{0.5}$).

I parametri utilizzati e la formula per la determinazione della profondità della fossa di erosione secondo Froehlich sono riportati nell'allegato 1 per gli eventi HQ_{30} , HQ_{100} ed EHQ . Il primo calcolo considera la granulometria dell'alveo del Ticino all'altezza di Lodrino determinata sulla base di analisi in linea per numero eseguite nell'aprile 2013 dal nostro ufficio nell'ambito di diversi studi. La profondità della fossa di erosione è pari a ca. 1.4 m per l'evento trentennale, 1.6 m per l'evento centenario e 1.8 m per l'evento straordinario. La differenza ridotta tra la profondità dell'erosione in caso di evento trentennale e quella calcolata per l'evento straordinario è da ricondurre alla tracimazione a monte del manufatto a partire dall'evento trentennale (vedi paragrafi precedenti) e quindi a una riduzione dello scarto tra i deflussi caratteristici che transitano presso il ponte rispetto ai deflussi caratteristici complessivi. Dalle sezioni UFAM (rilievo 2008) la quota dell'alveo medio lungo la tratta a cavallo del ponte della cantonale tra Osogna e Lodrino è di ca. 257 m slm, con una quota minima (punto più basso dell'alveo in esterno curva) pari a ca. 256 m slm. Per l'evento centenario, considerando la profondità della fossa calcolata secondo Froehlich di 1.6 m risulta una quota teorica dell'alveo in prossimità della pila di ca. 254.4 m slm, di poco superiore quindi alla quota rilevata durante l'ispezione subacquea. In questa valutazione occorre tenere in considerazione come la fossa di erosione subisca una variazione nel corso dell'evento di piena, con una profondità massima durante la fase più intensa della piena e un graduale parziale riempimento della fossa nella fase discendente del deflusso quando il trasporto solido di fondo è ancora presente. L'attuale quota dell'alveo in corrispondenza della pila non corrisponde quindi alla massima estensione della fossa durante un evento di piena; la formula di Froehlich rispettivamente i valori scelti per i parametri sottovalutano quindi in questo caso il processo di formazione della fossa.

Variando in termini plausibili i parametri relativi alla granulometria del fondo (riducendo ca. della metà il valore di d_{86} e di ca. un quarto il valore di d_{50}) si ottiene una profondità della fossa di erosione di ca. 3.6 m per HQ_{30} , ca. 4.0 m per HQ_{100} e di ca. 4.7 m per EHQ . Partendo dal punto più basso dell'alveo in esterno curva che secondo i rilievi UFAM del 2008 si situa lungo la tratta in questione a ca. 256 m slm, la quota teorica del fondo della fossa in caso di evento centenario verrebbe a trovarsi indicativamente a 252 m slm, pari quindi al filo superiore della fondazione della pila. L'attuale quota dell'alveo di ca. 254 m slm presso la pila presupporrebbe quindi in questo caso un riempimento della fossa di erosione durante la fase discendente della piena di ca. la metà rispetto alla sua estensione massima stimata per un evento centenario, il che è senz'altro plausibile. La situazione è rappresentata schematicamente nella figura 6.

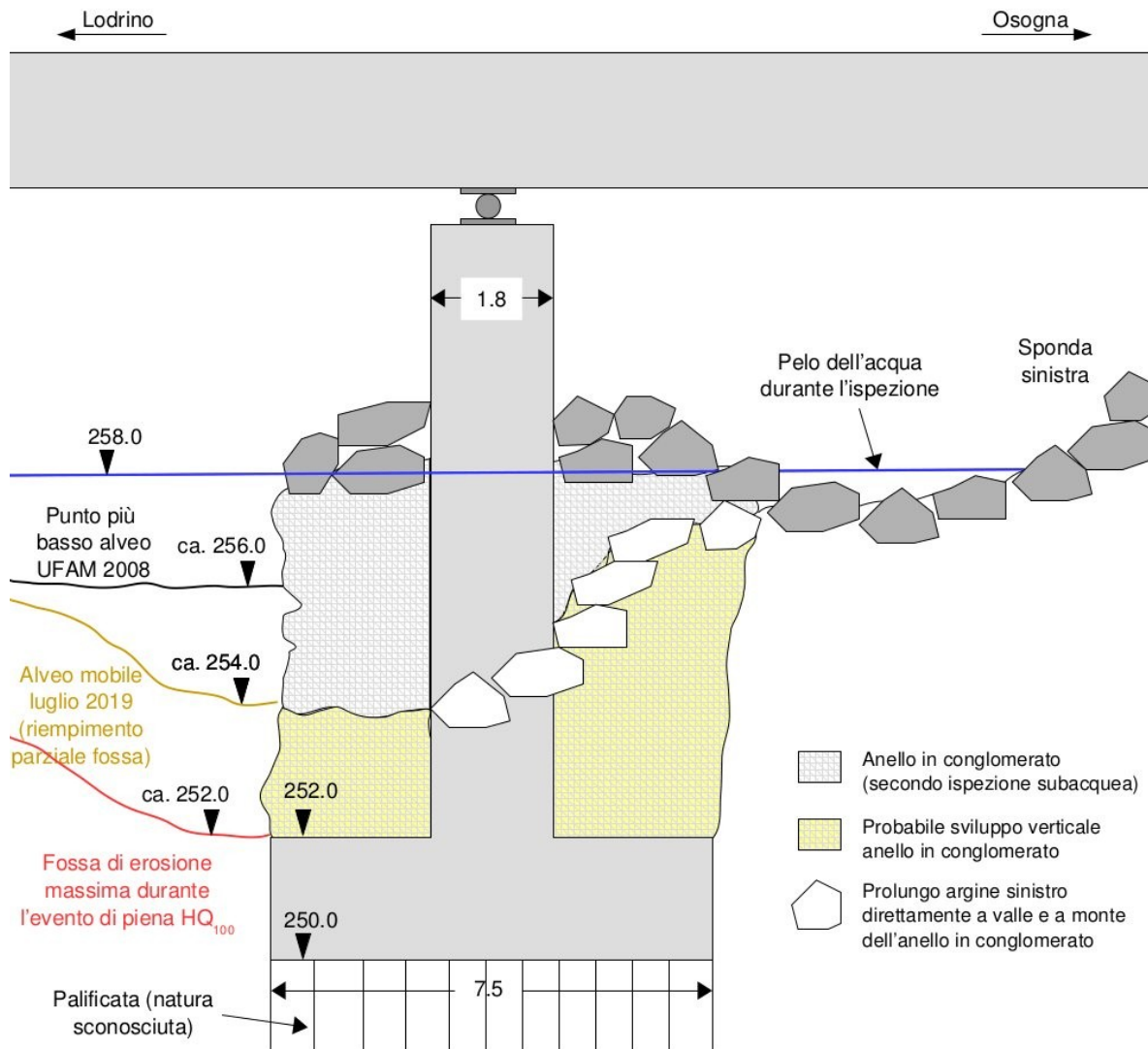


Fig. 6: Profondità della fossa di erosione presso la pila secondo Froelich (1989) per l'evento centenario con la granulometria ridotta.

Come illustrato nella figura precedente, il piano teorico del fondo della fossa di erosione in caso di evento centenario è posto a ca. 252 m s.l.m. e viene quindi a situarsi indicativamente alla quota superiore della fondazione della pila. Per l'evento trentennale la fossa non raggiunge teoricamente la fondazione, con una copertura della stessa comunque ridotta. **La sicurezza idraulica della pila a partire da una piena compresa tra l'evento trentennale e quello centenario non può quindi essere garantita.**

A complemento occorre ricordare come il progetto di risanamento della rampa di Lodrino attualmente in fase di elaborazione /1/ prevede l'abbassamento della testa della rampa di ca. 1m, misura che induce un equivalente abbassamento dell'alveo lungo la tratta a monte compresa tra la rampa e la confluenza del riale di Lodrino (dove si prevede la stabilizzazione dell'alveo in modo da interrompere l'ulteriore sviluppo verso nord dell'erosione). Rispetto a quanto illustrato nella figura 6 la fossa di erosione massima per una piena centenaria verrebbe quindi teoricamente a trovarsi a metà dell'altezza della fondazione della pila.

4 Misure da adottare a protezione della pila

Considerato come indicativamente a partire dalla piena trentennale la fossa di erosione presso la pila oggetto dell'indagine possa spingersi sino a raggiungere la fondazione, sono da adottare misure a salvaguardia della sicurezza del manufatto. In prima analisi possono essere esclusi interventi di abbassamento della fondazione della pila a una quota inferiore, considerate le difficoltà insite nell'intervento e gli importanti costi a esso legati.

Appare in questo caso più adeguato intervenire consolidando l'alveo in modo da limitare in modo significativo l'erosione dello stesso in corrispondenza della pila. In concreto proponiamo la posa di un tappeto in blocchi adagiato su uno strato di filtro di materiale grossolano in modo da evitare il progressivo infossamento dei massi. Lo strato di filtro avrebbe uno spessore di ca. 2 m e verrebbe realizzato direttamente sopra all'alveo attuale. Il principio d'intervento è rappresentato schematicamente nell'immagine seguente. I dettagli così come l'estensione dell'intervento dovranno essere valutati nell'ambito di uno studio separato.

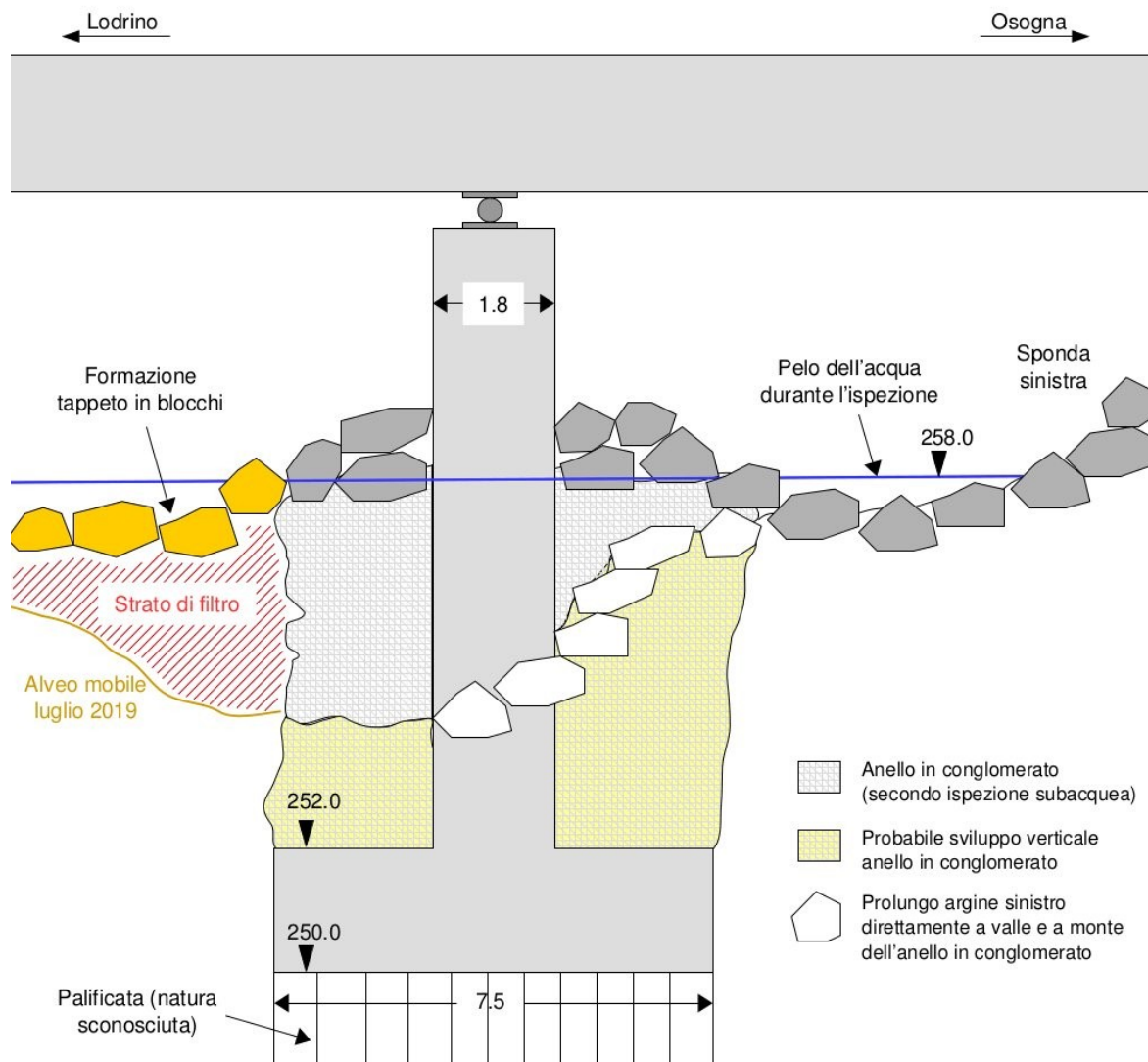


Fig. 7: Interventi a protezione della pila per evitare la formazione della fossa di erosione

5 Conclusioni

L'ispezione subacquea del 24 luglio scorso ha permesso di constatare come l'anello in conglomerato attorno alla pila est del ponte della strada cantonale si estenda sino almeno a 4 metri di profondità rispetto al pelo dell'acqua presente durante l'immersione. L'altezza ridotta tra l'alveo mobile osservato e il filo superiore della fondazione (ca. 2 m) lascia presupporre che l'anello sia collegato a quest'ultima in un un solo blocco e che quindi non ci sia uno spazio vuoto tra il conglomerato e la fondazione.

Le valutazioni eseguite nel presente studio sulla possibile profondità della fossa di erosione durante un evento di piena importante indicano come i processi erosivi possano raggiungere la fondazione (indicativamente a partire da una piena compresa tra l'evento trentennale e quello centenario) e metterne quindi in pericolo la sicurezza idraulica. Ricordiamo a questo proposito come le formule empiriche per la determinazione della profondità delle fosse di erosione in corrispondenza di manufatti forniscano una valutazione indicativa dei processi. L'entità di questi ultimi può variare a dipendenza delle condizioni locali e dell'interazione con il trasporto solido di fondo durante un evento di piena rispettivamente con il materiale flottante che dovesse essere depositato presso la pila durante l'evento. Questo potrebbe portare a un'accentuazione delle correnti secondarie con di conseguenza un aumento delle sollecitazioni al fondo.

Per garantire la sicurezza idraulica della pila proponiamo di consolidare l'alveo con la posa di un tappeto in massi adagiato su uno strato di filtro di materiale grossolano di spessore pari a ca. 2 m necessario per evitare il progressivo infossamento dei massi. Evidenziamo come la formazione del tappeto in blocchi garantisca la necessaria sicurezza al manufatto indipendentemente dall'ipotizzato sviluppo verso il basso dell'anello in conglomerato oltre l'alveo mobile osservato durante l'ispezione subacquea. Permette inoltre di evitare l'ulteriore progressivo indebolimento della struttura che già oggi presenta localmente marcate erosioni.

Gli interventi potrebbero essere realizzati in concomitanza con le misure previste nei prossimi anni lungo la tratta a monte della rampa di Lodrino nell'ambito del risanamento della rampa. Nel caso in cui dovesse tardare la messa in cantiere di tali interventi, suggeriamo di anticipare la realizzazione delle misure a protezione della pila.

6 Nuova ispezione subacquea del 23.12.2021

6.1 Introduzione

In considerazione degli eventi di piena succedutisi nello scorso triennio dopo la prima ispezione subacquea (24 luglio 2019) e visto lo slittamento della messa in cantiere degli interventi di sistemazione idraulica previsti lungo la tratta di Ticino nell'ambito del risanamento della rampa di Lodrino, l'Ufficio gestione manufatti ha richiesto su suggerimento dell'Ufficio dei corsi d'acqua una nuova ispezione subacquea della pila est del manufatto stradale.

6.2 Piene del Ticino tra il 2019 e il 2021

Nell'allegato 2 sono riportate le piene del Ticino a Bellinzona e Pollegio, del Brenno a Loderio e della Moesa a Lumino nel periodo 2019-2021, valori che permettono di risalire indicativamente alle piene del Ticino a Lodrino. Nel periodo considerato si osservano in totale tre eventi di piena significativi (almeno HQ₂) per il Ticino all'altezza del manufatto stradale:

- 12 giugno 2019 (prima dell'ispezione subacquea), deflusso a Lodrino ca. HQ₂
- 3 ottobre 2020, deflusso a Lodrino ca. HQ₁₀
- 8 luglio 2021, deflusso a Lodrino ca. HQ₅

6.3 Risultati ispezione subacquea

La nuova ispezione subacquea è stata eseguita il 23 dicembre 2021 da Marco Bernasocchi con le medesime modalità della prima immersione. La quota del pelo dell'acqua durante l'immersione era analoga a quella della prima. La figura 8 illustra le condizioni al momento dell'ispezione. Attorno alla pila oggetto dell'indagine si è formato un fitto tappeto di legname flottante trasportato dal Ticino negli ultimi eventi di piena (nel luglio 2019 la pila era sgombra).



Fig. 8: Ispezione subacquea del 23 dicembre 2021 con deposito di legname flottante.

Nella figura seguente è illustrato schematicamente il confronto tra la prima e la seconda ispezione subacquea, che evidenzia un aumento della fossa d'erosione di ca. 1 m rispetto a luglio 2019 (da ca. 254 a ca. 253 m slm). L'alveo mobile si trova quindi attualmente ca. 1 m al di sopra del filo superiore della fondazione della pila. Non sono invece riscontrabili differenze significative nella conformazione dell'anello di conglomerato a protezione della pila.

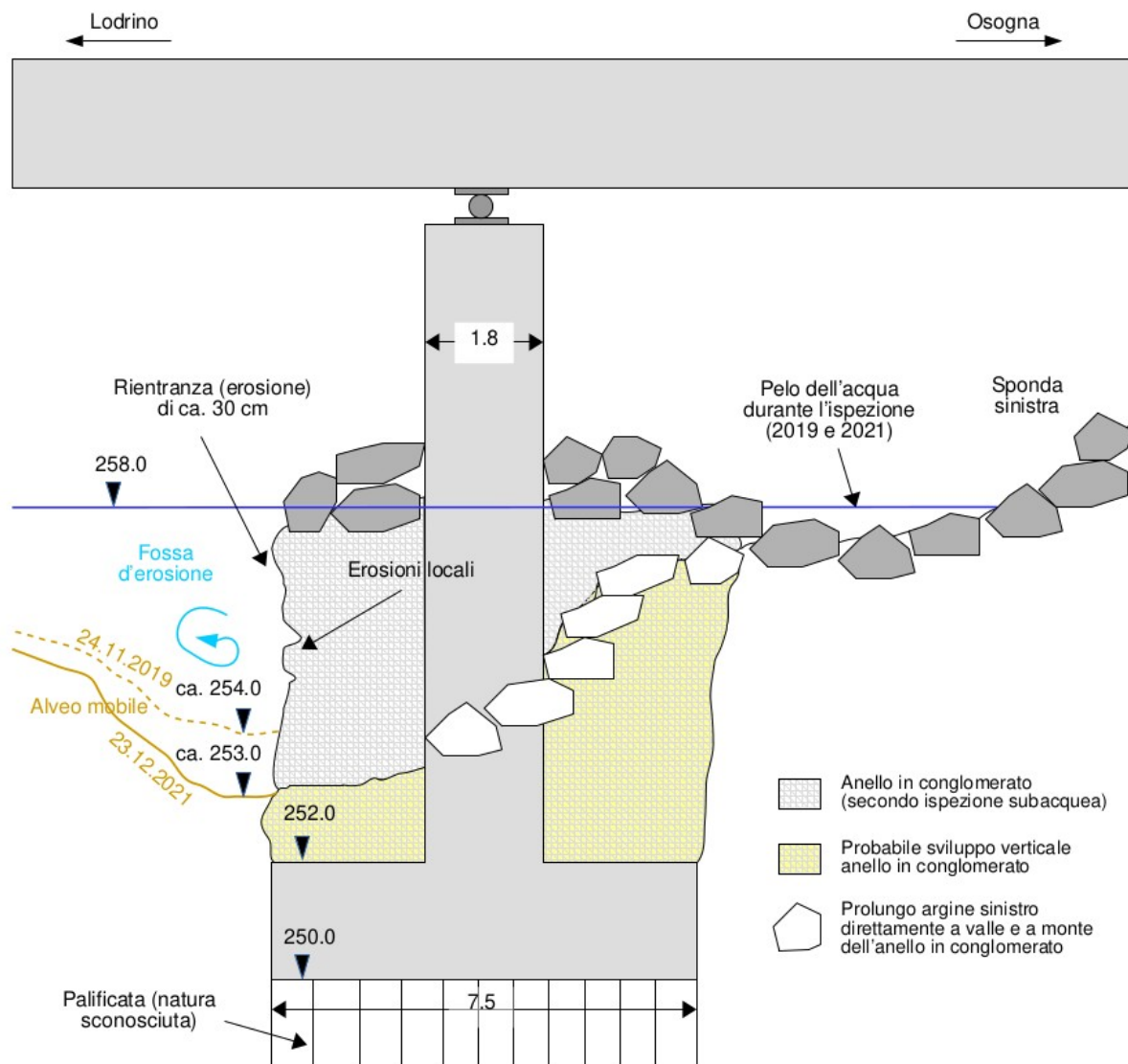


Fig. 9: Confronto sviluppo fossa d'erosione tra luglio 2019 e dicembre 2021

6.4 Valutazione dell'evoluzione dell'alveo e conclusioni

L'ispezione del 23 dicembre 2021 conferma la criticità dei processi erosivi dell'alveo in corrispondenza della pila est per rapporto alla sicurezza idraulica del manufatto. Le conclusioni al capitolo 5 sono quindi interamente confermate.

Evidenziamo che l'abbassamento dell'alveo di ca. 1 m osservato tra le due ispezioni non è da inserire all'interno di una tendenza erosiva globale, considerato che il Ticino lungo la tratta in questione presenta una situazione di relativa stabilità dopo la realizzazione della rampa di Lodrino a metà degli anni '80 (vedi /5/). È ipotizzabile che gli eventi di piena portino a una fluttuazione della profondità della fossa di erosione, a dipendenza dell'importanza

dell'evento di piena, dell'interazione con il trasporto solido e dell'influsso di depositi di materiale flottante presso la pila. È possibile che proprio questo ultimo processo sia all'origine della maggior profondità della fossa d'erosione rispetto all'ispezione del novembre 2019. Per confermare l'ipotesi di oscillazione della profondità della fossa di erosione sono da prendere in considerazione ulteriori ispezioni subacquee dopo eventi di piena significativi (con periodo di ritorno superiore a 5 anni).

7 Documentazione utilizzata

- /1/ Consorzio Manutenzione Arginature Riviera (CMAR), Risanamento rampa di Lodrino, Progetto definitivo, in elaborazione, beffa tognacca sagl, Claro.
- /2/ Consorzio Manutenzione Arginature Riviera (CMAR), Risanamento rampa di Lodrino, Rilievo con drone del perimetro di progetto, Visconti e Associati sagl, Malvaglia, aprile 2019.
- /3/ Ufficio strade nazionali, Autostrada Chiasso – San Gottardo, Tratta Gorduno-Biasca, Strada cantonale Cresciano-Lodrino, Nuovo ponte di Lodrino, Piano Sinottico, Sezioni 1:100 e 1:50, Studio d'ingegneria Ruprecht e Ci, 6962 Viganello, gennaio 1990.
- /4/ Ufficio dei corsi d'acqua, Fiume Ticino, Comparto Bodio – Arbedo-Castione, Valutazione dei pericoli a seguito di esondazioni, beffa tognacca sagl, Claro, marzo 2011.
- /5/ Ufficio dei corsi d'acqua, Evoluzione dell'alveo nei fiumi del Sopraceneri, Rapporto breve, beffa tognacca sagl, Claro, dicembre 2014.

Allegati

Allegato 1: Calcolo della profondità della fossa di erosione per
HQ₃₀, HQ₁₀₀ ed EHQ

**Calcolo della profondità della fossa presso spalle di ponti e pennelli
Approccio secondo Froehlich (1989)**

Calcolo per una piana centenaria HQ₃₀ pari a 1054 m³/s /4/

N.B: Come risulta dai risultati prodotti nell'ambito dello studio sulla valutazione dei pericoli lungo il Ticino in Riviera /4/, a partire dall'evento trentennale si osserva la tracimazione degli argini in sponda destra lungo la tratta compresa tra il viadotto autostradale e il ponte della strada cantonale. Il deflusso di 1054 m³/s si compone quindi della somma tra il deflusso lungo il Ticino e i deflussi tracimati in sponda destra.

Calcolo effettuato considerando la granulometria effettiva determinata sulla base di analisi in linea per numero eseguite nell'ambito di studi diversi (beffa tognacca sagl, Claro, aprile 2013)

K _s	[-]	0.82 coefficiente di forma
δ	[°]	110 angolo d'inclinazione del manufatto rispetto alla corrente
K _δ	[-]	1.02 (=δ/90) ^{0.1}
L	[m]	3.75 esposizione dell'elemento rispetto al deflusso
Fr	[-]	0.45 numero di Froude =v/(gh) ^{0.5}
v	[m/s]	2.9 velocità di deflusso per HQ30
h	[m]	4.3 altezza dell'acqua per HQ30
d ₅₀	[m]	0.04 relativo alla coltre inferiore
d ₁₆	[m]	0.02 relativo alla coltre inferiore
d ₈₆	[m]	0.12 relativo alla coltre inferiore
σ	[-]	2.45 =(d ₈₆ /d ₁₆) ^{0.5}

$$S/h = 0.78 K_s K_\delta (L/h)^{0.63} Fr^{1.16} (h/d_{50})^{0.43} \sigma^{-0.87}$$

S/h	[-]	0.33
S	[m]	1.41 profondità fossa d'erosione

Calcolo effettuato correggendo verso il basso i parametri relativi alla granulometria

K _s	[-]	0.82 coefficiente di forma
δ	[°]	110
K _δ	[-]	1.02 (=δ/90) ^{0.1}
L	[m]	3.75 esposizione dell'elemento rispetto al deflusso
Fr	[-]	0.45 numero di Froude =v/(gxh) ^{0.5}
v	[m/s]	2.9 velocità di deflusso
h	[m]	4.3 altezza dell'acqua
d ₅₀	[m]	0.03 relativo alla coltre inferiore
d ₁₆	[m]	0.02 relativo alla coltre inferiore
d ₈₆	[m]	0.05 relativo alla coltre inferiore
σ	[-]	1.58 =(d ₈₆ /d ₁₆)

$$S/h = 0.78 K_s K_\delta (L/h)^{0.63} Fr^{1.16} (h/d_{50})^{0.43} \sigma^{-0.87}$$

S/h		0.84
S		3.63 profondità fossa d'erosione

**Calcolo della profondità della fossa presso spalle di ponti e pennelli
Approccio secondo Froehlich (1989)**

Calcolo per una piana centenaria HQ₁₀₀ pari a 1254 m³/s /4/

N.B: Come risulta dai risultati prodotti nell'ambito dello studio sulla valutazione dei pericoli lungo il Ticino in Riviera /4/, a partire dall'evento trentennale si osserva la tracimazione degli argini in sponda destra lungo la tratta compresa tra il viadotto autostradale e il ponte della strada cantonale. Il deflusso di 1254 m³/s si compone quindi della somma tra il deflusso lungo il Ticino e i deflussi tracimati in sponda destra.

Calcolo effettuato considerando la granulometria effettiva determinata sulla base di analisi in linea per numero eseguite nell'ambito di studi diversi (beffa tognacca sagl, Claro, aprile 2013)

K _s	[-]	0.82 coefficiente di forma
δ	[°]	110 angolo d'inclinazione del manufatto rispetto alla corrente
K _δ	[-]	1.02 (= (δ/90) ^{0.1})
L	[m]	3.75 esposizione dell'elemento rispetto al deflusso
Fr	[-]	0.46 numero di Froude = v/(gh) ^{0.5}
v	[m/s]	3.1 velocità di deflusso per HQ100
h	[m]	4.6 altezza dell'acqua per HQ100
d ₅₀	[m]	0.04 relativo alla coltre inferiore
d ₁₆	[m]	0.02 relativo alla coltre inferiore
d ₈₆	[m]	0.12 relativo alla coltre inferiore
σ	[-]	2.45 = (d ₈₆ /d ₁₆) ^{0.5}

$$S/h = 0.78 K_s K_\delta (L/h)^{0.63} Fr^{1.16} (h/d_{50})^{0.43} \sigma^{-0.87}$$

S/h	[-]	0.34
S	[m]	1.55 profondità fossa d'erosione

Calcolo effettuato correggendo verso il basso i parametri relativi alla granulometria

K _s	[-]	0.82 coefficiente di forma
δ	[°]	110
K _δ	[-]	1.02 (= (δ/90) ^{0.1})
L	[m]	3.75 esposizione dell'elemento rispetto al deflusso
Fr	[-]	0.46 numero di Froude = v/(gxh) ^{0.5}
v	[m/s]	3.1 velocità di deflusso
h	[m]	4.6 altezza dell'acqua
d ₅₀	[m]	0.03 relativo alla coltre inferiore
d ₁₆	[m]	0.02 relativo alla coltre inferiore
d ₈₆	[m]	0.05 relativo alla coltre inferiore
σ	[-]	1.58 = (d ₈₆ /d ₁₆)

$$S/h = 0.78 K_s K_\delta (L/h)^{0.63} Fr^{1.16} (h/d_{50})^{0.43} \sigma^{-0.87}$$

S/h		0.86
S		3.98 profondità fossa d'erosione

**Calcolo della profondità della fossa presso spalle di ponti e pennelli
Approccio secondo Froehlich (1989)**

Calcolo per una piana straordinaria EHQ pari a 1715 m³/s /4/

N.B: Come risulta dai risultati prodotti nell'ambito dello studio sulla valutazione dei pericoli lungo il Ticino in Riviera /4/, a partire dall'evento trentennale si osserva la tracimazione degli argini in sponda destra lungo la tratta compresa tra il viadotto autostradale e il ponte della strada cantonale. Il deflusso di 1715 m³/s si compone quindi della somma tra il deflusso lungo il Ticino e i deflussi tracimati in sponda destra.

Calcolo effettuato considerando la granulometria effettiva determinata sulla base di analisi in linea per numero eseguite nell'ambito di studi diversi (beffa tognacca sagl, Claro, aprile 2013)

K _s	[-]	0.82 coefficiente di forma
δ	[°]	110 angolo d'inclinazione del manufatto rispetto alla corrente
K _δ	[-]	1.02 (=δ/90) ^{0.1}
L	[m]	3.75 esposizione dell'elemento rispetto al deflusso
Fr	[-]	0.49 numero di Froude =v/(gh) ^{0.5}
v	[m/s]	3.5 velocità di deflusso per EHQ
h	[m]	5.1 altezza dell'acqua per EHQ
d ₅₀	[m]	0.04 relativo alla coltre inferiore
d ₁₆	[m]	0.02 relativo alla coltre inferiore
d ₈₆	[m]	0.12 relativo alla coltre inferiore
σ	[-]	2.45 =(d ₈₆ /d ₁₆) ^{0.5}

$$S/h = 0.78 K_s K_\delta (L/h)^{0.63} Fr^{1.16} (h/d_{50})^{0.43} \sigma^{-0.87}$$

S/h	[-]	0.36
S	[m]	1.83 profondità fossa d'erosione

Calcolo effettuato correggendo verso il basso i parametri relativi alla granulometria

K _s	[-]	0.82 coefficiente di forma
δ	[°]	110
K _δ	[-]	1.02 (=δ/90) ^{0.1}
L	[m]	3.75 esposizione dell'elemento rispetto al deflusso
Fr	[-]	0.49 numero di Froude =v/(g _x h) ^{0.5}
v	[m/s]	3.5 velocità di deflusso
h	[m]	5.1 altezza dell'acqua
d ₅₀	[m]	0.03 relativo alla coltre inferiore
d ₁₆	[m]	0.02 relativo alla coltre inferiore
d ₈₆	[m]	0.05 relativo alla coltre inferiore
σ	[-]	1.58 =(d ₈₆ /d ₁₆)

$$S/h = 0.78 K_s K_\delta (L/h)^{0.63} Fr^{1.16} (h/d_{50})^{0.43} \sigma^{-0.87}$$

S/h		0.92
S		4.68 profondità fossa d'erosione

Allegato 2: Piene del Ticino, del Brenno e della Moesa tra il 2019 e il 2021

Piense del Ticino, del Brenno e della Moesa tra il 2019 e il 2021 in m3/s

Fonte: UFAM, dati idrologici

		<i>Ticino a Bellinzona</i>	<i>Ticino a Pollegio</i>	<i>Brenno a Loderio</i>	<i>Moesa a Lumino</i>
2019	12 giugno	808	299	205	593
	12 agosto	722	201	94	362
	21 ottobre	766	248	133	296
2020	7 giugno	652	124	59	322
	29 agosto	856	228	165	313
	3 ottobre	1345	515	256	570
2021	11 maggio	440	139	50	191
	8 luglio	556	390	164	196
	7 agosto	783	156	69	332
	5 ottobre	429	113	37	191
Deflussi caratteristici					
	HQ2	898	297	191	302
	HQ10	1273	489	316	461
	HQ30	1397	586	376	527
	HQ100	1481	677	429	580

Osservazione:

Nella tabella delle portate misurate, le piense in cui è stato raggiunto il deflusso caratteristico sono evidenziate con il rispettivo colore.