



REGIONE SICILIANA
Assessorato regionale dell'energia
e dei servizi di pubblica utilità
Dipartimento Regionale dell'Acqua e dei Rifiuti



DIGA VILLAROSA

"Interventi urgenti per il ripristino e l'adeguamento degli impianti - Id 935"
da effettuarsi presso la Diga Villarosa - Comune di Villarosa (EN)
gestita dalla Regione Siciliana.

PROGETTO ESECUTIVO

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO :

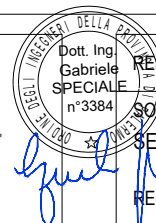
Dott. Giuseppe Lombardo

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROFESSIONISTI TRA:

Mandataria



Mandanti



REDAZIONE DELL'ELABORATO

SOCIETA' :

SERING Ingegneria S.r.l.

RESPONSABILE :

Dott. Ing. Gabriele Speciale

RESPONSABILE E COORDINATORE DI PROGETTO PER L'RTP : SERING Ingegneria S.r.l.

Dott. Ing. Sergio Di Maio



TITOLO:

3. OPERE METALLICHE MINORI INTERVENTI NEL POZZO PARATOIE - RELAZIONE DI CALCOLO

CODICE:

PE-OPM-308-02

| | | REDATTO | CONTROLLATO | APPROVATO | | |
|-----------|----|--------------------------------------|-------------|-------------|------|------|
| SIGLA | | G. Amato | G. Romana | G. Speciale | | |
| REVISIONE | N. | DESCRIZIONE | | | RED. | VER. |
| | 00 | Emissione Aprile 2021 | | | G.A. | G.R. |
| | 01 | Emissione a seguito di aggiornamento | | | G.A. | G.R. |
| | 02 | Emissione a seguito di verifica | | | G.A. | G.R. |

NOME FILE :

PE-OPM-308-02

DATA :

Ottobre 2021

SCALA :

-

INDICE

| | |
|--|----|
| 1. PREMESSA | 3 |
| 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 3 |
| 3. SISTEMA COSTRUTTIVO | 4 |
| 4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI | 6 |
| 5. CRITERI DI PROGETTAZIONE | 7 |
| 6. ANALISI DEI CARICHI | 9 |
| 7. DIMENSIONAMENTO TRAVI | 9 |
| 8. DIMENSIONAMENTO ANCORAGGIO TRAVE-MURATURA | 12 |
| 8.1. Verifica a trazione | 13 |
| 8.2. Verifica a taglio | 14 |
| 8.3. Verifica a carico combinato taglio/trazione | 15 |

1. PREMESSA

Nell'ambito della delibera CIPE n. 26 del 10 agosto 2016 “fondo per lo sviluppo e la coesione 2014-2020”, il Dipartimento Regionale Acque e Rifiuti dell'Assessorato dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità della Regione Siciliana ha in programma la realizzazione degli interventi finalizzati al ripristino e l'adeguamento degli impianti presenti presso la Diga Villarosa sita nel Comune di Villarosa in Provincia di Enna.

La presente relazione di calcolo ha per oggetto il dimensionamento della botola di chiusura all'interno della torre di presa e viene redatta a corredo degli elaborati del Progetto Esecutivo relativo ai lavori di “Diga Villarosa: Interventi urgenti per il ripristino e l'adeguamento degli impianti – ID 935” gestita dalla Regione Siciliana.

La torre, che ospita le paratoie dello scarico di fondo e delle prese di derivazione, è ubicata in sponda sinistra e attraversa il paramento di monte della diga sopra la quota 374 m s.l.m.. La torre è collegata alla diga con una passerella metallica, della lunghezza di circa 90 m, con struttura ad arco.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il calcolo delle opere si è svolto nel rispetto della seguente normativa vigente:

- ETAG 001 - Guideline for european technical approval of metal anchors for use in concrete
- Eurocode 4 - Design of composite steel and concrete structures
- D.P.R. 6 giugno 2001 n. 380 (G. U. 20 ottobre 2001 n. 245) - Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia;
- Decreto Ministero Infrastrutture Trasporti 17 gennaio 2018 - Norme tecniche per le Costruzioni. (NTC);
- Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle 'Norme Tecniche delle Costruzioni' di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

3. SISTEMA COSTRUTTIVO

La botola metallica si trova in corrispondenza dell'apertura poligonale ricavata al centro della torre di presa a quota 396 m s.l.m e corrisponde a un telaio di acciaio su cui è fissata in una griglia metallica di copertura.

Per le travi metalliche sono stati scelti dei pofili IPE 160, disposti parallelamente all'asse della scala laterale e fissati alla muratura di conglomerato cementizio armato mediante ancoranti con fiala chimica a controllo di coppia M12x95 in acciaio e dado di classe 80 o 70 (Fig. 1).

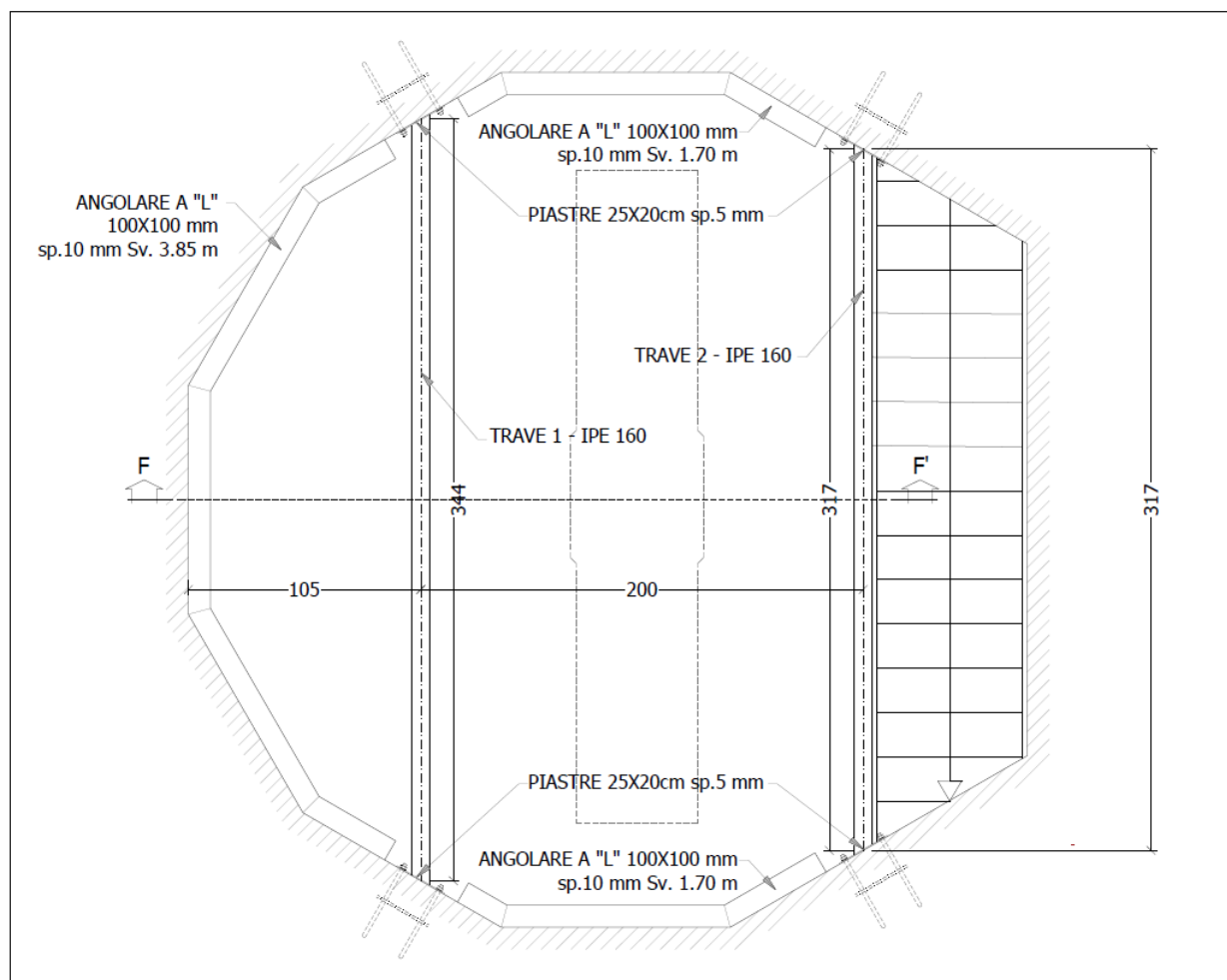


FIGURA 1 – TELAIO IN ACCIAIO, PIANTA A QUOTA +396.00

La copertura si è realizzata mediante grigliato metallico elettrofuso con maglia 15x76 mm e piatto 70x4 mm in acciaio S235JR (Fig.2).

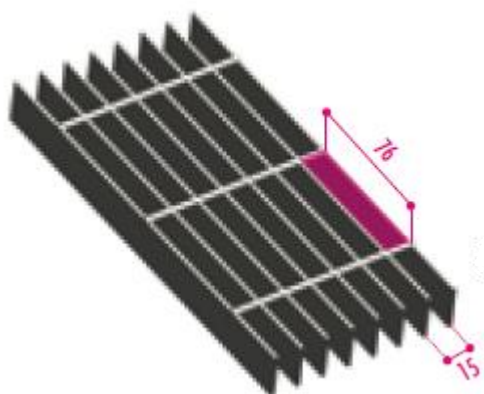


FIGURA 2 - GRIGLIATO ELETTRUFUSO , MAGLIA 76X15 MM E PIATTO 70X4 MM

Il grigliato presenta orditura principale ortogonale alle due travi metalliche ed è diviso in sei moduli; quattro moduli, tra le due travi metalliche, sono amovibili per permettere il passaggio, in caso di manutenzione, della paratoia posizionata alla base della torre; due moduli, a chiusura della restante superficie del poligono, fissati alla trave e al profilo a “L”, sul perimetro dell’apertura (Fig.1), mediante bullonatura.

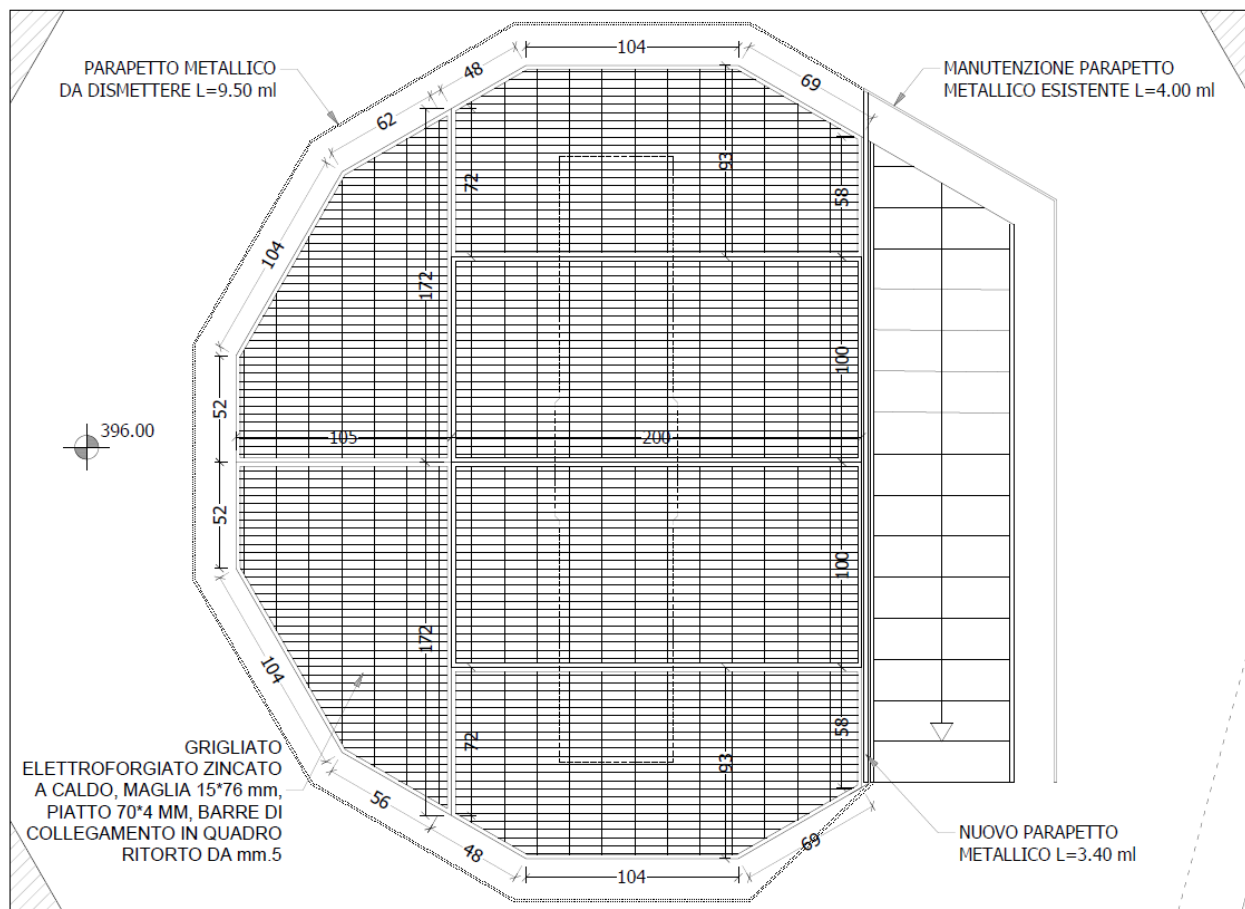


FIGURA 3- GRIGLIATO DI COPERTURA, PIANTA A QUOTA +396.00

4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per la realizzazione delle strutture metalliche, si utilizzano acciai conformi alle norme armonizzate della serie UNI EN 10025 (per i laminati), UNI EN 10210 (per i tubi senza saldatura) e UNI EN 10219-1 (per i tubi saldati), recanti la Marcatura CE.

Per gli acciai di cui alle norme armonizzate UNI EN 10025, UNI EN 10210 ed UNI EN 10219-1, in assenza di specifici studi statistici di documentata affidabilità, ed in favore di sicurezza, per i valori delle tensioni caratteristiche di snervamento f_{yk} e di rottura f_{tk} da utilizzare nei calcoli si assumono i valori nominali $f_y = R_{eH}$ e $f_t = R_m$ riportati nelle relative norme di prodotto.

In sede di progettazione si sono assunti convenzionalmente i seguenti valori nominali delle proprietà del materiale:

- Modulo elastico: $E = 210000 \text{ MPa}$;
- Modulo di elasticità trasversale: $G = E / [2 (1 + \nu)]$;
- Coefficiente di Poisson: $\nu = 0,3$;
- Coefficiente di espansione termica lineare: $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}^{-1}$;
- Densità: $\rho = 7850 \text{ kg / m}^3$

Per tutti gli elementi strutturali delle strutture portanti in acciaio verranno impiegati profilati di acciaio tipo S275 J0, avente le seguenti proprietà e caratteristiche di resistenza:

- Resistenza caratteristica di snervamento $f_{yk} \geq 275 \text{ Mpa}$;
- Resistenza caratteristica a rottura $f_{tk} \geq 430 \text{ Mpa}$;
- Modulo elastico $E = 210000 \text{ Mpa}$;
- Resilienza minima $27 \text{ J a } 0^\circ\text{C}$.

Tutti i procedimenti di saldatura dovranno essere qualificati secondo la norma UNI EN ISO 15614-1.

Il costruttore deve essere certificato secondo la norma EN ISO 3834.

Sono richieste caratteristiche di duttilità, snervamento, resistenza e tenacità in zona fusa e in zona termica alterata non inferiori a quelle del materiale base.

Le saldature saranno sottoposte a controlli non distruttivi finali per accertare la corrispondenza ai livelli di qualità stabiliti dal progettista sulla base delle norme applicate per la progettazione.

L'entità e il tipo di tali controlli, distruttivi e non distruttivi, in aggiunta a quello visivo al 100%, saranno definiti dal Collaudatore e dal Direttore Lavori.

Per le modalità di esecuzione dei controlli ed i livelli di accettabilità si potrà fare utile riferimento alle prescrizioni delle norme EN 5817 ed EN 12062.

I procedimenti di saldatura e i materiali di apporto inoltre saranno conformi ai requisiti di cui al §11.3.4 del D.M. 17.01.2018. Per i procedimenti di saldatura a cordone d'angolo devono essere impiegati i fili, flussi o gas di cui alle prove di qualifica del procedimento. Le caratteristiche dei materiali di apporto (tensione di snervamento, tensione di rottura, allungamento a rottura e resilienza)

saranno essere equivalenti delle corrispondenti caratteristiche delle parti collegate; in particolare verranno effettuate saldature con acciaio tipo S275 aventi le caratteristiche di seguito riportate.

Le caratteristiche della muratura in conglomerato cementizio armato sono state individuate a partire da prove di compressione realizzate presso il Laboratorio Autorizzato METROTEST S.r.l. di Palermo su provini ricavati da carote prelevate a differenti quota della torre di presa. Cautelativamente si caratterizza il cls con classe di resistenza C25/30.

5. CRITERI DI PROGETTAZIONE

I calcoli e le verifiche sono condotti con il metodo semiprobabilistico degli stati limite ultimi secondo le indicazioni del D.M. 17 gennaio 2018.

Nel metodo agli stati limite, la sicurezza strutturale nei confronti degli stati limite deve essere verificata confrontando la capacità di progetto R_d , in termini di resistenza, duttilità e/o spostamento della struttura, funzione delle caratteristiche meccaniche dei materiali che la compongono e dei valori nominali delle grandezze geometriche interessate, con il corrispondente valore di progetto della domanda E_d , funzione dei valori di progetto delle azioni e dei valori nominali delle grandezze geometriche della struttura interessate. La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi (SLU) è espressa dall'equazione formale:

$$R_d \geq E_d$$

Le norme definiscono come azione ogni causa o insieme di cause capace di indurre stati limite in una struttura.

I carichi si possono classificare secondo la variazione della loro intensità nel tempo come:

- **carichi permanenti** (G): agiscono per tutta la vita utile della struttura e nel tempo subiscono variazioni talmente piccole da poter essere considerate costanti nel tempo
- **carichi variabili** (Q): suddivisi in carichi di lunga durata e di breve durata
- **carichi eccezionali** (A): dovuti ad eventi eccezionali (incendi, esplosioni, urti, impatti, ecc)
- **azioni sismiche** (Af): derivanti dai terremoti, definite a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione.

Ai fini delle verifiche agli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- **Combinazione fondamentale**, generalmente usata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{K1} + \gamma_{Q2} \cdot \Psi_{02} \cdot Q_{K2} + \dots$$

- **Combinazione caratteristica** (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + Q_{K1} + \Psi_{02} \cdot Q_{K2} + \dots$$

- **Combinazione frequente**, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + \Psi_{11} \cdot Q_{K1} + \Psi_{22} \cdot Q_{K2} + \dots$$

- **Combinazione quasi permanente (SLE)**, generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + \Psi_{21} \cdot Q_{K1} + \Psi_{22} \cdot Q_{K2} + \dots$$

- **Combinazione sismica**, impiegata per gli stati limite ultimi connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + \Psi_{21} \cdot Q_{K1} + \Psi_{22} \cdot Q_{K2} + \dots$$

- **Combinazione eccezionale**, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A_d :

$$G_1 + G_2 + A_d + \Psi_{21} \cdot Q_{K1} + \Psi_{22} \cdot Q_{K2} + \dots$$

I coefficienti parziali e i coefficienti di combinazione utilizzati per il dimensionamento della struttura in acciaio sono illustrati nelle tabelle seguenti.

TABELLA 1 - COEFFICIENTI PARZIALI PER LE AZIONI O PER L'EFFETTO DELLE AZIONI NELLE VERIFICHE SLU

| | | Coefficiente γ_f | EQU | A1 | A2 |
|--|--------------------|----------------------------|------------|-----------|-----------|
| <i>Carichi permanenti</i> | <i>Favorevoli</i> | γ_{G1} | 0,9 | 1,0 | 1,0 |
| | <i>Sfavorevoli</i> | | 1,1 | 1,3 | 1,0 |
| <i>Carichi permanenti non strutturali</i> <small>(Non compiutamente definiti)</small> | <i>Favorevoli</i> | γ_{G2} | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| | <i>Sfavorevoli</i> | | 1,5 | 1,5 | 1,3 |
| <i>Carichi variabili</i> | <i>Favorevoli</i> | γ_{Qi} | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | <i>Sfavorevoli</i> | | 1,5 | 1,5 | 1,3 |

TABELLA 2 - COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE

| Destinazione d'uso/azione | ψ_0 | ψ_1 | ψ_2 |
|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <i>Categoria A residenziali</i> | 0,70 | 0,50 | 0,30 |
| <i>Categoria B uffici</i> | 0,70 | 0,50 | 0,30 |
| <i>Categoria C ambienti suscettibili di affollamento</i> | 0,70 | 0,70 | 0,60 |
| <i>Categoria D ambienti ad uso commerciale</i> | 0,70 | 0,70 | 0,60 |
| <i>Categoria E biblioteche, archivi, magazzini, ...</i> | 1,00 | 0,90 | 0,80 |

| | | | |
|--|------|------|------|
| <i>Categoria F Rimesse e parcheggi (autoveicoli $\leq 30\text{kN}$)</i> | 0,70 | 0,70 | 0,60 |
| <i>Categoria G Rimesse e parcheggi (autoveicoli $> 30\text{kN}$)</i> | 0,70 | 0,50 | 0,30 |
| <i>Categoria H Coperture</i> | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| <i>Vento</i> | 0,60 | 0,20 | 0,00 |
| <i>Neve a quota $\leq 1000\text{ m}$</i> | 0,50 | 0,20 | 0,00 |
| <i>Neve a quota $> 1000\text{ m}$</i> | 0,70 | 0,50 | 0,20 |
| <i>Variazioni Termiche</i> | 0,60 | 0,50 | 0,00 |

6. ANALISI DEI CARICHI

Come già descritto al Capitolo 3, la copertura è costituita da un grigliato metallico elettrofuso con maglia 15x76 mm e piatto 70x4 mm in acciaio S235JR a cui corrisponde un peso proprio di 153,5 kg/mq; essa è stata individuata consultando le schede tecniche di diverse case produttrici per resistere adeguatamente ai carichi di progetto.

Ai fini del predimensionamento della trave di acciaio si considera un profilo IPE300 di primo tentativo a cui corrisponde un peso proprio di 42,2 kg/m.

Si considera un sovraccarico variabile di 400 kg/mq.

Si procede al dimensionamento della trave a cui compete il maggiore carico, che si trova dal lato opposto alla scala, a cui compete un'area di influenza di 5,40 m².

Si computano i seguenti carichi lineari caratteristici che verranno combinati secondo le combinazioni indicate al capitolo precedente.

- $g_{1,k,griglia} = 2,40\text{ kN/m}$;
- $g_{2,k,IPE300} = 0,41\text{ kN/m}$;
- $q_k = 6,38\text{ kN/m}$.

7. DIMENSIONAMENTO TRAVI

Ai fini del dimensionamento allo SLU della trave in acciaio si considera lo schema appoggio-appoggio a cui corrisponde la configurazione di carico e le sollecitazioni di sforzo normale, taglio e momento nelle seguenti figure.

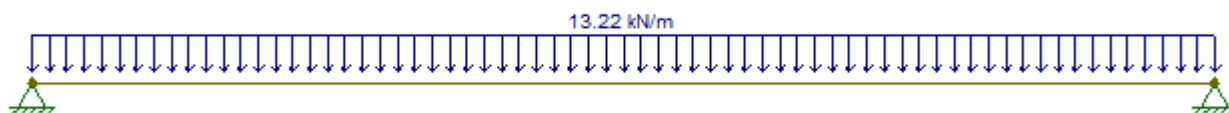


FIGURA 4 - CONFIGURAZIONE DI CARICO ALLO SLU



FIGURA 5 - SFORZO NORMALE [kN]

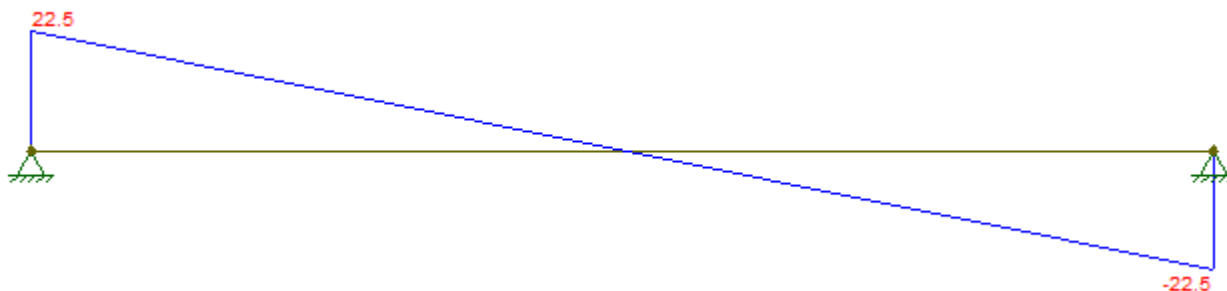


FIGURA 6 – TAGLIO [kN]

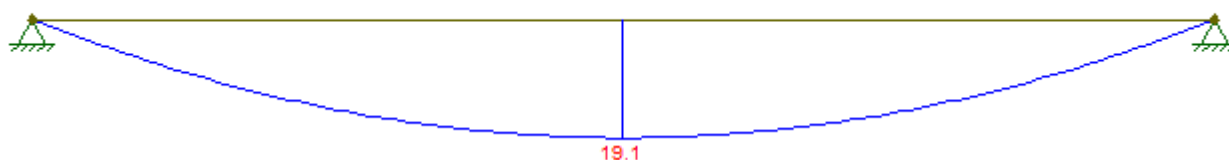


FIGURA 7 - MOMENTO FLETTENTE [kN]

Secondo quanto indicato al § 4.2.4.1 del D.M. del 17/01/2018, si procede con la verifica a sforzo normale, flessione e taglio allo SLU.

La verifica a sforzo normale risulta soddisfatta in quanto la trave non risulta sollecitata da sforzi di trazione o compressione.

La verifica a flessione monoassiale risulta soddisfatta quando

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Per sezioni di classe 1 e 2, come nel caso in esame, la resistenza di progetto a flessione retta della sezione $M_{c,Rd}$ vale

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

in cui W_{pl} rappresenta il modulo di resistenza plastico della sezione, f_{yk} la resistenza caratteristica di snervamento e γ_{M0} coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità che per le sezioni di Classe 1-2-3-4 vale 1,05.

Scegliendo un profilo IPE160 a cui corrisponde un $W_{pl}=108.7 \text{ cm}^3$, si ricava:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{19,1 \text{ kNm}}{24,3 \text{ kNm}} = 0,79 \leq 1$$

La verifica a flessione risulta soddisfatta.

La verifica a flessione monoassiale risulta soddisfatta quando

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

dove la resistenza di progetto a taglio $V_{c,Rd}$, in assenza di torsione, vale

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

dove A_v è l'area resistente a taglio. Per profilati ad I e ad H caricati nel piano dell'anima si può assumere

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r) t_f$$

Scegliendo un profilo IPE160 si ricava

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{22,5 \text{ kN}}{124,8 \text{ kN}} = 0,18 \leq 1$$

Essendo inoltre

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{22,5 \text{ kN}}{124,8 \text{ kN}} = 0,18 \leq 0,5$$

si può trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.

Le verifiche allo SLE risultano soddisfatte se nella combinazione caratteristica

1. $\frac{\delta_{max}}{L} \leq \frac{1}{250}$
2. $\frac{\delta_2}{L} \leq \frac{1}{300}$

Dove $\delta_{max} = \delta_{TOT} = \delta_1 + \delta_2$, con δ_1 e δ_2 frecce dovute rispettivamente ai carichi permanenti e variabili.

Per il caso in esame si ricava $\delta_1=0,47 \text{ mm}$ e $\delta_2=1,18 \text{ mm}$.

Le verifiche allo SLE risultano soddisfatte essendo

1. $\frac{\delta_{max}}{L} = 0,0005 \leq \frac{1}{250}$;
2. $\frac{\delta_2}{L} = 0,0003 \leq \frac{1}{300}$.

8. DIMENSIONAMENTO ANCORAGGIO TRAVE-MURATURA

Il dimensionamento dell'ancoraggio del profilo IPE160 alla muratura esistente in conglomerato cementizio armato è stato eseguito secondo le indicazioni delle norme EC4 e delle linee guida ETAG 001.

Secondo quest'ultime il dimensionamento degli ancoraggi deve avvenire in modo da soddisfare la relazione

$$S_d \leq R_d$$

dove S_d ed R_d sono rispettivamente i valori delle sollecitazioni e delle resistenze di progetto, calcolati a partire dai valori caratteristici e amplificati o ridotti secondo i fattori di sicurezza indicati al capitolo 3 dell'Appendice C delle ETAG 001; le verifiche saranno realizzate secondo il metodo A, eseguendo le seguenti verifiche:

- Rottura a trazione:
Crisi dell'ancoraggio lato acciaio;
Crisi dell'ancoraggio lato calcestruzzo;
- Rottura a taglio:
Crisi dell'ancoraggio lato acciaio;
Crisi dell'ancoraggio lato calcestruzzo;
- Rottura a carico combinato taglio/trazione.

Cautelativamente si è considerato lo schema di trave incastrata-incastrata in combinazione fondamentale, ricavando le seguenti sollecitazioni all'incastro:

- $N = 0$ kN;
- $V = 22,5$ kN;
- $M = 12,7$ kNm.

Si sceglie di utilizzare degli ancoranti con fiala chimica a controllo di coppia M12x95 in acciaio inox, con dado di classe 80 o 70 e piastra di ancoraggio di dimensioni 270,0 mm x 270,0 mm x 15,0 mm.

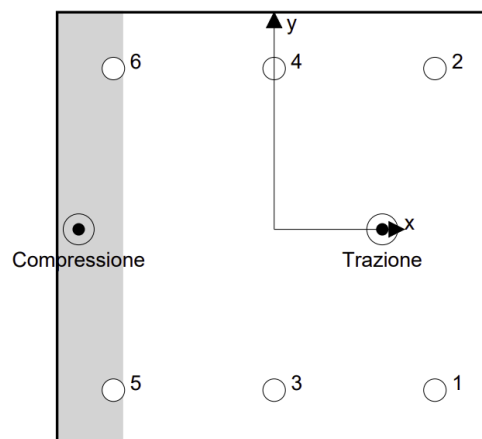
Nell'ipotesi di piastra di ancoraggio rigida, si ricavano le seguenti condizioni di carico sugli ancoranti:

Carichi sull'ancorante [kN]

Trazione: (+ Trazione, - Compressione)

| Ancorante | Trazione | Taglio | Taglio in dir. x | Taglio in dir. y |
|-----------|----------|--------|------------------|------------------|
| 1 | 22,620 | 3,683 | -3,683 | 0,000 |
| 2 | 22,620 | 3,683 | -3,683 | 0,000 |
| 3 | 11,004 | 3,683 | -3,683 | 0,000 |
| 4 | 11,004 | 3,683 | -3,683 | 0,000 |
| 5 | 0,000 | 3,683 | -3,683 | 0,000 |
| 6 | 0,000 | 3,683 | -3,683 | 0,000 |

Compressione max. nel calcestruzzo: 0,41 [‰]
 Max. sforzo di compressione nel calcestruzzo: 12,37 [N/mm²]
 risultante delle forze di trazione nel (x/y)=(67,3/0,0): 67,249 [kN]
 risultante delle forze di compressione (x/y)=(-121,6/0,0): 67,249 [kN]



8.1. Verifica a trazione

La verifica a trazione lato acciaio si esegue applicando la relazione

$$N_{Sd} \leq N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{M,s}}$$

Si ottengono i seguenti risultati:

| $N_{Rk,s}$ [kN] | $\gamma_{M,s}$ | $N_{Rd,s}$ [kN] | N_{Sd} [kN] |
|-----------------|----------------|-----------------|---------------|
| 51,000 | 1,500 | 34,000 | 22,620 |

La verifica a sfilamento si esegue applicando la relazione

$$N_{Sd} \leq N_{Rd,p} = \frac{\psi_c \cdot N_{Rk,p}}{\gamma_{M,p}}$$

Si ottengono i seguenti risultati:

| $N_{Rk,p}$ [kN] | ψ_c | $\gamma_{M,p}$ | $N_{Rd,p}$ [kN] | N_{Sd} [kN] |
|-----------------|----------|----------------|-----------------|---------------|
| 40,000 | 1,095 | 1,500 | 29,212 | 22,620 |

La verifica a rottura conica del calcestruzzo si esegue applicando la relazione

$$N_{Sd} \leq N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{M,c}}$$

dove

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N}$$

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5}$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N}$$

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1,00$$

$$\psi_{re,N} = 0,5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1,00$$

$$\psi_{ec1,N} = \frac{1}{1 + \frac{2 \cdot e_{c1,N}}{s_{cr,N}}} \leq 1,00$$

$$\psi_{ec2,N} = \frac{1}{1 + \frac{2 \cdot e_{c2,N}}{s_{cr,N}}} \leq 1,00$$

Si ottengono i seguenti risultati:

| $A_{c,N}$ [mm ²] | $A_{c,N}^0$ [mm ²] | $c_{cr,N}$ [mm] | $s_{cr,N}$ [mm] | | |
|------------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|
| 186.725 | 81.225 | 142,5 | 285,0 | | |
| $e_{c1,N}$ [mm] | $\psi_{ec1,N}$ | $e_{c2,N}$ [mm] | $\psi_{ec2,N}$ | $\psi_{s,N}$ | $\psi_{re,N}$ |
| 17,3 | 0,892 | 0,0 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| k_1 | $N_{Rk,c}^0$ [kN] | $\gamma_{M,c}$ | $N_{Rd,c}$ [kN] | N_{Sd} [kN] | |
| 10,100 | 51,223 | 1,500 | 70,017 | 67,249 | |

Di seguito si riporta la tabella di sintesi delle verifiche di trazione.

| | Carico [kN] | Resistenza [kN] | Utilizzo β_N [%] | Stato |
|-----------------------------------|-------------|-----------------|------------------------|-------|
| Rottura dell'acciaio* | 22,620 | 34,000 | 67 | OK |
| Rottura per sfilamento* | 22,620 | 29,212 | 78 | OK |
| Rottura conica del calcestruzzo** | 67,249 | 70,017 | 97 | OK |

*ancorante più sollecitato **gruppo di ancoranti (ancoranti sollecitati)

8.2. Verifica a taglio

La verifica a taglio lato acciaio (senza braccio di leva) si esegue applicando la relazione:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{M,s}}$$

Si ottengono i seguenti risultati:

| $V_{Rk,s}$ [kN] | $\gamma_{M,s}$ | $V_{Rd,s}$ [kN] | V_{Sd} [kN] |
|-----------------|----------------|-----------------|---------------|
| 30,000 | 1,250 | 24,000 | 3,683 |

La verifica per pryout si esegue applicando la relazione

$$V_{Sd} \leq V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{M,cp}}$$

dove

$$\begin{aligned} V_{Rk,cp} &= k \cdot N_{Rk,c} \\ N_{Rk,c} &= N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N} \\ N_{Rk,c}^0 &= k_1 \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5} \\ A_{c,N}^0 &= s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} \\ \psi_{s,N} &= 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1,00 \\ \psi_{re,N} &= 0,5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1,00 \\ \psi_{ec1,N} &= \frac{1}{1 + \frac{2 \cdot e_{c1,V}}{s_{cr,N}}} \leq 1,00 \\ \psi_{ec2,N} &= \frac{1}{1 + \frac{2 \cdot e_{c2,V}}{s_{cr,N}}} \leq 1,00 \end{aligned}$$

Si ottengono i seguenti risultati:

| $A_{c,N} [mm^2]$ | $A_{c,N}^0 [mm^2]$ | $c_{cr,N} [mm]$ | $s_{cr,N} [mm]$ | k-factor | |
|-------------------|--------------------|------------------|-----------------|--------------|---------------|
| 235.225 | 81.225 | 142,5 | 285,0 | 2,000 | |
| $e_{c1,V} [mm]$ | $\psi_{ec1,N}$ | $e_{c2,V} [mm]$ | $\psi_{ec2,N}$ | $\psi_{s,N}$ | $\psi_{re,N}$ |
| 0,0 | 1,000 | 0,0 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| $N_{Rk,c}^0 [kN]$ | $\gamma_{M,c,p}$ | $V_{Rd,cp} [kN]$ | $V_{Sd} [kN]$ | | |
| 51,223 | 1,500 | 197,788 | 22,100 | | |

Di seguito si riporta la tabella di sintesi delle verifiche di trazione.

| | Carico [kN] | Resistenza [kN] | Utilizzo β_V [%] | Stato |
|---|-------------|-----------------|------------------------|-------|
| Rottura dell'acciaio (senza braccio di leva)* | 3,683 | 24,000 | 16 | OK |
| Rottura per pryout** | 22,100 | 197,788 | 12 | OK |

*ancorante più sollecitato **gruppo di ancoranti (ancoranti sollecitati)

8.3. Verifica a carico combinato taglio/trazione

Avendo verificato le singole componenti di sollecitazione si calcolano i rapporti β_N e β_V , minori dell'unità, mediante le seguenti relazioni

$$\beta_V = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \quad \beta_N = \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}}$$

e si verifica che

$$\frac{\beta_N + \beta_V}{1,2} \leq 1$$

Si ottengono i seguenti risultati:

| β_N | β_V | α | Utilizzo $\beta_{N,V}$ [%] | Stato |
|-----------|-----------|----------|----------------------------|-------|
| 0,960 | 0,153 | 1,000 | 93 | OK |