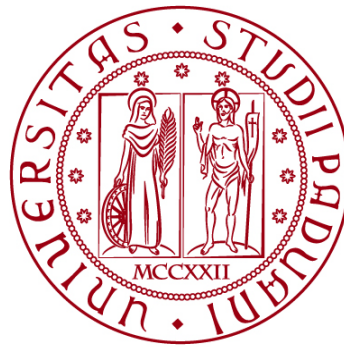


**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**  
**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E**  
**AMBIENTALE**  
*Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering*

Corso di Laurea in Ingegneria Civile



**TESI DI LAUREA**

# **STRUTTURE FRANGICORRENTE**

**Relatore: Chiar.mo PROF. ANDREA DEFINA**

**Laureanda: GAIA PENZO**

**ANNO ACCADEMICO 2021-2022**



*“Non te l'ho io comandato? Sii forte e coraggioso; non ti spaventare e non ti sgomentare, perché il Signore, il tuo Dio, sarà con te dovunque andrai”*

***Giosuè 1:9***



# SOMMARIO

1. INTRODUZIONE .....	7
2. PROBLEMATICHE DEI PONTI .....	9
2.1. QUADRO GENERALE E L'IMPORTANZA DELLA RICERCA.....	10
2.2. CREAZIONE DI SOVRASPINTE .....	13
2.2.1. Dinamica del fenomeno .....	17
2.3. EROSIONE ALLA BASE DELLE SPALLE E DELLE PILE .....	20
2.3.1. Dinamica del fenomeno .....	22
2.3.2. Accorgimenti e provvedimenti per combattere l'erosione.....	27
3. FRANGICORRENTE.....	29
3.1. DEFINIZIONE DI FRANGICORRENTE.....	29
3.2. QUADRO STORICO.....	33
3.2.1 Accorgimenti per far fronte al problema dell'erosione .....	33
3.2.2 Caratteristiche geometriche dei rostri.....	36
3.2.3 Esempi .....	39
■ <i>Il Ponte di Tiberio:</i> .....	39
■ <i>Il Ponte Fabricio a Roma:</i> .....	40
■ <i>Il Ponte Vecchio:</i> .....	41
■ <i>Newport Town Bridge:</i> .....	42
3.3. VANTAGGI E SVANTAGGI .....	44
5. BIBLIOGRAFIA .....	47



# 1. INTRODUZIONE

Il seguente elaborato di tesi presenta una descrizione delle strutture frangicorrente, o più comunemente dette tagliacque.

Questo elemento strutturale si può trovare a ridosso delle pile di alcuni ponti storici, soprattutto romani, atti a svolgere un'azione difensiva per la struttura portante del ponte. Pur essendo un elemento poco osservato, ha permesso la conservazione di moltissimi ponti romani fino all'età odierna e svolge delle funzioni idrauliche che verranno approfondite nel secondo capitolo dell'elaborato.

Oltre alle sue funzioni idrauliche, viene riportata una spiegazione circa le varie forme e tipologie di frangicorrente esistenti, riportando tre esempi di ponti, noti per queste strutture, quali: il Ponte Tiberio; il Ponte Fabricio a Roma; il Ponte Vecchio di Bassano del Grappa e il Ponte della città di Newport.

Esistono diverse forme di frangicorrente e in relazione alle caratteristiche si avrà una resa migliore o peggiore.

Precedentemente, nel primo capitolo invece, si vuole dare una panoramica generale circa le principali problematiche idrauliche a cui è sottoposto un ponte, correlate alle conseguenti problematiche strutturali. Per far ciò si è partiti dai risultati di due ricerche, una statunitense e una italiana, che hanno studiato quali sono state le parti più colpite nel tempo e le cause di decadimento/collasso di un campione di ponti del territorio.

Le due ricerche hanno evidenziato che le principali problematiche riscontrabili sono: erosione e nascita di sovra spinte che vanno a gravare sull'impalcato.

Queste ricerche hanno evidenziato, inoltre, che i problemi strutturali di queste sovra strutture di collegamento non sono indipendenti da problematiche idrauliche, ma che sono in stretta correlazione, soprattutto perché le problematiche idrauliche nascono da una interazione tra la corrente e gli elementi strutturali del ponte, quali pile e spalle.

Si è visto, quindi, quanto sia importante la ricerca per poter cercare di evitare errori progettuali nella realizzazione degli attraversamenti e nello specifico si sono viste le dinamiche dei fenomeni di erosione e di creazione di sovra spinte e i principali accorgimenti per fronteggiare queste problematiche.





## 2. PROBLEMATICHE DEI PONTI

A seguito di un numero crescente di eventi alluvionali straordinari, che si stanno verificando nel suolo italiano, come all'estero, si può notare un'elevata vulnerabilità non solo delle strutture di contenimento idraulico ma anche dei ponti, sottoposti sempre più frequentemente a danni e crolli.

I fenomeni di crollo sono molto pericolosi, da un punto di vista di rischio strutturale, ma anche idraulico. Si pensi, per esempio, al caso di ponti storici con luci sottodimensionate per via di pile massicce in muratura: l'acqua trattenuta a monte della struttura, che non riesce a defluire liberamente come farebbe in configurazione indisturbata (esempio in Figura 2.1), a causa di un crollo improvviso, verrebbe scaricata rapidamente a valle creando un incremento della portata di piena e cambiando le caratteristiche di deflusso del corso d'acqua.



*Figura 2.1: Esempio di spinta della corrente sulle pile massicce, che costituiscono impedimenti al libero deflusso. (Riportata in: <https://www.torinotoday.it/cronaca/ponte-corso-svizzera-pericolante.html>).*

Risulta fondamentale, quindi, studiare con attenzione la vulnerabilità dei ponti esistenti, vista la datata realizzazione di questi ultimi, dimensionati con margini di sicurezza estremamente ridotti rispetto quelli odierni.

Con questo capitolo si vuole dare una panoramica generale circa i principali problemi a cui un ponte deve far fronte.

## 2.1. QUADRO GENERALE E L'IMPORTANZA DELLA RICERCA

Varie ricerche, condotte per diversi eventi alluvionali, hanno riscontrato che, escludendo i problemi erosivi, un sottodimensionamento dell'attraversamento fluviale possa condurre a conseguenze rilevanti, riguardanti: la morfologia dell'alveo fluviale; le caratteristiche idrauliche della corrente e il regime delle portate di piena nel corso dell'evento. Questo è riscontrabile osservando: migrazioni laterali d'alveo indotti dalle infrastrutture del ponte; riduzione della capacità di deflusso e conseguente rialzo dei livelli del pelo libero di monte; formazione di invasi temporanei a monte del manufatto di attraversamento favoriti dalla parziale ostruzione delle luci del ponte ad opera di detriti lapidei e vegetali trasportati dalla corrente. La formazione di invasi temporanei si è dimostrata essere molto pericolosa, in quanto può portare ad un innalzamento del livello idrico di monte, col pericolo conseguente di osservare un sormonto dell'impalcato, e ad una sovra-sollecitazione per le pile e l'impalcato non previste nel calcolo strutturale.



*Figura 2.1.1: Esempio di spinta eccessiva sulle pile in periodo di piena.  
(Riportata in: <https://www.ilgiorno.it/mantova/cronaca/fiume-secchia-esondazione-1.707585>).*

Osservando il susseguirsi di danni e crolli, riguardanti queste strutture, è sorta quindi la necessità di studiare con maggior attenzione la natura di questi fenomeni.

Dalla relazione di Brath (2007) è possibile avere una panoramica generale di quali sono stati i risultati ottenuti da alcune ricerche condotte negli Stati Uniti e in Italia.

L'articolo riporta che la Federal Highway Administration, dopo aver analizzato una serie di ponti fluviali statunitensi realizzati prima del 1985, ha dedotto che l'effetto degli scavi ad opera della corrente sulle fondazioni dei manufatti non è stato adeguatamente considerato nella progettazione in gran parte dei casi, infatti su 580.000 ponti

analizzati, il 3% (18.000) si trovava in uno stato critico e per il 17% (100.000) non è stato possibile avere informazioni riguardanti il tipo di fondazione utilizzato in alveo. In Italia è stata condotta la stessa ricerca da Ballio (1998), che ha preso in considerazione un campione di circa 400 ponti investiti da 8 distinti eventi alluvionali dell'ultimo decennio. I risultati ottenuti da questa ricerca, invece, hanno portato a considerare che il rapporto tra il numero dei ponti crollati (o gravemente danneggiati) ed il numero totale dei ponti esistenti sui tratti fluviali in cui si sono verificati danni è circa del 30%, percentuale influenzata dal campione di eventi alluvionali scelti per l'analisi, ovvero quelli più intensi. Prendendo eventi alluvionali di maggiore intensità e osservando la risposta della struttura, la probabilità di osservare dei danni sarà più alta, ma prendendo un periodo di osservazione che non comprende questi eventi alluvionali non si avrebbe un risultato efficace ai fini di questo studio, che vuole evidenziare le criticità di queste strutture; quindi, per poter eseguire una ricerca speditiva e più significativa, sono stati presi quelli estremi.

I risultati ottenuti dalla ricerca italiana sono stati successivamente riassunti in due grafici (Figura 2.1.2), che riportano le diverse tipologie e cause di danneggiamento primario sui ponti riscontrate nell'indagine, accompagnate dalla loro frequenza di accadimento.

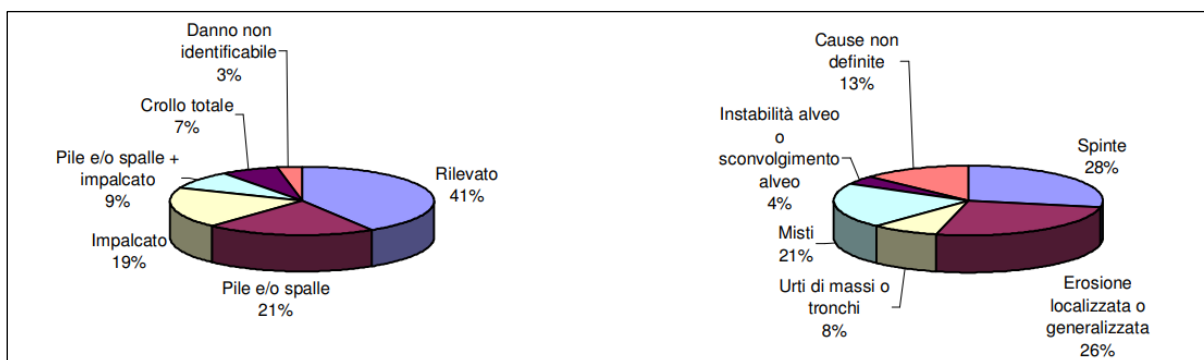


Figura 2.1.2 – Elementi strutturali dei manufatti di attraversamento danneggiati a seguito di eventi alluvionali (a sinistra) e cause di danno primario subito dai ponti (a destra). Dati desunti da Ballio et al. (1998).

Dall'osservazione di questi due grafici, si evince che le principali tipologie di danno riscontrato nelle strutture in esame, sono state: cedimento delle pile o delle spalle del ponte a causa di erosione alla base delle relative fondazioni (esempio in Figura 2.1.3); lesione o distruzione dell'impalcato; crollo totale o parziale del rilevato di accesso (esempio in Figura 2.1.4), risultando la parte del manufatto danneggiata più spesso (41% di frequenza), rispetto a pile e spalle dei ponti (26% dei casi) e l'impalcato (19%).



Secondo Brath (2007), questo comportamento potrebbe essere spiegato da una maggiore frequenza nel nostro Paese di rilevati di accesso ai ponti posti nelle zone golenali dell'alveo, e dagli effetti della vegetazione fluitata dalla corrente che impatta sugli impalcati delle strutture di attraversamento.

Successivamente si evince che, contrariamente a quanto osservato negli Stati Uniti, l'erosione si può osservare per il 26% dei casi nel campione e non risulta la causa principale, pur pesando in modo significativo sul totale. Risultano, invece, dominare le lesioni provocate dalla spinta idrodinamica della corrente.

È proprio dai risultati di ricerche come queste che si può porre la giusta attenzione sulla sicurezza di queste strutture che risultano essere molto vulnerabili e poco sicure da un punto di vista idraulico e quindi umano e strutturale.



*Figura 2.1.3: Esempi di crolli di attraversamenti dovuti a fenomeni di erosione localizzata alla base di una pila (Brath, 2007).*



*Figura 2.1.4: Esempio di crollo dell'impalcato. (Riportata in: <https://www.alpauno.com/ponte-crollato-alloperagenio-militare-micro-cariche-per-demolirlo/>).*

## 2.2. CREAZIONE DI SOVRASPINTE

Come è stato evidenziato dalle ricerche, citate al paragrafo 2.1, la problematica principale dei ponti è la formazione di sovra spinte che colpiscono soprattutto l'impalcato. Questa problematica non ha una natura semplicemente strutturale, ma nasce da conseguenze idrauliche legate all'interazione tra la corrente idrica e i manufatti portanti di queste sovra strutture: pile e spalle.

Collocando questi elementi strutturali del ponte in alveo si andrà a creare un restringimento della sezione di deflusso, provocando una variazione dell'assetto idrometrico della corrente rispetto alla situazione indisturbata, specialmente durante i periodi di piena. La variazione idraulica più dannosa ai fini della creazione di queste sovra spinte è l'aumento del tirante idrico a monte dei manufatti posti in alveo, che andranno a costituire un ostacolo per il naturale deflusso della corrente, creando un rialzo idraulico.

Prendendo in considerazione portate caratterizzate da tempi di ritorno elevati, si possono misurare sovralti notevoli, in rapporto al restringimento della sezione e alle condizioni di deflusso (esempio in Figura 2.2.1). Considerando poi, che per via dei cambiamenti climatici, i periodi siccitosi si stanno alternando a eventi di elevata criticità, pensati come eventi caratterizzati da un elevato tempo di ritorno al momento della progettazione, diventa sempre più importante porre attenzione a queste considerazioni.



Figura 2.2.1: Esempio di rialzo idraulico su una passerella pedonale durante la piena. (Riportata in <https://www.danielesaisi.com/2012/01/non-tutti-sanno-che-ponti-sul-serchio.html>).



La messa in alveo di spalle e pile potrebbe, però, non essere l'unica causa di restringimento della sezione idrica, in quanto è cautelare considerare che ulteriori riduzioni della sezione potrebbero essere dovute al fatto che la direzione della corrente non è perfettamente in accordo con l'orientamento delle pile poste in alveo o ad una ostruzione parziale delle luci attraverso cui passa la corrente, causata dal trasporto di materiali galleggianti di varia natura (detriti, tronchi, etc.) (Esempi in Figura 2.2.2).



Figura 2.2.2: Esempi di ostruzione parziale delle luci dato dalla vegetazione trasportata dalla corrente e accumulata in prossimità delle pile.

(2.2.2.A Riportata in: <http://www.pisa24.info/mercoledì-20-ponte-del-cep-chiuso-al-traffico-dalle-13-30-alle-19-00-per-lavori-di-rimozione-alla-base-delle-pile/>).

(2.2.2.B Riportata in: <https://www.picenonews24.it/il-ponte-sul-fiume-tronto-ostruito-maria-rita-morganti-scrive-agli-enti/>).

(2.2.2.C Riportato in: <https://primalodi.it/attualita/domani-la-pulizia-dei-piloni-del-ponte-sulladda-circolazione-sospesa/>).

(2.2.2.D Riportata in: <https://operazioneSardegna.files.wordpress.com/2013/11/legname-sul-fiume-cedrino.jpg>).

Questi fenomeni, molto spesso, vengono sottovalutati durante il dimensionamento, ma possono creare un aumento, anche consistente, del volume idrico di monte, e di conseguenza, problematiche aggiuntive. Si pensi, per esempio, alle esondazioni che si stanno verificando sempre più frequentemente: anche se esse si localizzano a monte della struttura, per scaricare i volumi idrici accumulati in più, la corrente creerà dei nuovi percorsi idrici fuori dall'alveo di partenza, modificandone l'assetto e formando nuovi angoli di incidenza sulle pile della struttura.



Figura 2.2.3: (Riportata in: <https://iltirreno.gelocal.it/grosseto/cronaca/2019/11/18/news/ombrone-in-piena-un-sms-avverte-lasciate-le-case-ordine-per-2mila-1.37918608>).

È importante, perciò, calcolare con attenzione l'entità del rigurgito per poter conferire un adeguato grado di sicurezza alla struttura e alle zone limitrofe, controllando che sia compatibile con gli argini della zona studiata e mantenere costante un piano di manutenzione che preveda la messa in sicurezza di queste opere e la pulizia delle luci. Per non avere una incompatibilità tra il livello a monte rialzato e i margini di contenimento, la normativa suggerisce tre accorgimenti da tenere a mente nella fase progettuale o di adeguamento di strutture esistenti:

- predisporre delle luci che non vadano a creare restringimenti eccessivi della sezione di deflusso;
- il dislivello minimo tra fondo dell'alveo e la quota di sotto-trave, va considerato 6-7 m;



- nel caso fosse necessario un adeguamento dei franchi per via delle eccessive ostruzioni delle luci, è buona norma prevedere un franco di sicurezza di 1,5-2 m tra il livello idrometrico raggiunto in corrispondenza dell'impalcato e la quota di sotto-trave prevista durante la piena di progetto considerata.

Questi accorgimenti sono finalizzati a garantire la sicurezza degli argini e dell'impalcato, affinché non si verifichino sovraccarichi, tracimazioni e il sormonto della sovrastruttura da parte della corrente durante gli eventi di piena.

In Italia è presente un numero elevato di ponti storici che, diversamente da quelli più moderni, non potevano essere realizzati con grandi luci. Questo porta alla presenza di numerosi ostacoli in alveo (pile), a differenza delle realizzazioni più moderne che, facendo uso di materiali più innovativi e quindi resistenti e schemi statici iperstatici, possono attraversare il corso d'acqua con un numero ridotto di campate che risultano essere quasi ininfluenti sul corso d'acqua.

Oltre ad avere un numero minore di pile, si cerca di posizionarle nella zona dell'alveo meno attiva (golena), in modo da creare una interazione tra pile e corrente solo durante i periodi di piena rilevanti e ridurre eventuali problemi. (Figura 2.2.4)



Figura 2.2.4: Esempio di pila posizionata in una golena. (Riportato in: <https://zero.eu/it/luoghi/6109-ponte-milvio-2,roma/>).

Per i ponti più datati non sono stati seguiti questi criteri e quindi, molto spesso, si creeranno dei restringimenti eccessivi della sezione, andando a gravare su impalcato e franchi della struttura.

Si vuole dare, in seguito, una panoramica generale circa la dinamica della corrente in corrispondenza di un restringimento di sezione.



## 2.2.1. Dinamica del fenomeno

Esistono due tipologie fondamentali di restringimento di sezione del deflusso di un corso d'acqua (Fugazza, 2011):

- *la contrazione* (contraction), con cui si indica solitamente un restringimento che lascia libera una luce nella zona centrale del corso d'acqua, come avviene nel caso delle spalle dei ponti o di affioramenti rocciosi laterali che ostruiscono in parte la sezione) (Figura 2.2.1.1).

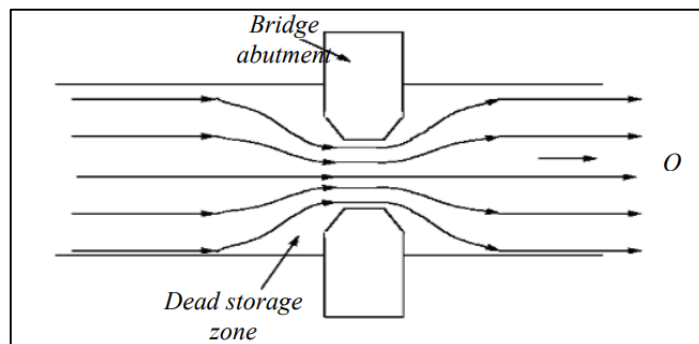


Figura 2.2.1.1 - Schema di contrazione della sezione di deflusso prodotta dalle spalle di un ponte (Fonte: Fugazza, 2011).

- *l'ostruzione* (obstruction), caratterizzata dalla presenza di ostacoli nella zona centrale della sezione di deflusso, che provocano la separazione della corrente (Figura 2.2.1.2).

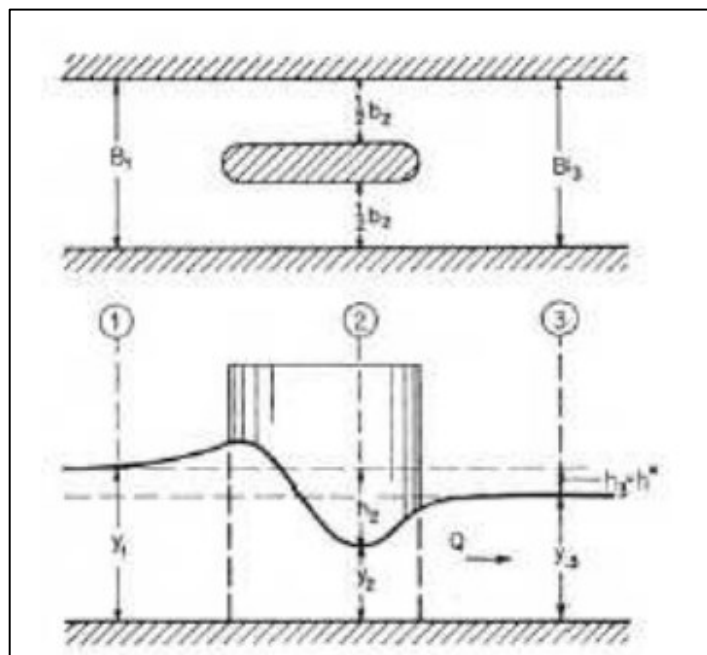


Figura 2.2.1.2 – Schema di ostruzione della sezione di deflusso prodotta dalla pila di un ponte (Fonte: Fugazza, 2011).

Le dissipazioni energetiche della corrente, date da questi restringimenti di sezione, vanno a cambiare l'assetto idrometrico in quantità dipendente dalle caratteristiche geometriche e idrauliche del caso preso in considerazione.

Quando si hanno le pile e le spalle poste in alveo, i loro effetti saranno contemporanei, ma per semplicità di calcolo vanno pensati distinti e solo successivamente combinati assieme, così da poter valutare se il contributo dato dalle spalle risulta pesare o essere trascurabile nel calcolo del rialzo totale, in dipendenza della disposizione e della geometria di questi manufatti di sostegno.

In (Figura 2.2.1.3) si schematizzano le fasi del restringimento della corrente in presenza delle spalle di un ponte, facendo distinzione tra il comportamento teorico (rappresentato da rette) e quello reale (rappresentato da curve), entrambi tratteggiati in figura.

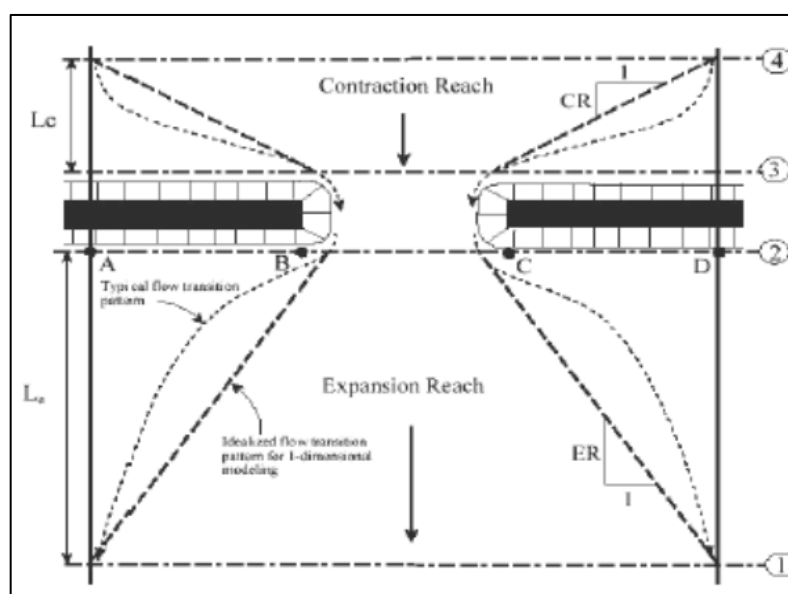


Figura 2.2.1.3 - Schema di un restringimento della sezione di deflusso provocato dalla presenza in alveo delle spalle di un ponte (Fonte: Fugazza, 2011).

Si distinguono tre diverse zone da monte (sezione 4) a valle (sezione 1):

■ **zona 1:** si colloca tra le sezioni (4) e (3), essendo la zona a monte dell'ostacolo. In questa zona si osserva una contrazione della vena idrica, caratterizzata da un aumento graduale della velocità della corrente correlato alla geometria del restringimento da attraversare.

Il restringimento in questione è caratterizzato da una pendenza dei filetti idraulici pari a CR, rispetto all'orizzontale, che rappresenta la deviazione della corrente a livello

teorico (l'andamento reale è quello rappresentato dalle linee tratteggiate curve). L'altro parametro che consente di stimare l'entità della contrazione è  $L_c$ , che rappresenta la distanza per cui si risente di questo comportamento, stimabile nello stesso ordine di grandezza della misura caratteristica di ingombro dell'alveo (una pila, una spalla o la media del loro ingombro trasversale a seconda della geometria della struttura).

In questa zona si hanno dissipazioni di energia, ma in quantità ridotta rispetto le zone 2 e 3 che seguono.

■ **zona 2:** si trova tra le sezioni (3) e (2) ed è la zona di passaggio della vena idrica attraverso la sezione contratta, quindi come l'area di restringimento massimo.

In questa zona sono identificabili elevate dissipazioni di energia causate da: forte aumento della velocità della corrente; fenomeni di turbolenza e formazioni di onde trasversali in caso la corrente diventasse veloce.

■ **zona 3:** si pone tra le sezioni (2) e (1), quindi è la zona d'uscita a valle dell'ostacolo, quindi a valle del restringimento, dove si verifica un'espansione della corrente con conseguente allargamento della traiettoria dei filetti idrici caratterizzati da una divergenza quantificabile dall'angolo ER, rispetto all'orizzontale. Oltre a ER, questa zona è descritta dalla lunghezza  $L_e$ , che indica l'entità della zona di espansione, cioè la distanza che impiegherà la corrente per tornare ad occupare l'intera sezione di deflusso, ed è dipendente da: angolo ER; velocità della corrente in prossimità della contrazione e dalle caratteristiche dell'alveo. Questa quantità si stima essere, mediamente, circa quattro volte la larghezza dell'ostacolo e nel caso in cui la geometria del ponte prevedesse più di campate (più pile poste in alveo), si considera che il restringimento efficace sarà pari a metà di due pile, cioè uguale alla dimensione di una sola pila per campata.

In questa zona si riscontrabili forti perdite energetiche dovute a pesanti turbolenze.

Questa configurazione può ritenersi valida per ogni tipo e grado di restringimento della sezione di corrente.

## 2.3. EROSIONE ALLA BASE DELLE SPALLE E DELLE PILE

L'effetto erosivo prodotto dalla corrente su pile e spalle dei ponti, dalle ricerche, si è identificato essere un altro agente dannoso per i ponti posti in alveo.

Le sovrastrutture più antiche risultano essere le più vulnerabili sotto questo fenomeno, per via dell'elevato numero di pile poste in alveo che, essendo di grandi dimensioni rispetto alle strutture più moderne, riducono notevolmente le luci libere e provocano grandi contrazioni della vena idrica. Questo fatto porta ad un aumento di velocità della corrente, in prossimità dei restringimenti, che farà nascere dei vortici esponendo pile e spalle al fenomeno di erosione. Un ulteriore problema dei ponti più datati è la tecnica di realizzazione dei manufatti di fondazione, basata su scavi manuali e poi perforazioni di tipo pneumatico, inadatta per prevenire lo scalzamento dei detti manufatti.

Le variabili in gioco, che permettono di analizzare questi fenomeni erosivi sono numerosi e tra i principali vi sono (Fugazza, 2011):

- curva granulometrica caratteristica del terreno;
- geometria della sezione ristretta;
- caratteristiche idrauliche della corrente in corrispondenza della portata di progetto;
- pendenza media dell'alveo;
- caratteristiche dell'ostruzione.

Correlando tra loro queste variabili e misurando lo scavo dato dalla corrente attorno alle opere di sostegno è possibile studiare l'erosione localizzata attorno a quest'ultime, anche se, per la complessità di valutazione delle variabili, la soluzione di questo problema si riporta a metodi per lo più sperimentali. A differenza del rialzo idraulico che si basa sulla valutazione di portate associate a tempi di ritorno nell'ordine dei cento anni, per la valutazione di questo fenomeno ci si basa su interi cicli idrologici, in modo da avere una panoramica completa sul ciclo di deposito-erosione del materiale, a seguito di periodi secchi-piovosi.

Questo risulta entrare tra le problematiche legate ai ponti perché la presenza di ostacoli in alveo, per la corrente, causa una variazione dell'assetto idrometrico e di conseguenza anche dei processi di trasporto dei sedimenti. Se risultasse che, per via del nuovo assetto idrometrico, lo scavo da parte della corrente superasse il deposito,

allora si è in caso di erosione che sarà concentrata ai piedi delle pile, cioè nell'area con maggior turbolenza, causando instabilità per la struttura portante.

La dinamica di questi fenomeni erosivi in prossimità dei manufatti portanti viene studiata in termini di trasporto solido perché l'alternanza tra periodi di scavo e di deposito dipende proprio da quest'ultimo e dalle rapide variazioni di velocità attorno a questi, specialmente se la corrente trasporta materiale incoerente.

L'aumento di velocità osservabile in prossimità della pila, che rappresenta un ostacolo per la corrente e quindi causa un restringimento, è dato da un addensamento delle linee di corrente. Queste linee di corrente, oltre ad addensarsi, formeranno un vortice a ferro di cavallo (chiamato così per via della sua forma, (Figura 2.3.1) che coinvolgerà tutto l'intorno dell'ostacolo provocando la turbolenza responsabile dell'erosione di fondo.

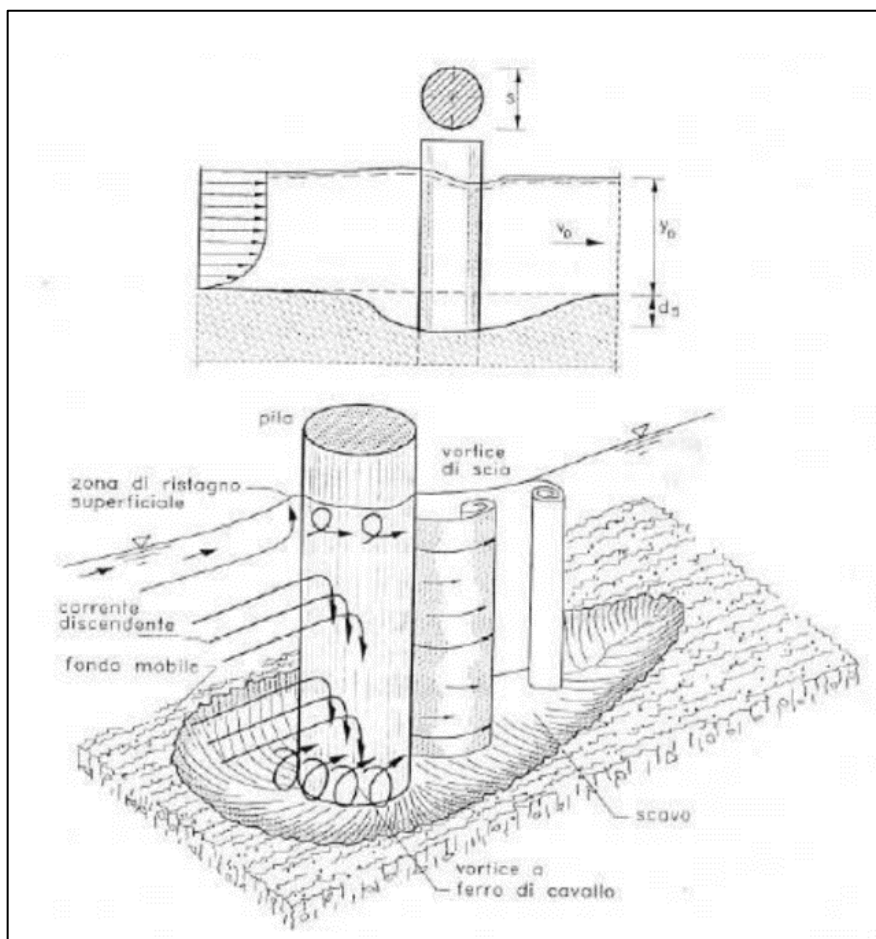


Figura 2.3.1 - Scavo alla base di una pila prodotto dalla formazione di vortici (Fonte: Fugazza, 2011).

Di seguito si riporta una breve spiegazione di come si sviluppa la dinamica erosiva attorno a una pila e ad una spalla di un ponte.

### 2.3.1. Dinamica del fenomeno

Partendo da una condizione iniziale, in cui si ha: uno strato incoerente distribuito uniformemente sul fondo, con una curva granulometrica nota, e una certa portata costante nel tempo  $Q$ , per via della corrente governata dalla portata  $Q$ , attorno alle pile, si verificheranno dei piccoli scavi dovuti alla formazione di vortici tutt'attorno (a ferro di cavallo).

Queste erosioni si verificano quando la velocità del vortice, che effettua lo scavo, è superiore alla velocità di deposito di materiale all'interno dello scavo stesso. Quindi, il deposito non riuscirà a compensare l'asporto di materiale effettuato dalla corrente e lo scavo procederà in profondità alla base della pila in maniera crescente, fino a raggiungere un valore di equilibrio (Figura 2.3.1.1), ma allo stesso tempo decresce altrettanto costantemente il volume da asportare.

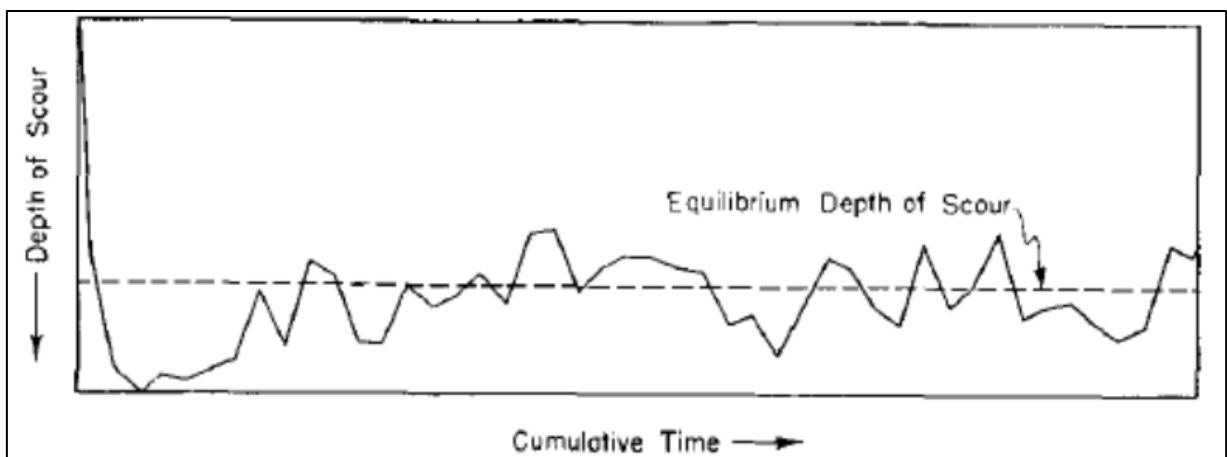


Figura 2.3.1.1- Tipica relazione tra profondità di scavo e tempo (Fonte: Fugazza, 2011).

Il tasso di erosione, allora, viene quantificato come la rapidità con cui si forma l'approfondimento dello scavo, che col tempo decrescerà, partendo da un valore iniziale elevato, per via dell'aumento del volume nel tempo. La condizione di equilibrio detta, viene raggiunta quando ci instaura un bilanciamento tra materiale scavato e depositato e per raggiungerla si possono osservare periodi di variazioni dei vortici piuttosto lunghe, per questo motivo è importante studiare il fenomeno in un ciclo idrologico completo e in base a tempi di ritorno.

Questa dinamica porterà ad una certa configurazione di scavo attorno al piede della pila, dipendente da:

- caratteristiche geometriche dell'ostacolo (forma, dimensione e/o altri fattori);
- posizione rispetto la corrente (angolo di attacco).

Inoltre, la pendenza delle pareti dello scavo si può stimare circa uguale all'angolo di riposo del materiale di costituzione del letto dell'alveo e porterà ad una zona di massima profondità di scavo in prossimità della faccia di monte della pila.

Secondo una ricerca (Fugazza, 2011), al variare dell'angolo  $\alpha$ , descrivente l'angolo di attacco della corrente con la posizione del setto, è possibile ottenere varie configurazioni di scavo in prossimità di una fondazione in alveo di due pile (ad esempio di forma circolare) separate da un setto (Figura 2.3.1.2). Secondo questo studio, gli scavi che si formano separatamente al piede delle rispettive pile tendono ad avvicinarsi al crescere dell'angolo  $\alpha$  e l'aumento di quest'ultimo, determina una variazione della collocazione dello scavo massimo. È stato inoltre osservato che una direzione della corrente parallela alla direzione delle pile, non comporterà un effetto significativo del setto.

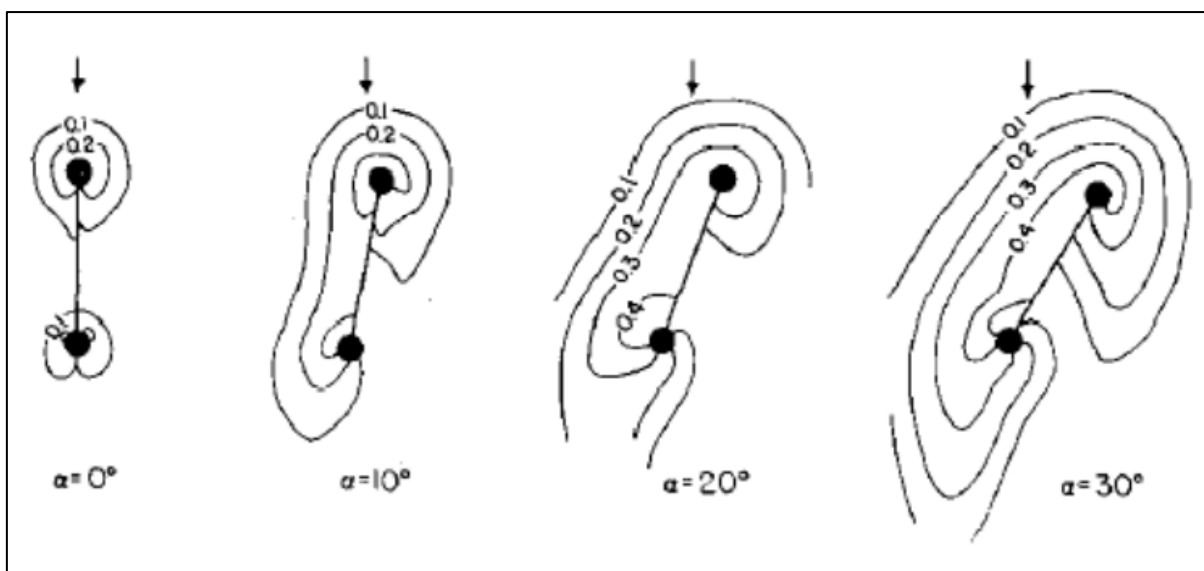


Figura 2.3.1.2 - Conformazione e profondità dello scavo prodotto da pile di diversa forma con setto al variare dell'angolo di attacco della corrente (Fonte: Fugazza, 2011).

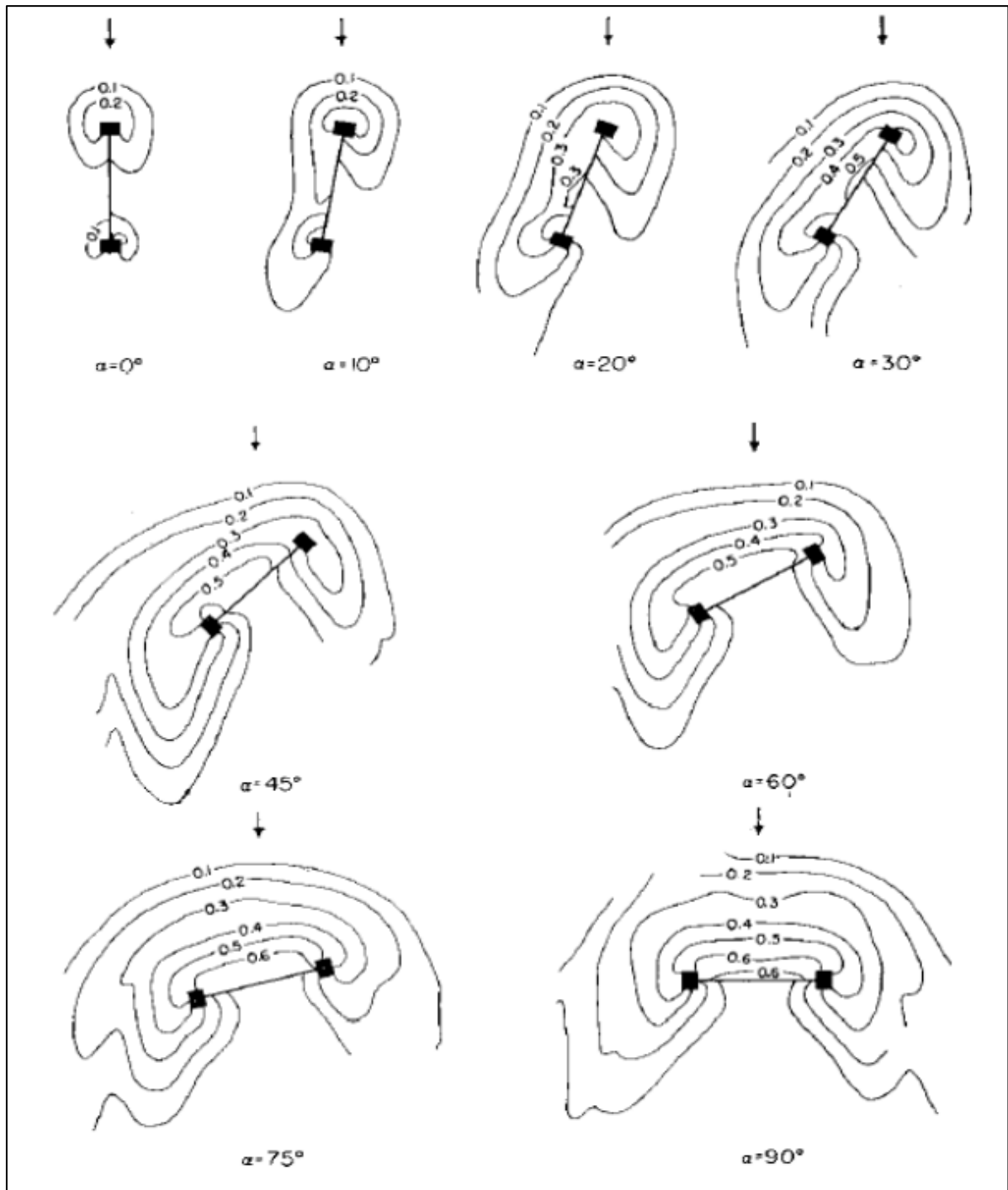


Figura 2.3.1.3 - Conformazione e profondità dello scavo prodotto da pile di diversa forma con setto al variare dell'angolo di attacco della corrente (Fonte: Fugazza, 2011).

Quando si andrà a studiare questo fenomeno attorno alle spalle del ponte, si osserverà lo stesso comportamento ma non circonda tutta la spalla come per le pile, esso riguarderà solo il lato rivolto verso la corrente (Figura 2.3.1.4).



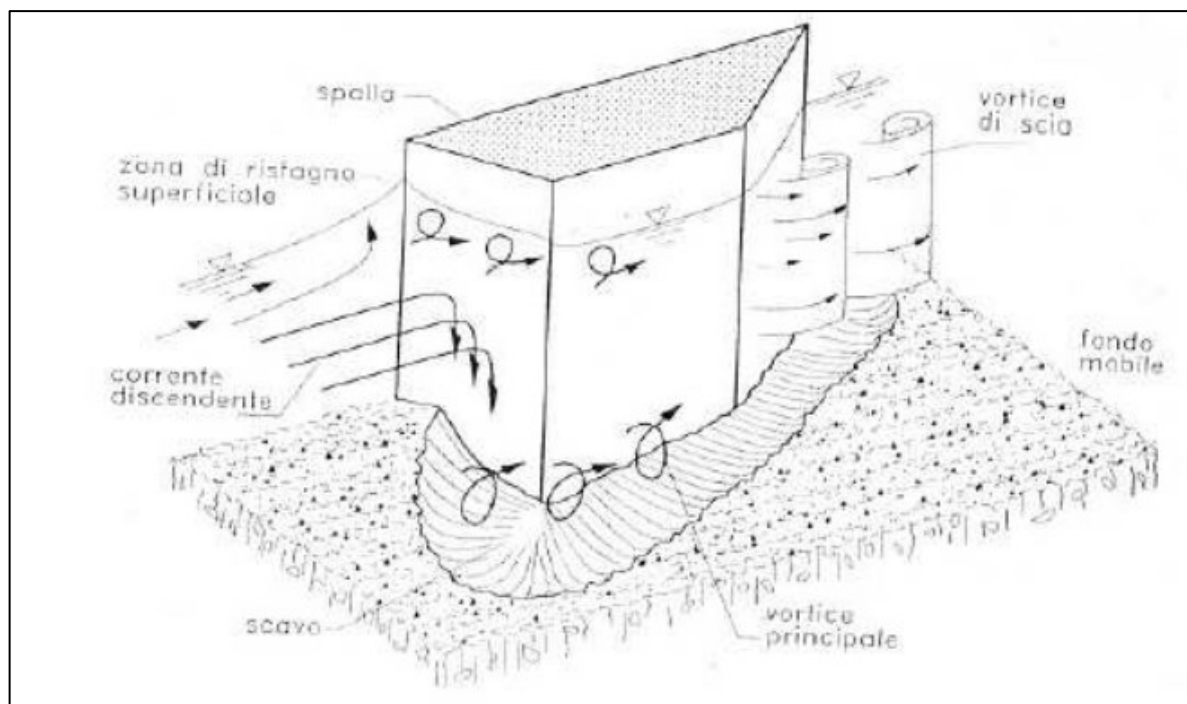


Figura 2.3.1.4 – Scavo prodotto al piede di una spalla del ponte (Fonte: Fugazza,2011).

Sempre partendo da una velocità costante della corrente, le ricerche in questo caso hanno osservato, al variare della forma delle spalle e del rapporto di contrazione, che:

- la profondità dello scavo risulta crescente con l'aumento del grado di contrazione, per ogni forma si consideri;
- quando le spalle sono realizzate a spigolo vivo, lo scavo osservato risulta maggiore di circa il 15% rispetto a quello di spalle con spigoli arrotondati (rispettivamente in Figura 2.3.1.5 - 6).

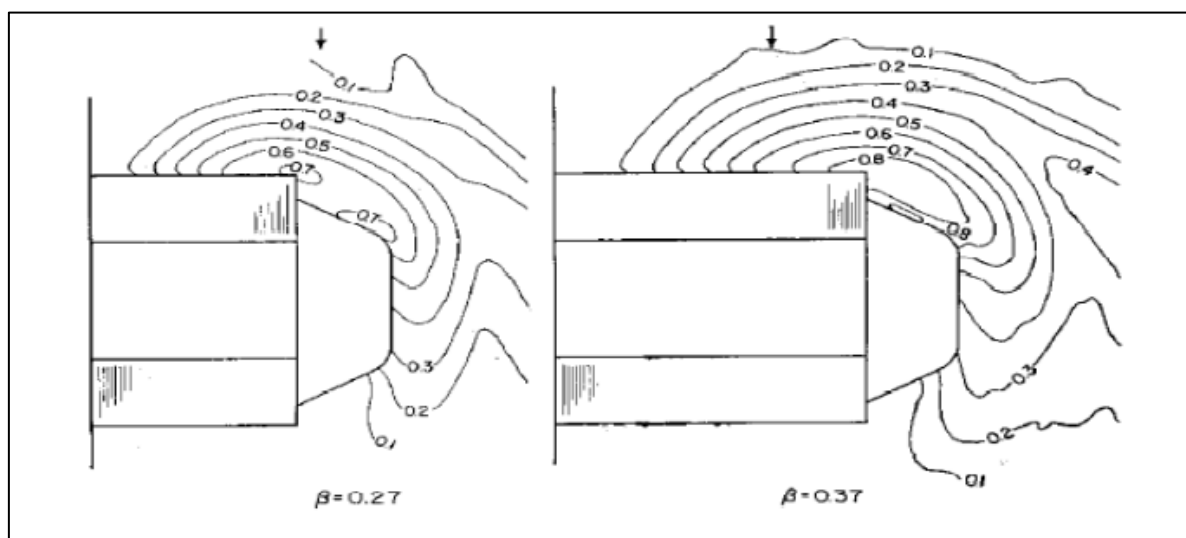


Figura 2.3.1.5 - Schema di contrazione della sezione di deflusso prodotta dalle spalle di un ponte (Corso di sistemazioni fluviali, Prof. Mario Fugazza). (Fonte: Fugazza,2011).

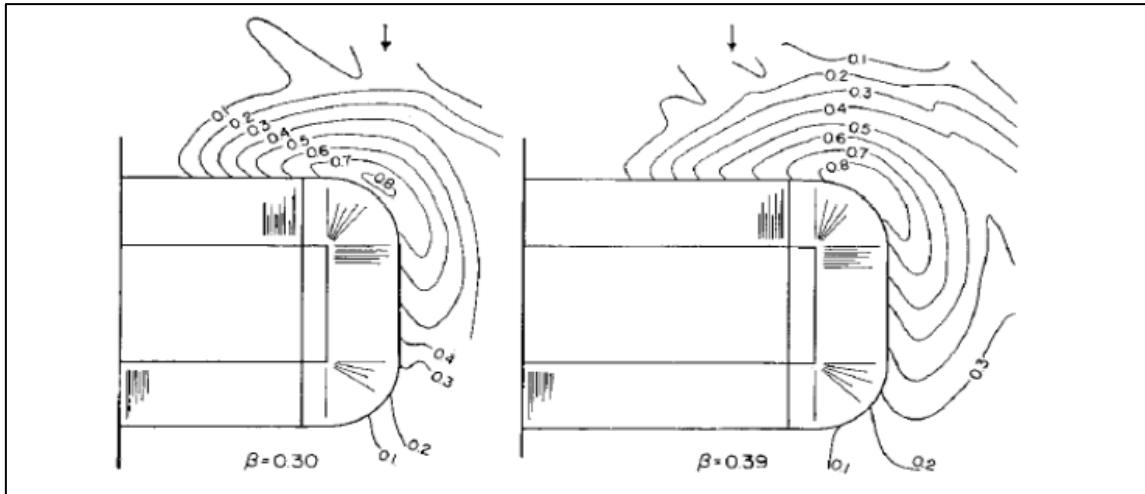


Figura 2.3.1.6 - Schema di contrazione della sezione di deflusso prodotta dalle spalle di un ponte (Fonte: Fugazza, 2011).

La ricerca, inoltre, riporta che: nel caso in cui si sovrappongono gli effetti erosivi di pile e spalle esiste una grande variabilità di risultati sperimentali. Dai test è possibile osservare come la presenza di pile associate a quella delle spalle non determini una variazione marcata dello scavo attorno a queste ultime. Al contrario la presenza delle spalle provoca effetti erosivi ai piedi delle pile in alveo (Figura 2.3.1.7). In particolare, la configurazione dello scavo attorno alle pile in questo caso è simile a quella osservata per un angolo d'attacco  $\alpha$  della corrente pari a  $45^\circ$ . I risultati di queste osservazioni sperimentali possono essere spiegati con la deviazione indotta dalle spalle di un ponte ai filetti idrici della corrente nella fase di contrazione.

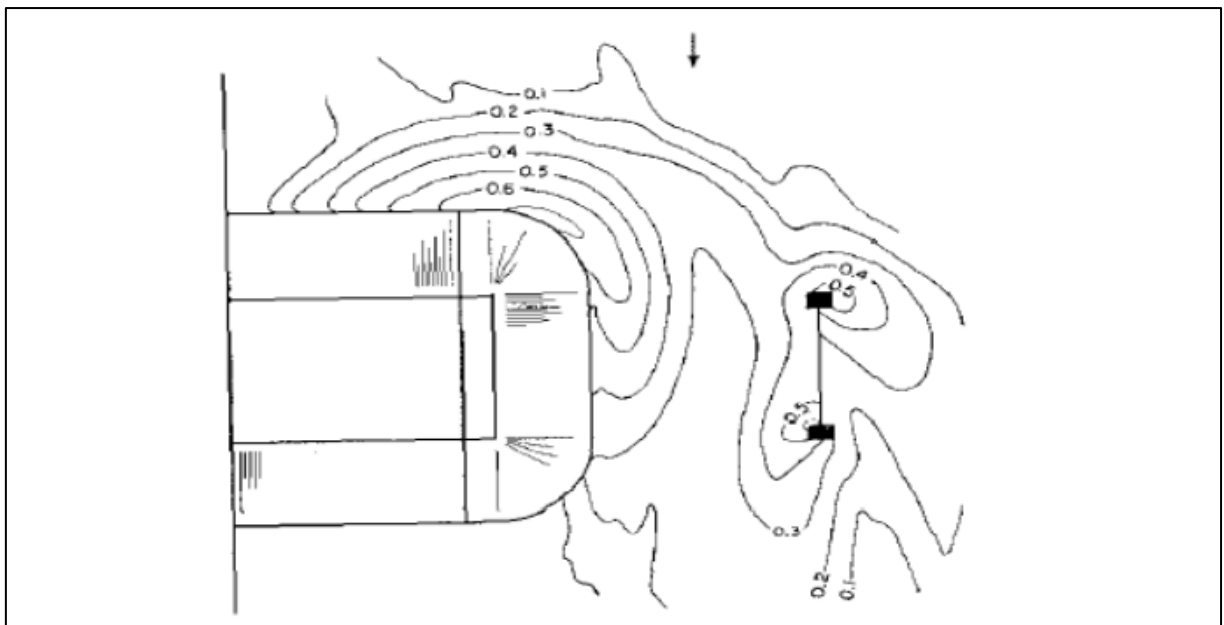


Figura 2.3.1.7 - Conformazione e profondità dello scavo prodotto attorno a pile e spalle (Fonte: Fugazza, 2011).

### **2.3.2. Accorgimenti e provvedimenti per combattere l'erosione**

Per poter contenere lo scavo dato dai fenomeni erosivi attorno ai manufatti di sostegno posti in alveo e quindi il loro scalzamento, è consigliabile seguire alcuni accorgimenti da adottare già dalla fase progettuale. I principali accorgimenti sono:

- Porre il bordo superiore del plinto di fondazione sotto lo scavo.

Si procede, quindi, stimando l'entità dello scavo e usando margini di sicurezza e si andrà a porre il bordo superiore del plinto sotto questo livello calcolato, in modo che lo scavo non raggiunga il bordo superiore del plinto per poi proseguire oltre di questo. Affinché il calcolo dia un risultato a favore della sicurezza, si utilizza la misura trasversale della fondazione e non quella della pila.

- Verificare che le fondazioni siano in grado di sopportare il carico nella condizione di massimo scavo.

La condizione di massimo scavo sarà quella più sfavorevole per la sicurezza strutturale dell'intera struttura; quindi, è prudente porsi in tali condizioni quando si procederà al calcolo delle fondazioni che dovranno garantire il sostenimento della struttura in ogni tipo di condizione. Se, per esempio, la fondazione sarà costituita da pali sarà necessario considerare la quota di massimo scavo posta sotto la testa di questi, così da conteggiarli come totalmente scoperti e non contribuenti alla stabilità della struttura.

Per quanto riguarda i provvedimenti che si possono mettere in atto per ponti già esistenti, si dovrà prestare particolare attenzione ai ponti più vecchi i quali posseggono fondazioni non abbastanza profonde per via della mancata tecnologia odierna di realizzazione.

Per evitare scalzamenti, nel caso si fossero individuati scavi compromettenti la sicurezza, il provvedimento principale sarà quello di realizzare una sottofondazione che si estenda fino ad una profondità di sicurezza per la struttura sovrastante o, in alternativa, quando si incorre ad uno scalzamento derivato dall'abbassamento eccessivo dell'alveo, si realizza subito a valle del ponte una soglia che riporti, a monte, la quota del fondo alle condizioni di pre-abbassamento. Anche se la seconda soluzione risulta più semplice da realizzare, la prima dà risultati migliori nel tempo e a favore della sicurezza.

Altri sistemi di limitazione sono realizzabile attraverso la sistemazione di grandi massi sopra un geotessuto, la cui dimensione garantisca che la corrente non ne causerà la rimozione o lo spostamento, per una larghezza circa due volte la dimensione planimetrica della pila, attorno ad essa.

Un altro aspetto importante dell'erosione è legato all'abrasione data dal materiale solido trasportato dalla corrente che andrà a impattare con una certa velocità sui manufatti si sostegno. Per scoraggiare questo fenomeno è importante prestare attenzione alla protezione di questi ultimi attraverso delle incamiciature, ovvero realizzando dei rivestimenti delle parti poste in alveo con del materiale inossidabile o, se l'opera è in fase di progetto, prevedere la realizzazione di queste parti con un conglomerato cementizio additivato con fibre che potenzino la resistenza all'abrasione.



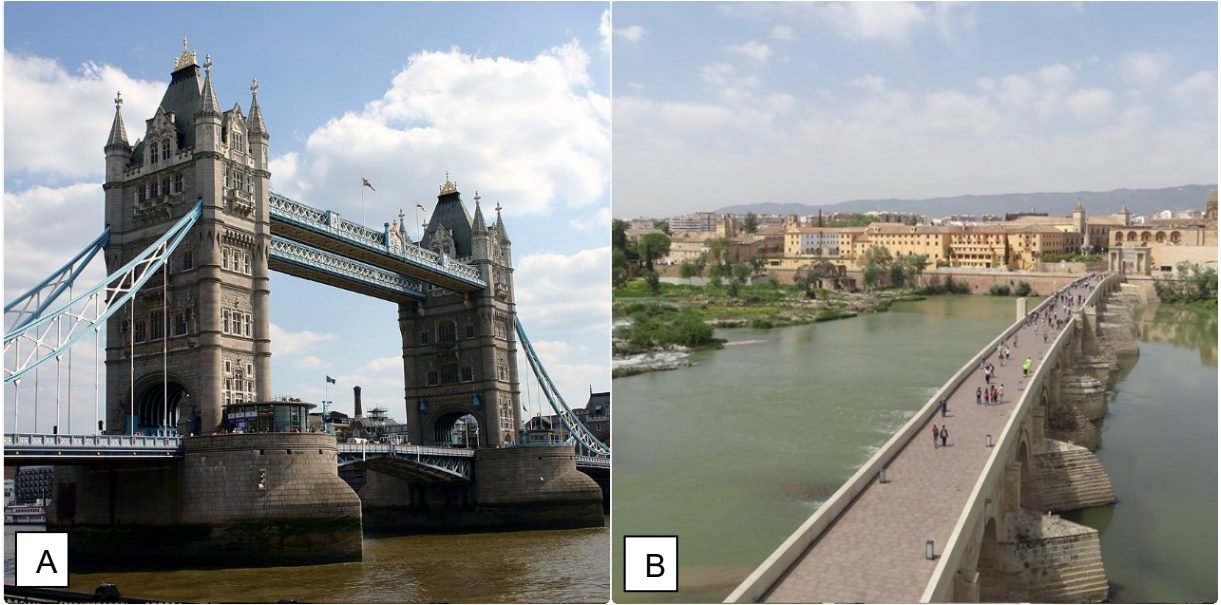


Figura 3.1.2.A – Frangicorrente posti sotto il piano stradale nel Tower Bridge, Londra.  
(Riportata in: <https://it.wikipedia.org/wiki/Tagliacque#/media/File:LondonTowerBridge2004-08-03.jpg>)

Figura 3.1.2.B – Esempio di ponte romano, a Cordova, avente i frangicorrente.  
(Riportata in: <https://www.paesionline.it/spagna/monumenti-ed-edifici-storici-cordova/ponte-romano>)

Questi elementi strutturali vennero posti per poter migliorare le caratteristiche idrauliche del ponte e la loro funzione difensiva consiste nel “tagliare la corrente” con la loro forma appuntita, deviando il flusso d’acqua attorno alla pila o alla spalla del ponte.

Avendo una deviazione di corrente, l’energia d’impatto della corrente risulterà minore sulla pila e sulla spalla del ponte a cui è applicato il frangicorrente e di conseguenza saranno ridotti: gli effetti erosivi localizzati attorno agli elementi portanti e i danni dati dall’impatto che i vari detriti trasportati dal fiume nei periodi di piena hanno con piloni e spalle.

Un altro ruolo svolto da questi elementi è quello strutturale. Allargandosi progressivamente verso la fondazione, forniscono una redistribuzione del carico concentrato dato dal pilone, per questa ragione alcuni di questi sono simmetrici.

La simmetria migliora anche le condizioni idrodinamiche; per esempio, se si ha una condizione di piena, il disturbo dato dai piloni sarà massimo e si potrà notare un distacco delle linee di flusso, a valle dell’ostacolo, dal pilone che creeranno delle vorticosità. Se col frangicorrente si crea una condizione di simmetria, le linee di flusso si ricondurranno a una condizione indisturbata più dolcemente, evitando fenomeni

erosivi e perdite eccessive di energia localizzate. Quindi, dove fossero previste onde di piena frequenti sarà necessario prevedere la simmetria.

La simmetria potrebbe essere dovuta anche a motivo della marea. Un esempio è dato dal ponte Old Wye Bridge (riportato in Figura 3.1.3), nel Regno Unito.

Questo ponte attraversa il fiume Wye che sfocia nell'estuario del fiume Severn, il terzo al mondo per l'ampiezza delle sue maree. L'ampiezza di marea, cioè la differenza tra alta e bassa marea, supera la decina di metri (semidiurna); per cui nella parte terminale dei corsi d'acqua, che sfociano in questo estuario, il flusso sarà: verso valle quando la marea scende e verso monte quando la marea sale. Essendo in una posizione che vede l'alternanza della direzione del flusso d'acqua ogni sei ore, il ponte, dovrà essere provvisto di pile che eseguano la stessa azione difensiva in entrambe le direzioni, per questa ragione i frangicorrente dovranno essere simmetrici.



*Figura 3.1.3: Ponte l'Old Wye Bridge (Chepstow), soggetto a maree che richiedono una simmetria per via del flusso influenzato dalla marea.  
(Riportata in: [https://en.wikipedia.org/wiki/Old\\_Wye\\_Bridge,\\_Chepstow#/media/File:Bridge\\_over\\_Wye\\_-\\_geograph.org.uk\\_-\\_682946.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Old_Wye_Bridge,_Chepstow#/media/File:Bridge_over_Wye_-_geograph.org.uk_-_682946.jpg))*

Nelle zone dove il clima è più freddo, il tagliacque, assume una forma inclinata a circa 45° prendendo il nome di rompighiaccio.

Viene realizzato in questo modo, cosicché la corrente che spinge contro il ghiaccio tende a sollevarne il bordo a valle trasformando la forza orizzontale della corrente in forza verticale contro una sezione trasversale più sottile del ghiaccio, finché il peso non sostenuto del pezzo di ghiaccio lo frattura permettendogli di passare ai due lati del pilone. (Esempio di pila con rompighiaccio in Figura 3.1.4)





*Figura 3.1.4: ponte in Tczew (Polonia), avente l'elemento rompighiaccio a ridosso della pila.  
(Riportata in: [https://en.wikipedia.org/wiki/Starling\\_\(structure\)#/media/File:Tczew\\_most\\_wieczyczki\\_2.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Starling_(structure)#/media/File:Tczew_most_wieczyczki_2.jpg))*

Il tagliacque ha un bordo affilato a monte, talora chiamato naso. Il bordo del tagliacque può essere in cemento o in muratura, ma è spesso sormontato da un angolo di acciaio per resistere all'abrasione e concentrare la forza in un singolo punto e per frantumare i pezzi galleggianti di ghiaccio che colpiscono il pilone.



## 3.2. QUADRO STORICO

Il problema dell'erosione localizzata alla base delle strutture portanti dei ponti fu considerato, già all'epoca romana, dove i progettisti studiarono diversi accorgimenti per la realizzazione ottimale dei ponti.

### 3.2.1 Accorgimenti per far fronte al problema dell'erosione

Solazzo (2016) spiega che, nei ponti in muratura, spesso, la struttura di fondazione veniva fortemente ingrossata nella direzione della corrente del corso d'acqua e, nel caso in cui l'ingrossamento fosse molto ampio, venivano realizzate delle camere interne riempite con terreno o materiale sciolto, per contenere l'impiego di materiale ma senza alleggerire la struttura di fondazione. (Figura 3.2.1.1).

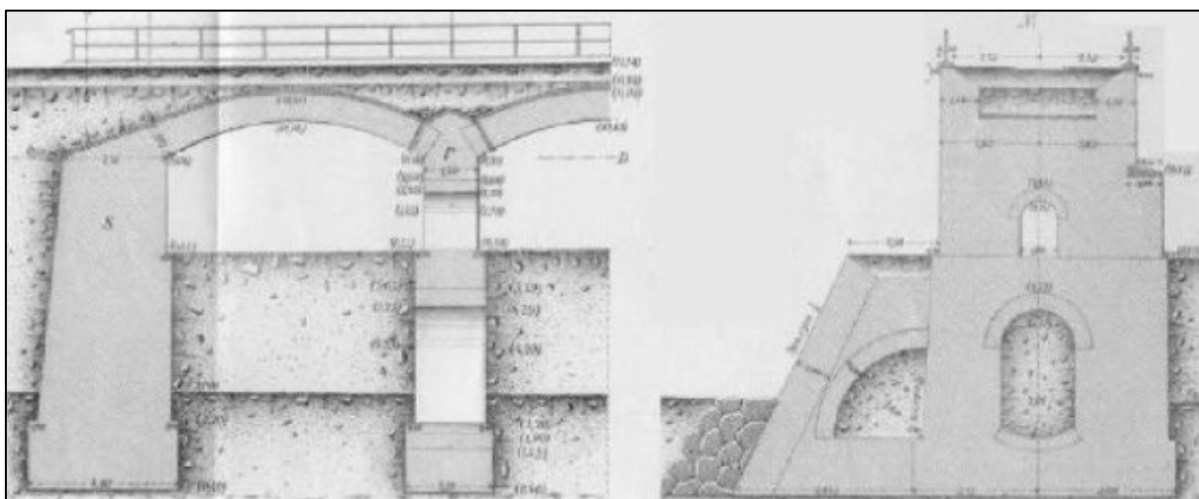


Figura 3.2.1.1: Sezione longitudinale e trasversale di fondazione diretta. (Fonte: Solazzo, 2016)

Un altro metodo per andar contro l'erosione data dalla corrente, fu quello di realizzare cortine di pali e palancole, spesso solidali con la struttura del fondale. (Figura 3.2.1.2) Questo metodo, però, non offre risultati ottimali per via della scarsa infissione nell'alveo di queste cortine. Inoltre, pali e palancole hanno una scarsa rigidezza flessionale, perciò la spinta dei blocchi di fondazione e del terreno sottostante la pila, cioè quello racchiuso entro i pali, generano uno spanciamento dell'opera di presidio con conseguente innesco di un processo di erosione, simile a quello che si noterebbe ora, mettendo alla base delle pile pali troppo radi.

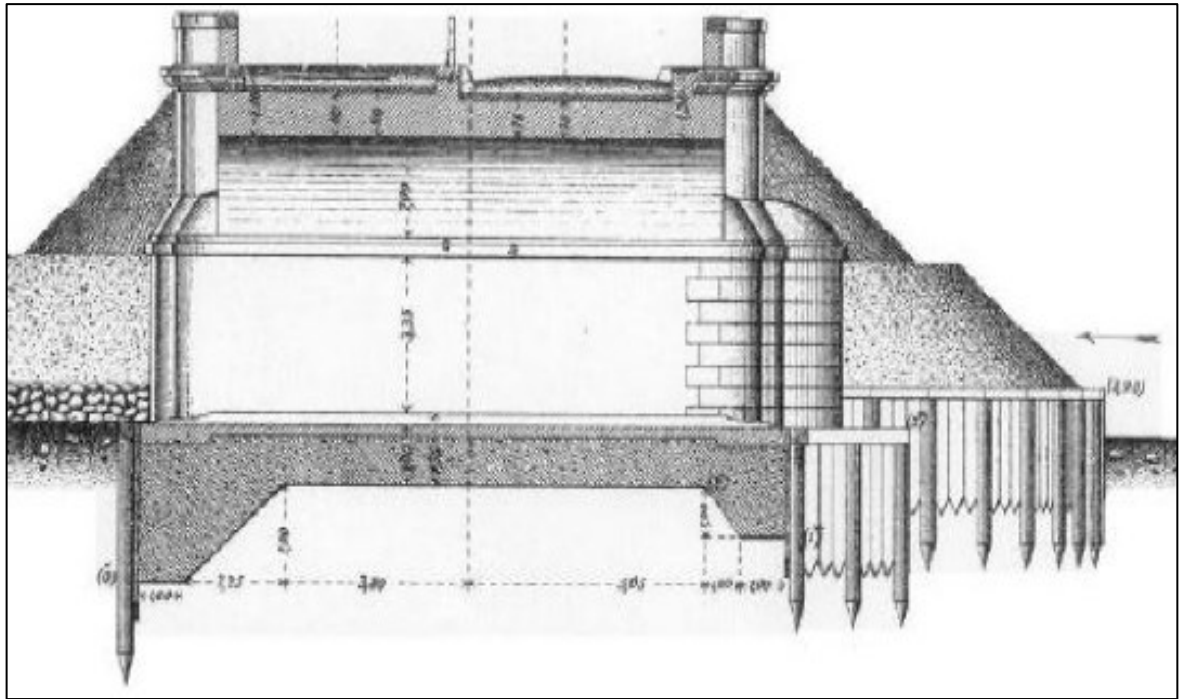


Figura 3.2.1.2: sezione trasversale di una fondazione. (Fonte: Solazzo, 2016)

Per i ponti posti su un alveo fluviale, la necessità di deviare il flusso di piena, invece, condusse alla realizzazione dei frangicorrente a monte e a valle delle spalle, con un allargamento in pianta delle spalle fino a larghezze decisamente maggiori di quella dell'arcata; per questo motivo la spalla può risultare più larga della sede stradale, di una misura pari alla larghezza dei due mezzi rostri. (Figure 3.2.1.3 - .4).

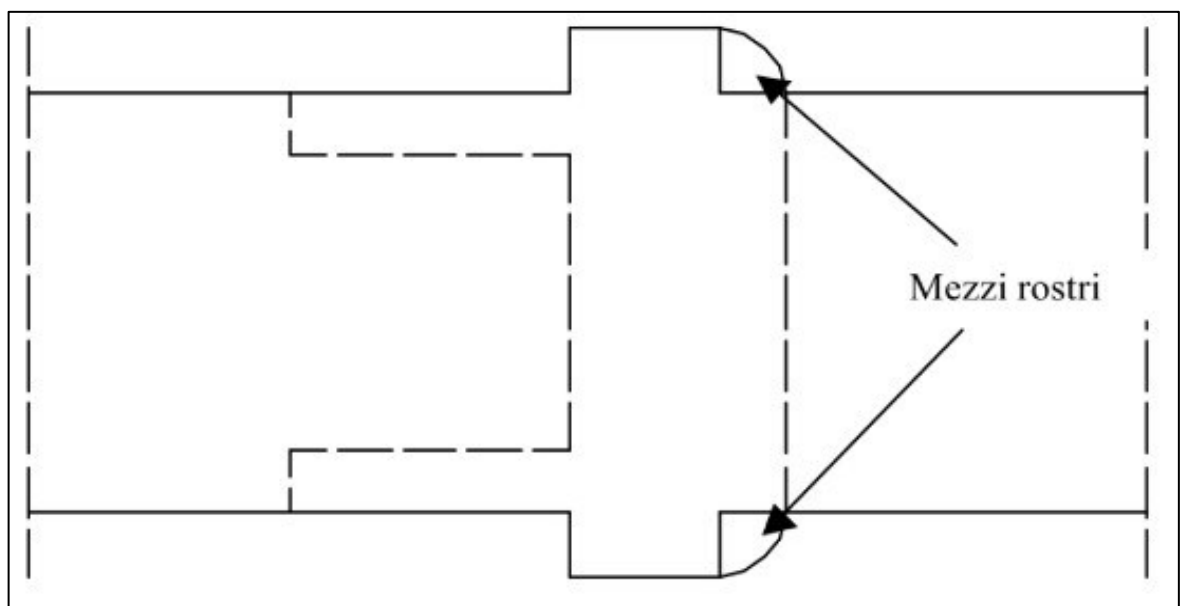
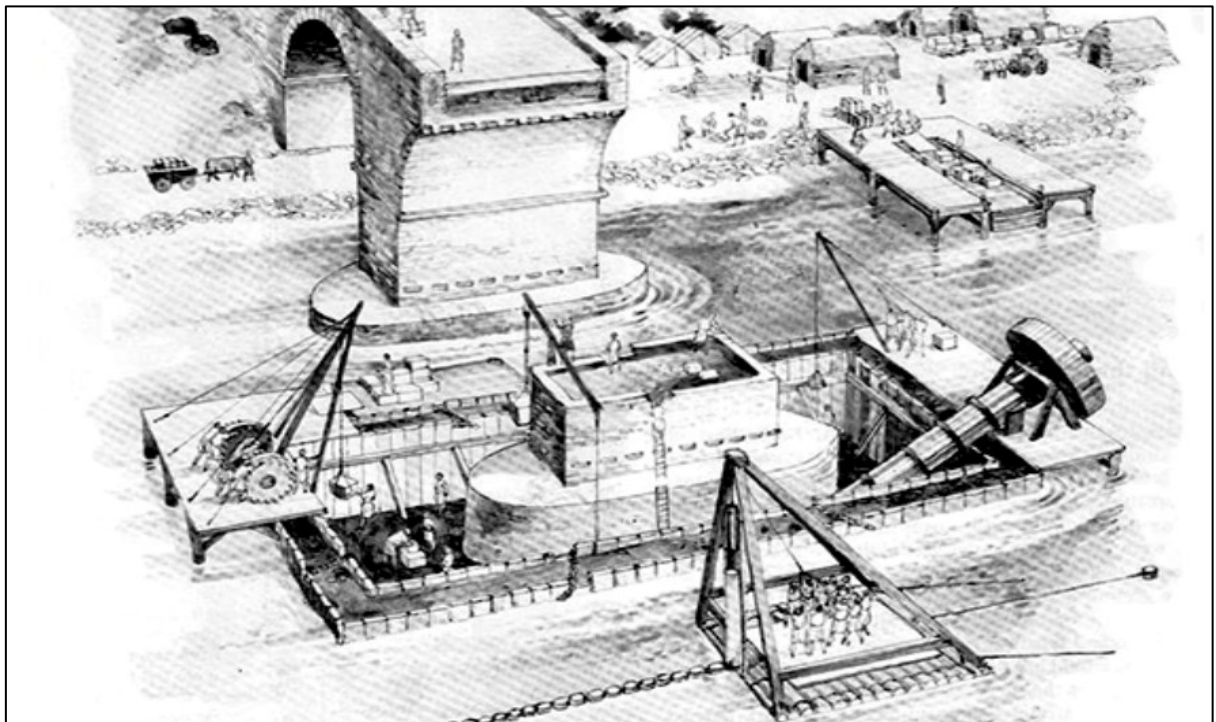


Figura 3.2.1.3: Larghezza della spalla con mezzi rostri. (Fonte: Solazzo, 2016)



*Figura 3.2.1.4: Spalla con mezzi rostri, Ponte Maletta – linea Trofarello-Cunco. (Fonte: Solazzo, 2016)*

Per le stesse ragioni, i rostri vennero posti anche a protezione delle pile poste in alveo di un corso d'acqua. Le pile, generalmente, si trovano disposte nel senso della corrente e i rostri in questione venivano posti a monte e a valle per: modificare gradatamente la sezione dell'alveo; deviare il materiale trasportato dal fiume e, riducendo la turbolenza della corrente, diminuire il rischio di erosione del fondo.



*Figura 3.2.1.5: Costruzione di un ponte romano con fondazioni in cassaforma. (Fonte: Galiazzo, 2004)*

### 3.2.2 Caratteristiche geometriche dei rostri

A seconda della forma della pianta delle pile, i rostri possono essere (Galiazzo, 2004):

- a pianta triangolare,
- semicircolare,
- arrotondata,
- rettangolare,
- trapezoidale,
- ogivale,
- con terminazione superiore piana,
- con copertura a 'cappuccio'.

Si possono osservare alcuni esempi in Figura 3.2.2.1, dove sono rappresentate pianta e prospettive di cinque tipi di pile:

1. Pila a pilastro con pianta rettangolare senza rostri (esempio: Ponte-Viadotto di Augusto a Narni);
2. Pila con solo avambecco a pianta triangolare (esempio: Pont Ambroix in Francia);
3. Pila con avambecco a pianta triangolare e retrobecco arrotondato (esempio: Ponte già di Augusto e ora di Tiberio a Rimini);
4. Pila con avambecco e retrobecco a pianta triangolare (esempio: Ponte San Lorenzo a Padova);
5. Pila con avambecco arrotondato soltanto a monte e senza retrobecco (esempio: Ponte sul fiume Guadiana a Mérida).

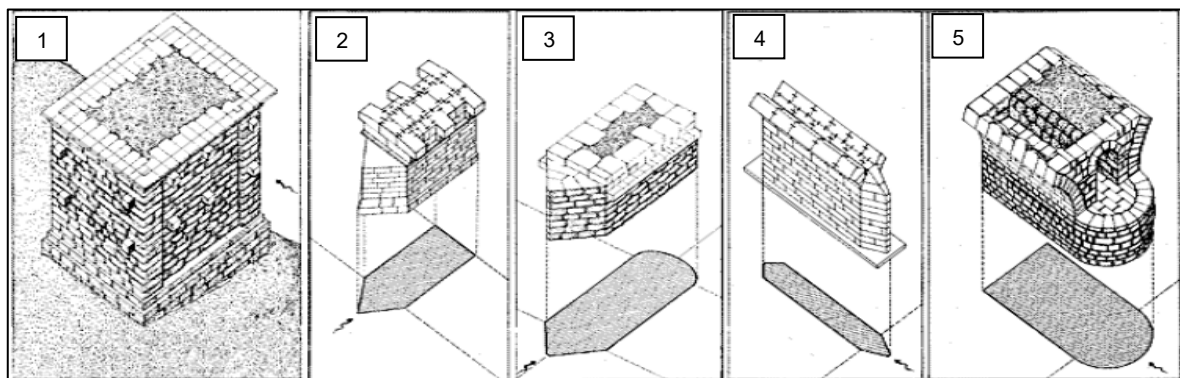


Figura 3.2.2.1: Pianta e rappresentazione prospettica dall'alto di cinque tipi di pile. (Fonte: Galiazzo, 2004)

Le sezioni orizzontali più comuni sono: semicircolari, con diametro pari alla larghezza della pila; a triangolo isoscele, con base coincidente con la larghezza della pila; oppure formata da due archi di cerchio di ampiezza 60°. (Figura 3.2.2.2)

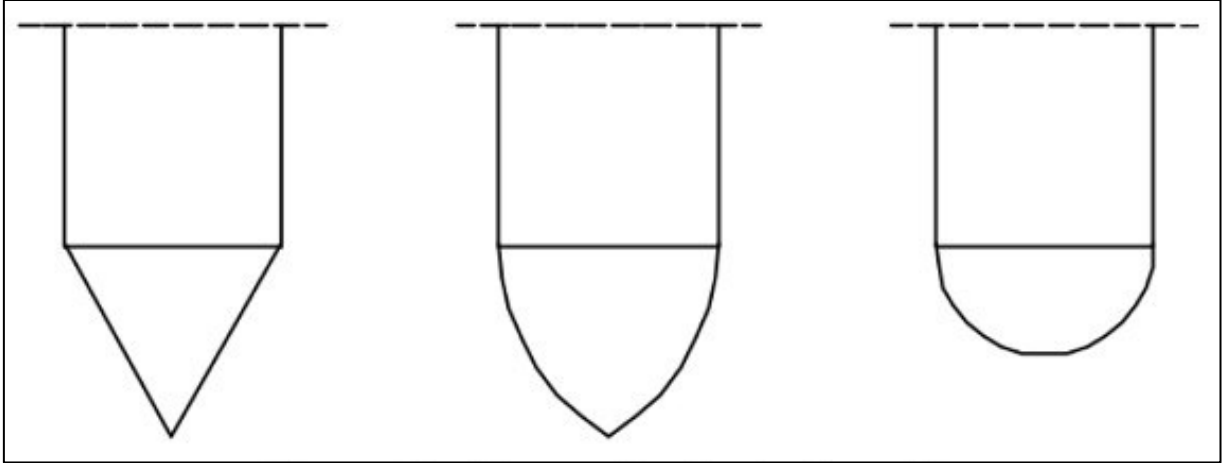


Figura 3.2.2.2: Tipologie di rostri più diffuse. (Fonte: Solazzo, 2016)

Per quanto riguarda l'estensione di questi elementi: solitamente si estendono fino all'altezza di massima piena, quindi fino alla quota d'imposta della volta, e vengono rifiniti con dei cappucci in pietra; ma in alcuni casi arrivano fino al piano dell'impalcato, dove vengono usati per ricavare piazzole per il rifugio del personale addetto alla manutenzione della linea ferroviaria. (Figure 3.2.2.3-4).

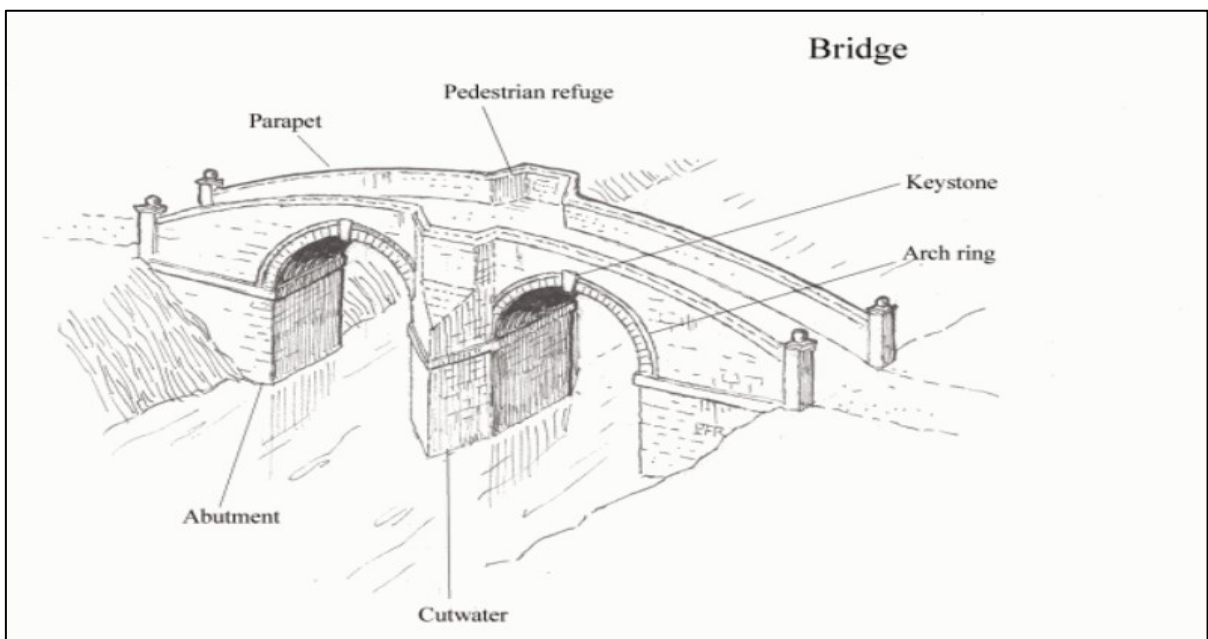


Figura 3.2.2.3: Schema di un ponte avente frangicorrente.  
(Riportato in: <http://www.keystothepast.info/article/9972/Glossary?AZ=C>)





*Figura 3.2.2.4: Ponte sul Canale Piovego.  
(Riportato in: <http://rete.comuni-italiani.it/foto/2012/68055/view>)*

Un accorgimento simile viene adottato anche in corrispondenza della spalla, che presenta due mezzi rostri, come già discusso.

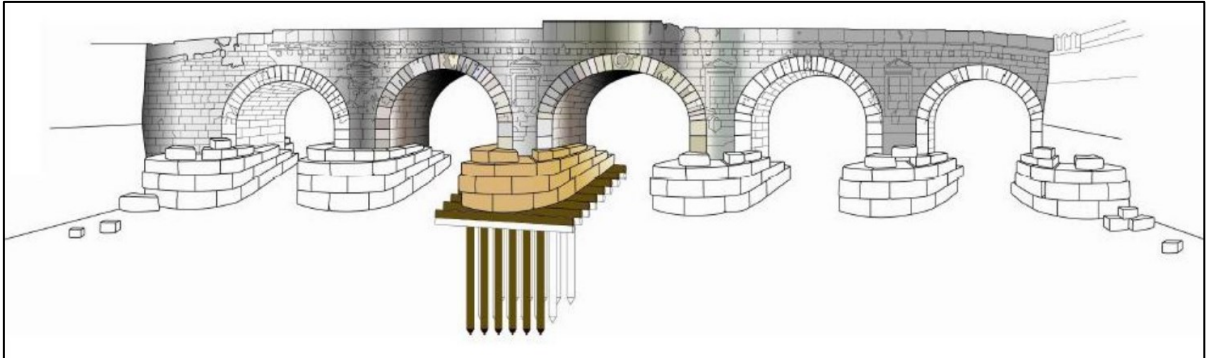
Talvolta al posto dei rostri si posero:

- pali guardiani;
- scogliere di protezione ai piedi dei pilastri;
- contrafforti che salgono a vari livelli a rinforzo e a difesa sia delle spalle, sia delle pile o delle pile-spalle.

### 3.2.3 Esempi

#### ■ *Il Ponte di Tiberio:*

Questo ponte poggia su 5 piloni che a sua volta poggiano su pali di legno di rovere alti tra i 3 e i 5 m e aventi un diametro di 35cm.



*Figura 3.2.3.1: Struttura delle fondazioni del Ponte Tiberio, con palafitte in rovere.  
(Riportato in: [https://www.marselli.com/wp-content/uploads/2020/03/5ponte\\_di\\_Tiberio\\_itinerario.pdf](https://www.marselli.com/wp-content/uploads/2020/03/5ponte_di_Tiberio_itinerario.pdf))*

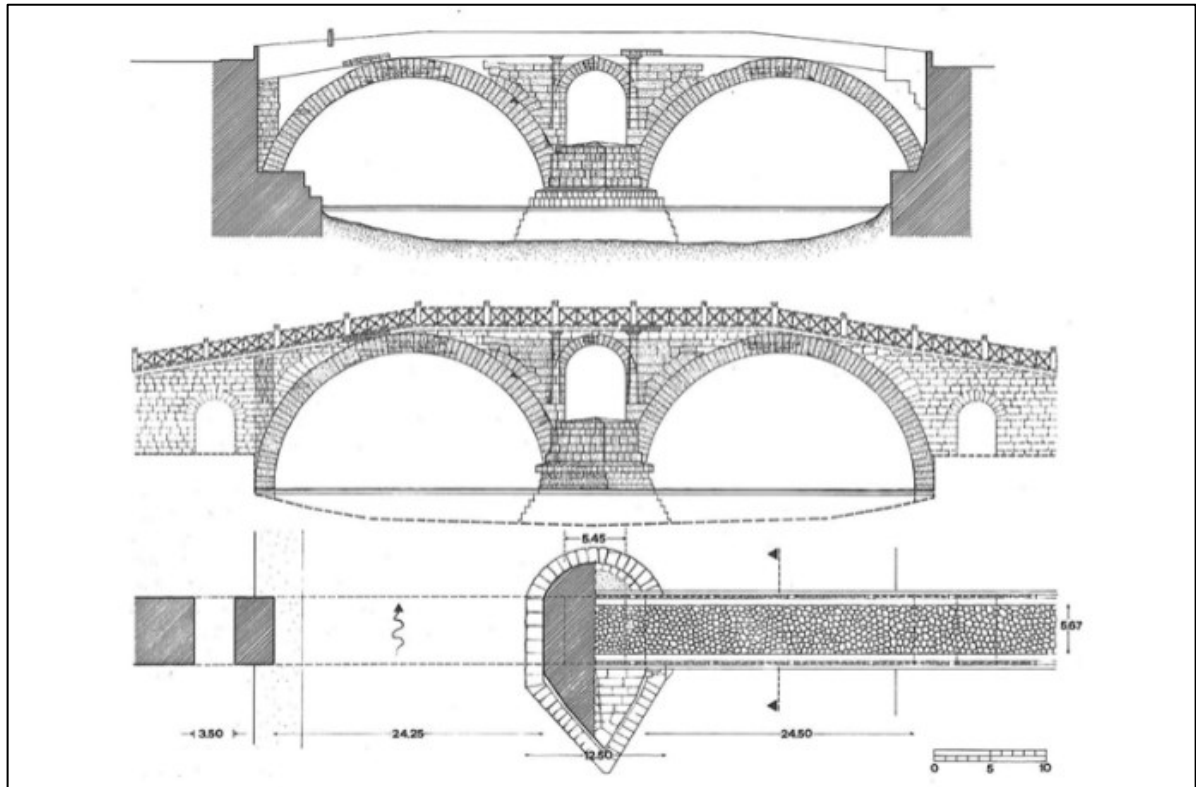
La parte interessante sono le basi su cui poggiano i piloni, che assomigliano ad uno scafo di nave essendo provvisti di frangicorrente, che hanno permesso alla struttura di mantenersi integra nel tempo. La “prua della nave” è posta verso monte, facendo da frangiflutto, mentre la parte a valle termina con la “poppa” tondeggiante per evitare la formazione di gorgi che avrebbero pregiudicato la stabilità del ponte. L’altro punto di osservazione riguarda la l’orientamento dei piloni, e quindi dei frangicorrente, in quanto è obliquo rispetto l’asse stradale, per assecondare in maniera efficiente l’andamento della corrente.



*Figura 3.2.3.2: Veduta del ponte di Tiberio dal borgo di San Giuliano.  
(Riportato in: [https://www.marselli.com/wp-content/uploads/2020/03/5ponte\\_di\\_Tiberio\\_itinerario.pdf](https://www.marselli.com/wp-content/uploads/2020/03/5ponte_di_Tiberio_itinerario.pdf))*

■ *Il Ponte Fabricio a Roma:*

La pila centrale è larga 12,50 m e lunga 20 m a cui è applicato un avambecco triangolare asimmetrico sul quale è sovrapposto un elemento triangolare (cappello) e una chiusura semi-piramidale che raggiunge la soglia del fornice centrale; a valle, invece, la pila è completata da un retrobecco arrotondato, semicircolare, realizzato anch'esso con elementi in pietra ma privo di chiusura superiore.



*Figura 3.2.3.3: Prospetto attuale a monte, in alto; ricostruzione del prospetto originario a monte, al centro e pianta attuale con integrazione degli elementi scomparsi (spalle e arcate laterali), in basso. (Fonte: Inglese, Paris 2020)*



*Figura 3.2.3.4: Ponte Fabricio a Roma. (Riportato in: <http://www.romacittaeterna.it/17.html>)*



### ■ *Il Ponte Vecchio:*

Il ponte sul Brenta, detto Ponte Vecchio, Ponte di Bassano o Ponte degli Alpini, si trova a Bassano del Grappa, nel vicentino. Eretto, secondo le documentazioni, nel 1209 a.C. è stato soggetto a diverse ricostruzioni e manutenzioni, mirate a mantenere la struttura fedele all'originale, in quanto unica per diversi aspetti strutturali.

Questo ponte è stato realizzato in legno su cinque campate, lunghe circa 13 metri su quattro piloni in legno.

I piloni sono formati da otto pali spessi circa mezzo metro, infissi nel terreno sul letto del fiume e da una serie di pali ad altezza decrescente che conferiscono un profilo obliquo ai piloni intermedi e quindi una forma idrodinamica rispetto alla corrente del fiume.

A differenza degli altri esempi visti, questo ponte è in legno e quindi dovrà far fronte a difficoltà maggiori rispetto i precedenti. L'azione della corrente impattante sui piloni avrà un'azione più aggressiva rispetto ai ponti in pietra e se non avessero una forma idrodinamica, molto probabilmente, sarebbe difficile mantenere intatta la loro funzione nel tempo. Quindi anche in questo caso è osservabile l'utilità di porre in alveo i piloni con degli accorgimenti, in modo da disturbare meno possibile la corrente.

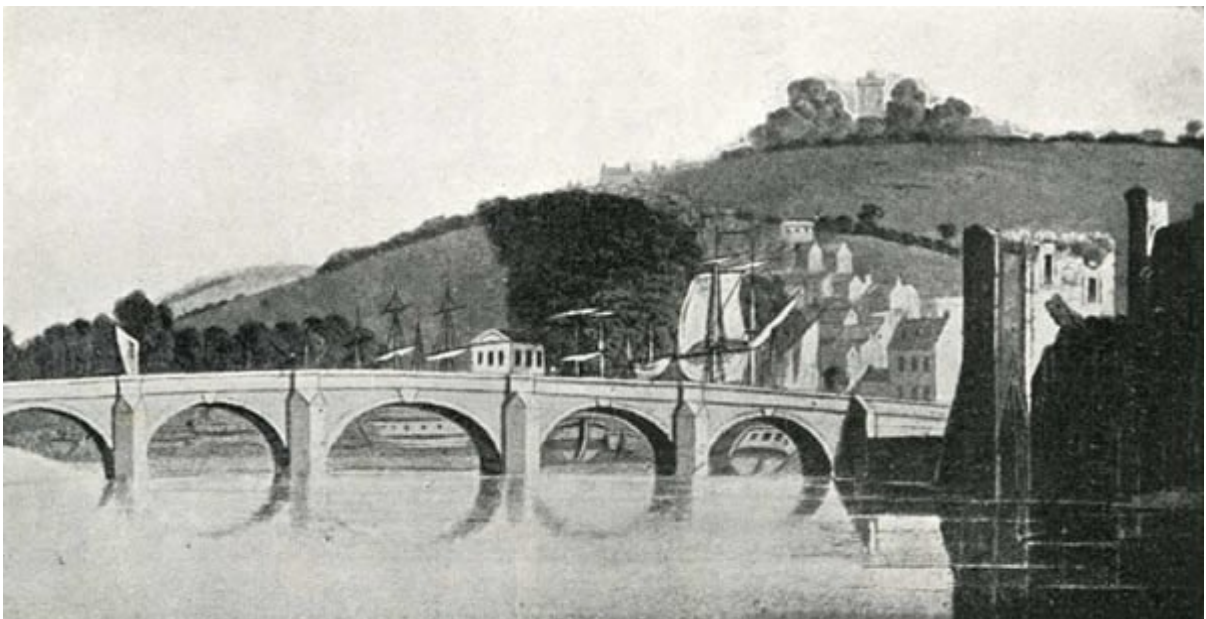


Figura 3.2.3.5: Veduta dei frangicorrente del ponte di Bassano del Grappa. (Riportato in: [https://it.wikipedia.org/wiki/Ponte\\_Vecchio\\_\(Bassano\\_del\\_Grappa\)#/media/File:Ponte\\_degli\\_Alpini\\_Bassano\\_del\\_Grappa\\_2007.jpg](https://it.wikipedia.org/wiki/Ponte_Vecchio_(Bassano_del_Grappa)#/media/File:Ponte_degli_Alpini_Bassano_del_Grappa_2007.jpg)).

■ *Newport Town Bridge:*

Il Ponte della città di Newport, chiamato comunemente Town Bridge, attraversa il fiume Usk nel punto più basso, dove si suppone che il fiume possa essere guadato con la bassa marea.

La prima costruzione del ponte risale a prima del 1700 e fu realizzata in legno ma, per via delle forti correnti in entrambe le direzioni e delle grandi ampiezze di marea (stesso caso del ponte Old Wye Bridge, in quanto anche il fiume Usk si immette nel Severn), nel 1801 fu sostituito da un ponte in pietra a cinque campate dotato di frangicorrente in ogni pilastro.



*Figura 3.2.3.6: Veduta dei frangicorrente del vecchio ponte di Newport.  
(Riportato in: [http://www.newportpast.com/bridges/town\\_bridge/index.php](http://www.newportpast.com/bridges/town_bridge/index.php)).*

Successivamente, nel 1927, fu inaugurato il nuovo ponte, ricostruito più volte fino a quell'anno per far fronte alle diverse esigenze costruttive, di traffico e commercio delle città da collegare e usufruendo di una struttura temporanea in legno che fungeva da passarella pedonale, che affiancasse il ponte vecchio.

Il nuovo ponte, in Figura 3.2.3.8, è stato realizzato in cinque campate poggianti su quattro moli di sezione simmetrica, realizzati in calcestruzzo e aventi un'altezza considerevole per poter far fronte alle problematiche date dalla marea, viste in precedenza.



Figura 3.2.3.7: Veduta del nuovo ponte di Newport e della passerella pedonale temporanea costruita in legno. (Riportato in: [http://www.newportpast.com/bridges/town\\_bridge/index.php](http://www.newportpast.com/bridges/town_bridge/index.php)).



Figura 3.2.3.8: Veduta del nuovo ponte di Newport durante la bassa e l'alta marea rispettivamente. (Riportato in: [http://www.newportpast.com/bridges/town\\_bridge/stone\\_2.php](http://www.newportpast.com/bridges/town_bridge/stone_2.php))



### 3.3. VANTAGGI E SVANTAGGI

Come già evidenziato, i frangicorrente sono degli elementi posti a ridosso dei piloni di alcuni ponti storici a più campate, per poterne migliorare le caratteristiche idrauliche.

Il primo beneficio consiste nel ridurre l'impatto diretto di oggetti galleggianti sull'ossatura portante del ponte. Questa azione difensiva è dovuta alla forma di questi elementi, che essendo appuntiti o tendenti ad angoli acuti, permettono la falciatura e la deviazione di questi oggetti sotto gli archi del ponte e quindi la circolazione verso valle. I ponti che non possiedono questi elementi tendono ad avere una forte raccolta di questi detriti, che rimangono bloccati ai piedi di piloni e spalle, riducendo la luce libera di deflusso del corso d'acqua.



*Figura 3.3.1: Esempio di come un ponte senza frangicorrente abbia difficoltà a condurre oltre la struttura ciò che viene trasportato dalla corrente. (Riportata in: <https://stonearchbridges.com/2020/04/07/two-benefits-of-cutwaters/>)*

Il secondo pregio dei tagliacque è che riescono a tagliare in maniera delicata la corrente, evitando la nascita di vortici quando la corrente diventa molto veloce. Con questo accorgimento la corrente avrà un andamento più controllato e il ponte impatterà meno sul suo andamento. La massima efficacia degli elementi frangicorrente è riscontrabile in presenza di acqua alta, quando il fiume è in condizioni di piena.

A dettarne l'efficacia contribuisce anche la forma in cui sono stati realizzati. I più efficaci, al fine di tagliare la corrente in modo ordinato, risultano quelli aventi una forma più appuntita, ma la punta rappresenta un punto di fragilità, perché potrebbe essere tranciata in caso di impatto con detriti che scorrono ad alte velocità. Una forma rettangolare contribuisce a rafforzare la struttura e dà un contributo contro il dilavamento ma non dà un gran contributo in termini di miglioramento idraulico della struttura.

Si conclude che la forma migliore sia la circolare, in quanto permette una deviazione dei detriti e della corrente, ma senza presentare punti di grande fragilità; infatti, anche nei ponti più moderni, si possono osservare piloni circolari.



Figura 3.3.2: (Riportata in: <https://www.modenatoday.it/cronaca/alluvione-panaro-ponte-samone-6-dicembre-2020.html>)

Dovendo impattare per primi con i detriti trasportati dalla corrente, incontrano la problematica di accumulo di quest'ultimi e la manutenzione delle opere pubbliche non è risulta sempre puntuale. Quindi il rischio sarà quello di ostruzione delle luci per via di accumuli di vegetazione.



*Figura 3.3.3: (Riportata in <https://www.idrotecnicaitaliana.it/lacquaonline/energia-ambiente/2016/trasporto-dei-detriti-arborei-nei-corsi-dacqua/>)*

## 5. BIBLIOGRAFIA

Brath A. (2007) - La sicurezza idraulica degli attraversamenti fluviali, Convegno SAFE-Infrastrutture, Autorità di Bacino del Fiume Po, Parma 25 gennaio 2007.

Ballio F., Bianchi A., Franzetti S., De Falco, F., Mancini, M. (1998) – Vulnerabilità idraulica di ponti fluviali, Atti del XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Volume III, Catania, pp. 69-79.

Fugazza M. (2011) - Effetti idraulici prodotti dai ponti nei corsi d'acqua, Corso di sistemazioni fluviali.

<https://it.wikipedia.org/wiki/Tagliacque>.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Starling\\_\(structure\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Starling_(structure)).

Galiazzo V., TRAIANVS (2004) – I ponti romani, Pubblicato in: Elementos de Ingenieria Romana. Congresso Europeo “Las Obras Publicas Romanas”, Terragona.

Solazzo F. (2016) - Le tecniche costruttive dei ponti in muratura, Dario Flaccovio Editore.

[https://www.marselli.com/wp-content/uploads/2020/03/5ponte\\_di\\_Tiberio\\_itinerario.pdf](https://www.marselli.com/wp-content/uploads/2020/03/5ponte_di_Tiberio_itinerario.pdf)

Inglese C., Paris L. (2020) - Arte e tecnica dei ponti romani in pietra, Sapienza Università Editrice.

<https://stonearchbridges.com/2020/04/07/two-benefits-of-cutwaters/>

[https://it.wikipedia.org/wiki/Ponte\\_Vecchio\\_\(Bassano\\_del\\_Grappa\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Ponte_Vecchio_(Bassano_del_Grappa))

<https://it.wikipedia.org/wiki/Severn>