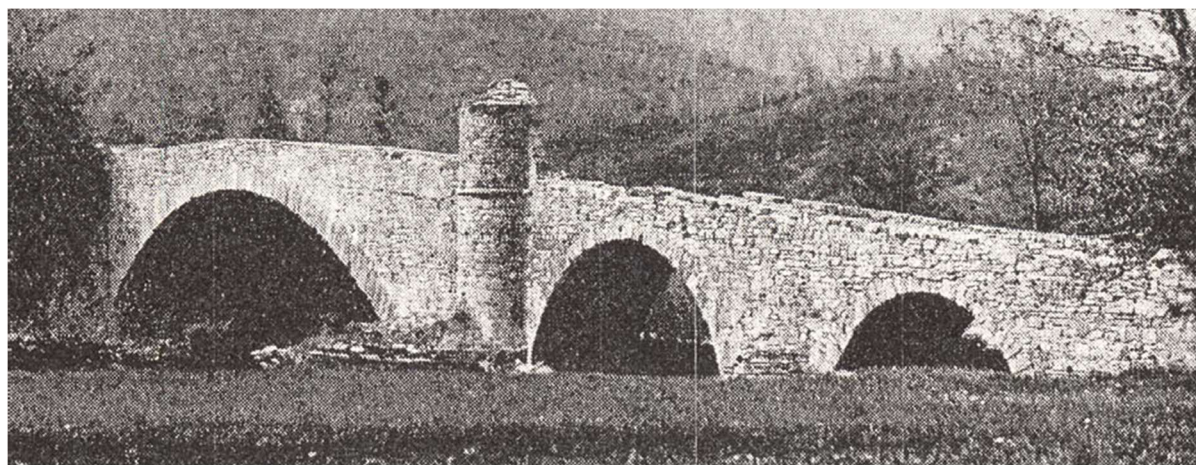


COMUNE DI REZZOAGLIO

**PROGETTAZIONE ESECUTIVA DEGLI INTERVENTI DI  
CONSOLIDAMENTO E MIGLIORAMENTO SISMICO  
DEL PONTE DI ALPEPIANA**



**Committente:** Città Metropolitana di Genova

**RELAZIONE SULLE CATENE METALLICHE**

**Progettista:**

Ing. Stefano Podestà  
P.I. 01499370995  
CF PDSSFN71H24D969D  
stefano.podesta@yellowroom.it

**Firma:**

.....

**Collaboratori:**

Ing. Chiara Luchini  
Ing. Francesca Porta  
Arch. Giacomo Batacchi  
Ing. Giulio Malatesta

**Data:**

Maggio 2021

**ID elaborato:**

**R\_S01\_A**

*Yellow Room Engineering  
Via Luccoli 21/2 - Palazzo Pastorino  
16123- Genova*



## 1 PREMESSA

Il sottoscritto Ing. Stefano Podestà, con studio in Genova, via Luccoli 21/2, iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Genova n° 7403A, su incarico della Città Metropolitana di Genova nell'ambito della progettazione degli interventi di consolidamento del ponte in muratura in località Alpepiana in Rezzoaglio (GE), ha redatto la seguente Relazione Tecnica sulla verifica delle nuove catene metalliche.

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le verifiche di sicurezza sono state condotte in accordo con quanto previsto nelle seguenti normative:

- D.M. del 17 gennaio del 2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC/2018 nel seguito);
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018" (Circolare 7/2019 nel seguito);
- Direttiva PCM del 9 febbraio 2011 "Linee Guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale" (GU n. 47 del 26/2/2011 – Suppl. Ordinario n. 54) (di seguito indicate come Linee Guida).

## 3 CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI

### 3.1 Acciaio

Per quanto riguarda gli elementi metallici sono riportate le caratteristiche meccaniche dell'acciaio S275 laminato a caldo, secondo le norme UNI-EN 10025, utilizzato per tutti gli elementi strutturali di carpenteria metallica.

Tabella 1. Caratteristiche meccaniche dell'Acciaio

Classe di resistenza			<b>S275</b>
Modulo elastico	E	[MPa]	210000
Modulo di elasticità trasversale	G	[MPa]	87500
Coefficiente di Poisson	$\nu$	[-]	0,2
Densità	$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	7850
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$	[MPa]	275
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk}$	[MPa]	430

I coefficienti di sicurezza per la resistenza delle membrature ( $\gamma_{M0}$ ) e per la stabilità ( $\gamma_{M1}$ ) sono entrambi assunti pari a 1,05, in accordo a quanto riportato in Tabella 4.2.VII delle NTC 2018.

### 3.2 Bulloni

Per quanto riguarda i bulloni questi devono essere di classe 8.8 le cui caratteristiche meccaniche sono riportate nella seguente Tabella.

Tabella 2. Caratteristiche meccaniche dei Bulloni

Classe di resistenza			<b>CL. 8.8</b>
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$	[MPa]	640
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk}$	[MPa]	800

### 3.3 Muratura

Attraverso i sopralluoghi effettuati è stato possibile identificare con precisione la tipologia muraria principale costituente il ponte ed al fine di operare con un riferimento di resistenza meccanica normato si è adottata la tipologia relativa alla "muratura in pietre a spacco con buona tessitura".

Le proprietà meccaniche della muratura sono state, pertanto, desunte facendo riferimento alla Tabella C8.5.I della

Circolare 7/2019:

Tabella 3. Valori dei parametri meccanici proposti dalla Circolare n° 7/2019 per la tipologia presente nel caso in esame

Tipologia di muratura	f [N/mm <sup>2</sup> ]	$\tau_0$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{v0}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	E [N/mm <sup>2</sup> ]	G [N/mm <sup>2</sup> ]	w [kN/m <sup>3</sup> ]
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2.6 – 3.8	0.056 – 0.074	–	1500-1980	500 - 660	21

dove:

f = resistenza media a compressione della muratura

$\tau_0$  = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali

$f_{v0}$  = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali

E = valore medio del modulo di elasticità normale

G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale

w = peso specifico medio della muratura

#### 4 LIVELLO DI CONOSCENZA

In accordo con quanto riportato al paragrafo 8.5.4 delle NTC/2018, si è definito il Fattore di Confidenza  $F_C$  che consente di graduare l'affidabilità del modello di analisi strutturale. Gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono: geometria della struttura, dettagli costruttivi, proprietà dei materiali, connessioni tra i diversi elementi e le loro presumibili modalità di collasso. Per il caso in esame si è potuto raggiungere un livello di conoscenza LC2 (C8.5.4 - Circolare 7/2019) il cui corrispondente fattore di confidenza è pari a 1.2.

#### 5 VERIFICA STRUTTURALE DELLE CATENE METALLICHE

L'intervento di consolidamento del ponte in muratura in località Alpepiana in Rezzoaglio (GE), prevede, tra le varie opere, l'inserimento di catene metalliche trasversali ancorate ai timpani in muratura del ponte stesso. Tali catene, inserite al fine di arrestare i fenomeni di deformazione fuori piano in atto sui timpani, sono state verificate con un tiro pari a 15 kN ed i relativi dati geometrici e meccanici sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 4. Caratteristiche meccaniche e geometriche delle catene metalliche e delle piastre di ancoraggio

Barra in Acciaio S275		
Diametro $\phi$	[mm]	20
Area – A	[mm <sup>2</sup> ]	314,16
Sistema di ancoraggio: Piastra circolare in acciaio S275		
Diametro – d	[mm]	300
Spessore – s	[mm]	12

La muratura in corrispondenza dell'ancoraggio presenta uno spessore pari a 65 cm.

Le dimensioni della catena posso ritenersi adeguate quando la resistenza  $T_R$  è maggiore o uguale all'azione sollecitante  $T_S$ :

$$T_R \geq T_S$$

La resistenza  $T_R$  della catena è caratterizzata dalla seguente relazione:

$$T_R = \min(T_t, T_m, T_c)$$

dove:

$T_t$  è la resistenza a trazione della catena stessa;

$T_m$  è la resistenza a punzonamento della muratura;

$T_c$  è la resistenza a flessione del capochiave.

## 5.1 Resistenza a trazione della catena

La resistenza a trazione della catena metallica ( $T_t$ ) è data dalla seguente relazione:

$$T_t = f_{yd} \frac{\pi \phi^2}{4}$$

dove  $f_{yd}$  è la resistenza di calcolo dell'acciaio e  $\Phi$  è il diametro della sezione trasversale della catena.

## 5.2 Resistenza a punzonamento della muratura

La resistenza della muratura dipende dalla geometria del capochiave, dallo spessore della parete e dalle caratteristiche meccaniche della muratura. La massima trazione applicabile al tirante ( $T_m$ ) per effetto della resistenza della muratura è data dal minimo di due contributi, quello della resistenza a trazione ( $T_{m,a}$ ) e quello della resistenza a taglio ( $T_{m,t}$ ) della muratura stessa:

$$T_m = \min(T_{m,a}, T_{m,t})$$

Prendendo in considerazione una catena con capochiave circolare di diametro  $D$ , lo sforzo normale di trazione  $T_{m,a}$  applicato alla catena genera sulla muratura, attraverso il capochiave, uno stato tensionale che tende a far staccare una porzione di muratura in prossimità del capochiave stesso. Lo sforzo dalla catena si diffonde all'interno della muratura con un angolo di diffusione che può essere assunto pari a  $45^\circ$ , pertanto l'area di muratura interessata è data dalla superficie laterale di un tronco di cono inclinato di  $45^\circ$  che, partendo dalla piastra, si diffonde nello spessore della muratura. Il diametro minore del tronco di cono di muratura ( $D$ ) è pari al diametro del capochiave, mentre quello maggiore ( $D+2t$ ) è pari al diametro del capochiave più due volte lo spessore della parete  $t$ .

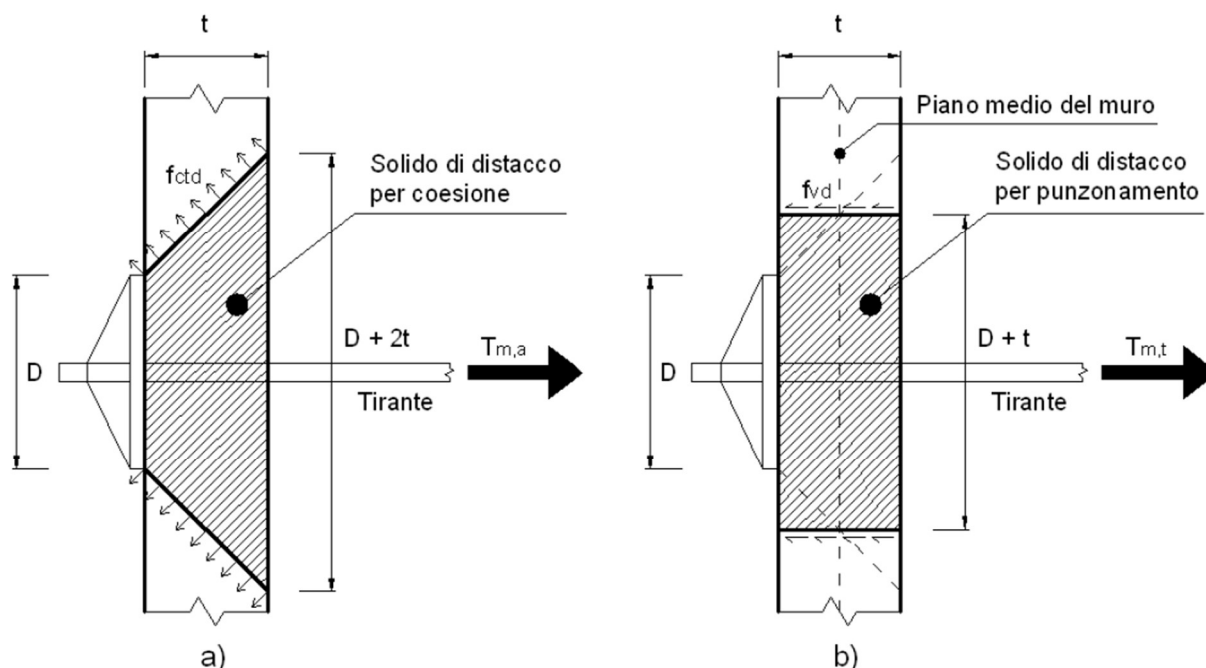


Figura 1. Tensioni normali (a) e tangenziali (b) sulla superficie del cuneo di distacco

Per effetto della forza  $T_{m,a}$  trasmessa dalla catena alla muratura si genera, sulla superficie di distacco, uno stato tensionale di trazione. Fino a quando la tensione è inferiore al valore limite il sistema è in equilibrio, al raggiungimento di valori di tensione superiori a quella limite, avviene il distacco del tronco di cono. La componente parallela alla catena della resistenza della muratura per trazione è data dalla relazione seguente:

$$T_{m,a} = \pi \cdot f_{ctd} \cdot t \cdot (t + D)$$

dove  $f_{ctd}$  è la resistenza di calcolo a trazione della muratura.

Per quanto riguarda il calcolo della resistenza massima per taglio ( $T_{m,t}$ ), come raffigurato nella figura precedente, si ipotizza che il solido di distacco sia un cilindro il cui diametro si ottiene dall'intersezione della superficie del tronco di cono con diffusione a 45° con il piano medio del muro. Pertanto, la resistenza massima per taglio è data dalla relazione seguente:

$$T_{m,t} = t \cdot (t + D) \cdot (\pi \cdot f_{vd0} + 2 \cdot n \cdot \sigma_0)$$

dove  $f_{vd0}$  è la resistenza di calcolo tangenziale in assenza di carichi verticali,  $\sigma_0$  è la tensione media di compressione in corrispondenza del tirante ed  $n$  è il coefficiente di attrito generalmente posto pari a 0,4.

Da tali relazioni si evince che la resistenza della catena per effetto della muratura dipende da diametro  $D$  del capochiave e dalla resistenza a trazione  $f_{ctd}$  e tangenziale  $f_{vd0}$  della muratura. Pertanto, per aumentare la resistenza  $T_m$  occorre incrementare le dimensioni della chiave oppure la resistenza della muratura mediante interventi di consolidamento.

### 5.3 Verifica a flessione del capochiave

Affinché la catena sia efficace, il capochiave deve essere dimensionato in maniera tale da essere capace di contrastare la forza di trazione della catena, che dev'essere equilibrata, per effetto del contatto con la muratura, dalla piastra di ancoraggio. A favore di sicurezza, il dimensionamento della piastra si effettua mediante metodi di calcolo approssimati, per semplicità, si ipotizza che il capochiave si mantenga rigido e che la forza di trazione trasmessa dalla catena venga equilibrata da una tensione  $\sigma$  uniformemente distribuita su tutta la superficie di contatto del capochiave con la muratura. Con riferimento alla forza  $T_c$  trasmessa dal tirante, la tensione  $\sigma$  sulla piastra è data dalla seguente relazione:

$$T_c = \sigma \cdot A \Rightarrow \sigma = \frac{T_c}{A}$$

dove  $A$  è la superficie del capochiave a contatto con la muratura.

Le azioni sollecitanti agenti sul capochiave sono state calcolate considerando la piastra di contatto con la muratura incastrata in corrispondenza dell'ancoraggio della catena e soggetta ad un carico uniformemente distribuito rappresentato dalla reazione della parete muraria per l'azione del tiro della catena stessa.

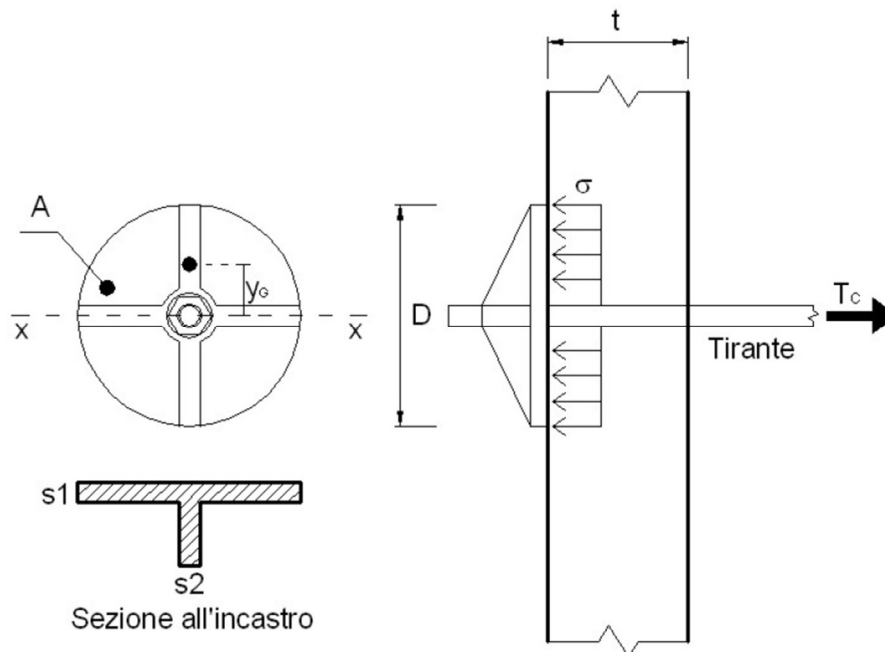


Figura 2. Schematizzazione della piastra di ancoraggio

Dalle note espressioni della Scienza delle Costruzioni sulla verifica a flessione e taglio, si determinano le corrispondenti tensioni assiale e tangenziale massime sulla sezione:

$$\sigma(x,y) = \frac{M \cdot y_{\max}}{I}$$

$$\tau(x,y) = \frac{V \cdot S}{I \cdot b}$$

La verifica si effettua confrontando la tensione ideale con la tensione di calcolo secondo la nota espressione di Von Mises di seguito riportata:

$$\sigma_{id}(x,y) = \sqrt{\sigma^2(x,y) + 3 \cdot \tau^2(x,y)} \leq f_{yd}$$

#### 5.4 Risultati delle verifiche

Le analisi condotte sulle nuove catene da inserire per il consolidamento del ponte in muratura sito in località Alpepiana hanno determinato i seguenti valori di resistenza:

Tabella 5. Valori di resistenza determinati per le nuove catene

Resistenza della barra [kN]	Resistenza a punzonamento della muratura [kN]	Resistenza della piastra [kN]
86,39	52,54	77,01

La resistenza a trazione della catena risulta pari a 52,5 kN, tale valore è da attribuire alla collasso per punzonamento della muratura indicando così una rottura di tipo fragile.

#### 6 CONCLUSIONI

Dalle verifiche condotte emerge come il sistema di incatenamento inserito garantisce una resistenza a trazione pari a 52,5 kN maggiore al tiro impresso alle catene in fase di montaggio pari a 15 kN, risultando, così, soddisfatto.

Genova, 21 Maggio 2021

---

Ing. Stefano Podestà