



CONSORZIO DI BONIFICA PIANURA DI FERRARA

Sede legale e recapito postale:

44121 Ferrara - Via Borgo dei Leoni, 28 - C.F. 93076450381

web: www.bonificaferrara.it - e-mail: info@bonificaferrara.it - pec: posta.certificata@pec.bonificaferrara.it

aderente all'  Associazione Nazionale Bonifiche, Irrigazioni e Miglioramenti Fondiari

SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA

PROGETTO DEFINITIVO ED ESECUTIVO

Provincia di Ferrara

Comuni di Comacchio e Ostellato

**Recupero, adeguamento e miglioramento
funzionale del sistema irriguo di Valle Pega**

RELAZIONI TECNICHE E SPECIALISTICHE IMPIANTI DI SOLLEVAMENTO

Elaborato:

RELAZIONI DI CALCOLO DELLE STRUTTURE

Relazione di calcolo strutturale

Codifica:

2.4.1

**Progetto generale e
integrazione delle prestazioni
specialistiche:**

Dott. Ing. Marco Volpin



Progetto opere strutturali:

Dott. Ing. Massimo Garutti



Progetto rete di distribuzione:



Dott. Ing. Emiliano Corsi

**Progetto opere
elettromeccaniche:**



Per. Ind. Deris Ortali

Progetto impianti elettrici:



Per. Ind. Andrea Angelini

Data:

28.06.2021

**Il Responsabile
del Procedimento**

Geom. Marco Ardizzoni

Indagini geologiche:



Dott. Geol. Antonio Mucchi

Coordinamento sicurezza:



Dott. Ing. Livia Burini

Rev.	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato	Data
A	Emissione	Garutti M.	Garutti M.	Garutti M.	Aprile 2021
B	Revisione 1	Garutti M.	Garutti M.	Garutti M.	Luglio 2021
C					

COMUNE DI COMACCHIO E OSTELLATO

PROVINCIA DI FERRARA

OGGETTO DELL'INTERVENTO

PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA – INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO

COMMITTENTE e PROPRIETARIO

CONSORZIO DI BONIFICA PIANURA DI FERRARA

C.F. e P.IVA: 93076450381

Sede legale: Via Borgo dei Leoni, 28 – 44121 Ferrara

Sede Tecnica – Presidenza: Via Mentana, 3/7 – 44121 Ferrara



PROGETTO ESECUTIVO STRUTTURE

ING. MASSIMO GARUTTI

Corso Porta Reno, 69
44121 Ferrara
Tel. 339 2962032
e-mail: massimo.garutti@alice.it
P.I. 01776340380

PROGETTISTA STRUTTURALE:

Ing. Massimo Garutti



I N G E G N E R E
MASSIMO GARUTTI

www.dinamostudioferrara.it

CORSO PORTA RENO 69 44121 FERRARA
TEL +39 339 2962032 P.IVA 01776340380
garutti@dinamostudioferrara.it
massimo.garutti@ingpec.eu



STATO	STATO DI PROGETTO			
CODIFICA	TITOLO			
RCS01	RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE			
DATA CONSEGNA	AGGIORNAMENTO	DATA	MOTIVAZIONE	
19/02/2021	02	19/07/2021	Agg.02 a seguito prime indicazioni Validatore	
ANNO	PROGR. PROG.	LIVELLO PROG.	ELABORATO	NUMERO ELAB.
21	012	E	RCS	01

<i>Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti</i>	<i>PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE</i>	<i>Rev. 02 del 19/07/21</i>
		Pagina 2 di 153

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 3 di 153

INDICE

1	ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO STRUTTURALE ...	5
2	RELAZIONE SUI MATERIALI STRUTTURALI	10
3	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	11
3.1	CABINA N° 1	11
3.2	CABINA N° 4	12
3.3	CABINA N° 2 E N° 3	13
3.4	CABINA N° 5 E N° 10	15
3.5	CABINA N° 6	17
3.6	CABINA N° 7, N° 8, N° 9	18
4	ANALISI DEI CARICHI	20
5	CABINA N° 1	21
5.1	PREMESSA	21
5.2	TAMPONATURA APERTURE ESISTENTI	21
5.3	TRASFORMAZIONE DI FINESTRA IN PORTA-FINESTRA	21
5.4	NUOVE FOROMETRIE PER PASSAGGI IMPIANTISTICI	21
5.4.1	Parete Sud	21
5.4.2	Parete Ovest	21
5.5	NUOVI BASAMENTI IN C.A.	27
5.6	NUOVE APERTURE	27
5.7	NUOVA PARETE DI SEPARAZIONE LOCALI MT - ENEL	39
6	CABINA N° 4	52
6.1	PREMESSA	52
6.1	NUOVE FOROMETRIE PER PASSAGGI IMPIANTISTICI	52
6.1.1	Parete Ovest	52
7	CABINA N° 2	55
7.1	PREMESSA	55
7.2	TAMPONATURA APERTURE ESISTENTI	55
7.3	TRASFORMAZIONE DI FINESTRA IN PORTA-FINESTRA	55
7.4	NUOVE FOROMETRIE PER PASSAGGI IMPIANTISTICI	55
7.4.1	Parete Sud	55
7.4.2	Parete Ovest	56
7.5	NUOVI BASAMENTI IN C.A.	59
7.5.1	Premessa	59
7.5.2	Basamenti per pompe	59
7.5.3	Basamenti per gruppi di pressurizzazione	63
7.6	NUOVE APERTURE	65
8	CABINA N° 3	76
8.1	PREMESSA	76
8.2	NUOVE FOROMETRIE PER PASSAGGI IMPIANTISTICI	76
8.2.1	Parete Ovest	76

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 4 di 153

9	CABINA N°.5	80
9.1	PREMESSA	80
9.2	TAMPONATURA APERTURE ESISTENTI	80
9.3	TRASFORMAZIONE DI FINESTRA IN PORTA-FINESTRA	80
9.4	NUOVE FOROMETRIE PER PASSAGGI IMPIANTISTICI	80
9.4.1	Parete Sud	80
9.4.2	Parete Ovest	85
9.5	NUOVI BASAMENTI IN C.A.	88
9.6	NUOVE APERTURE	89
10	CABINA N°.10	106
10.1	PREMESSA	106
10.2	NUOVE FOROMETRIE PER PASSAGGI IMPIANTISTICI	106
10.2.1	Parete Ovest	106
11	CABINA N°.6	109
11.1	PREMESSA	109
11.2	TAMPONATURA APERTURE ESISTENTI	109
11.3	TRASFORMAZIONE DI FINESTRA IN PORTA-FINESTRA	109
11.4	NUOVE FOROMETRIE PER PASSAGGI IMPIANTISTICI	109
11.4.1	Parete Est	109
11.4.2	Parete Sud	109
11.5	NUOVI BASAMENTI IN C.A.	115
11.6	NUOVE APERTURE	115
11.6.1	Parete Est	115
11.6.2	Parete Ovest	122
12	CABINA N°.8	132
12.1	PREMESSA	132
12.2	TAMPONATURA APERTURE ESISTENTI	132
12.3	TRASFORMAZIONE DI FINESTRA IN PORTA-FINESTRA	132
12.4	NUOVE FOROMETRIE PER PASSAGGI IMPIANTISTICI	132
12.4.1	Parete Sud	132
12.4.2	Parete Est	137
12.5	NUOVI BASAMENTI IN C.A.	140
12.6	NUOVE APERTURE	141
13	CABINA N°.7	150
14	CABINA N°.9	150
14.1	PREMESSA	150
14.2	NUOVE FOROMETRIE PER PASSAGGI IMPIANTISTICI	151
14.2.1	Parete Est	151
15	CONSIDERAZIONI RIGUARDO LE FONDAZIONI	153

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 5 di 153

1 ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO STRUTTURALE

Oggetto della presente relazione sono gli *interventi strutturali* da realizzarsi complessivamente su n°.10 **cabine di pompaggio** nell'ambito dei lavori di ***Recupero, adeguamento e miglioramento funzionale del sistema irriguo di Valle Pega.***

Trattasi di fabbricati in **muratura portante di mattoni pieni e malta di calce**, costruiti indicativamente negli *anni '70*.

Gli interventi consistono nella realizzazione di nuove aperture, chiusura di aperture esistenti, modifica di aperture esistenti, realizzazione di pareti di separazione, formazione di nuove forometrie per passaggi impiantistici oltre alla realizzazione di nuovi basamenti in c.a. a supporto di macchinari. Gli interventi strutturali possono essere inquadrati, rispettivamente, come **“locali o di riparazione”, privi di rilevanza sismica e non strutturali.**

In ottemperanza alla *Deliberazione della Giunta Regionale Emilia Romagna del 26 Settembre 2011, n°. 1373*, in questo primo capitolo si riportano gli elementi essenziali del progetto strutturale come definitivo al *punto B.2.2.* della suddetta Delibera.

- a) *Descrizione del contesto edilizio e delle caratteristiche geologiche, morfologiche e idrogeologiche del sito oggetto di intervento e con l'indicazione, per entrambe le tematiche, di eventuali problematiche riscontrate e delle soluzioni ipotizzate, tenuto conto anche delle indicazioni degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica;*

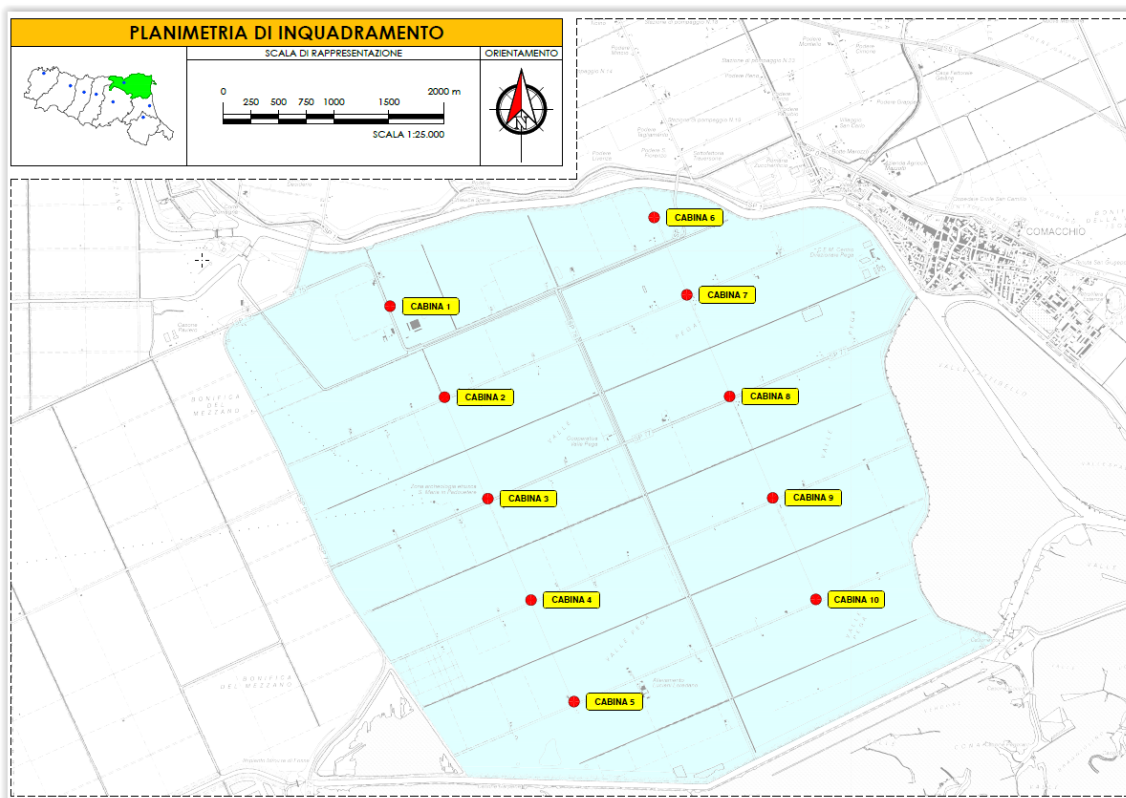
Le cabine di pompaggio oggetto d'intervento sono dislocate nei Comuni di Comacchio ed Ostellato. Trattasi di fabbricati esistenti strutturalmente isolati. Per la localizzazione si veda planimetria di inquadramento riportata a seguire.

- b) *Descrizione generale della struttura, sia in elevazione che in fondazione, e della tipologia di intervento, con indicazione delle destinazioni d'uso previste per la costruzione, dettagliate per ogni livello entro e fuori terra, e dei vincoli imposti dal progetto architettonico;*

I fabbricati, ad un **solo piano fuori terra**, sono caratterizzati da **struttura portante in muratura di mattoni pieni e malta di calce** con **pareti** caratterizzate da **spessore “due teste”**. Le coperture sono in latero-cemento. La destinazione d'uso è “locale tecnico”, quindi fabbricati **accessibili per sola manutenzione**. I fabbricati sono composti, sostanzialmente, da un vano pompe e da un vano cabina trasformatore. Nell'ambito del progetto di “Recupero, adeguamento e miglioramento funzionale” si rendono necessarie **nuove aperture, chiusura di aperture esistenti, modifica di aperture esistenti, nuove pareti separanti, nuove forometrie per passaggio tubazioni, nuovi basamenti per macchinari.**

- c) *Normativa tecnica e riferimenti tecnici utilizzati, tra cui le eventuali prescrizioni sismiche contenute negli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica;*

- D.M. 17/01/2018 e Circolare esplicativa 21 gennaio 2019 n°.7.



Planimetria d'inquadrimento – individuazione cabine

- d) *Definizione dei parametri di progetto che concorrono alla definizione dell'azione sismica di base del sito (vita nominale - VN, classe d'uso, periodo di riferimento - VR, categoria del sottosuolo, categoria topografica, amplificazione topografica, zona sismica del sito, coordinate geografiche del sito), delle azioni considerate sulla costruzione e degli eventuali scenari di azioni eccezionali;*

L'entità dell'azione sismica non è, a rigore, necessaria per i calcoli di cui alla presente relazione in quanto trattasi di **interventi strutturali** di tipo “**locale**” e precisamente realizzazione di **nuove aperture** con ripristino rigidezza e resistenza originaria dei relativi pannelli murari mediante introduzione di **cerchiature metalliche**. Come detto sono necessari ulteriori interventi relativi ad aperture esistenti, quali la taponatura non strutturale o la trasformazione da finestra in porta-finestra: trattasi di interventi, rispettivamente, **non strutturali** o **privi di rilevanza sismica**.

Si chiarisce tuttavia che i parametri per la definizione dell'azione sismica sono:

- *coordinate geografiche specifiche del sito;*
- $V_n = 50$ anni, Classe d'uso = II ($C_U = 1.0$); **$V_R = 50$ anni** (per congruità al progetto generale);
- Categoria di sottosuolo: "D" (cautelativamente ed in assenza di indagini specifiche);
- *Categoria T1: sub-pianeggiante.*

- e) *Descrizione dei materiali e dei prodotti per uso strutturale, dei requisiti di resistenza meccanica e di durabilità considerati;*

Per la realizzazione delle cerchiature metalliche compensative e degli irrigidimenti, si prescrive l'utilizzo di **acciaio** almeno di tipo **S275** (ex fe430) o **S355** (per i profili UPN o IPE di piccole dimensioni); i giunti si prevedono tutti di tipo **saldato a cordoni d'angolo**. Per le caratteristiche

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 7 di 153

della **muratura esistente**, in assenza di prove strumentali, si ritiene di assumere quelle proposte da normativa vigente con *livello di conoscenza LC1*. Per ulteriori dettagli si rimanda alla *"relazione sui materiali strutturali"*.

- f) *Illustrazione dei criteri di progettazione e di modellazione: classe di duttilità - CD, regolarità in pianta ed in alzato, tipologia strutturale, fattore di struttura - q e relativa giustificazione, stati limite indagati, giunti di separazione fra strutture contigue, criteri per la valutazione degli elementi non strutturali e degli impianti, requisiti delle fondazioni e collegamenti tra fondazioni, vincolamenti interni e/o esterni, schemi statici adottati;*

L'**apertura di un vano** in una parete muraria accompagnata da opportuni rinforzi è previsto, come 'intervento locale', dalla normativa vigente.

Le verifiche sono condotte limitandosi a valutazioni numeriche relative alla sola parete interessata dall'intervento dimostrando che la rigidezza dell'elemento variato non cambia significativamente e che la resistenza non peggiora ai fini del comportamento rispetto alle azioni orizzontali. Una mutazione significativa della rigidezza delle pareti muterebbe il comportamento globale della struttura e pertanto non risulterebbe sufficiente la verifica locale.

La verifica è positiva quando la resistenza alle forze orizzontali V post-operam risultano maggiori o uguali a quelle ante-operam, con variazioni di rigidezza non sostanziali ($\pm 15.00\%$).

Ritenendo valido lo schema di doppio incastro alle estremità (in quanto si prevede sempre il corrente inferiore in tutte le cerchiature di progetto), nel caso di muratura non armata in cui la rottura del pannello è di tipo fragile e caratterizzata da lesioni diagonali a 45° l'azione tagliente ultima è determinabile con la seguente relazione:

$$V_t = (L T f_{td} / b) (1 + \sigma_o / f_{td})^{1/2}$$

dove i simboli hanno il seguente significato:

L = Lunghezza del pannello murario

T = Spessore del pannello murario

f_{td} = Resistenza di calcolo a trazione per fessurazione diagonale della muratura = $1,5 \tau_o$

σ_o = Tensione normale media riferita all'area totale della base del setto

b = Coefficiente correttivo legato alla distribuzione degli sforzi sulla sezione, dipendente dalla snellezza della parete. Si può assumere $b = H / L$, comunque non superiore a 1,5 e non inferiore a 1, dove H è l'altezza del pannello

La rigidezza del singolo pannello murario K viene valutata con la seguente relazione:

$$K = (G E T L^3) / (G H^3 + 1,2 H E L^2)$$

dove i simboli hanno il seguente significato:

E = modulo di elasticità normale

G = modulo di elasticità tangenziale

La rigidezza complessiva risulterà dalla sommatoria dei contributi dei singoli maschi murari che formano la parete.

Considerando la forza tagliente $V_u = V_t$, lo spostamento al limite elastico vale:

$$\delta_e = V_u / K$$

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 8 di 153

Lo spostamento ultimo ottenuto considerando le riserve plastiche del materiale sarà:

$$\delta u = \delta e \mu \quad (\text{dove } \mu \text{ è il fattore di duttilità della muratura.})$$

La resistenza ultima a taglio verrà calcolata in base alla curva caratteristica del diagramma V- δ .

Per quanto attiene il telaio della cerchiatura, si definisce:

$$\Delta K = K_{sa} - K_{pr} \quad (\text{carenza di rigidezza della muratura a seguito dell'intervento})$$

Il telaio, per poter sopperire a tale carenza dovrà avere una rigidezza K_t maggiore o uguale a ΔK .

La rigidezza del telaio è data dalla sommatoria delle rigidezze dei singoli montanti costituenti la cerchiatura.

Considerando come incastrata la base del telaio, la rigidezza per il singolo montante vale:

$$K_i = 12 E J / H^3$$

La rigidezza totale del telaio sarà: $K_t = \sum K_i$

La resistenza a taglio del telaio sarà: $V_t = K_t \delta u$ (con δu = spostamento ultimo post-operam).

- g) *Indicazione delle principali combinazioni delle azioni in relazione agli SLU e SLE indagati: coefficienti parziali per le azioni, coefficienti di combinazione;*

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni:

Combinazione fondamentale SLU ---> $\gamma_{G1} \times G_1 + \gamma_{G2} \times G_2 + \gamma_P \times P + \gamma_{Q1} \times Q_{k1} + \gamma_{Q2} \times \psi_{02} \times Q_{k2} + \gamma_{Q3} \times \psi_{03} \times Q_{k3} + \dots$

Combinazione caratteristica (rara) SLE ---> $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \times Q_{k2} + \psi_{03} \times Q_{k3} + \dots$

Combinazione frequente SLE ---> $G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \times Q_{k1} + \psi_{22} \times Q_{k2} + \psi_{23} \times Q_{k3} + \dots$

Combinazione quasi permanente SLE ---> $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \times Q_{k1} + \psi_{22} \times Q_{k2} + \psi_{23} \times Q_{k3} + \dots$

Combinazione sismica ---> $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \times Q_{k1} + \psi_{22} \times Q_{k2} + \dots$

- h) *Indicazione motivata del metodo di analisi seguito per l'esecuzione della stessa: analisi lineare o non lineare (precisazione del fattore $Q = P \cdot d/V \cdot h$), analisi statica o dinamica (periodo $T1 < 2.5T_C$ o T_D , regolarità in altezza).*

Si veda precedente punto f).

- i) *Criteri di verifica agli stati limite indagati, in presenza di azione sismica: - stati limite ultimi, in termini di resistenza, di duttilità e di capacità di deformazione, - stati limite di esercizio, in termini di resistenza e di contenimento del danno agli elementi non strutturali;*

Si veda precedente punto f). Alle valutazioni di tipo "sismico" si aggiungono le verifiche statiche dei correnti superiori delle cerchiature quali architravi con riferimento a quanto previsto dalle NTC al Cap.4.

- j) *Rappresentazione delle configurazioni deformate e delle caratteristiche di sollecitazione delle strutture più significative, così come emergenti dai risultati dell'analisi, sintesi delle verifiche di sicurezza, e giudizio motivato di accettabilità dei risultati;*

Si rimanda ai paragrafi successivi.

- k) *Caratteristiche ed affidabilità del codice di calcolo*

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 9 di 153

Per il calcolo delle cerchiature si adotta il software specifico *PRO_CAD Calcolo cerchiature* distribuito dalla *2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria s.r.l.* Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software e dei relativi moduli ha consentito di valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico. E' possibile reperire la documentazione sull'affidabilità al link: <http://www.2si.it/affidabilita.php>.

- l) *Con riferimento alle strutture geotecniche o di fondazione: fasi di realizzazione dell'opera (se pertinenti), sintesi delle massime pressioni attese, cedimenti e spostamenti assoluti/differenziali, distorsioni angolari, verifiche di stabilità terreno-fondazione eseguite, ed altri aspetti e risultati significativi della progettazione di opere particolari;*

Gli interventi in progetto non producono sostanziali variazioni di sollecitazione a livello fondale.

- m) *Indicazione della categoria di intervento previsto e motivazione della scelta adottata;*

Gli interventi strutturali sono inquadrabili come di **"riparazione e/o rafforzamento locale"** – **Circ. n.°7 del 21/01/2019 - §C8.4.1.**

- n) *Descrizione della struttura esistente nel suo insieme, delle eventuali interazioni con altre unità strutturali e delle modalità con cui di ciò si è tenuto conto, dei principali interventi realizzati nel tempo, nonché sintesi delle vulnerabilità riscontrate, derivanti dal rilievo strutturale;*

I fabbricati sono in muratura portante caratterizzati tipicamente da due locali (vano pompe e vano cabina trasformazione). Si può dire che presentano un unico piano fuori terra data l'assenza di solai intermedi, ma presentano quote di copertura differenti. Trattasi di fabbricati *non regolari in pianta ed in elevazione* con presenza di coperture "non rigide". Lo spessore delle murature è "due teste" (strutturale 28cm). Come detto le altezze delle murature afferenti ai diversi corpi che costituiscono i fabbricati differiscono a seconda del vano (pompe e cabina di trasformazione); in particolare per i vavi cabine trasformazione la snellezza delle pareti risulta certamente significativa.

- o) *Definizione delle proprietà meccaniche dei materiali costituenti le strutture interessate dall'intervento, in relazione ad eventuali indagini specialistiche condotte o ad altro materiale disponibile, e conseguente determinazione dei livelli di conoscenza e dei corrispondenti fattori di confidenza;*

Per la muratura esistente sono adottate le caratteristiche meccaniche proposte da normativa per *mattoni pieni e malta di calce* con *livello di conoscenza LC1*.

Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019
 fm - resistenza compressione [daN/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)
 τo - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)
 fvo - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)
 E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
 G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 4000.0 (min.), 6000.0 (max.)

Essendo il **livello di conoscenza LC1** (Limitata) si utilizzano i valori medi per i moduli elastici e i valori minimi per la resistenza.

Valori di riferimento:

fm - resistenza compressione = 26.00 daN/cm²
 τo - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
 fvo - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²; E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 10 di 153

G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²

μ = fattore duttilità = 1.50 (da valori sperimentali secondo gli studi di Turnsek e Cacovic)

γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

Fattore confidenza FC = 1.35; Coef. parz. sic. γ_M = 2.00 (4.5.6.1)

f_m = 9.63 daN/cm²; τ_o = 0.19 daN/cm²; f_{vo} = 0.48 daN/cm²

Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00

E = 7500 daN/cm²; G = 2500 daN/cm²

Per **profili e piastre** è adottato **acciaio S275 o superiore**; per alcuni profili, come specificato negli elaborati grafici, è previsto **acciaio S355**. Per i **bulloni e tirafondi** l'acciaio previsto è **Cl.8.8**. **Non** si prevedono **tamponature strutturali in muratura nuova**; le tamponature delle aperture esistenti saranno realizzate in laterizi-forati o semi-pieni, in quest'ultimo caso senza ammorsamento alle esistenti. Le **nuove pareti separanti** saranno realizzate con struttura leggera in profili metallici e cartongessi.

p) *Risultati più significativi emersi dal confronto tra i livelli di sicurezza pre e post intervento, in condizioni statiche e sismiche.*

Si rimanda ai paragrafi successivi della presente.

2 RELAZIONE SUI MATERIALI STRUTTURALI

Tutti i materiali e i prodotti per uso strutturale devono essere qualificati dal produttore secondo le modalità indicate nel capitolo 11 delle NTC2018. Tali verifiche devono essere condotte dalla Direzione lavori prima della realizzazione degli interventi.

- Muratura esistente: si veda punto o) del Paragrafo 1 della presente.

- Profili e piastre: acciaio **tipo S275** (ex Fe430 - γ_a = peso specifico = 7850 daN/mc) **o superiore**.

Tensione di snervamento f_{yk} :	275 N/mm ²
Tensione di rottura f_{tk} :	360 N/mm ²
Densità ρ :	7850 kg/m ³
Coefficiente di Poisson ν :	0,3
Modulo di elasticità E:	210000 N/mm ²
Modulo di elasticità tangenziale G:	81000 N/mm ²

NOTA: per i profili UPN e per i profili IPE80 si prescrive inderogabilmente acciaio S355.

- Barre filettate:

- acciaio **Cl.8.8**;

- resina **Hilti HIT-HY 270 per muratura o equivalente**;

- resina **Hilti HIT-HY 200A per cemento armato (tasselli per vincolamento macchinari a basamenti) o equivalente**;

- Calcestruzzo per nuovi basamenti:

- **C 25/30** → per ulteriori dettagli si rimanga agli elaborati grafici allegati.

3 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

3.1 CABINA N°.1



Fotografie – Cabina n° 1

3.2 CABINA N°.4



Fotografie – Cabina n°.4

3.3 CABINA N°.2 E N°.3



Fotografie – Cabina n°.2



Fotografie – Cabina n°3

<p><i>Studio Tecnico</i> <i>Ing. Massimo Garutti</i></p>	<p>PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE</p>	<p>Rev. 02 del 19/07/21</p>
		<p>Pagina 15 di 153</p>

3.4 CABINA N°.5 E N°.10



Fotografie – Cabina n°.5



Fotografie – Cabina n°.10

3.5 CABINA N°.6



Fotografie – Cabina tipo “6”

3.6 CABINA N°. 7, N°.8, N°.9



Fotografie – Cabina n°.8



Fotografie – Cabina n°7



Fotografie – Cabina n° 9

4 ANALISI DEI CARICHI

Per l'analisi dei carichi si rimanda ai rispettivi capitoli relativi alle diverse tipologie di cabina e alle pareti interessate dagli interventi.

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 21 di 153

5 CABINA N°.1

5.1 PREMESSA

Gli interventi riguardano il tamponamento non strutturale di alcuni vani porta, la trasformazione di una finestra in porta-finestra, la realizzazione di n°.2 nuove aperture, alcune forometrie per passaggio tubazioni, la realizzazione di una parete di separazione.

5.2 TAMPONATURA APERTURE ESISTENTI

Le tamponature delle aperture esistenti saranno di tipo **non strutturale**. Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici.

5.3 TRASFORMAZIONE DI FINESTRA IN PORTA-FINESTRA

La **trasformazione** della **finestra (200x110cm)** in **porta-finestra (200x210cm)** sul fronte est è un **intervento privo di rilevanza ai fini sismici** in quanto ricade al **punto B.4.2.** della *D.G.R. ER 2272/2016 - Trasformazione di finestra in porta-finestra, e viceversa, che non ne aumenti la larghezza originaria, esclusi gli interventi sistematici che alterino in maniera sostanziale il comportamento della fascia di piano. (L1).*

5.4 NUOVE FOROMETRIE PER PASSAGGI IMPIANTISTICI

5.4.1 Parete Sud

Sulla parete Sud si rende necessaria la realizzazione di un **nuovo foro** per il passaggio di una tubazione in acciaio di diametro 320mm. La distanza del foro dall'incrocio murario è inferiore ad 1m, motivo per il quale non è possibile inquadrare l'intervento come *privo di rilevanza ai fini sismici*. L'entità della forometria è decisamente limitata; l'area è circa 0.08m^2 ($< 0.15\text{m}^2$)

Si studia la parete in condizioni pre e post intervento.

La parete presenta un'altezza minima di 2.52m (in gronda) ed un'altezza massima di 3.61m (in colmo); nelle calcolazioni si considera un'altezza media pari a 3.07m. La lunghezza della parete è 4.70m (misurato asse-asse pareti longitudinali). La copertura è ordita parallelamente alla parete; si assume comunque una larghezza di influenza canonica pari ad 1m per la definizione dei carichi sulla parete stessa. Il solaio di copertura è in latero-cemento; si può stimare un carico lineare permanente pari a $g = (2.00 + 0.04 + 0.50) \times 1.00 \approx 2.55 \times 1.00 = 2.55 \text{ kN/m}$. Il carico variabile indotto dalla neve ed utile esclusivamente alla verifica statica dell'architravatura superiore, viene assunto pari a $q = 1.30 \times 1.00 = 1.30 \text{ kN/m}$.

La parete è in muratura di mattoni pieni e malta di calce con spessore strutturale a "due teste" (28cm).

Le caratteristiche della parete e l'intervento in progetto sono i medesimi previsti per la cabina tipo "5". Risulta necessaria l'introduzione di una **cerchiatura metallica compensativa** in corrispondenza della **nuova forometria** caratterizzata da **doppi profili UPN 40x35**. Per la calcolazioni si rimanda al capitolo relativo alla cabina tipo "5".

5.4.2 Parete Ovest

Sulla parete Ovest si rende necessario realizzare **n°.3 nuove forometrie** per passaggio tubazioni in acciaio Dn200. Già in stato di fatto sono presenti n°.3 fori delle medesime dimensioni, posti però ad un'altezza inferiore e lievemente traslati in pianta. Le nuove forometrie sono poste a più di 1m di distanza dagli incroci murari. **E' possibile realizzare l'intervento, come da calcoli riportati a seguire, introducendo su una**

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 22 di 153

delle tre forometrie una cerchiatura costituita da doppi profili UPN30x15. Risulta inoltre necessario, come riportato negli elaborati tecnici, procedere alla chiusura delle precedenti aperture mediante integrazione muraria di mattoni pieni e malta di calce.

La lunghezza della parete è 10.0m (asse-asse pareti longitudinali) e l'altezza 2.52m circa. Le forometrie esistenti hanno una larghezza di 22cm ed un'altezza di 26cm (in quanto il passaggio nella muratura ha giacitura non orizzontale); le nuove forometrie sono imposte di dimensioni quadrate di lato 22cm (il passaggio nella muratura è a giacitura orizzontale).

Sulla parete insiste la copertura in latero-cemento con lunghezza di influenza di circa 1.50m (comprendendo lo sporto esterno); si può stimare un carico lineare permanente pari a $g = (2.00 + 0.04 + 0.50) \times 1.50 \approx 2.55 \times 1.50 = 3.81 \text{ kN/m}$. Il carico variabile indotto dalla neve viene assunto pari a $q = 1.30 \times 1.50 = 1.95 \text{ kN/m}$.

Tabulati di calcolo

MATERIALI

Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019
 f_m - resistenza compressione [daN/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)
 τ_o - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)
 f_{vo} - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)
 E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
 G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 4000.0 (min.), 6000.0 (max.)

Essendo il livello di conoscenza LC1 (Limitata) si utilizzano i valori medi per i moduli elastici e i valori minimi per la resistenza.

Valori di riferimento:

f_m - resistenza compressione = 26.00 daN/cm²
 τ_o - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
 f_{vo} - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²
 E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²
 G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²
 μ = fattore duttilità = 1.50 (da valori sperimentali secondo gli studi di Turnsek e Cacovic)
 γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

Fattore confidenza FC = 1.35
 Coef. parz. sic. $\gamma_M = 2.00$ (4.5.6.1)
 $f_m = 9.63 \text{ daN/cm}^2$
 $\tau_o = 0.19 \text{ daN/cm}^2$
 $f_{vo} = 0.48 \text{ daN/cm}^2$
 Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00
 $E = 7500 \text{ daN/cm}^2$
 $G = 2500 \text{ daN/cm}^2$

Materiali del telaio

Acciaio	f_{yk} [daN/cm ²]	f_{tk} [daN/cm ²]	E [daN/cm ²]	G [daN/cm ²]	γ_a [kg/mc]
S 275	2750.0	4300.0	2100000.0	807692.0	7850.0

Sezioni in acciaio del telaio

Profilo	B [cm]	H [cm]	W_x [cm ³]	W_{px} [cm ³]	W_y [cm ³]	W_{py} [cm ³]	Area [cm ²]	Peso [kg/m]
UPN30x15	1.5	3.0	1.7	2.2	0.4	0.7	2.2	1.74

CARICHI

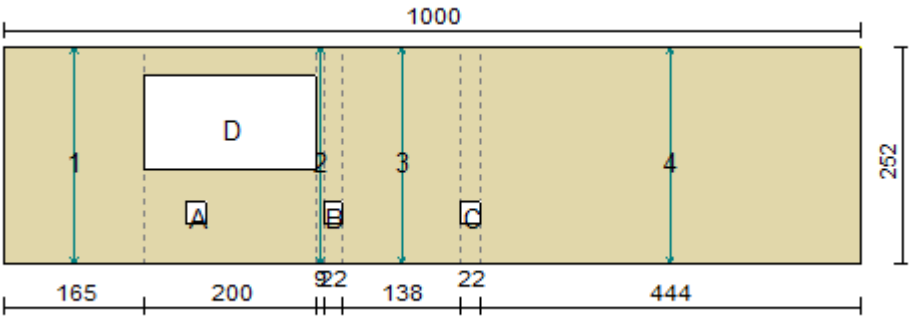
In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

Carico permanente $G_k = 381.0 \text{ daN/m}$

Carico variabile $Q_k = 195.0 \text{ daN/m}$

Per la determinazione della tensione media verticale, verranno inoltre considerati i contributi dovuti al peso proprio di metà maschio murario e delle semifasce superiori gravanti sul maschio stesso.

Ante-operam

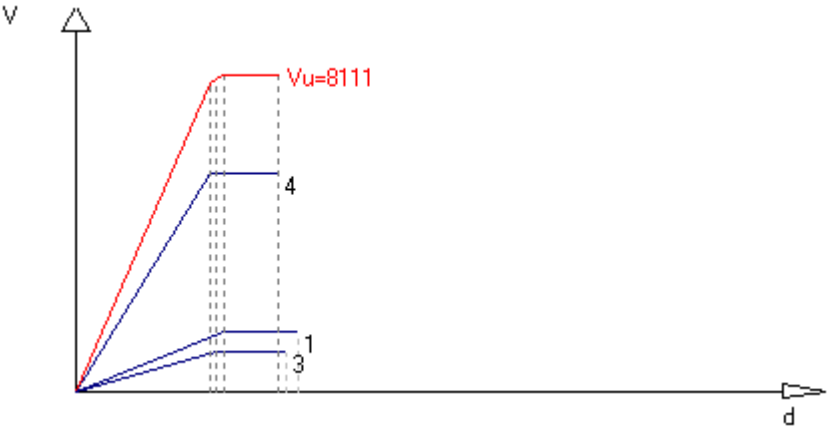


T (sp. parete) = 28.00 cm

Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	σ	Ko	Vt	Vpf	Vu	δe	δu
1	165.0	252.0	1.50	0.592	23177.2	1514.1	1661.5	1514.1	0.065	0.098
2 (*)	9.0	252.0	1.50	3.680	9.5	176.2	18.2	18.2	1.914	2.872
3	138.0	252.0	1.50	0.516	16583.5	1210.0	1023.7	1023.7	0.062	0.093
4	444.0	252.0	1.00	0.446	94336.4	5572.9	9228.1	5572.9	0.059	0.089

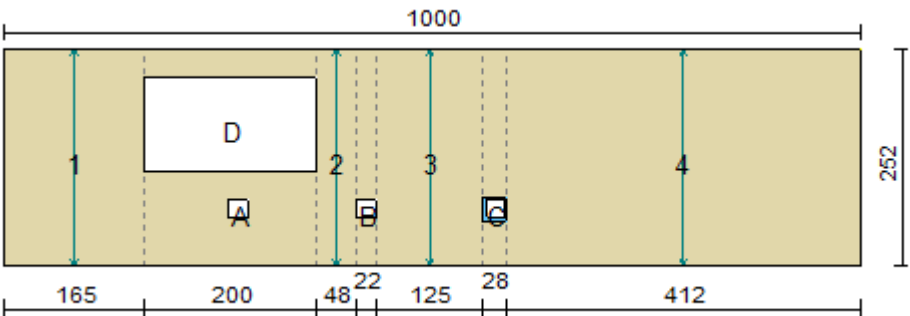
I maschi (*) hanno un valore $\delta e > 0.006 H$, non verranno pertanto considerati resistenti ai fini delle verifiche

Curva caratteristica ante-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $Ksa = 134097.1 \text{ daN/cm}$
Taglio ultimo della parete: $Vsa = 8110.7 \text{ daN}$
Spostamento ultimo: $\delta u sa = 0.089 \text{ cm}$

Post-operam



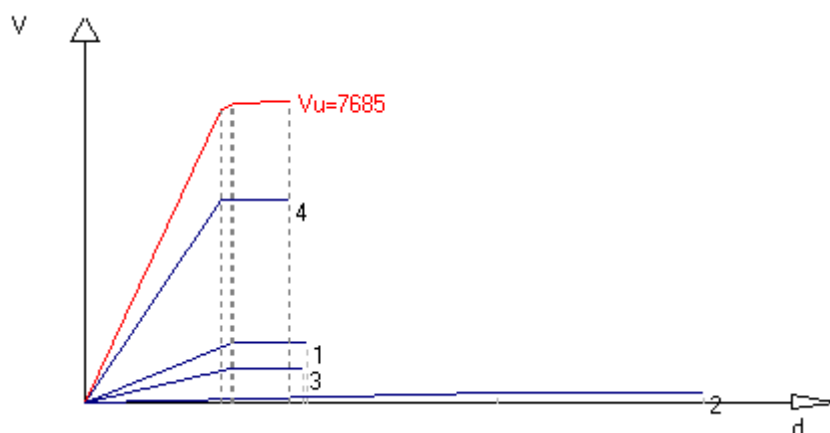
T (sp. parete) = 28.00 cm

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPA RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 24 di 153

Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
D	Libera	No	No	No
A	Libera	No	No	No
B	Libera	No	No	No
C	Cerchiata	2 UPN30x15 (S 275)		2 UPN30x15 (S 275) 2UPN30x15+2UPN30x15 (S 275)

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ_0	K_0	V_t	V_{pf}	V_u	δ_e	δ_u
1	165.0	28.00	252.0	1.50	0.592	23177.2	1514.1	1661.5	1514.1	0.065	0.098
2	48.0	28.00	252.0	1.50	1.041	1283.6	542.4	232.7	232.7	0.181	0.272
3	125.0	28.00	252.0	1.50	0.535	13591.2	1108.9	868.4	868.4	0.064	0.096
4	412.0	28.00	252.0	1.00	0.450	86392.4	5187.0	8020.0	5187.0	0.060	0.090

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 124444.4$ daN/cm

Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 7685.1$ daN

Spostamento ultimo: $\delta_{upr} = 0.090$ cm

VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 124444 - 134097 = -9653$ daN/cm (riduzione rigidezza = -7.2%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 7685 - 8111 = -426$ daN (riduzione resistenza = -5.2%)

Rigidezza e resistenza del telaio:

Note:

$K = c E J / H_i^3$, con: $c = 3$ nel caso di telaio incernierato alla base, $c = 12$ nel caso di incastro

$F_o = K \delta_{min}$

Telaio	c	H_i [cm]	K [daN/cm]	M_u [daN cm]	δ_{min} [cm]	F_o [daN]
C	12	25.00	16325.2	17673.8	0.09	1470.3

$K_t = \Sigma K = 16325$ daN/cm

$V_t = \Sigma F_o = 1470$ daN

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

$\Delta K_{tot} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = 6672$ daN/cm

aumento rigidezza = 5.0%; variazione percentuale di ΔK_{tot} compresa entro il 15.0% Ok

$\Delta V_{tot} = V_{pr} + V_t - V_{sa} = 1045$ daN

aumento resistenza = 12.9%; $\Delta V_{tot} > 0$ Ok

VERIFICA ARCHITRAVI IN ACCIAIO

La verifica si riferisce alla fase di montaggio nel momento in cui è già stata rimossa la muratura, ma le architravi non sono ancora collegate ai montanti.

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Rev. 02 del 19/07/21
			Pagina 25 di 153

2 architravi	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Jx [cm ⁴]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
UPN30x15	1.5	3.0	1.7	2.5	2.2	1.4	0.40	0.45	0.45

Luce di calcolo L = 25.0 cm

P.P. architrave PPa = 0.035 daN/cm

P.P. fascia muratura PPm = 8.618 daN/cm

Carico permanente trasmesso dalla sovrastruttura Gk = 3.81 daN/cm

Carico variabile trasmesso dalla sovrastruttura Qk = 1.95 daN/cm

$q_{SLU} = 1.3 (Gk + PPa + PPm) + 1.5 Qk = 19.13 \text{ daN/cm}$

$q_{SLE \text{ Rare}} = G1 + G2 + PPa + PPm + 0.7 Qk = 13.8 \text{ daN/cm}$ ($\psi_0 = 0.7$)

$M_{Ed} = (q_{SLU} L^2) / 8 = 1494.3 \text{ daN cm}$

$M_{cRd} = Wx f_{yd} = 8836.9 \text{ daN cm}$

$M_{Ed} / M_{cRd} = 0.1691 < 1 \text{ Ok}$

$V_{Ed} = (q_{SLU} L) / 2 = 239.09 \text{ daN}$

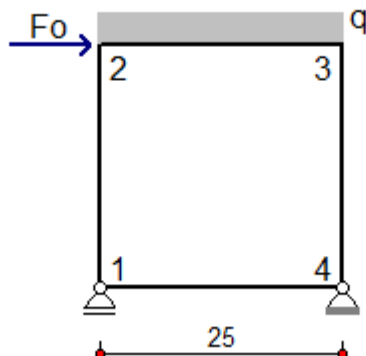
$V_{cRd} = Av f_{yd} / \sqrt{3} = 4379.61 \text{ daN}$

$V_{Ed} / V_{cRd} = 0.0546 < 1 \text{ Ok}$

Freccia = $(5/384) (q_{SLE} L^4) / (E Jx) = 0.0066 \text{ cm} < L/500 = 0.0500 \text{ cm Ok}$

Verifiche dei telai.

Telaio C



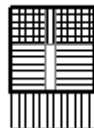
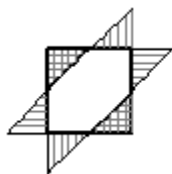
$Fo = 1470.25 \text{ daN}$, $q = Gk + \psi_2 Qk = 5.42 \text{ daN/cm}$ ($\psi_2 = 0.00$)

Sollecitazioni telaio C

Momento flettente

Sforzo normale

Taglio



Sollecitazione di compressione per $N > 0$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-2

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-2	1	0.0	-9203.1	-662.0	726.6
	2	2.1	-7689.4	-662.1	726.6
	3	4.2	-6175.7	-662.2	726.6
	4	6.3	-4662.0	-662.2	726.6
	5	8.3	-3148.2	-662.3	726.6
	6	10.4	-1634.5	-662.4	726.6
	7	12.5	-120.8	-662.5	726.6
	8	14.6	1393.0	-662.5	726.6

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO						Rev. 02 del 19/07/21		
	RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE						Pagina 26 di 153		

9	16.7	2906.7	-662.6	726.6
10	18.8	4420.4	-662.7	726.6
11	20.8	5934.2	-662.7	726.6
12	22.9	7447.9	-662.8	726.6
13	25.0	8961.6	-662.9	726.6

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
UPN30x15	1.5	3.0	1.7	2.2	2.2	1.4	0.40	0.45	0.45

Verifiche per sezioni UPN attualmente non disponibili

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	8961.6	743.7	-662.9
	2	2.1	7568.7	743.7	-674.3
	3	4.2	6152.2	743.7	-685.6
	4	6.3	4711.9	743.7	-697.0
	5	8.3	3248.0	743.7	-708.4
	6	10.4	1760.4	743.7	-719.7
	7	12.5	249.1	743.7	-731.1
	8	14.6	-1285.9	743.7	-742.5
	9	16.7	-2844.6	743.7	-753.9
	10	18.8	-4427.0	743.7	-765.2
	11	20.8	-6033.0	743.7	-776.6
	12	22.9	-7662.8	743.7	-788.0
	13	25.0	-9316.2	743.7	-799.3

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
UPN30x15	1.5	3.0	1.7	2.2	2.2	1.4	0.40	0.45	0.45

Verifiche per sezioni UPN attualmente non disponibili

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-9316.2	799.3	743.7
	2	2.1	-7766.9	799.4	743.7
	3	4.2	-6217.6	799.5	743.7
	4	6.3	-4668.3	799.5	743.7
	5	8.3	-3119.0	799.6	743.7
	6	10.4	-1569.7	799.7	743.7
	7	12.5	-20.5	799.8	743.7
	8	14.6	1528.8	799.8	743.7
	9	16.7	3078.1	799.9	743.7
	10	18.8	4627.4	800.0	743.7
	11	20.8	6176.7	800.1	743.7
	12	22.9	7726.0	800.1	743.7
	13	25.0	9275.3	800.2	743.7

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
UPN30x15	1.5	3.0	1.7	2.2	2.2	1.4	0.40	0.45	0.45

Verifiche per sezioni UPN attualmente non disponibili

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-4	1	0.0	9203.1	726.6	-738.7
	2	2.1	7664.1	726.6	-738.8
	3	4.2	6124.9	726.6	-738.8
	4	6.3	4585.6	726.6	-738.9
	5	8.3	3046.1	726.6	-739.0
	6	10.4	1506.4	726.6	-739.1
	7	12.5	-33.4	726.6	-739.1
	8	14.6	-1573.3	726.6	-739.2
	9	16.7	-3113.4	726.6	-739.3
	10	18.8	-4653.7	726.6	-739.4

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO				Rev. 02 del 19/07/21
	RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE				Pagina 27 di 153

11	20.8	-6194.0	726.6	-739.4
12	22.9	-7734.6	726.6	-739.5
13	25.0	-9275.3	726.6	-739.6

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
UPN30x15	1.5	3.0	1.7	2.2	2.2	1.4	0.40	0.45	0.45

Nota (*): non essendo possibile collegare le travi mediante calastrelli nel lato verso la muratura, le verifiche saranno eseguite su profili semplici dividendo le sollecitazioni per il numero delle sezioni presenti nel tratto.

5.5 NUOVI BASAMENTI IN C.A.

I nuovi basamenti in c.a. a supporto dei macchinari (pompe, gruppo di pressurizzazione) possono essere inquadrati quali **interventi privi di rilevanza ai fini sismici** in analogia al **punto A.6.1** della *D.G.R. ER 2272/2016* – “A.6.1. Realizzazione di rampe, solette, pavimentazioni appoggiate a terra. (L0)”.

I basamenti esistenti saranno completamente demoliti e rimossi.

I nuovi basamenti in progetto per la cabina tipo “1” saranno n°.4 di cui n°.1 di dimensioni in pianta 90x165cm e n°.3 di dimensioni 90x200cm.

Le dimensioni in pianta dei basamenti sono già definite dal progettista elettromeccanico.

Si ritiene di mantenere l'**altezza complessiva** dei basamenti pari a **60cm** ed **armature longitudinali e trasversali Φ14** a **passo 20cm** sia **superiormente** sia **inferiormente**. Il **calcestruzzo di progetto** è **C25/30**. I calcoli si omettono in quanto i medesimi già sviluppati in precedenza per la Cabina “2”.

5.6 NUOVE APERTURE

Le **nuove aperture** devono essere realizzate entrambe sul fronte nord e di dimensioni nette, rispettivamente, **150x215cm** e **120x215cm**. La prima è un **vano porta** di accesso al locale *MT* mentre la seconda è un **vano porta** di accesso al locale *Enel*.

La parete muraria presenta **spessore strutturale 28cm** ed è in **mattoni pieni e malta di calce**.

Relativamente all'**altezza** della **parete**, sia assume quella prevalente relativa al *Vano Mt* e pari a circa **4.40m** (da piano campagna a sommità muratura in asse parete). La **lunghezza** della **parete** interessata dagli interventi è pari a **6.60m** (misurata asse-asse murature ortogonali). Sulla parete insiste una copertura in latero-cemento con lunghezza di influenza di circa 1.00m; si può stimare un carico lineare permanente pari a $g = (2.00 + 0.04 + 0.50) \times 1.00 \approx 2.55 \times 1.00 = 2.55 \text{ kN/m}$. Il carico variabile indotto dalla neve ed utile esclusivamente alla verifica statica dell'architravatura superiore, viene assunto pari a $q = 1.30 \times 1.00 = 1.30 \text{ kN/m}$.

I risultati del calcolo evidenziano la necessità di realizzare:

- una **cerchiatura metallica compensativa** con **doppi profili HEB120** per il **nuovo vano porta**;
- una **cerchiatura metallica compensativa** con **tripli profili IPE80** per la **nuova apertura per areazione**.

Tabulati di calcolo

MATERIALI

Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019
 fm - resistenza compressione [daN/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)
 τo - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)
 fvo - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 28 di 153

E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 4000.0 (min.), 6000.0 (max.)

Essendo il livello di conoscenza LC1 (Limitata) si utilizzano i valori medi per i moduli elastici e i valori minimi per la resistenza.

Valori di riferimento:

f_m - resistenza compressione = 26.00 daN/cm²
 τ_o - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
f_{vo} - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²
E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²
G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²
 μ = fattore duttilità = 1.50 (da valori sperimentali secondo gli studi di Turnsek e Cacovic)
 γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

Fattore confidenza FC = 1.35
Coef. parz. sic. γ_M = 2.00 (4.5.6.1)
f_m = 9.63 daN/cm²
 τ_o = 0.19 daN/cm²
f_{vo} = 0.48 daN/cm²
Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00
E = 7500 daN/cm²
G = 2500 daN/cm²

Materiali dei telai

Acciaio	f _{yk} [daN/cm ²]	f _{tk} [daN/cm ²]	E [daN/cm ²]	G [daN/cm ²]	γ_a [kg/mc]
S 275	2750.0	4300.0	2100000.0	807692.0	7850.0

Sezioni in acciaio dei telai

Profilo	B [cm]	H [cm]	W _x [cm ³]	W _{px} [cm ³]	W _y [cm ³]	W _{py} [cm ³]	Area [cm ²]	Peso [kg/m]
IPE240	12.0	24.0	324.5	366.9	47.3	73.9	39.1	30.73
HE120B	12.0	12.0	144.1	165.3	52.9	81.0	34.0	26.71

CARICHI

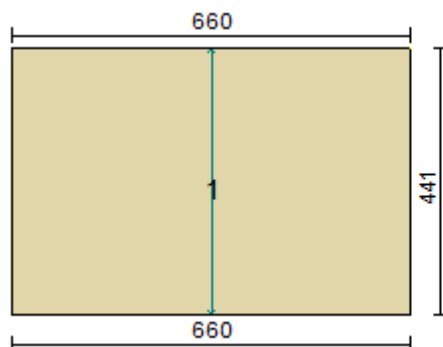
In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

Carico permanente G_k = 255.0 daN/m

Carico variabile Q_k = 130.0 daN/m

Per la determinazione della tensione media verticale, verranno inoltre considerati i contributi dovuti al peso proprio di metà maschio murario e delle semifasce superiori gravanti sul maschio stesso.

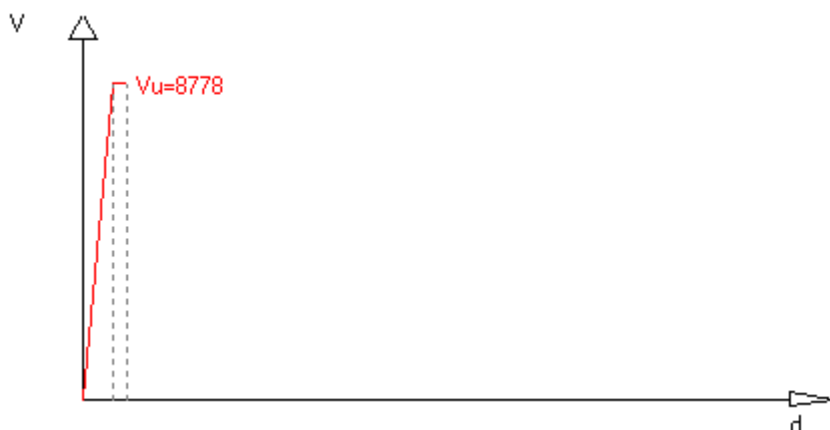
Ante-operam



T (sp. parete) = 28.00 cm

Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	σ_o	Ko	Vt	Vpf	Vu	δ_e	δ_u
1	660.0	441.0	1.00	0.534	77669.2	8778.1	13815.0	8778.1	0.113	0.170

Curva caratteristica ante-operam:

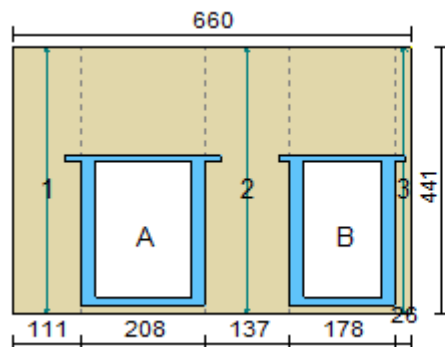


Rigidezza complessiva della parete: $K_{sa} = 77669.2 \text{ daN/cm}$

Taglio ultimo della parete: $V_{sa} = 8778.1 \text{ daN}$

Spostamento ultimo: $\delta u_{sa} = 0.170 \text{ cm}$

Post-operam

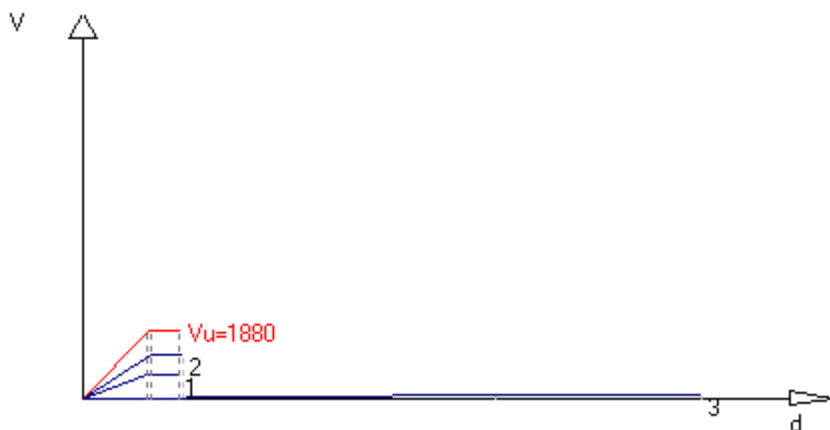


$T \text{ (sp. parete) } = 28.00 \text{ cm}$

Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
A	Cerchiata	2 HE120B (S 275)	2 HE120B (S 275)	2 IPE240+2 IPE240 (S 275)
B	Cerchiata	2 HE120B (S 275)	2 HE120B (S 275)	2 IPE240+2 IPE240 (S 275)

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ_0	K_0	V_t	V_{pf}	V_u	δ_e	δ_u
1	111.0	28.00	441.0	1.50	0.962	2726.8	1215.9	664.0	664.0	0.243	0.365
2	137.0	28.00	441.0	1.50	1.177	4672.6	1625.7	1200.9	1200.9	0.257	0.386
3	26.0	28.00	441.0	1.50	2.096	42.5	394.1	66.9	66.9	1.574	2.362

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 7441.9 \text{ daN/cm}$

Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 1880.3 \text{ daN}$

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 30 di 153

Spostamento ultimo: $\delta u_{pr} = 0.365 \text{ cm}$

VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 7442 - 77669 = -70227 \text{ daN/cm}$ (riduzione rigidezza = -90.4%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 1880 - 8778 = -6898 \text{ daN}$ (riduzione resistenza = -78.6%)

Rigidezza e resistenza dei telai:

Note:

$K = c E J / H_i^3$, con: $c = 3$ nel caso di telaio incernierato alla base, $c = 12$ nel caso di incastro

$F_o = K \delta_{min}$

Telaio	c	H_i [cm]	K [daN/cm]	M_u [daN cm]	δ_{min} [cm]	F_o [daN]
A	12	237.00	29484.5	3399387.0	0.37	10769.0
B	12	237.00	29484.5	3399387.0	0.37	10769.0

$K_t = \Sigma K = 58969 \text{ daN/cm}$

$V_t = \Sigma F_o = 21538 \text{ daN}$

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

$\Delta K_{tot} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = -11258 \text{ daN/cm}$

riduzione rigidezza = -14.5%; variazione percentuale di ΔK_{tot} compresa entro il 15.0% Ok

$\Delta V_{tot} = V_{pr} + V_t - V_{sa} = 14640 \text{ daN}$

aumento resistenza = 166.8%; $\Delta V_{tot} > 0$ Ok

VERIFICA ARCHITRAVI IN ACCIAIO

La verifica si riferisce alla fase di montaggio nel momento in cui è già stata rimossa la muratura, ma le architravi non sono ancora collegate ai montanti.

2 architravi	B [cm]	H [cm]	W_x [cm ³]	J_x [cm ⁴]	A [cm ²]	A_v [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120B	12.0	12.0	144.1	864.6	34.0	11.0	0.65	1.10	1.20

Luce di calcolo $L = 184.0 \text{ cm}$

P.P. architrave $PP_a = 0.534 \text{ daN/cm}$

P.P. fascia muratura $PP_m = 8.921 \text{ daN/cm}$

Carico permanente trasmesso dalla sovrastruttura $G_k = 2.55 \text{ daN/cm}$

Carico variabile trasmesso dalla sovrastruttura $Q_k = 1.30 \text{ daN/cm}$

$q_{SLU} = 1.3 (G_k + PP_a + PP_m) + 1.5 Q_k = 17.56 \text{ daN/cm}$

$q_{SLE \text{ Rare}} = G_1 + G_2 + PP_a + PP_m + 0.7 Q_k = 12.9 \text{ daN/cm}$ ($\psi_0 = 0.7$)

$M_{Ed} = (q_{SLU} L^2) / 8 = 74299.3 \text{ daN cm}$

$M_{cRd} = W_x f_{yd} = 754837.0 \text{ daN cm}$

$M_{Ed} / M_{cRd} = 0.0984 < 1$ Ok

$V_{Ed} = (q_{SLU} L) / 2 = 1615.20 \text{ daN}$

$V_{cRd} = A_v f_{yd} / \sqrt{3} = 33187.79 \text{ daN}$

$V_{Ed} / V_{cRd} = 0.0487 < 1$ Ok

Freccia = $(5/384) (q_{SLE} L^4) / (E J_x) = 0.0531 \text{ cm} < L/500 = 0.3680 \text{ cm}$ Ok

2 architravi	B [cm]	H [cm]	W_x [cm ³]	J_x [cm ⁴]	A [cm ²]	A_v [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120B	12.0	12.0	144.1	864.6	34.0	11.0	0.65	1.10	1.20

Luce di calcolo $L = 154.0 \text{ cm}$

P.P. architrave $PP_a = 0.534 \text{ daN/cm}$

P.P. fascia muratura $PP_m = 8.921 \text{ daN/cm}$

Carico permanente trasmesso dalla sovrastruttura $G_k = 2.55 \text{ daN/cm}$

Carico variabile trasmesso dalla sovrastruttura $Q_k = 1.30 \text{ daN/cm}$

$q_{SLU} = 1.3 (G_k + PP_a + PP_m) + 1.5 Q_k = 17.56 \text{ daN/cm}$

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 31 di 153

$$q_{SLE\ Rare} = G1 + G2 + PPa + PPm + 0.7 Qk = 12.9 \text{ daN/cm} \quad (\psi_0 = 0.7)$$

$$M_{Ed} = (q_{SLU} L^2) / 8 = 52046.4 \text{ daN cm}$$

$$M_{cRd} = Wx_{fyd} = 754837.0 \text{ daN cm}$$

$$M_{Ed} / M_{cRd} = 0.0690 < 1 \text{ Ok}$$

$$V_{Ed} = (q_{SLU} L) / 2 = 1351.85 \text{ daN}$$

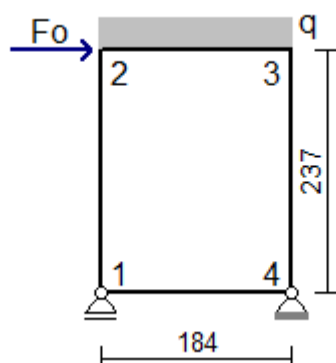
$$V_{cRd} = A_v f_{yd} / \sqrt{3} = 33187.79 \text{ daN}$$

$$V_{Ed} / V_{cRd} = 0.0407 < 1 \text{ Ok}$$

$$\text{Freccia} = (5/384) (q_{SLE} L^4) / (E J_x) = 0.0260 \text{ cm} < L/500 = 0.3080 \text{ cm Ok}$$

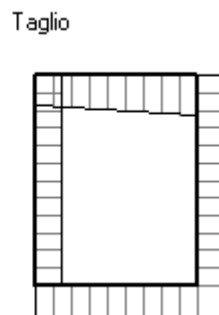
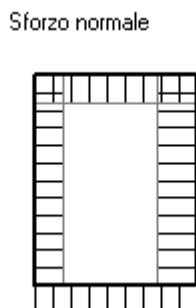
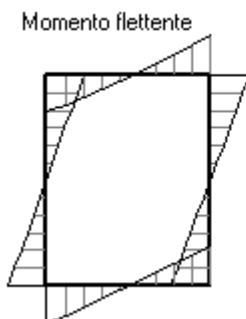
Verifiche dei telai.

Telaio A



$$F_o = 10768.97 \text{ daN}, \quad q = Gk + \psi_2 Qk = 11.47 \text{ daN/cm} \quad (\psi_2 = 0.00)$$

Sollecitazioni telaio A



Sollecitazione di compressione per $N > 0$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-2

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-2	1	0.0	-637967.0	-5647.9	5248.4
	2	19.8	-534310.4	-5660.1	5248.4
	3	39.5	-430653.9	-5672.2	5248.4
	4	59.3	-326997.3	-5684.3	5248.4
	5	79.0	-223340.8	-5696.5	5248.4
	6	98.8	-119684.2	-5708.6	5248.4
	7	118.5	-16027.7	-5720.7	5248.4
	8	138.3	87628.9	-5732.9	5248.4
	9	158.0	191285.5	-5745.0	5248.4
	10	177.8	294942.0	-5757.1	5248.4
	11	197.5	398598.6	-5769.3	5248.4
	12	217.3	502255.1	-5781.4	5248.4
	13	237.0	605911.7	-5793.6	5248.4

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE240	12.0	24.0	324.5	366.9	39.1	19.2	0.62	0.98	1.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-2

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 32 di 153

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 2624,2 daN
Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{MO} \sqrt{3}) = 28978.02 \text{ daN}$
 $V_{ed} / V_{crd} = 0.091 < 1$ Ok

Tenso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -318983,5 daNcm, Ned = -2824,0 daN, Ved = 2624,2 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.46$, $\psi = -1.09$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.28 < 9$ $\varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 30.71 < 36$ $\varepsilon / \alpha = 72.90$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{MO} = 102500.1 \text{ daN}$

$n = N_{ed} / N_{rd} = -0.028$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.399$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{MO} = 960814.9 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 1233356.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$Med / M_{nrd} = 0.33 < 1$ Ok

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	605911.7	5520.5	-5793.6
	2	20.4	484956.8	5520.5	-6039.0
	3	40.9	358984.2	5520.5	-6284.4
	4	61.3	227993.8	5520.5	-6529.9
	5	81.8	91985.6	5520.5	-6775.3
	6	102.2	-49040.2	5520.5	-7020.7
	7	122.7	-195083.9	5520.5	-7266.2
	8	143.1	-346145.3	5520.5	-7511.6
	9	163.6	-502224.4	5520.5	-7757.0
	10	184.0	-663321.3	5520.5	-8002.5

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	W _x [cm ³]	W _{px} [cm ³]	A [cm ²]	A _v [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120B	12.0	12.0	144.1	165.3	34.0	11.0	0.65	1.10	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 2-3

Taglio: sez. 10, dist. = 184,0 cm, Ved = -4001,2 daN
Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{MO} \sqrt{3}) = 16593.90 \text{ daN}$
 $V_{ed} / V_{crd} = 0.241 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 10, dist. = 184,0 cm, Med = -331660,7 daNcm, Ned = 2760,3 daN, Ved = -4001,2 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.60$, $\psi = -0.86$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.07 < 9$ $\varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 11.38 < 396$ $\varepsilon / (13 \alpha - 1) = 53.39$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{MO} = 89097.4 \text{ daN}$

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.031$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.224$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{MO} = 432849.3 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 472332.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$Med / M_{nrd} = 0.77 < 1$ Ok

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 302955,8 daNcm, Ned = 2760,3 daN, Ved = -2896,8 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 529315.3 \text{ daN}$

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$ Verifica non richiesta

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-663321.3	8002.5	5520.5
	2	19.8	-554290.7	8014.6	5520.5
	3	39.5	-445260.1	8026.7	5520.5
	4	59.3	-336229.5	8038.9	5520.5
	5	79.0	-227198.9	8051.0	5520.5

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO					Rev. 02 del 19/07/21			
	RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE					Pagina 33 di 153			

6	98.8	-118168.3	8063.1	5520.5
7	118.5	-9137.7	8075.3	5520.5
8	138.3	99892.9	8087.4	5520.5
9	158.0	208923.5	8099.5	5520.5
10	177.8	317954.1	8111.7	5520.5
11	197.5	426984.7	8123.8	5520.5
12	217.3	536015.3	8135.9	5520.5
13	237.0	645045.9	8148.1	5520.5

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE240	12.0	24.0	324.5	366.9	39.1	19.2	0.62	0.98	1.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 3-4

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 2760,3 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{MO} \sqrt{3}) = 28978.02 \text{ daN}$

Ved / $V_{crd} = 0.095 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -331660,7 daNcm, Ned = 4001,2 daN, Ved = 2760,3 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.56$, $\psi = -0.88$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.28 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 30.71 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 58.10$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{MO} = 102500.1 \text{ daN}$

$n = Ned / N_{rd} = 0.039$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.399$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{MO} = 960814.9 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 1153432.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

Med / $M_{nrd} = 0.35 < 1$ Ok

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-4	1	0.0	637967.0	5248.4	-6923.8
	2	20.4	496302.9	5248.4	-6934.7
	3	40.9	354415.7	5248.4	-6945.6
	4	61.3	212305.2	5248.4	-6956.5
	5	81.8	69971.5	5248.4	-6967.4
	6	102.2	-72585.5	5248.4	-6978.4
	7	122.7	-215365.7	5248.4	-6989.3
	8	143.1	-358369.3	5248.4	-7000.2
	9	163.6	-501595.9	5248.4	-7011.1
	10	184.0	-645045.9	5248.4	-7022.0

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120B	12.0	12.0	144.1	165.3	34.0	11.0	0.65	1.10	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-4

Taglio: sez. 10, dist. = 184,0 cm, Ved = -3511,0 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{MO} \sqrt{3}) = 16593.90 \text{ daN}$

Ved / $V_{crd} = 0.212 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 10, dist. = 184,0 cm, Med = -322522,9 daNcm, Ned = 2624,2 daN, Ved = -3511,0 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.60$, $\psi = -0.87$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.07 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 11.38 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 53.92$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{MO} = 89097.4 \text{ daN}$

$n = Ned / N_{rd} = 0.029$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.224$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{MO} = 432849.3 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 473076.3 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

Med / $M_{nrd} = 0.75 < 1$ Ok

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 34 di 153

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 318983,5 daNcm, Ned = 2624,2 daN, Ved = -3461,9 daN

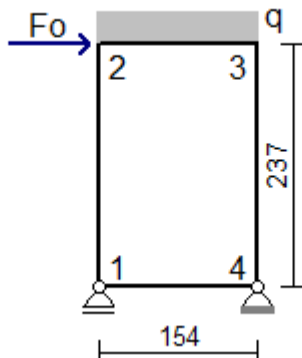
Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 529315.3 \text{ daN}$$

Ned < 0.04 Ncr => Verifica non richiesta

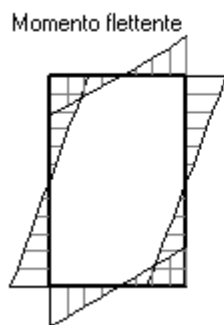
Nota (*): non essendo possibile collegare le travi mediante calastrelli nel lato verso la muratura, le verifiche saranno eseguite su profili semplici dividendo le sollecitazioni per il numero delle sezioni presenti nel tratto.

Telaio B

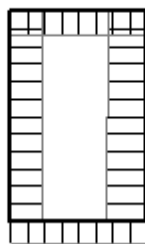


$$F_o = 10768.97 \text{ daN}, \quad q = G_k + \psi_2 Q_k = 11.47 \text{ daN/cm} \quad (\psi_2 = 0.00)$$

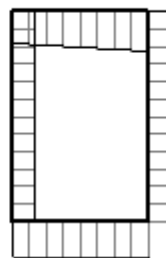
Sollecitazioni telaio B



Sforzo normale



Taglio



Sollecitazione di compressione per N > 0

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-2

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-2	1	0.0	-640778.6	-7146.7	5290.8
	2	19.8	-536285.9	-7158.8	5290.8
	3	39.5	-431793.3	-7171.0	5290.8
	4	59.3	-327300.6	-7183.1	5290.8
	5	79.0	-222808.0	-7195.3	5290.8
	6	98.8	-118315.3	-7207.4	5290.8
	7	118.5	-13822.7	-7219.5	5290.8
	8	138.3	90670.0	-7231.7	5290.8
	9	158.0	195162.7	-7243.8	5290.8
	10	177.8	299655.3	-7255.9	5290.8
	11	197.5	404148.0	-7268.1	5290.8
	12	217.3	508640.6	-7280.2	5290.8
	13	237.0	613133.3	-7292.3	5290.8

2 sez. *	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE240	12.0	24.0	324.5	366.9	39.1	19.2	0.62	0.98	1.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-2

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 2645,4 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 28978.02 \text{ daN}$

Ved / Vcrd = 0.091 < 1 Ok

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 35 di 153

Tenso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -320389,3 daNcm, Ned = -3573,4 daN, Ved = 2645,4 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (cw a f_{yk}))) = 0.44, \quad \psi = -1.12$$

Ali in compressione: $cf / e = 4.28 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $cw / a = 30.71 < 36 \varepsilon / \alpha = 74.79$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$Nrd = A f_{yk} / \gamma_{MO} = 102500.1 \text{ daN}$$

$$n = Ned / Nrd = -0.035, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.399$$

$$Mrd = W_{px} f_{yk} / \gamma_{MO} = 960814.9 \text{ daNcm}$$

$$Mnrd = Mrn (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 1242132.0 \text{ daNcm} > Mrd \Rightarrow Mnrd = Mrd$$

$$Med / Mnrd = 0.33 < 1 \quad \text{Ok}$$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	613133.3	5478.2	-7292.3
	2	19.3	470531.6	5478.2	-7523.4
	3	38.5	323481.3	5478.2	-7754.5
	4	57.8	171982.4	5478.2	-7985.6
	5	77.0	16034.9	5478.2	-8216.7
	6	96.3	-144361.1	5478.2	-8447.8
	7	115.5	-309205.7	5478.2	-8678.9
	8	134.8	-478498.8	5478.2	-8910.0
	9	154.0	-652240.5	5478.2	-9141.1

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120B	12.0	12.0	144.1	165.3	34.0	11.0	0.65	1.10	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 2-3

Taglio: sez. 9, dist. = 154,0 cm, Ved = -4570,5 daN

$$\text{Taglio resistente: } V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{MO} \sqrt{3}) = 16593.90 \text{ daN}$$

$$Ved / V_{crd} = 0.275 < 1 \quad \text{Ok}$$

Presso-flessione: sez. 9, dist. = 154,0 cm, Med = -326120,3 daNcm, Ned = 2739,1 daN, Ved = -4570,5 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (cw a f_{yk}))) = 0.60, \quad \psi = -0.86$$

Ali in compressione: $cf / e = 4.07 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $cw / a = 11.38 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 53.47$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$Nrd = A f_{yk} / \gamma_{MO} = 89097.4 \text{ daN}$$

$$n = Ned / Nrd = 0.031, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.224$$

$$Mrd = W_{px} f_{yk} / \gamma_{MO} = 432849.3 \text{ daNcm}$$

$$Mnrd = Mrn (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 472447.8 \text{ daNcm} > Mrd \Rightarrow Mnrd = Mrd$$

$$Med / Mnrd = 0.75 < 1 \quad \text{Ok}$$

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 306566,7 daNcm, Ned = 2739,1 daN, Ved = -3646,2 daN

Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 755629.1 \text{ daN}$$

$$Ned < 0.04 N_{cr} \Rightarrow \text{Verifica non richiesta}$$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-652240.5	9141.1	5478.2
	2	19.8	-544046.0	9153.2	5478.2
	3	39.5	-435851.5	9165.4	5478.2
	4	59.3	-327657.0	9177.5	5478.2
	5	79.0	-219462.5	9189.6	5478.2
	6	98.8	-111268.0	9201.8	5478.2
	7	118.5	-3073.6	9213.9	5478.2
	8	138.3	105120.9	9226.0	5478.2
	9	158.0	213315.4	9238.2	5478.2
	10	177.8	321509.9	9250.3	5478.2
	11	197.5	429704.4	9262.4	5478.2
	12	217.3	537898.9	9274.6	5478.2

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO					Rev. 02 del 19/07/21			
	RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE					Pagina 36 di 153			

	13		237.0		646093.4		9286.7		5478.2
2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE240	12.0	24.0	324.5	366.9	39.1	19.2	0.62	0.98	1.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 3-4

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 2739,1 daN
 Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{MO} \sqrt{3}) = 28978.02 \text{ daN}$
 $Ved / V_{crd} = 0.095 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -326120,3 daNcm, Ned = 4570,5 daN, Ved = 2739,1 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.57$, $\psi = -0.87$

Ali in compressione: $cf / e = 4.28 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 30.71 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 57.06$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{MO} = 102500.1 \text{ daN}$

$n = Ned / N_{rd} = 0.045$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.399$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{MO} = 960814.9 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 1146766.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$Med / M_{nrd} = 0.34 < 1$ Ok

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-4	1	0.0	640778.6	5290.8	-8315.2
	2	19.3	480612.3	5290.8	-8325.5
	3	38.5	320248.1	5290.8	-8335.7
	4	57.8	159686.0	5290.8	-8346.0
	5	77.0	-1074.1	5290.8	-8356.3
	6	96.3	-162032.0	5290.8	-8366.6
	7	115.5	-323187.9	5290.8	-8376.9
	8	134.8	-484541.7	5290.8	-8387.2
	9	154.0	-646093.4	5290.8	-8397.4

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120B	12.0	12.0	144.1	165.3	34.0	11.0	0.65	1.10	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-4

Taglio: sez. 9, dist. = 154,0 cm, Ved = -4198,7 daN
 Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{MO} \sqrt{3}) = 16593.90 \text{ daN}$
 $Ved / V_{crd} = 0.253 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 9, dist. = 154,0 cm, Med = -323046,7 daNcm, Ned = 2645,4 daN, Ved = -4198,7 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.60$, $\psi = -0.86$

Ali in compressione: $cf / e = 4.07 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 11.38 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 53.83$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{MO} = 89097.4 \text{ daN}$

$n = Ned / N_{rd} = 0.030$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.224$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{MO} = 432849.3 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 472960.5 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$Med / M_{nrd} = 0.75 < 1$ Ok

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 320389,3 daNcm, Ned = 2645,4 daN, Ved = -4157,6 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 755629.1 \text{ daN}$

$Ned < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$ Verifica non richiesta

Nota (*): non essendo possibile collegare le travi mediante calastrelli nel lato verso la muratura, le verifiche saranno eseguite su profili semplici dividendo le sollecitazioni per il numero delle sezioni presenti nel tratto.

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 37 di 153

Verifica connessioni acciaio-acciaio: saldature a cordone d'angolo

I giunti sono tutti di tipo saldato. Lo schema statico è quello di maglia chiusa con vincoli d'incastro tra correnti e montanti. La verifica del telaio e dei profili è già stata eseguita; si riprende la schematizzazione del telaio e si verifica il giunto caratterizzato da taglio e momento resistenti maggiori.

- Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 28978.02 \text{ daN} \approx \mathbf{290 \text{ kN}}$

- $M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 1242132 \text{ daNcm} \approx \mathbf{124.2 \text{ kNm}}$

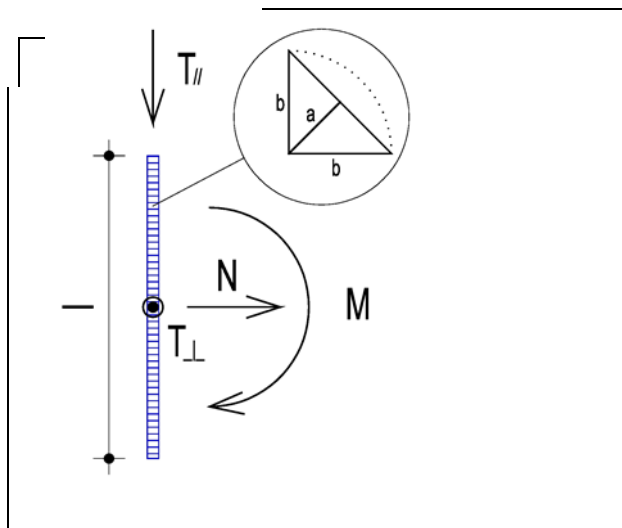
Si precisa che i giunti saranno saldati lungo tutto il perimetro utile di contatto tra i profili.

Verifica a taglio

Per la **verifica a taglio** si assumono reagenti i soli cordoni di saldatura paralleli all'anima; in ragione dei montanti in profili IPE240, tali cordoni presentano ciascuno una lunghezza di 19cm (190mm). Si adottano **cordoni di saldatura con lato 21mm** e quindi **gola** di circa **15mm**. La verifica a taglio risulta **soddisfatta**.

Sollecitazioni	
N (N)	0
$T_{//}$ (N)	290000
T_{\perp} (N)	0
M (Nmm)	0

Dati saldatura	
Acciaio	S275
b (mm)	21,2
l (mm)	190
n° cordoni	2
γ_{M2}	1,25
a (mm)	14,99



f_{yk} (N/mm ²)	275
f_{tk} (N/mm ²)	430

Verifica con formula 4.2.82

$$F_{w,Ed}/F_{w,Rd} \leq 1 \text{ con } F_{w,Rd} = a \cdot f_{tk} / (\sqrt{3} \cdot \beta \cdot \gamma_{M2})$$

β_w	0,85
$f_{vw,d}$ (N/mm ²)	233,657
$F_{T//}$ (N/mm)	763,158
$F_{T_{\perp}}$ (N/mm)	0,000

$F_{T \text{ TOT}}$ (N/mm)	763,158
$F_{\perp N}$ (N/mm)	0,000
$F_{\perp M}$ (N/mm)	0,000
$F_{\perp \text{ TOT}}$ (N/mm)	0,000

$F_{w,Ed}$ (N/mm)	763,158
$F_{w,Rd}$ (N/mm)	3502,674

S/R	OK
0,218	

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 38 di 153

Verifica con formula 4.2.84 e 4.2.85

$$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)} \leq \beta_1 \cdot f_{yk}$$

$$|n_{\perp}| + |t_{\perp}| \leq \beta_2 \cdot f_{yk}$$

β_1	0,7
β_2	0,85
$t_{//}$ (N/mm ²)	50,9089
t_{\perp} (N/mm ²)	0,0000

$n_{\perp N}$ (N/mm ²)	0,0000
$n_{\perp M}$ (N/mm ²)	0,0000
n_{\perp} (N/mm ²)	0,0000

$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)}$	50,9089
$\beta_1 \cdot f_{yk}$	192,5000

S/R	OK
0,26	

$ n_{\perp} + t_{\perp} $	0,0000
$\beta_2 \cdot f_{yk}$	233,7500

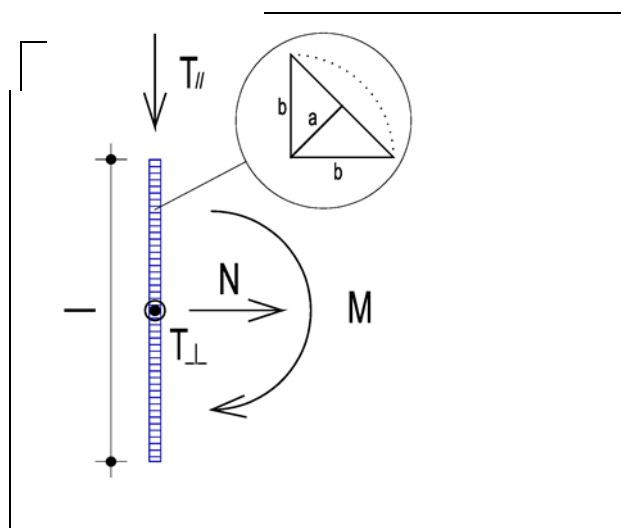
S/R	OK
0,00	

Verifica a momento flettente

Per la **verifica a momento flettente** si assumono reagenti, a favore di sicurezza, i soli cordoni paralleli alle ali; in ragione dei montanti in profili IPE240, tali cordoni presentano le seguenti lunghezze in pianta: n°.4 da 42mm e n°.1 da 240mm. Il taglio perpendicolare è pari a $V = M_{nrd} / i = 124.2 / 0.22 = 564.55$ kNm. Si prevedono **cordoni di saldatura con lato 21mm** e quindi **gola di circa 15mm**. La verifica a momento risulta **soddisfatta**.

Sollecitazioni	
N (N)	0
$T_{//}$ (N)	0
T_{\perp} (N)	564550
M (Nmm)	0

Dati saldatura	
Acciaio	S275
b (mm)	21,2
I (mm)	324
n° cordoni	1
γ_{M2}	1,25
a (mm)	14,99



f_{yk} (N/mm ²)	275
f_{tk} (N/mm ²)	430

Verifica con formula 4.2.82

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 39 di 153

$$F_{w,Ed}/F_{w,Rd} \leq 1 \text{ con } F_{w,Rd} = a \cdot f_{tk} / (\sqrt{3} \cdot \beta \cdot \gamma_{M2})$$

β_w	0,85
$f_{w,d}$ (N/mm ²)	233,657
$F_{T//}$ (N/mm)	0,000
$F_{T\perp}$ (N/mm)	1742,438

$F_{T\text{TOT}}$ (N/mm)	1742,438
$F_{\perp N}$ (N/mm)	0,000
$F_{\perp M}$ (N/mm)	0,000
$F_{\perp\text{TOT}}$ (N/mm)	0,000

$F_{w,Ed}$ (N/mm)	1742,438
$F_{w,Rd}$ (N/mm)	3502,674

S/R	OK
0,497	

Verifica con formula 4.2.84 e 4.2.85

$$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)} \leq \beta_1 \cdot f_{yk}$$

$$|n_{\perp}| + |t_{\perp}| \leq \beta_2 \cdot f_{yk}$$

β_1	0,7
β_2	0,85
$t_{//}$ (N/mm ²)	0,0000
t_{\perp} (N/mm ²)	116,2349

$n_{\perp N}$ (N/mm ²)	0,0000
$n_{\perp M}$ (N/mm ²)	0,0000
n_{\perp} (N/mm ²)	0,0000

$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)}$	116,2349
$\beta_1 \cdot f_{yk}$	192,5000

S/R	OK
0,60	

$ n_{\perp} + t_{\perp} $	116,2349
$\beta_2 \cdot f_{yk}$	233,7500

S/R	OK
0,50	

Per tutti i nodi si prevedono saldature a cordoni d'angolo con lato 21mm e gola minima di almeno 15mm.

Connessioni acciaio-muratura

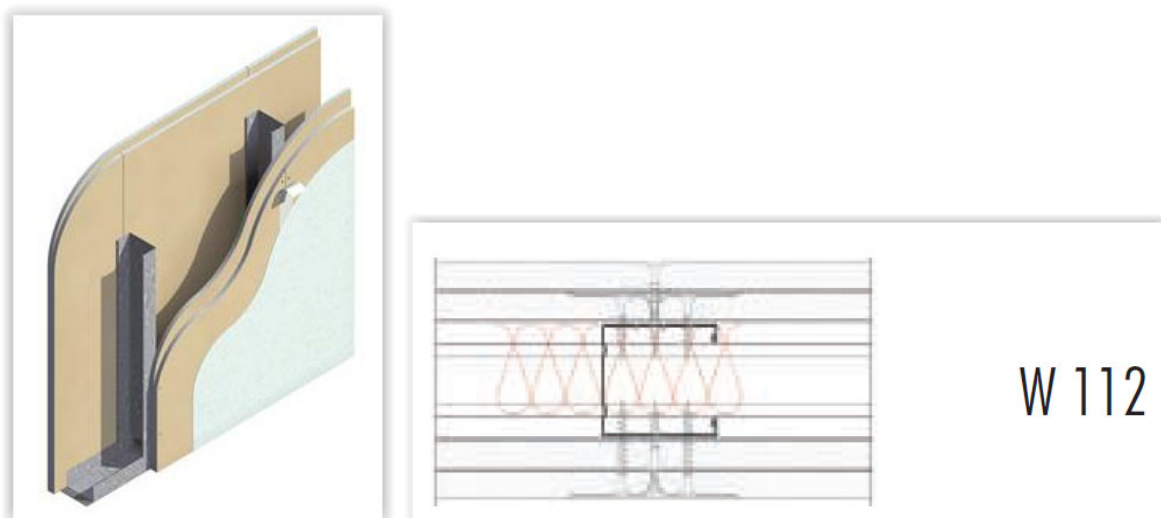
Valgono le considerazioni riportate per le cerchiature previste in altre cabine.

5.7 NUOVA PARETE DI SEPARAZIONE LOCALI MT - ENEL

Risulta necessario prevedere una **parete di separazione** tra il locale *MT* ed il locale *Enel*. L'**altezza massima** della parete è **5.00m**. L'intervento non può essere inquadrato come privo di rilevanza ai fini sismici in quanto l'altezza è superiore ai 4m.

Si prevede una **parete leggera a struttura metallica e lastre in cartongesso** della **Knauf**. In particolare il prodotto scelto è "**Parete W112**" ad **orditura metallica singola** costituita da **profili C75x50mm, sp.0.8mm** posti ad **interasse massimo 60cm**, con **doppio rivestimento in lastre di gesso GKB da 12.5mm per lato**. Lo **spessore totale** della **parete** è quindi di **12.5cm**.

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 40 di 153



Schematizzazione parete Knauf W112

Si considerano profili metallici Knauf con classificazione di "1" scelta a norma UNI EN 10346-2009 in acciaio zincato marcati CE, disposti quali montanti verticali. A detti profili vengono avvitate n°.2 lastre GKB, ciascuna di spessore 12.5mm, per parte.

A seguire si riportano le verifiche svolte di concerto con l'ufficio tecnico di Knauf.

Nota: le verifiche sono effettuate considerando uno spessore minimo dei profili pari a 0.6mm, quindi a favore di sicurezza;

Nota 2; l'azione sismica considerata è quella della località Comacchio, lievemente inferiore a quella di Ostellato; le verifiche sismiche sono comunque ampiamente soddisfatte.

E' stato esaminato il comportamento fuori piano della parete, verificando che essa possieda i requisiti di:

- sicurezza nei confronti di Stati Limite Ultimi (SLU) (identificata dal D.M. 17/01/2018 come la "capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone, comportare la perdita di beni, provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera");
- sicurezza nei confronti di Stati Limite di Esercizio (SLE) (identificata dal D.M. 17/01/2018 come la "capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio").

Il possesso dei requisiti è stato verificato anche in presenza dell'azione sismica, secondo la procedura indicata al paragrafo 7.2.3 del citato D.M. 17/01/2018, riferendosi a:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV), per quanto riguarda gli Stati Limite Ultimi;
- Stato Limite di Danno (SLD), per quanto concerne gli Stati Limite di Esercizio.

La parete è costituita da profili metallici **Knauf** e da una o più lastre .

Circa il comportamento delle pareti sul proprio piano, un'estesa campagna sperimentale effettuata presso i Laboratori del Politecnico di Milano ha dimostrato che le pareti **Knauf** hanno un comportamento tale da assecondare spostamenti d'interpiano pari a 0.01h (essendo 'h' l'altezza di piano) senza subire danni.

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 41 di 153

La sperimentazione condotta sulle pareti **Knauf** ha evidenziato che il contributo alle prestazioni statiche della parete dato dalle lastre di rivestimento soggette a stati tensionali di compressione non è trascurabile e, pertanto, nelle verifiche condotte a SLU e SLV riportate nel presente documento la sezione reagente considerata è la sezione mista composta dai profilati metallici e dalle sole lastre presenti sul lembo compresso, trascurando il contributo delle lastre soggette a stati tensionali di trazione.

Il calcolo delle pareti è stato condotto riconducendosi al modello di trave considerando i profili metallici e lastre di larghezza pari all'interasse tra i profili stessi.

Lo schema statico adottato (aderente alla situazione fisica reale) prevede un vincolo di tipo cerniera al piede di ciascun montante metallico, ed un carrello ad asse orizzontale, scorrevole quindi verticalmente, in testa all'elemento.

La solidarizzazione tra il generico profilo metallico e le lastre di gesso rivestito soggette a compressione, oltre a garantire un funzionamento come sezione di tipo misto, assicura anche l'impossibilità che la flangia compressa del profilo possa instabilizzarsi fuori dal proprio piano. Per questo motivo è scongiurata l'eventualità che possano innescarsi fenomeni di lateral torsional buckling e, pertanto, di essi non è stato tenuto conto nelle verifiche statiche.

I profili metallici risultano essere di Classe 4, ai sensi della classificazione delle sezioni indicata dal D.M. 17/01/2018. Per le sezioni di Classe 4, definite 'snelle', occorre tenere conto degli effetti dell'instabilità locale in fase elastica nelle parti compresse che la compongono e, per tale motivo, la sezione geometrica effettiva viene sostituita con la cosiddetta 'sezione efficace'. La procedura di calcolo è quindi così articolata: a) determinazione delle caratteristiche geometriche della sezione lorda composta, b) partendo da queste si opera poi il calcolo della sezione efficace in funzione delle sollecitazioni (momento flettente e sforzo normale) agenti, c) si effettuano quindi le verifiche di sicurezza considerando reagente la sezione efficace composta.

La parete **Knauf** oggetto di progetto è soggetta alle seguenti azioni:

- *Peso proprio della parete;*
- *Azione del vento* (carico uniformemente distribuito per unità di superficie);
- *Sovraccarico di esercizio*, costituito da un'azione distribuita linearmente per unità di lunghezza, applicata ad una quota di 1.20m dal piano di calpestio (la cui entità è funzione della destinazione d'uso dell'edificio). I sovraccarichi di esercizio (azioni orizzontali distribuite linearmente per unità di lunghezza, indicate con H_k) sono definite in accordo alla Tabella 3.1.II del D.M. 17/01/2018, qui di seguito riportata per comodità di lettura.

L'azione orizzontale H_k considerata è **1.00 kN/m** in ragione della destinazione d'uso del locale ("E").

- Azione sismica (proporzionale alla massa della parete e funzione dell'ubicazione della costruzione, nonché della sua destinazione d'uso) - quest'ultimo parametro determina il coefficiente d'uso c_u ;

L'effetto dell'azione sismica sulla parete **Knauf** oggetto del progetto è determinato, ai sensi del paragrafo 7.2.3 del D.M. 17/01/2018, applicando in corrispondenza del suo centro di massa una forza orizzontale $F_a = (S_a W_a)/q_a$ diretta normalmente al piano medio della parete, dove:

- W_a è il peso dell'elemento;
- S_a è l'accelerazione massima, adimensionalizzata rispetto a quella di gravità, che l'elemento subisce durante il sisma per lo Stato Limite in esame;
- q_a è il fattore di struttura della parete, posto pari a '2' ai sensi della tabella C7.2.I (qui di seguito riportata).

Tabella C7.2.I - Valori di q_a per elementi non strutturali

Elemento non strutturale	q_a
Parapetti o decorazioni aggettanti Insegne e pannelli pubblicitari Comignoli antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole senza controventi per più di metà della loro altezza	1,0
Pareti interne ed esterne Tramezzatura e facciate Comignoli, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole non controventate per meno di metà della loro altezza o connesse alla struttura in corrispondenza o al di sopra del loro centro di massa Elementi di ancoraggio per armadi e librerie permanenti direttamente poggiati sul pavimento Elementi di ancoraggio per controsoffitti e corpi illuminanti	2,0

Ad eccezione del peso proprio tutte le altre azioni sono dirette orizzontalmente in direzione perpendicolare al piano medio della parete.

Le singole condizioni di carico sono combinate ai sensi di quanto disposto al paragrafo 2.5.3 del D.M. 17/01/2018.

In funzione della posizione della parete nel contesto dell'edificio si individuano situazioni che si diversificano sia per la presenza del sovraccarico d'esercizio in un solo verso di applicazione (pareti perimetrali), anziché in entrambi i versi, sia per una differenza nell'entità dell'azione del vento. Tali situazioni sono riportate graficamente (con riferimento, nelle notazioni, alle condizioni di Stati Limite Ultimi), sia per le pareti perimetrali che per quelle interne, nelle figure seguenti. In condizioni di Stato Limite di Esercizio le situazioni di carico sono del tutto analoghe (cambiano, tra SLU ed SLE, solo i coefficienti di combinazione delle singole condizioni di carico).

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 43 di 153

Sono effettuate sulla sezione mista efficace, prescindendo in termini di resistenza dal contributo delle lastre tese:

a) verifiche di resistenza a pressoflessione del profilato metallico

si valuta il soddisfacimento della relazione:

$$\frac{M_{Ed} + \Delta M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \pm \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

dove M_{Ed} ed N_{Ed} rappresentano le sollecitazioni di calcolo, ΔM_{Ed} è l'incremento di flessione dovuto al fatto che il baricentro della sezione efficace è traslato rispetto a quello della sezione lorda, relativamente al quale è stata definita l'azione assiale N_{Ed} , e $M_{c,Rd}$ ed $N_{c,Rd}$ rappresentano, rispettivamente, il momento flettente resistente e lo sforzo normale resistente. Il segno \pm indica che la verifica è operata su entrambi i lembi della sezione, da un lato si sommano le compressioni dovute a flessione e sforzo normale, da quello opposto la compressione da sforzo normale agisce in concomitanza con le trazioni da flessione.

L'incremento di momento flettente è dato da:

$$\Delta M = N_{Ed} \cdot e$$

con 'e' che rappresenta il disassamento dei baricentri nel passaggio dalla sezione lorda a quella efficace.

Le sollecitazioni resistenti risultano:

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

W_{eff} e A_{eff} sono il modulo resistente e l'area della sezione efficace (ovviamente entrambe queste grandezze si diversificano a secondo di quale faccia compressa, A o B, si considera).

b) verifica di resistenza a taglio del profilato metallico

È operato il controllo:

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

V_{Ed} è il taglio di calcolo, $V_{b,Rd}$ quello resistente. Si assume che il taglio debba essere sopportato interamente dall'anima dei profili metallici. Il taglio resistente $V_{b,Rd}$ si determina con le seguenti relazioni (paragrafo C4.2.12.1.5.4.1 della Circolare n.7 del 21/01/2019):

$$V_{b,Rd} = \frac{h_w \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}}$$

$$f_{bv} = f_{yk} \cdot \chi(\lambda_w)$$

$$\lambda_w = 0.346 \cdot \frac{h_w}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_{yk}}{E}}$$

$$\chi(\lambda_w) = \begin{cases} 0.58 & \text{per } \lambda_w \leq 0.83 \\ \frac{0.48}{\lambda_w} & \text{per } 0.83 < \lambda_w < 1.40 \\ \frac{0.67}{\lambda_w^2} & \text{per } \lambda_w \geq 1.40 \end{cases}$$

oltre ai simboli di significato noto, 'h_w' rappresenta l'altezza dell'anima del profilo e 't' il suo spessore

c) verifica di instabilità per pressoflessione del profilato metallico

Si verifica che sia soddisfatta la disuguaglianza:

$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{min} \cdot f_{yk} \cdot A_{eff}} + \frac{(M_{Ed} + \Delta M_{Ed})_{eq} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_{eff} \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}}\right)} \leq 1$$

dove il coefficiente χ è calcolato in funzione della snellezza adimensionale dell'elemento. $(M_{Ed} + \Delta M_{Ed})_{eq}$ è il 'momento equivalente', calcolato in base all'effettivo andamento del momento flettente lungo lo sviluppo dell'elemento soggetto a verifica.

d) verifica di resistenza delle lastre compresse di gesso rivestito

Inoltre è verificata, a livello locale, la resistenza delle lastre. Per tale verifica si modellano le lastre come piastre di luce pari all'interasse dei profili, semplicemente appoggiate sui profili metallici stessi, e soggette alle azioni descritte nei precedenti paragrafi.

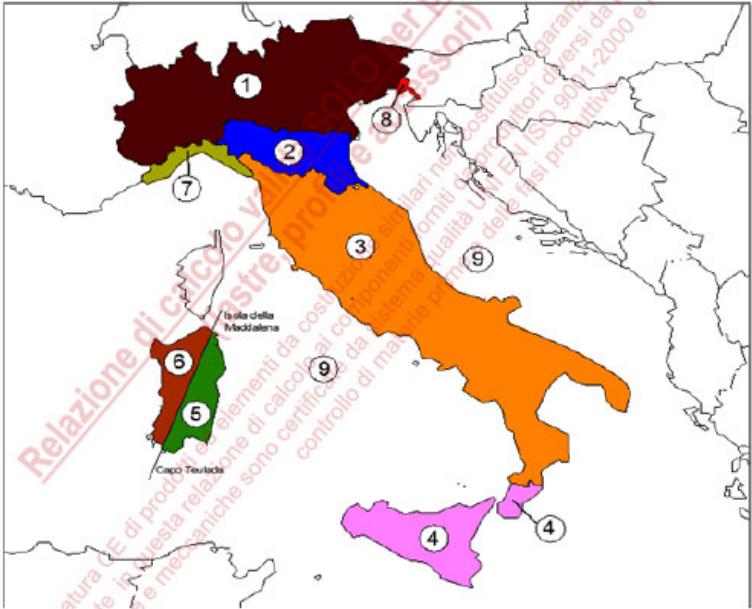
Sovraccarichi di esercizio

Categoria edificio:	E1
Hk [kN/m]:	1,00

Vento

Zona di appartenenza del sito in cui è ubicato l'edificio:

2) Emilia Romagna



Altitudine sul livello del mare [m] =	1
Distanza dalla costa [km] =	4
Classe di rugosità del terreno:	D
Condizioni orografiche:	Orografia pianeggiante ($C_t = 1$)
Z [m] =	2,50
categoria:	II
k_r =	0,19
z_0 [m] =	0,05
	Quota del baricentro geometrico della parete dal piano di campagna

z_{min} [m] =	4,00
v_{ref} [m/s] =	25,0
q_{ref} [N/m ²] =	390,6
c_t =	1,00
c_d =	1,00
c_e =	1,80

Caratteristiche di permeabilità dell'edificio:
edifici con distribuzione uniforme di aperture

Sisma

Periodo fondamentale di vibrazione T_a della parete [s] = 0,35

calcolato con la relazione,

$$T_a = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k}} = 0.72 \sqrt{\frac{Mh^3}{EJ}} \quad \text{dove } k = \frac{384 EJ}{5 h^3}$$

dove, oltre ai simboli di significato noto, M indica la massa in kg dell'elemento.

Valori di Z, H, T1 stimati

Z [m]=	3,50	stimato come $Z = \left(\frac{h_{parete}}{2}\right) + 1$
H [m]=	6,00	stimato come $H = h_{parete} + 1$
T1 [s]=	0,29	stimato come $T1 = cH^{(3/4)}$

Indicando con:

- a_g , l'accelerazione del terreno su sottosuolo di tipo 'A', nello stato limite in esame;
 - S, il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;
- risulta:

Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)

$a_g/g =$	0,090
S =	1,80
$S_a =$	1,28

Stato Limite di Danno (SLD)

$a_g/g =$	0,037
S =	1,80
$S_a =$	0,53

Si descrive la parete **Knauf** oggetto di progetto.

Nel caso in cui la parete abbia altezza superiore a 7.0 m si raccomanda l'utilizzo di guida superiore maggiorata, con ala da almeno 100 mm e acciaio spessore 10/10.

E' necessario realizzare giunti di dilatazione ogni 15 m di lunghezza di parete ed in corrispondenza di giunti strutturali (oppure ogni 12 m nel caso di pareti con lastre Aquapanel), secondo le indicazioni riportate nelle schede tecniche delle pareti **Knauf**.

Parete in progetto

Identificativo: 1
Nome: W112

Profili metallici

- sezione: C 75X50
- spessore: 0,6 mm
- peso [N/m]: 8,19 (peso per unità di lunghezza del singolo profilo)
- altezza [m]: 5,00
- interasse 'i' [m]: 0,60
- disposizione: Profilo singolo
- modulo E[MPa]: 210000

Lastre della Faccia A

1^a Lastra

Tipologia: **GKB** Spessore: 12,5 mm
Resistenza: 5,5 N/mm²
Peso: 85,0 N/mq

2a Lastra

Tipologia: **GKB** Spessore: 12,5 mm
Resistenza: 5,5 N/mm²
Peso: 85,0 N/mq

Lastre della Faccia B

1^a Lastra

GKB Spessore: 12,5 mm
Resistenza: 5,5 N/mm²
Peso: 85,0 N/mq

2a Lastra

Tipologia: **GKB** Spessore: 12,5 mm
Resistenza: 5,5 N/mm²
Peso: 85,0 N/mq

Pesi propri e permanenti portati

- Peso lastre faccia A [N/m²] 170,0
- Peso lastre faccia B [N/m²] 170,0
- Altro (viteria, ...) [N/m²] 12,0
- Peso profili metallici [N] 40,9
- Peso totale al metro quadro [N/mq] 365,6
- Peso totale sull'interasse 'i' [N] 1096,9

(L'ultima voce rappresenta il peso totale di una porzione di parete lunga quanto l'interasse 'i' tra i profili) .

Posizione della parete nel contesto dell'edificio:

Interna alla costruzione

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 48 di 153

Lastre faccia A compresse

(identificativo parete: **1**)
(nome parete: **W112**)

SLU - verifiche sezione composta

profilati metallici

M_{Sd} [Nmm]= 810000

N_{Sd} [N]= 1426

V_{Sd} [N]= 684

$M_{c,Rd,c}$ [Nmm]= 10971973

$M_{c,Rd,t}$ [Nmm]= 1209128

$N_{c,Rd}$ [N]= 31781

$V_{b,Rd}$ [N]= 3276

ratio: "Sollecitazione/Resistenza"

resistenza, pressoflessione lato compressione	0,12	verifica soddisfatta
resistenza, taglio	0,21	verifica soddisfatta
instabilità pressoflessione	0,27	verifica soddisfatta

lastre in gesso

tensioni lastra interna [N/mmq] =	0,69	
ratio	0,13	verifica soddisfatta
tensioni lastra media [N/mmq] =	1,08	
ratio	0,20	verifica soddisfatta
tensioni lastra esterna [N/mmq] =		
ratio		

SLU - Verifica locale lastre

tensioni lastra interna [N/mmq] =	2,04	
ratio	0,37	verifica soddisfatta
tensioni lastra media [N/mmq] =	2,04	
ratio	0,37	verifica soddisfatta
tensioni lastra esterna [N/mmq] =		
ratio		

In condizioni statiche i profili metallici presentano uno sfruttamento massimo del 27% per instabilità; le lastre in gesso presentano uno sfruttamento massimo del 37%.

SLV - verifiche sezione composta

profilati metallici

M_{sd} [Nmm]=	879258
N_{sd} [N]=	1097
V_{sd} [N]=	352

$M_{c,Rd,c}$ [Nmm]=	10971973
$M_{c,Rd,t}$ [Nmm]=	1209128
$N_{c,Rd}$ [N]=	31781
$V_{b,Rd}$ [N]=	3276

ratio: "Sollecitazione/Resistenza"

resistenza, pressoflessione lato compressione	0,11	verifica soddisfatta
resistenza, taglio	0,11	verifica soddisfatta
instabilità pressoflessione	0,23	verifica soddisfatta

lastre in gesso

tensioni lastra interna [N/mmq] =	0,73	
ratio	0,13	verifica soddisfatta
tensioni lastra media [N/mmq] =	1,16	
ratio	0,21	verifica soddisfatta
tensioni lastra esterna [N/mmq] =		
ratio		

SLV - Verifica locale lastre

tensioni lastra interna [N/mmq] =	0,08	
ratio	0,02	verifica soddisfatta
tensioni lastra media [N/mmq] =	0,08	
ratio	0,02	verifica soddisfatta
tensioni lastra esterna [N/mmq] =		
ratio		

In condizioni sismiche i profili metallici presentano uno sfruttamento massimo del 23% per instabilità; le lastre in gesso presentano uno sfruttamento massimo del 21%.

Lastre faccia B compresse

(identificativo parete: 1)
 (nome parete: W112)

SLU - verifiche sezione composta
profilati metallici
 $M_{sd} [Nmm] = 810000$
 $N_{sd} [N] = 1426$
 $V_{sd} [N] = 684$
 $M_{c,Rd,c} [Nmm] = 10971973$
 $M_{c,Rd,t} [Nmm] = 1209128$
 $N_{c,Rd} [N] = 31781$
 $V_{b,Rd} [N] = 3276$
ratio: "Sollecitazione/Resistenza"

resistenza, pressoflessione lato compressione	0,12	verifica soddisfatta
resistenza, taglio	0,21	verifica soddisfatta
instabilità pressoflessione	0,27	verifica soddisfatta

lastre in gesso

tensioni lastra interna $[N/mm^2]$ =	0,69	
ratio	0,13	verifica soddisfatta
tensioni lastra media $[N/mm^2]$ =	1,08	
ratio	0,20	verifica soddisfatta
tensioni lastra esterna $[N/mm^2]$ =		
ratio		

SLU - Verifica locale lastre

tensioni lastra interna $[N/mm^2]$ =	2,04	
ratio	0,37	verifica soddisfatta
tensioni lastra media $[N/mm^2]$ =	2,04	
ratio	0,37	verifica soddisfatta

In condizioni statiche i profili metallici presentano uno sfruttamento massimo del 27% per instabilità; le lastre in gesso presentano uno sfruttamento massimo del 37%.

SLV - verifiche sezione composta

profilati metallici

$$M_{Sd} [Nmm] = 879258$$

$$N_{Sd} [N] = 1097$$

$$V_{Sd} [N] = 352$$

$$M_{c,Rd,c} [Nmm] = 10971973$$

$$M_{c,Rd,t} [Nmm] = 1209128$$

$$N_{c,Rd} [N] = 31781$$

$$V_{b,Rd} [N] = 3276$$

ratio: "Sollecitazione/Resistenza"

resistenza, pressoflessione lato compressione	0,11	verifica soddisfatta
resistenza, taglio	0,11	verifica soddisfatta
instabilità pressoflessione	0,23	verifica soddisfatta

lastre in gesso

$$\text{tensioni lastra interna } [N/mm^2] = 0,73$$

$$\text{ratio} = 0,13 \quad \text{verifica soddisfatta}$$

$$\text{tensioni lastra media } [N/mm^2] = 1,16$$

$$\text{ratio} = 0,21 \quad \text{verifica soddisfatta}$$

$$\text{tensioni lastra esterna } [N/mm^2] =$$

$$\text{ratio}$$

SLV - Verifica locale lastre

$$\text{tensioni lastra interna } [N/mm^2] = 0,08$$

$$\text{ratio} = 0,02 \quad \text{verifica soddisfatta}$$

$$\text{tensioni lastra media } [N/mm^2] = 0,08$$

$$\text{ratio} = 0,02 \quad \text{verifica soddisfatta}$$

$$\text{tensioni lastra esterna } [N/mm^2] =$$

$$\text{ratio}$$

In condizioni sismiche i profili metallici presentano uno sfruttamento massimo del 23% per instabilità; le lastre in gesso presentano uno sfruttamento massimo del 21%.

Controllo sulla snellezza limite

Per garantire un funzionamento ottimale delle pareti **Knauf**, oltre al soddisfacimento delle verifiche numeriche riportate sopra, è opportuno limitare la snellezza ad un valore che è stato verificato sperimentalmente essere pari a 150.

$$\text{snellezza } \lambda \text{ (area lorda, faccia A compressa)} = 156,2$$

$$\text{snellezza } \lambda \text{ (area lorda, faccia B compressa)} = 156,2$$

Si tratta di verifiche che si traducono nella limitazione dell'inflexione fuori piano della parete oggetto di progetto. In quanto segue 'H' rappresenta l'altezza della parete.

(identificativo parete: 1)
 (nome parete: W112)
 Limite f/H ritenuto accettabile: 1/300

SLS

Freccia f [mm] = 5,5
 Rapporto H/f = 913 verifica soddisfatta

SLD

Freccia f [mm] = 7,8
 Rapporto H/f = 640 verifica soddisfatta

Le verifiche agli SLE ed SLD risultano ampiamente soddisfatte.

6 CABINA N°.4

6.1 PREMESSA

La cabina n°.4 presenta i medesimi interventi della cabina n°.1. L'unica differenza riguarda l'intervento relativo alle nuove forometrie per passaggio tubazione Dn200 da realizzarsi sulla parete ovest in quanto la posizione della finestratura esistente è maggiormente centrata rispetto al locale pompe e le forometrie presentano una localizzazione lievemente diversa.

6.1 NUOVE FOROMETRIE PER PASSAGGI IMPIANTISTICI

6.1.1 Parete Ovest

Sulla parete Ovest si rende necessario realizzare **n°.3 nuove forometrie** per passaggio tubazioni in acciaio Dn200. Già in stato di fatto sono presenti n°.3 fori delle medesime dimensioni, posti però ad un'altezza inferiore e lievemente traslati in pianta. Le nuove forometrie sono poste a più di 1m di distanza dagli incroci murari. **E' possibile realizzare l'intervento, come da calcoli riportati a seguire, senza introdurre cerchiature compensative. Risulta però necessario, come riportato negli elaborati tecnici, procedere alla chiusura delle precedenti aperture mediante integrazione muraria di mattoni pieni e malta di calce.**

La lunghezza della parete è 10.0m (asse-asse pareti longitudinali) e l'altezza 2.52m circa. Le forometrie esistenti hanno una larghezza di 22cm ed un'altezza di 26cm (in quanto il passaggio nella muratura ha giacitura non orizzontale); le nuove forometrie sono imposte di dimensioni quadrate di lato 22cm (il passaggio nella muratura è a giacitura orizzontale).

Sulla parete insiste la copertura in latero-cemento con lunghezza di influenza di circa 1.50m (comprendendo lo sporto esterno); si può stimare un carico lineare permanente pari a $g = (2.00 + 0.04 + 0.50) \times 1.50 \approx 2.55 \times 1.50 = 3.81 \text{ kN/m}$. Il carico variabile indotto dalla neve viene assunto pari a $q = 1.30 \times 1.50 = 1.95 \text{ kN/m}$.

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 53 di 153

Tabulati di calcolo

MATERIALI

Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019
 f_m - resistenza compressione [daN/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)
 τ_o - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)
 f_{vo} - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)
 E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
 G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 4000.0 (min.), 6000.0 (max.)

Essendo il livello di conoscenza LC1 (Limitata) si utilizzano i valori medi per i moduli elastici e i valori minimi per la resistenza.

Valori di riferimento:

f_m - resistenza compressione = 26.00 daN/cm²
 τ_o - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
 f_{vo} - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²
 E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²
 G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²
 μ = fattore duttilità = 1.50 (da valori sperimentali secondo gli studi di Turnsek e Cacovic)
 γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

Fattore confidenza FC = 1.35
 Coef. parz. sic. γ_M = 2.00 (4.5.6.1)
 f_m = 9.63 daN/cm²
 τ_o = 0.19 daN/cm²
 f_{vo} = 0.48 daN/cm²
 Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00
 E = 7500 daN/cm²
 G = 2500 daN/cm²

CARICHI

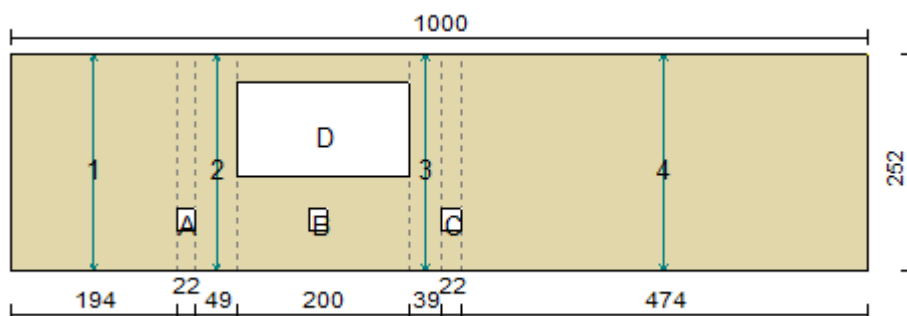
In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

Carico permanente G_k = 381.0 daN/m

Carico variabile Q_k = 195.0 daN/m

Per la determinazione della tensione media verticale, verranno inoltre considerati i contributi dovuti al peso proprio di metà maschio murario e delle semifasce superiori gravanti sul maschio stesso.

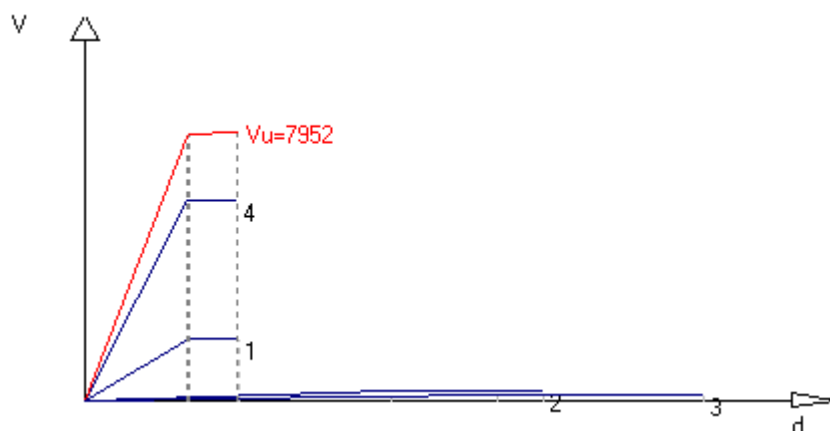
Ante-operam



T (sp. parete) = 28.00 cm

Maschio	Lungh.	H cal.	Coef. b	σ_o	K_o	V_t	V_{pf}	V_u	δ_e	δ_u
1	194.0	252.0	1.30	0.462	30576.3	1896.2	1824.2	1824.2	0.060	0.089
2	49.0	252.0	1.50	1.029	1358.9	551.1	240.0	240.0	0.177	0.265
3	39.0	252.0	1.50	1.182	716.6	463.6	170.9	170.9	0.238	0.358
4	474.0	252.0	1.00	0.445	101734.7	5946.1	10498.9	5946.1	0.058	0.088

Curva caratteristica ante-operam:

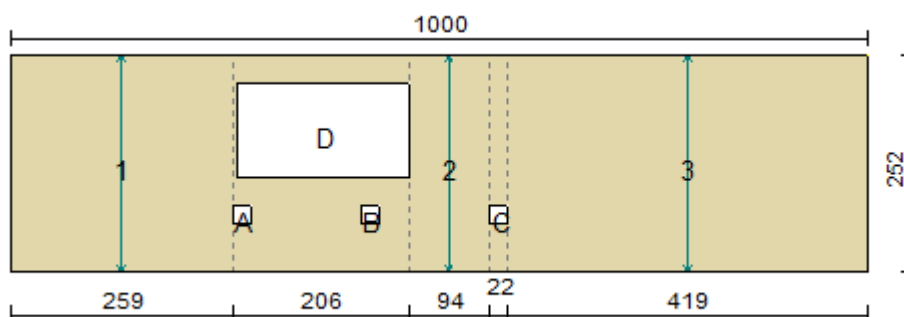


Rigidezza complessiva della parete: $K_{sa} = 134386.5$ daN/cm

Taglio ultimo della parete: $V_{sa} = 7952.2$ daN

Spostamento ultimo: $\delta u_{sa} = 0.088$ cm

Post-operam



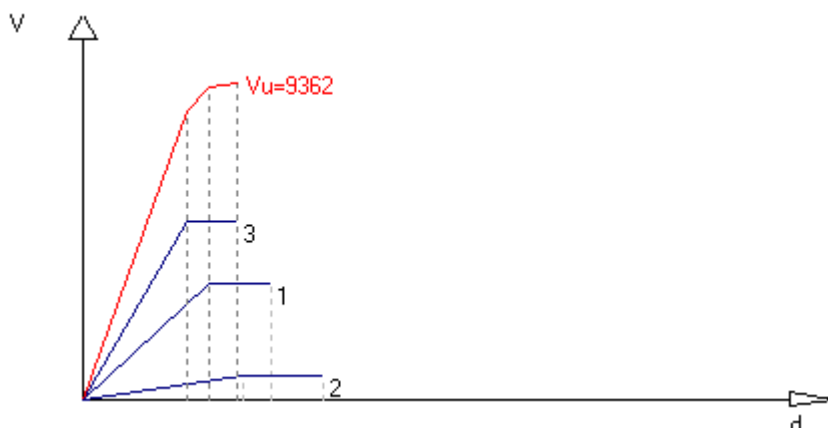
T (sp. parete) = 28.00 cm

Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
A	Libera	No	No	No
D	Libera	No	No	No
B	Libera	No	No	No
C	Libera	No	No	No

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ_0	K_0	V_t	V_{pf}	V_u	δ_e	δ_u
1	259.0	28.00	252.0	1.00	0.537	47470.6	3450.7	3741.4	3450.7	0.073	0.109
2	94.0	28.00	252.0	1.50	0.752	7261.9	938.4	670.3	670.3	0.092	0.138
3	419.0	28.00	252.0	1.00	0.446	88135.1	5261.2	8228.4	5261.2	0.060	0.090

Curva caratteristica post-operam:

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 55 di 153



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 142867.5 \text{ daN/cm}$

Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 9362.2 \text{ daN}$

Spostamento ultimo: $\delta u_{pr} = 0.090 \text{ cm}$

VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 142868 - 134387 = 8481 \text{ daN/cm}$ (aumento rigidezza = 6.3%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 9362 - 7952 = 1410 \text{ daN}$ (aumento resistenza = 17.7%)

La variazione percentuale di ΔK è compresa tra +/- 15.0%, limite di accettabilità per considerare l'intervento di tipo locale. La resistenza post-operam non è inferiore di quella ante-operam, quindi la parete potrà essere modificata senza richiedere opere aggiuntive di irrigidimento delle aperture.

7 CABINA N°.2

7.1 PREMESSA

Gli interventi ricalcano sostanzialmente quelli previsti per la cabina n°.5 e n°.8 riportate nei capitoli successivi.

7.2 TAMPONATURA APERTURE ESISTENTI

Le tamponature delle aperture esistenti saranno di tipo **non strutturale**.

7.3 TRASFORMAZIONE DI FINESTRA IN PORTA-FINESTRA

La **trasformazione** della **finestra (200x110cm)** in **porta-finestra (200x210cm)** sul fronte ovest è un **intervento privo di rilevanza ai fini sismici** in quanto ricade al **punto B.4.2.** della *D.G.R. ER 2272/2016 - Trasformazione di finestra in porta-finestra, e viceversa, che non ne aumenti la larghezza originaria, esclusi gli interventi sistematici che alterino in maniera sostanziale il comportamento della fascia di piano. (L1).*

7.4 NUOVE FOROMETRIE PER PASSAGGI IMPIANTISTICI

7.4.1 Parete Sud

Sulla parete Sud si rende necessaria la realizzazione di un **nuovo foro** per il passaggio di una tubazione in acciaio di diametro 320mm. La distanza del foro dall'incrocio murario è inferiore ad 1m, motivo per il quale non è possibile inquadrare l'intervento come *privo di rilevanza ai fini sismici*. L'entità della forometria è decisamente limitata; l'area è circa 0.08m^2 ($< 0.15\text{m}^2$)

Si studia la parete in condizioni pre e post intervento.

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 56 di 153

La parete presenta un'altezza minima di 2.52m (in gronda) ed un'altezza massima di 3.61m (in colmo); nelle calcolazioni si considera un'altezza media pari a 3.07m. La lunghezza della parete è 4.70m (misurato asse-asse pareti longitudinali). La copertura è ordita parallelamente alla parete; si assume comunque una larghezza di influenza canonica pari ad 1m per la definizione dei carichi sulla parete stessa. Il solaio di copertura è in latero-cemento; si può stimare un carico lineare permanente pari a $g = (2.00 + 0.04 + 0.50) \times 1.00 \approx 2.55 \times 1.00 = 2.55 \text{ kN/m}$. Il carico variabile indotto dalla neve ed utile esclusivamente alla verifica statica dell'architettura superiore, viene assunto pari a $q = 1.30 \times 1.00 = 1.30 \text{ kN/m}$.

La parete è in muratura di mattoni pieni e malta di calce con spessore strutturale a "due teste" (28cm).

Le caratteristiche della parete e gli interventi in progetto sono i medesimi previsti per la cabina tipo "5". Risulta necessaria l'introduzione di una **cerchiatura metallica compensativa** in corrispondenza della **nuova forometria** caratterizzata da **doppi profili UPN 40x35**. Per la calcolazioni si rimanda al capitolo relativo alla cabina n°5.

7.4.2 Parete Ovest

Sulla parete Ovest si rende necessario realizzare **n°3 nuove forometrie** per passaggio tubazioni in acciaio Dn200. Già in stato di fatto sono presenti n°3 fori delle medesime dimensioni, posti però ad un'altezza inferiore e lievemente traslati in pianta. Le nuove forometrie sono poste a più di 1m di distanza dagli incroci murari. **E' possibile realizzare l'intervento, come da calcoli riportati a seguire, senza introduzione di cerchiature metalliche aggiuntive sulle nuove forometrie.**

La lunghezza della parete è 10.0m e l'altezza 2.58m (misurata in asse parete). Le forometrie esistenti hanno una larghezza di 22cm ed un'altezza di 26cm (in quanto il passaggio nella muratura ha giacitura non orizzontale); le nuove forometrie sono imposte di dimensioni quadrate di lato 22cm (il passaggio nella muratura è a giacitura orizzontale).

Sulla parete insiste la copertura in latero-cemento con lunghezza di influenza di circa 1.50m (comprendendo lo sporto esterno); si può stimare un carico lineare permanente pari a $g = (2.00 + 0.04 + 0.50) \times 1.50 \approx 2.55 \times 1.50 = 3.81 \text{ kN/m}$. Il carico variabile indotto dalla neve viene assunto pari a $q = 1.30 \times 1.50 = 1.95 \text{ kN/m}$.

Tabulati di calcolo

MATERIALI

Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019
 f_m - resistenza compressione [daN/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)
 τ_o - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)
 f_{vo} - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)
 E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
 G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 4000.0 (min.), 6000.0 (max.)

Essendo il livello di conoscenza LC1 (Limitata) si utilizzano i valori medi per i moduli elastici e i valori minimi per la resistenza.

Valori di riferimento:

f_m - resistenza compressione = 26.00 daN/cm²
 τ_o - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
 f_{vo} - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²
 E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²
 G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²
 μ = fattore duttilità = 1.50 (da valori sperimentali secondo gli studi di Turnsek e Cacovic)

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 57 di 153

γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

Fattore confidenza FC = 1.35

Coef. parz. sic. γ_M = 2.00 (4.5.6.1)

f_m = 9.63 daN/cm²

τ_o = 0.19 daN/cm²

f_{vo} = 0.48 daN/cm²

Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00

E = 7500 daN/cm²

G = 2500 daN/cm²

CARICHI

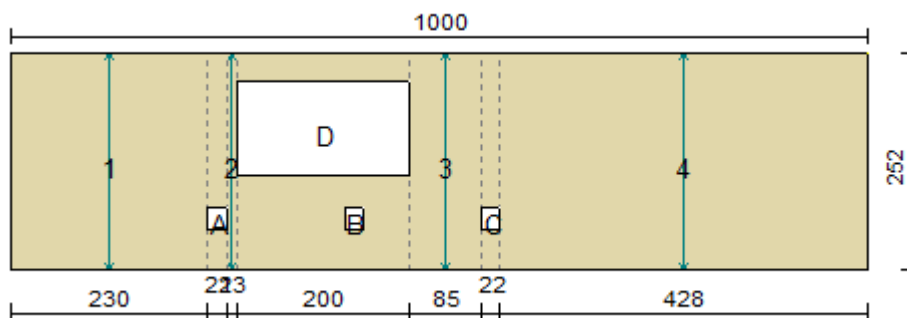
In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

Carico permanente G_k = 381.0 daN/m

Carico variabile Q_k = 195.0 daN/m

Per la determinazione della tensione media verticale, verranno inoltre considerati i contributi dovuti al peso proprio di metà maschio murario e delle semifasce superiori gravanti sul maschio stesso.

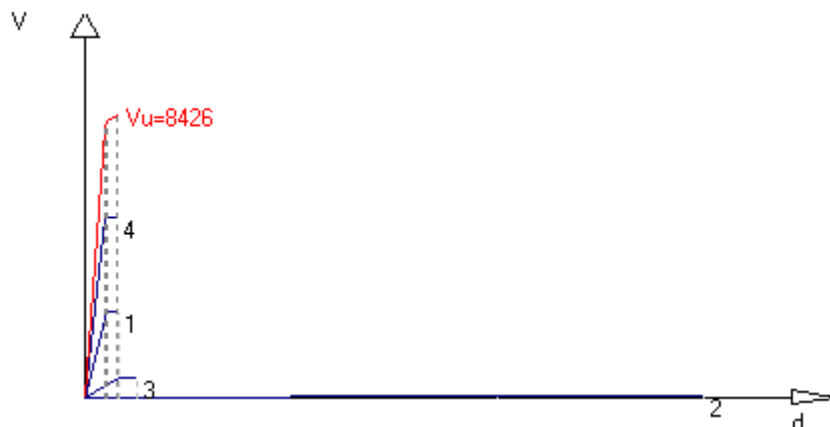
Ante-operam



T (sp. parete) = 28.00 cm

Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	σ_o	K_o	V_t	V_{pf}	V_u	δ_e	δ_u
1	230.0	252.0	1.10	0.458	39926.8	2656.8	2539.7	2539.7	0.064	0.095
2	13.0	252.0	1.50	2.681	28.6	220.0	33.9	33.9	1.185	1.778
3	85.0	252.0	1.50	0.776	5717.2	858.6	564.1	564.1	0.099	0.148
4	428.0	252.0	1.00	0.446	90371.6	5373.9	8583.8	5373.9	0.059	0.089

Curva caratteristica ante-operam:

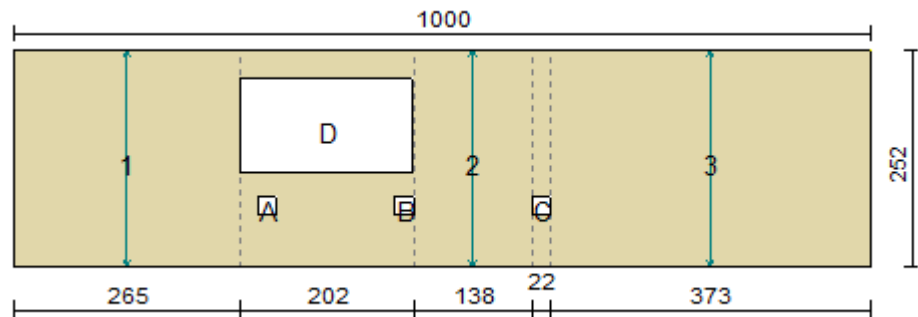


Rigidezza complessiva della parete: K_{sa} = 136044.2 daN/cm

<p>Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti</p>	<p>PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE</p>	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 58 di 153

Taglio ultimo della parete: $V_{sa} = 8426.1 \text{ daN}$
Spostamento ultimo: $\delta u_{sa} = 0.089 \text{ cm}$

Post-operam

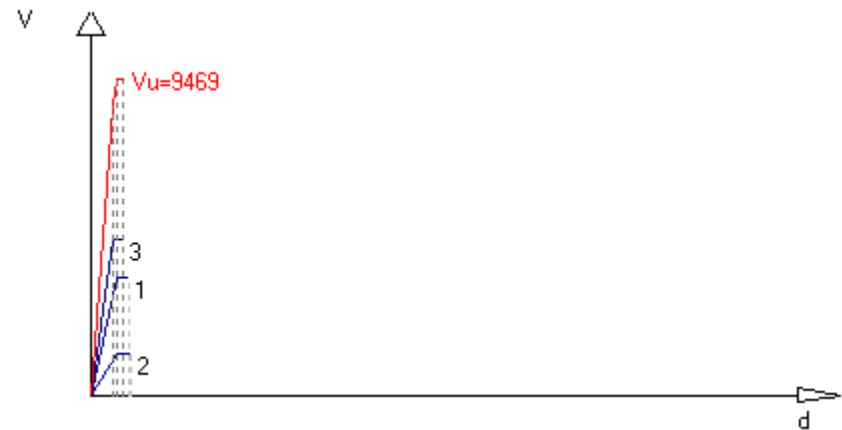


$T \text{ (sp. parete)} = 28.00 \text{ cm}$

Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
D	Libera	No	No	No
A	Libera	No	No	No
B	Libera	No	No	No
C	Libera	No	No	No

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ_0	K_0	V_t	V_{pf}	V_u	δ_e	δ_u
1	265.0	28.00	252.0	1.00	0.533	49027.3	3521.2	3887.2	3521.2	0.072	0.108
2	138.0	28.00	252.0	1.50	0.646	16583.5	1305.1	1259.4	1259.4	0.076	0.114
3	373.0	28.00	252.0	1.00	0.448	76627.1	4688.2	6540.3	4688.2	0.061	0.092

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 142238.0 \text{ daN/cm}$
Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 9468.9 \text{ daN}$
Spostamento ultimo: $\delta u_{pr} = 0.092 \text{ cm}$

VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 142238 - 136044 = 6194 \text{ daN/cm}$ (aumento rigidezza = 4.6%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 9469 - 8426 = 1043 \text{ daN}$ (aumento resistenza = 12.4%)

La variazione percentuale di ΔK è compresa tra +/- 15.0%, limite di accettabilità per considerare l'intervento di tipo locale.

La resistenza post-operam non è inferiore di quella ante-operam, quindi la parete potrà essere modificata senza richiedere opere aggiuntive di irrigidimento delle aperture.

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 59 di 153

7.5 NUOVI BASAMENTI IN C.A.

7.5.1 Premessa

I nuovi basamenti in c.a. a supporto dei macchinari (pompe, gruppo di pressurizzazione) possono essere inquadrati quali **interventi privi di rilevanza ai fini sismici** in analogia al **punto A.6.1** della *D.G.R. ER 2272/2016* – “A.6.1. Realizzazione di rampe, solette, pavimentazioni appoggiate a terra. (L0)”.

I basamenti esistenti saranno completamente demoliti e rimossi.

I nuovi basamenti in progetto per la cabina tipo “2” saranno n°.4 di cui n°.1 di dimensioni in pianta 90x165cm e n°.3 di dimensioni 100x200cm.

Le pompe che saranno installate, in generale, sono della KSB con potenza 90 kW o 110 kW; il peso totale comprensivo di motore varia da 863 kg ad 875 kg (valori desunti da schede tecniche); data la differenza esigua, nelle calcolazioni si assumerà quest’ultimo valore. Per quanto attiene i gruppi di pressurizzazione saranno di due tipi, da 5 litri o 20 litri, rispettivamente, con pesi lordi pari a 129 kg e 165 kg; anche in questo caso, a favore di sicurezza, si assumerà il valore maggiore.

Le dimensioni in pianta dei basamenti sono già definite dal progettista elettromeccanico così come il sistema di vincolamento dei macchinari. Per l'**altezza complessiva** dei basamenti si impone **60cm**.

7.5.2 Basamenti per pompe

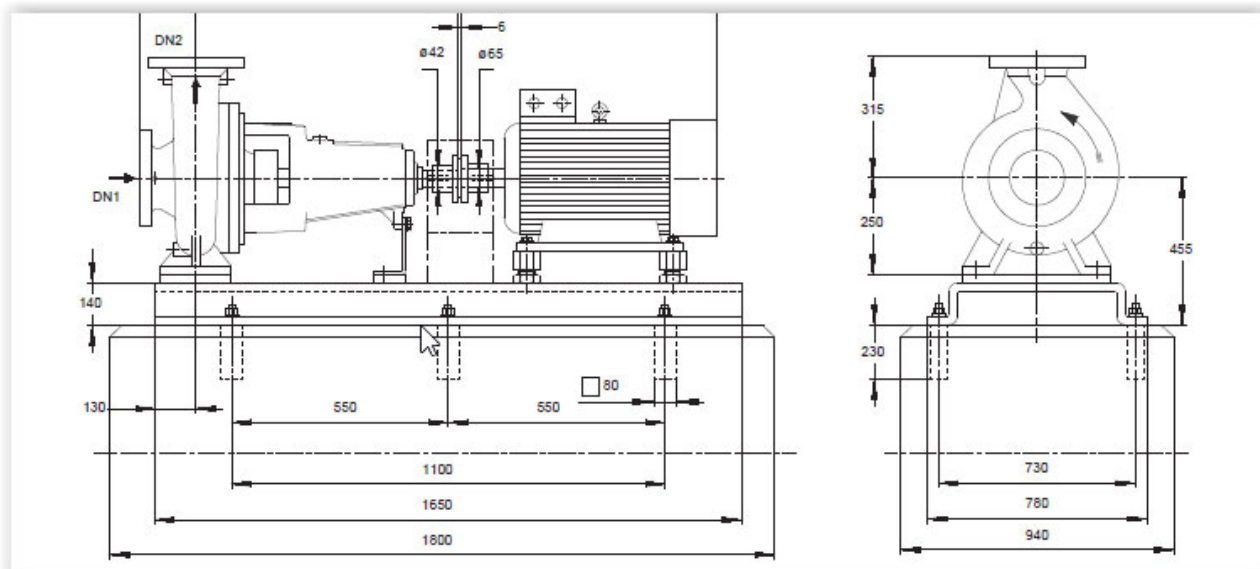
In assenza di informazioni più dettagliate riguardo il funzionamento dei macchinari e le relative azioni statiche equivalenti, si svolge un calcolo cautelativo considerando un’azione orizzontale statica equivalente pari al 70% del peso del macchinario, atta a simulare sia il moto rotazionale della pompa quando in funzione sia gli effetti dinamici. Per l'altezza di applicazione della suddetta forza si assume 45.5cm come da scheda tecnica (pompa di potenza 110 kW).

Per quanto attiene lo scarico del peso del macchinario sul basamento, da scheda tecnica si deduce la presenza di n°.2 binari metallici continui disposti in direzione longitudinale.

Si effettuano le verifiche strutturali agli SLU ed SLE del basamento in c.a.

Per quanto attiene il vincolamento del macchinario al basamento è specificato l'utilizzo di **tasselli M20 di lunghezza 250mm**. Per il basamento si assume la larghezza minima di 90cm che sarà impiegata per le pompe da 90 kW in altre cabine.

I carichi verticali agenti ed implementati sono quelli derivanti dal peso del macchinario e precisamente **875 kg (8.75 kN)**. Come detto si assume un **carico orizzontale** posto in quota a 45.5cm dall'estradosso basamento e pari a $875 \times 0.7 = 612.5 \text{ kg} = \mathbf{6.125 \text{ kN}}$ oltre al relativo **momento flettente** in direzione trasversale al basamento, pari a $6.125 \times 0.455 = \mathbf{2.79 \text{ kNm}}$



Schema macchinario pompa KSB – estratto scheda tecnica

Le verifiche agli SLU risultano **soddisfatte** considerando la disposizione di armature longitudinali $\Phi 14$ a passo **20cm** in entrambe le direzioni, sia superiormente sia inferiormente.

Per quanto attiene le tensioni di contatto sul terreno, si determinano dei picchi di 0.38 kg/cm² che si ritengono accettabili.

Si ritiene di effettuare un'ulteriore **verifica** agli SLU **per ribaltamento**.

Il **momento stabilizzante** è pari a:

$$M_{\text{Stab}} = 0.9 \times (25 \times 0.90 \times 2.00 \times 0.60 \times 0.90/2 + 8.75 \times 0.90/2) = 0.9 \times (27 + 3.94) = \mathbf{27.84 \text{ kNm}}$$

Il **momento ribaltante** è pari a:

$$M_{\text{Rib}} = 1.5 \times (0.7 \times 8.75 \times (0.45 + 0.60)) = 1.5 \times 6.43 = \mathbf{9.64 \text{ kNm}}$$

La verifica è **soddisfatta** in quanto $M_{\text{Rib}} < M_{\text{Stab}}$.

A seguire si riportano i tabulati e risultati del calcolo.

Casi di carico			
CDC	Tipo	Sigla Id	Note
1	Ggk	CDC=Ggk (peso proprio della struttura)	
2	Gk	CDC=G1k permanente pompa	Azioni applicate:
			Nodo: da 6 a 7 Azione : N pompa-CN:Fz=-62.50
			Nodo: 9 Azione : N pompa-CN:Fz=-62.50
			Nodo: 11 Azione : N pompa-CN:Fz=-62.50
			Nodo: 13 Azione : N pompa-CN:Fz=-62.50
			Nodo: da 15 a 16 Azione : N pompa-CN:Fz=-62.50
			Nodo: da 24 a 30 Azione : N pompa-CN:Fz=-62.50
3	Qk	CDC=Qk azione orizzontale statica equivalente pompa attiva	Azioni applicate:
			Nodo: da 6 a 7 Azione : V ed M pompa-CN:Fx=43.75 My=1990.00
			Nodo: 9 Azione : V ed M pompa-CN:Fx=43.75 My=1990.00
			Nodo: 11 Azione : V ed M pompa-CN:Fx=43.75 My=1990.00
			Nodo: 13 Azione : V ed M pompa-CN:Fx=43.75 My=1990.00
			Nodo: da 15 a 16 Azione : V ed M pompa-CN:Fx=43.75 My=1990.00
			Nodo: da 24 a 30 Azione : V ed M pompa-CN:Fx=43.75 My=1990.00

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 61 di 153

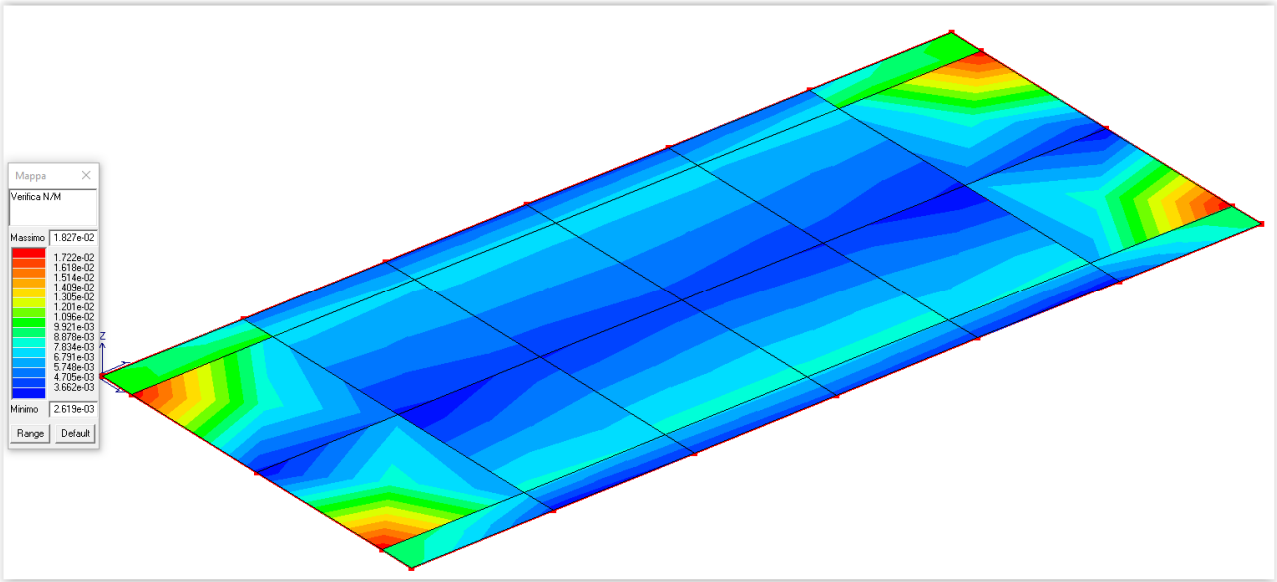
Cmb	Tipo	Sigla Id	effetto P-delta
1	SLU	Comb. SLU A1 1	
2	SLU	Comb. SLU A1 2	
3	SLU	Comb. SLU A1 3	
4	SLU	Comb. SLU A1 4	

Combinazione dei carichi – tabella 2														
Cmb	CDC 1/15...	CDC 2/16...	CDC 3/17...	CDC 4/18...	CDC 5/19...	CDC 6/20...	CDC 7/21...	CDC 8/22...	CDC 9/23...	CDC 10/24...	CDC 11/25...	CDC 12/26...	CDC 13/27...	CDC 14/28...
1	1.30	1.30	0.0											
2	1.30	1.30	1.50											
3	1.00	1.00	0.0											
4	1.00	1.00	1.50											

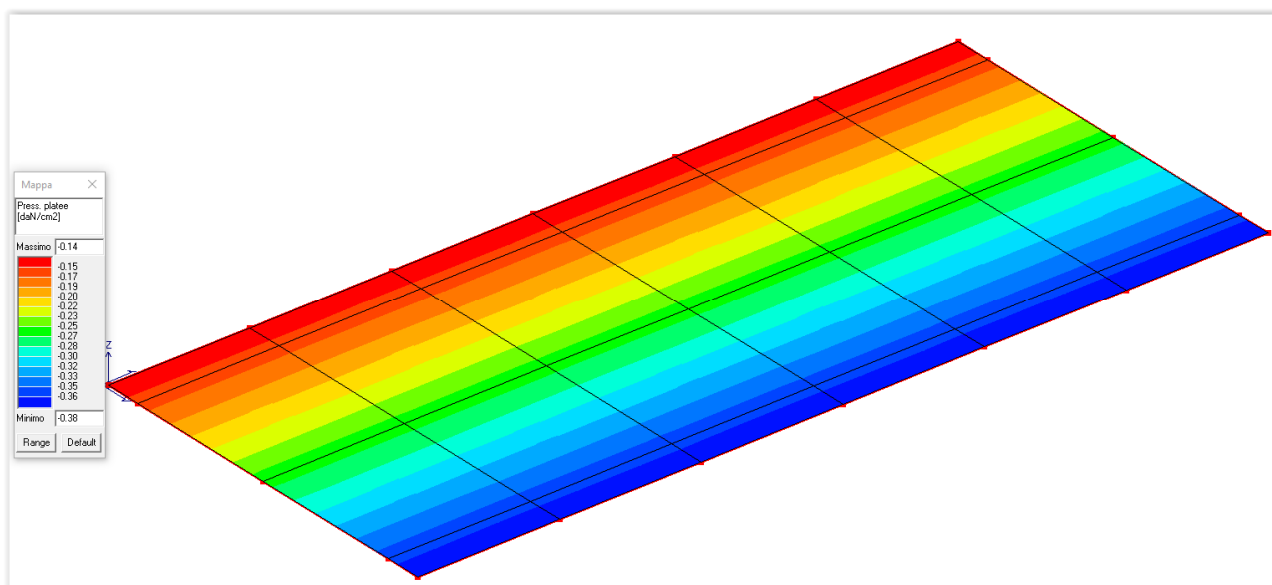
Verifiche SLU a presso-flessione														
Nodo	Stato	x/d	V N/M	ver. rid	Af pr-	Af pr+	Af sec-	Af sec+	N x	N y	N xy	M x	M y	M xy
									kN/ m	kN/ m	kN/ m	kN	kN	kN
1	ok	0.06	1.03e-02	0.0	7.7	7.7	7.7	7.7	0.1	1.4	-0.1	-3.76e-02	1.7	-0.3
2	ok	0.06	1.03e-02	0.0	7.7	7.7	7.7	7.7	0.1	1.4	0.1	-3.76e-02	1.7	0.3
3	ok	0.06	9.21e-03	2.02e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-0.1	-1.4	-0.1	5.67e-02	-1.5	-0.3
4	ok	0.06	9.21e-03	2.02e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-0.1	-1.4	0.1	5.67e-02	-1.5	0.3
5	ok	0.06	7.27e-03	0.0	7.7	7.7	7.7	7.7	0.3	3.0	-9.21e-02	5.81e-02	1.0	-0.5
6	ok	0.06	1.05e-02	1.88e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-0.2	1.0	-1.3	-5.75e-02	0.6	-1.4
7	ok	0.06	1.81e-02	7.96e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-4.5	-0.5	2.2	-2.5	-0.1	1.1
8	ok	0.06	4.58e-03	0.0	7.7	7.7	7.7	7.7	0.3	2.5	0.1	2.81e-02	0.4	-0.5
9	ok	0.06	7.52e-03	1.69e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-0.6	1.7	1.3	-0.9	0.2	0.7
10	ok	0.06	4.42e-03	0.0	7.7	7.7	7.7	7.7	0.2	2.7	-0.1	4.06e-03	0.4	0.5
11	ok	0.06	7.35e-03	1.48e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-0.6	1.9	-1.1	-0.9	0.2	-0.7
12	ok	0.06	4.58e-03	0.0	7.7	7.7	7.7	7.7	0.3	2.5	-0.1	2.81e-02	0.4	0.5
13	ok	0.06	7.52e-03	1.69e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-0.6	1.7	-1.3	-0.9	0.2	-0.7
14	ok	0.06	7.27e-03	0.0	7.7	7.7	7.7	7.7	0.3	3.0	9.21e-02	5.81e-02	1.0	0.5
15	ok	0.06	1.05e-02	1.88e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-0.2	1.0	1.3	-5.75e-02	0.6	1.4
16	ok	0.06	1.81e-02	7.96e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-4.5	-0.5	-2.2	-2.5	-0.1	-1.1
17	ok	0.06	6.46e-03	5.93e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	1.0	0.7	3.3	0.6	0.4	0.6
18	ok	0.06	3.47e-03	2.92e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-1.1	-0.6	-1.2	0.4	-0.3	-0.3
19	ok	0.06	4.22e-03	3.72e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-1.0	-0.2	2.0	0.3	0.5	0.3
20	ok	0.06	4.24e-03	3.12e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-0.9	-0.2	1.6	0.4	0.5	0.3
21	ok	0.06	4.22e-03	3.72e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-1.0	-0.2	-2.0	0.3	0.5	-0.3
22	ok	0.06	6.46e-03	5.93e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	1.0	0.7	-3.3	0.6	0.4	-0.6
23	ok	0.06	3.47e-03	2.92e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-1.1	-0.6	1.2	0.4	-0.2	0.3
24	ok	0.06	8.26e-03	3.61e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	0.6	-1.0	1.2	0.9	0.2	0.7
25	ok	0.06	1.83e-02	3.62e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	4.5	0.5	2.2	2.4	0.3	1.3
26	ok	0.06	8.43e-03	3.26e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	0.6	-1.7	1.3	0.8	0.5	0.7
27	ok	0.06	8.40e-03	3.38e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	0.6	-1.9	-1.1	0.8	0.6	-0.7
28	ok	0.06	8.43e-03	3.26e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	0.6	-1.7	-1.3	0.8	0.5	-0.7
29	ok	0.06	8.26e-03	3.61e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	0.6	-1.0	-1.2	0.9	0.2	-0.7
30	ok	0.06	1.83e-02	3.62e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	4.5	0.5	-2.2	2.4	0.3	-1.3
31	ok	0.06	4.22e-03	4.30e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-0.3	-3.0	-9.21e-02	-6.60e-02	-0.4	-0.4
32	ok	0.06	3.92e-03	3.62e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-0.2	-2.5	-0.1	5.07e-03	0.3	0.4
33	ok	0.06	4.31e-03	3.93e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-0.2	-2.7	0.1	-5.88e-03	0.4	-0.4
34	ok	0.06	3.92e-03	3.62e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-0.2	-2.5	0.1	5.07e-03	0.3	-0.4
35	ok	0.06	4.22e-03	4.30e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-0.3	-3.0	9.21e-02	-6.60e-02	-0.4	0.4
Nodo		x/d	V N/M	ver. rid	Af pr-	Af pr+	Af sec-	Af sec+	N x	N y	N xy	M x	M y	M xy
									-4.55	-2.99	-3.25	-2.49	-1.47	-1.43
		0.06	0.02	7.96e-04	7.70	7.70	7.70	7.70	4.55	2.99	3.25	2.42	1.65	1.43

Verifiche SLU a taglio									
Nodo	Stato	Max tau	Ver V pr	Ver V sec	Af V pr	Af V sec	V pr	V sec	
		daN/cm2					kN/ m	kN/ m	
1	ok	0.04							
2	ok	0.04							
3	ok	0.05							
4	ok	0.05							
5	ok	0.04							
6	ok	0.11							
7	ok	0.20							
8	ok	0.02							
9	ok	0.10							

Verifiche SLU a taglio								
Nodo	Stato	Max tau	Ver V pr	Ver V sec	Af V pr	Af V sec	V pr	V sec
10	ok	0.02						
11	ok	0.10						
12	ok	0.02						
13	ok	0.10						
14	ok	0.04						
15	ok	0.11						
16	ok	0.20						
17	ok	0.12						
18	ok	0.11						
19	ok	0.09						
20	ok	0.09						
21	ok	0.09						
22	ok	0.12						
23	ok	0.11						
24	ok	0.08						
25	ok	0.09						
26	ok	0.05						
27	ok	0.04						
28	ok	0.05						
29	ok	0.08						
30	ok	0.09						
31	ok	0.10						
32	ok	0.06						
33	ok	0.04						
34	ok	0.06						
35	ok	0.10						
Nodo		Max tau	Ver V pr	Ver V sec	Af V pr	Af V sec	V pr	V sec
		0.20						



Verifica SLU a presso-flessione N/M



Determinazione massime pressioni sul terreno agli SLU

Il vincolamento del macchinario è previsto dal costruttore con **n°.6 tasselli M20 di lunghezza 250mm** mediante realizzazione di pozzetti di inghisaggio riempiti con malta fluida ed a ritiro controllato.

7.5.3 Basamenti per gruppi di pressurizzazione

In assenza di informazioni più dettagliate riguardo il funzionamento dei macchinari e le relative azioni statiche equivalenti, si svolge un calcolo cautelativo come per i basamenti delle pompe assumendo un azione orizzontale pari al 70% del peso del macchinario.

Si assume un **carico verticale** pari a **165 kg (1.65 kN)** ed un carico orizzontale pari a $0.7 \times 1.65 = 1.16 \text{ kN}$.
Riguardo la quota di applicazione dell'azione orizzontale si assume cautelativamente 1m; si ottiene un **momento flettente** in direzione trasversale al basamento pari a $1.16 \times 1 = 1.16 \text{ kNm}$

Le verifiche agli SLU risultano **soddisfatte** considerano la disposizione di armature longitudinali **Φ14** a passo **20cm** in entrambe le direzioni, sia superiormente sia inferiormente.

Per quanto attiene le tensioni di contatto sul terreno, si determinano dei picchi di 0.27 kg/cm² che si ritiene accettabile.

Si ritiene di effettuare un'ulteriore **verifica** agli SLU **per ribaltamento**.

Il **momento stabilizzante** è pari a:

$$M_{\text{Stab}} = 0.9 \times (25 \times 0.90 \times 1.65 \times 0.60 \times 0.90/2 + 1.65 \times 0.90/2) = 0.9 \times (27 + 0.74) = 24.96 \text{ kNm}$$

Il **momento ribaltante** è pari a:

$$M_{\text{Rib}} = 1.5 \times (0.7 \times 1.65 \times (1.00 + 0.60)) = 1.5 \times 1.85 = 2.77 \text{ kNm}$$

La verifica è **soddisfatta** in quanto $M_{\text{Rib}} < M_{\text{Stab}}$.

Il tipo di calcolo eseguito è del tutto simile a quello dei basamenti per le pompe; si riportano, a seguire, i soli risultati principali.

Verifiche SLU a presso-flessione														
Nodo	Stato	x/d	V N/M	ver. rid	Af pr-	Af pr+	Af sec-	Af sec+	N x	N y	N xy	M x	M y	M xy
									kN/ m	kN/ m	kN/ m	kN	kN	kN

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO								Rev. 02 del 19/07/21		
	RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE								Pagina 64 di 153		

Verifiche SLU a presso-flessione

Nodo	Stato	x/d	V N/M	ver. rid	Af pr-	Af pr+	Af sec-	Af sec+	N x	N y	N xy	M x	M y	M xy
1	ok	0.06	1.75e-03	3.20e-06	7.7	7.7	7.7	7.7	-1.96e-02	7.67e-02	1.63e-02	-5.08e-02	0.3	-5.45e-02
2	ok	0.06	1.75e-03	3.20e-06	7.7	7.7	7.7	7.7	-1.96e-02	7.67e-02	-1.63e-02	-5.08e-02	0.3	5.45e-02
3	ok	0.06	1.74e-03	1.14e-05	7.7	7.7	7.7	7.7	1.96e-02	-7.67e-02	1.63e-02	6.16e-02	-0.3	-4.25e-02
4	ok	0.06	1.74e-03	1.14e-05	7.7	7.7	7.7	7.7	1.96e-02	-7.67e-02	-1.63e-02	6.16e-02	-0.3	4.25e-02
5	ok	0.06	3.56e-03	1.28e-06	7.7	7.7	7.7	7.7	5.85e-03	0.5	-8.71e-02	-2.40e-02	0.6	9.34e-02
6	ok	0.06	5.26e-03	9.31e-05	7.7	7.7	7.7	7.7	-0.5	1.28e-02	-0.3	-0.5	0.2	-0.6
7	ok	0.06	1.16e-02	2.75e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-1.7	-0.1	0.6	-1.7	-0.1	0.7
8	ok	0.06	1.74e-03	0.0	7.7	7.7	7.7	7.7	3.95e-02	0.7	-7.83e-02	-5.53e-03	0.2	0.2
9	ok	0.06	3.05e-03	2.36e-05	7.7	7.7	7.7	7.7	-6.17e-02	0.4	0.2	-0.4	7.14e-02	0.3
10	ok	0.06	1.61e-03	0.0	7.7	7.7	7.7	7.7	5.40e-02	0.8	-7.88e-02	4.17e-03	0.1	0.2
11	ok	0.06	2.90e-03	1.46e-05	7.7	7.7	7.7	7.7	-4.58e-02	0.5	-0.2	-0.3	4.99e-02	-0.3
12	ok	0.06	1.74e-03	0.0	7.7	7.7	7.7	7.7	3.95e-02	0.7	7.83e-02	-5.53e-03	0.2	-0.2
13	ok	0.06	3.05e-03	2.36e-05	7.7	7.7	7.7	7.7	-6.17e-02	0.4	-0.2	-0.4	7.14e-02	-0.3
14	ok	0.06	3.56e-03	1.28e-06	7.7	7.7	7.7	7.7	5.85e-03	0.5	8.71e-02	-2.40e-02	0.6	-9.34e-02
15	ok	0.06	5.26e-03	9.31e-05	7.7	7.7	7.7	7.7	-0.5	1.28e-02	0.3	-0.5	0.2	0.6
16	ok	0.06	1.16e-02	2.75e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-1.7	-0.1	-0.6	-1.7	-0.1	-0.7
17	ok	0.06	3.48e-03	1.69e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	0.6	0.2	0.7	0.3	0.1	0.4
18	ok	0.06	2.39e-03	5.48e-05	7.7	7.7	7.7	7.7	-1.83e-02	-7.26e-03	-0.4	0.2	7.77e-04	-0.3
19	ok	0.06	1.60e-03	1.04e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	0.2	8.50e-02	0.6	7.71e-02	0.1	0.2
20	ok	0.06	1.30e-03	6.65e-05	7.7	7.7	7.7	7.7	-0.2	-6.00e-02	0.3	7.74e-02	0.1	0.1
21	ok	0.06	1.60e-03	1.04e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	0.2	8.50e-02	-0.6	7.71e-02	0.1	-0.2
22	ok	0.06	3.48e-03	1.69e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	0.6	0.2	-0.7	0.3	0.1	-0.4
23	ok	0.06	2.39e-03	5.48e-05	7.7	7.7	7.7	7.7	-1.83e-02	-7.26e-03	0.4	0.2	4.56e-03	0.3
24	ok	0.06	4.98e-03	5.50e-05	7.7	7.7	7.7	7.7	0.5	-1.28e-02	-0.3	0.4	-7.20e-02	-0.6
25	ok	0.06	1.15e-02	1.55e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	1.7	0.1	0.6	1.6	0.2	0.7
26	ok	0.06	3.35e-03	7.70e-05	7.7	7.7	7.7	7.7	6.17e-02	-0.4	0.2	0.3	0.1	0.3
27	ok	0.06	3.24e-03	8.51e-05	7.7	7.7	7.7	7.7	4.58e-02	-0.5	-0.2	0.3	0.2	-0.3
28	ok	0.06	3.35e-03	7.70e-05	7.7	7.7	7.7	7.7	6.17e-02	-0.4	-0.2	0.3	0.1	-0.3
29	ok	0.06	4.98e-03	5.50e-05	7.7	7.7	7.7	7.7	0.5	-1.28e-02	0.3	0.4	-7.20e-02	0.6
30	ok	0.06	1.15e-02	1.55e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	1.7	0.1	-0.6	1.6	0.2	-0.7
31	ok	0.06	2.89e-03	1.19e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-5.85e-03	-0.5	-8.71e-02	2.42e-02	-0.5	8.97e-02
32	ok	0.06	1.19e-03	9.98e-05	7.7	7.7	7.7	7.7	-3.95e-02	-0.7	-7.83e-02	4.39e-03	2.95e-02	0.2
33	ok	0.06	1.46e-03	1.11e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-5.40e-02	-0.8	7.88e-02	-5.07e-03	0.1	-0.2
34	ok	0.06	1.19e-03	9.98e-05	7.7	7.7	7.7	7.7	-3.95e-02	-0.7	7.83e-02	4.39e-03	2.95e-02	-0.2
35	ok	0.06	2.89e-03	1.19e-04	7.7	7.7	7.7	7.7	-5.85e-03	-0.5	8.71e-02	2.42e-02	-0.5	-8.97e-02
Nodo		x/d	V N/M	ver. rid	Af pr-	Af pr+	Af sec-	Af sec+	N x	N y	N xy	M x	M y	M xy
									-1.67	-0.77	-0.74	-1.66	-0.46	-0.69
		0.06	0.01	2.75e-04	7.70	7.70	7.70	7.70	1.67	0.77	0.74	1.64	0.58	0.69

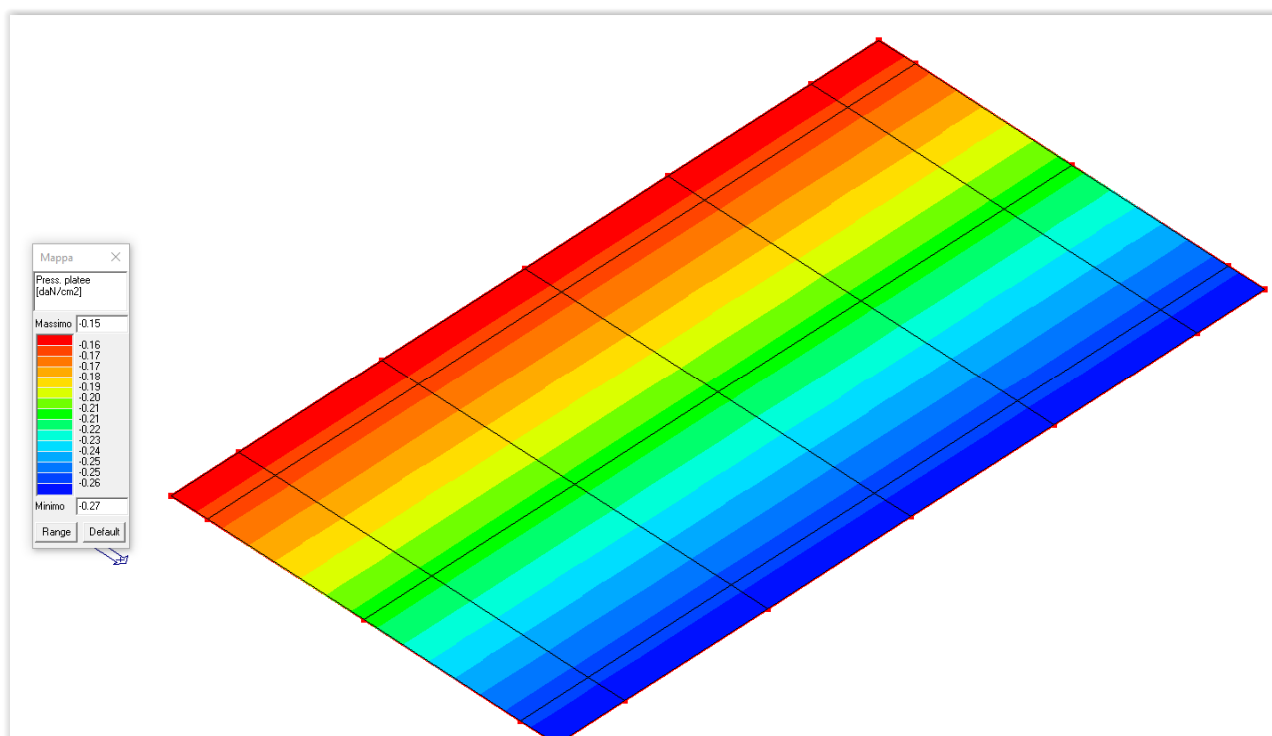
Verifiche SLU a taglio

Nodo	Stato	Max tau	Ver V pr	Ver V sec	Af V pr	Af V sec	V pr	V sec
		daN/cm2					kN/ m	kN/ m
1	ok	0.02						
2	ok	0.02						
3	ok	9.95e-03						
4	ok	9.95e-03						
5	ok	0.04						
6	ok	0.04						
7	ok	0.09						
8	ok	0.02						
9	ok	0.04						
10	ok	0.01						
11	ok	0.04						
12	ok	0.02						
13	ok	0.04						
14	ok	0.04						
15	ok	0.04						
16	ok	0.09						
17	ok	0.05						
18	ok	0.04						
19	ok	0.03						
20	ok	0.03						
21	ok	0.03						
22	ok	0.05						
23	ok	0.04						
24	ok	0.03						
25	ok	0.06						
26	ok	0.04						

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 65 di 153

Verifiche SLU a taglio

Nodo	Stato	Max tau	Ver V pr	Ver V sec	Af V pr	Af V sec	V pr	V sec
27	ok	0.03						
28	ok	0.04						
29	ok	0.03						
30	ok	0.06						
31	ok	0.06						
32	ok	0.03						
33	ok	0.02						
34	ok	0.03						
35	ok	0.06						
Nodo		Max tau	Ver V pr	Ver V sec	Af V pr	Af V sec	V pr	V sec
		0.09						



Determinazione massime pressioni sul terreno agli SLU

Il vincolamento del macchinario è previsto dal costruttore con **n°.4 tasselli M20 di lunghezza 250mm** mediante realizzazione di pozzetti di inghisaggio riempiti con malta fluida ed a ritiro controllato.

7.6 NUOVE APERTURE

Le **nuove aperture** devono essere realizzate entrambe sul fronte nord e di dimensioni nette, rispettivamente, **120x215cm** e **120x50cm**. La prima è un **vano porta** di accesso al locale *MT/bt* mentre la seconda è una **finestratura d'areazione** nel locale *Trafo*.

La parete muraria presenta **spessore strutturale 28cm** ed è in **mattoni pieni e malta di calce**.

Relativamente all'**altezza** della **parete**, sia assume quella prevalente relativa al *Vano Mt/bt* e pari a circa **4.41m** (da piano campagna a sommità muratura in asse parete). La **lunghezza** della **parete** interessata dagli interventi è pari a **6.60m** (misurata asse-asse murature ortogonali). Sulla parete insiste una copertura in latero-cemento con lunghezza di influenza di circa 1.00m; si può stimare un carico lineare permanente pari a $g = (2.00 + 0.04 + 0.50) \times 1.00 \approx 2.55 \times 1.00 = 2.55 \text{ kN/m}$. Il carico variabile indotto dalla neve ed utile

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 66 di 153

esclusivamente alla verifica statica dell'architravatura superiore, viene assunto pari a $q = 1.30 \times 1.00 = 1.30$ kN/m.

Nota: le caratteristiche geometriche della parete e gli interventi sono sostanzialmente i medesimi di cui alla parete nord della cabina tipo "8".

I risultati del calcolo evidenziano la necessità di realizzare:

- una **cerchiatura metallica compensativa** con **doppi profili HEB120 (S275)** per il nuovo vano porta;
- una **cerchiatura metallica compensativa** con **tripli profili IPE80 (S355)** per la nuova apertura per areazione.

Tabulati di calcolo

MATERIALI

Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019
 f_m - resistenza compressione [daN/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)
 τ_o - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)
 f_{vo} - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)
 E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
 G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 4000.0 (min.), 6000.0 (max.)

Essendo il livello di conoscenza LC1 (Limitata) si utilizzano i valori medi per i moduli elastici e i valori minimi per la resistenza.

Valori di riferimento:

f_m - resistenza compressione = 26.00 daN/cm²
 τ_o - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
 f_{vo} - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²
 E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²
 G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²
 μ = fattore duttilità = 1.50 (da valori sperimentali secondo gli studi di Turnsek e Cacovic)
 γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

Fattore confidenza FC = 1.35
 Coef. parz. sic. γ_M = 2.00 (4.5.6.1)
 f_m = 9.63 daN/cm²
 τ_o = 0.19 daN/cm²
 f_{vo} = 0.48 daN/cm²
 Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00
 E = 7500 daN/cm²
 G = 2500 daN/cm²

Materiali dei telai

Acciaio	f_{yk} [daN/cm ²]	f_{tk} [daN/cm ²]	E [daN/cm ²]	G [daN/cm ²]	γ_a [kg/mc]
S 275	2750.0	4300.0	2100000.0	807692.0	7850.0
S 355	3550.0	5100.0	2100000.0	807692.0	7850.0

Sezioni in acciaio dei telai

Profilo	B [cm]	H [cm]	W_x [cm ³]	W_{px} [cm ³]	W_y [cm ³]	W_{py} [cm ³]	Area [cm ²]	Peso [kg/m]
HE120B	12.0	12.0	144.1	165.3	52.9	81.0	34.0	26.71
IPE80	4.6	8.0	20.0	23.2	3.7	5.8	7.7	6.01

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

1. D.M. 17 Gennaio 2018 e allegate 'Norme tecniche per le costruzioni'.

2. Circolare 21/01/2019 n. 7 / CSLLPP Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle 'Norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018

METODOLOGIA DI VERIFICA

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 67 di 153

L'apertura di un vano in una parete muraria accompagnata da opportuni rinforzi è previsto, come 'intervento locale', nella Circolare n.7 / 2019 CSLPP al punto C8.4.1.

Le verifiche possono essere eseguite limitandosi a valutazioni numeriche relative alla sola parete interessata dall'intervento solo a condizione che si dimostri che la rigidezza dell'elemento variato non cambi significativamente e che la resistenza non peggiori ai fini del comportamento rispetto alle azioni orizzontali.

Una variazione significativa della rigidezza delle pareti muterebbe il comportamento globale della struttura e pertanto non risulterebbe sufficiente la verifica locale.

La verifica risulta positiva quando la resistenza alle forze orizzontali V post-operam risultano maggiori o uguali a quelle ante-operam, con variazioni di rigidezza non sostanziali (+/- 15.00%).

Il calcolo di V viene svolto secondo i due seguenti criteri:

1 - criterio di rottura per fessurazione diagonale

Nel caso di muratura non armata in cui la rottura del pannello è di tipo fragile e caratterizzata da lesioni diagonali a 45° l'azione tagliante ultima è determinabile, come specificato nella Circolare n. 7 / 2019 CSLPP al punto C8.7.1.16, con la seguente relazione:

$$V_t = (L T f_{td} / b) (1 + \sigma_o / f_{td})^{1/2}$$

dove i simboli hanno il seguente significato:

L = Lunghezza del pannello murario

T = Spessore del pannello murario

f_{td} = Resistenza di calcolo a trazione per fessurazione diagonale della muratura = $1,5 \tau_o$

σ_o = Tensione normale media riferita all'area totale della base del setto

b = Coefficiente correttivo legato alla distribuzione degli sforzi sulla sezione, dipendente dalla snellezza della parete. Si può assumere $b = H / L$, comunque non superiore a 1,5 e non inferiore a 1, dove H è l'altezza del pannello

2 - criterio di rottura per pressoflessione

$$V_{pf} = (L^2 T \sigma_o / 2) (1 - \sigma_o / 0,85 f_d) / (H / 2)$$

dove f_d = Resistenza di calcolo a compressione della muratura

La rigidezza del singolo pannello murario K viene valutata con la seguente relazione:

$$K = 1 / (H^3 / n E J + 1.2 H / G A)$$

dove i simboli hanno il seguente significato:

E, G moduli di elasticità normale e tangenziale della muratura

J momento di inerzia del maschio murario = $T L^3 / 12$

n coefficiente relativo al grado di vincolo offerto dal traverso superiore.

In questo caso $n = 12$ (presenza di cordolo rigido => schema incastro scorrevole).

A area del maschio murario = $T L$

H altezza deformabile = altezza del piano (parete senza fasce murarie rigide)

La rigidezza complessiva risulterà dalla sommatoria dei contributi dei singoli maschi murari che formano la parete.

Considerando la forza tagliante V_u il minimo tra V_t e V_{pf} , lo spostamento al limite elastico vale:

$$\delta_e = V_u / K$$

Lo spostamento ultimo ottenuto considerando le riserve plastiche del materiale sarà:

$$\delta_u = \delta_e \mu \quad (\text{dove } \mu \text{ è il fattore di duttilità della muratura.})$$

La resistenza ultima a taglio verrà calcolata in base alla curva caratteristica del diagramma $V-\delta$

TELAIO DI CERCHIATURA DELLE APERTURE

Definendo:

$\Delta K = K_{sa} - K_{pr}$ (carenza di rigidezza della muratura a seguito dell'intervento)

il telaio, per poter sopporre a tale carenza dovrà avere una rigidezza K_t maggiore o uguale a ΔK

La rigidezza del telaio è data dalla sommatoria delle rigidezze dei singoli montanti costituenti la cerchiatura.

Rigidezza del montante $K_i = n E J / H^3$ con n che dipende dal vincolo alla base (3 cerniera, 12 incastro)

La rigidezza totale del telaio sarà: $K_t = \sum K_i$

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 68 di 153

La resistenza a taglio del telaio sarà: $V_t = K_t \delta u$ (con δu = spostamento ultimo post-operam)

CARICHI

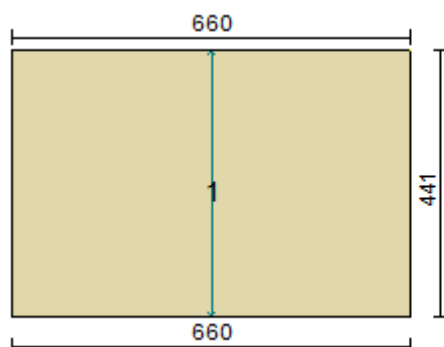
In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

Carico permanente $G_k = 255.0$ daN/m

Carico variabile $Q_k = 130.0$ daN/m

Per la determinazione della tensione media verticale, verranno inoltre considerati i contributi dovuti al peso proprio di metà maschio murario e delle semifasce superiori gravanti sul maschio stesso.

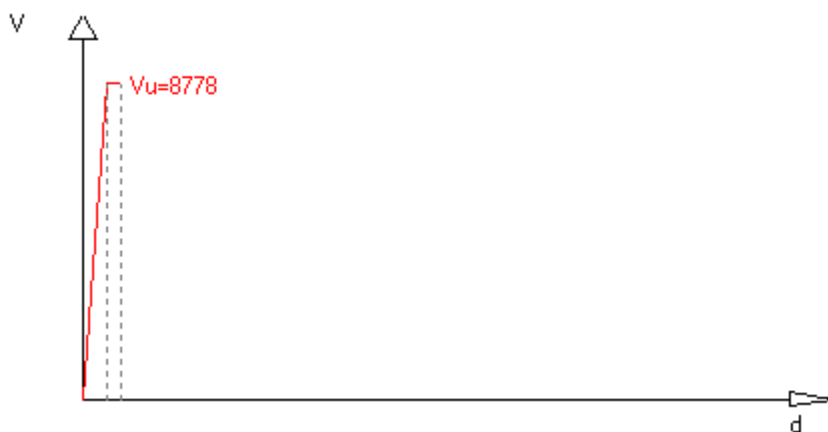
Ante-operam



T (sp. parete) = 28.00 cm

Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	σ_0	K_0	V_t	V_{pf}	V_u	δ_e	δ_u
1	660.0	441.0	1.00	0.534	77669.2	8778.1	13815.0	8778.1	0.113	0.170

Curva caratteristica ante-operam:



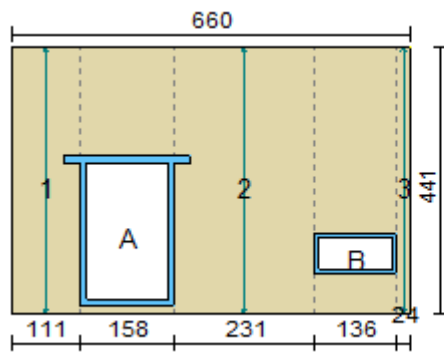
Rigidezza complessiva della parete: $K_{sa} = 77669.2$ daN/cm

Taglio ultimo della parete: $V_{sa} = 8778.1$ daN

Spostamento ultimo: $\delta u_{sa} = 0.170$ cm

Post-operam

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 69 di 153

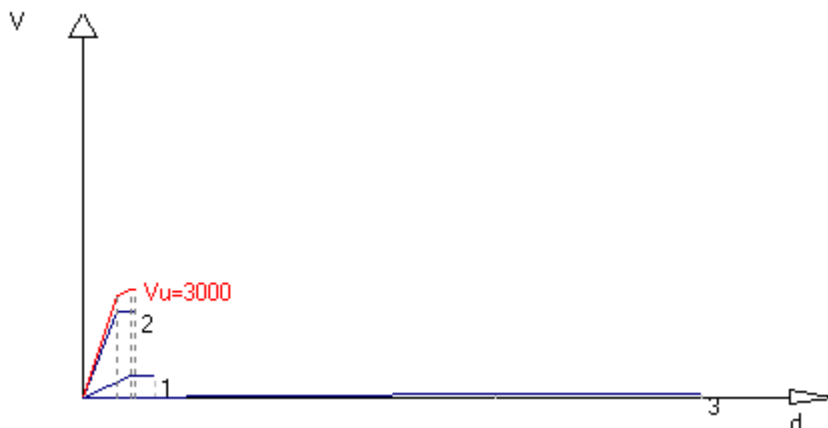


T (sp. parete) = 28.00 cm

Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
A	Cerchiata	2 HE120B (S 275)	2 HE120B (S 275)	2HE120B+2HE120B (S 275)
B	Cerchiata	3 IPE80 (S 355)	3 IPE80 (S 355)	3IPE80+3IPE80 (S 355)

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ_0	Ko	Vt	Vpf	Vu	δ_e	δ_u
1	111.0	28.00	441.0	1.50	0.862	2726.8	1165.7	603.1	603.1	0.221	0.332
2	231.0	28.00	441.0	1.50	0.827	15183.7	2388.8	2518.6	2388.8	0.157	0.236
3	24.0	28.00	441.0	1.50	2.495	33.5	393.2	63.4	63.4	1.894	2.841

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete: Kpr = 17943.9 daN/cm

Taglio ultimo della parete: Vpr = 2999.7 daN

Spostamento ultimo: δ_u pr = 0.236 cm

VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 17944 - 77669 = -59725$ daN/cm (riduzione rigidezza = -76.9%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 3000 - 8778 = -5778$ daN (riduzione resistenza = -65.8%)

Rigidezza e resistenza dei telai:

Note:

$K = c E J / H_i^3$, con: c = 3 nel caso di telaio incernierato alla base, c = 12 nel caso di incastro

$F_o = K \delta_{min}$

Telaio	c	H _i [cm]	K [daN/cm]	Mu [daN cm]	δ_{min} [cm]	F _o [daN]
A	12	237.00	6547.1	1509724.0	0.24	1545.0
B	12	58.00	62119.2	406525.7	0.24	14659.3

$K_t = \Sigma K = 68666$ daN/cm

$V_t = \Sigma F_o = 16204$ daN

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 70 di 153

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento: $\Delta K_{tot} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = 8941 \text{ daN/cm}$ aumento rigidezza = 11.5%; variazione percentuale di ΔK_{tot} compresa entro il 15.0% Ok $\Delta V_{tot} = V_{pr} + V_t - V_{sa} = 10426 \text{ daN}$ aumento resistenza = 118.8%; $\Delta V_{tot} > 0$ Ok

VERIFICA ARCHITRAVI IN ACCIAIO

La verifica si riferisce alla fase di montaggio nel momento in cui è già stata rimossa la muratura, ma le architravi non sono ancora collegate ai montanti.

2 architravi	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Jx [cm ⁴]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120B	12.0	12.0	144.1	864.6	34.0	11.0	0.65	1.10	1.20

Luce di calcolo L = 146.0 cm
 P.P. architrave PPa = 0.534 daN/cm
 P.P. fascia muratura PPm = 9.022 daN/cm
 Carico permanente trasmesso dalla sovrastruttura Gk = 2.55 daN/cm
 Carico variabile trasmesso dalla sovrastruttura Qk = 1.30 daN/cm

$$q_{SLU} = 1.3 (G_k + PPa + PPm) + 1.5 Q_k = 17.69 \text{ daN/cm}$$

$$q_{SLE \text{ Rare}} = G_1 + G_2 + PPa + PPm + 0.7 Q_k = 13.0 \text{ daN/cm} \quad (\psi_{f0} = 0.7)$$

$$M_{Ed} = (q_{SLU} L^2) / 8 = 47128.6 \text{ daN cm}$$

$$M_{cRd} = W_x f_{yd} = 754861.9 \text{ daN cm}$$

$$M_{Ed} / M_{cRd} = 0.0624 < 1 \text{ Ok}$$

$$V_{Ed} = (q_{SLU} L) / 2 = 1291.20 \text{ daN}$$

$$V_{cRd} = A_v f_{yd} / \sqrt{3} = 33190.77 \text{ daN}$$

$$V_{Ed} / V_{cRd} = 0.0389 < 1 \text{ Ok}$$

$$\text{Freccia} = (5/384) (q_{SLE} L^4) / (E J_x) = 0.0212 \text{ cm} < L/500 = 0.2920 \text{ cm Ok}$$

3 architravi	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Jx [cm ⁴]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE80	4.6	8.0	20.0	80.2	7.7	3.6	0.38	0.52	0.50

Luce di calcolo L = 128.0 cm
 P.P. architrave PPa = 0.180 daN/cm
 P.P. fascia muratura PPm = 15.523 daN/cm
 Carico permanente trasmesso dalla sovrastruttura Gk = 2.55 daN/cm
 Carico variabile trasmesso dalla sovrastruttura Qk = 1.30 daN/cm

$$q_{SLU} = 1.3 (G_k + PPa + PPm) + 1.5 Q_k = 25.68 \text{ daN/cm}$$

$$q_{SLE \text{ Rare}} = G_1 + G_2 + PPa + PPm + 0.7 Q_k = 19.2 \text{ daN/cm} \quad (\psi_{f0} = 0.7)$$

$$M_{Ed} = (q_{SLU} L^2) / 8 = 52591.5 \text{ daN cm}$$

$$M_{cRd} = W_x f_{yd} = 203262.9 \text{ daN cm}$$

$$M_{Ed} / M_{cRd} = 0.2587 < 1 \text{ Ok}$$

$$V_{Ed} = (q_{SLU} L) / 2 = 1643.48 \text{ daN}$$

$$V_{cRd} = A_v f_{yd} / \sqrt{3} = 20985.50 \text{ daN}$$

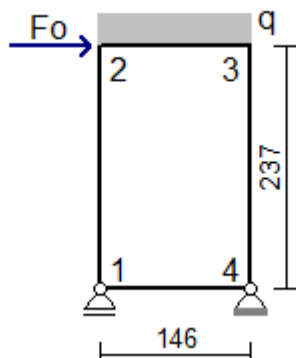
$$V_{Ed} / V_{cRd} = 0.0783 < 1 \text{ Ok}$$

$$\text{Freccia} = (5/384) (q_{SLE} L^4) / (E J_x) = 0.1326 \text{ cm} < L/500 = 0.2560 \text{ cm Ok}$$

Verifiche dei telai.

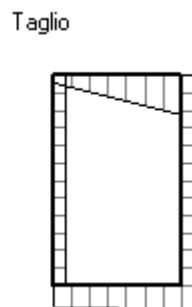
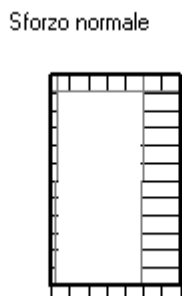
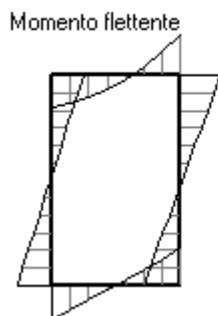
Telaio A

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 71 di 153



$F_o = 1545.02 \text{ daN}$, $q = G_k + \psi_2 Q_k = 11.57 \text{ daN/cm}$ ($\psi_2 = 0.00$)

Sollecitazioni telaio A



Sollecitazione di compressione per $N > 0$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-2

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-2	1	0.0	-88545.0	-238.8	711.1
	2	19.8	-74500.6	-249.3	711.1
	3	39.5	-60456.2	-259.9	711.1
	4	59.3	-46411.8	-270.4	711.1
	5	79.0	-32367.4	-281.0	711.1
	6	98.8	-18323.0	-291.5	711.1
	7	118.5	-4278.6	-302.1	711.1
	8	138.3	9765.8	-312.6	711.1
	9	158.0	23810.2	-323.2	711.1
	10	177.8	37854.6	-333.7	711.1
	11	197.5	51899.0	-344.2	711.1
	12	217.3	65943.4	-354.8	711.1
	13	237.0	79987.8	-365.3	711.1

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120B	12.0	12.0	144.1	165.3	34.0	11.0	0.65	1.10	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-2

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, $V_{ed} = 355,6 \text{ daN}$

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 16595.38 \text{ daN}$

$V_{ed} / V_{crd} = 0.021 < 1$ Ok

Tenso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, $M_{ed} = -44272,5 \text{ daNcm}$, $N_{ed} = -119,4 \text{ daN}$, $V_{ed} = 355,6 \text{ daN}$

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{235 / f_{yk}} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.50$, $\psi = -1.01$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.07 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 11.38 < 36 \varepsilon / \alpha = 67.16$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 89100.0 \text{ daN}$

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 72 di 153

$n = N_{ed} / N_{rd} = -0.001$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.224$
 $M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{MO} = 432850.0 \text{ daNcm}$
 $M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 488093.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$
 $Med / M_{nrd} = 0.10 < 1 \text{ Ok}$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	79987.8	833.9	-365.3
	2	20.9	69734.6	833.9	-617.8
	3	41.7	54215.2	833.9	-870.3
	4	62.6	33429.5	833.9	-1122.8
	5	83.4	7377.6	833.9	-1375.3
	6	104.3	-23940.5	833.9	-1627.8
	7	125.1	-60524.9	833.9	-1880.3
	8	146.0	-102375.5	833.9	-2132.8

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120B	12.0	12.0	144.1	165.3	34.0	11.0	0.65	1.10	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 2-3

Taglio: sez. 8, dist. = 146,0 cm, Ved = -1066,4 daN
 Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{MO} \sqrt{3}) = 16595.38 \text{ daN}$
 $V_{ed} / V_{crd} = 0.064 < 1 \text{ Ok}$

Presso-flessione: sez. 8, dist. = 146,0 cm, Med = -51187,8 daNcm, Ned = 417,0 daN, Ved = -1066,4 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.52$, $\psi = -0.98$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.07 < 9 \varepsilon = 8.32 \text{ (cl. 1)}$

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 11.38 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 64.17 \text{ (cl. 1)}$

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{MO} = 89100.0 \text{ daN}$

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.005$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.224$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{MO} = 432850.0 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 485158.8 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$Med / M_{nrd} = 0.12 < 1 \text{ Ok}$

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 39993,9 daNcm, Ned = 417,0 daN, Ved = -182,7 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 840705.0 \text{ daN}$

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow \text{Verifica non richiesta}$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-102375.5	2132.8	833.9
	2	19.8	-85905.8	2143.3	833.9
	3	39.5	-69436.0	2153.9	833.9
	4	59.3	-52966.3	2164.4	833.9
	5	79.0	-36496.5	2175.0	833.9
	6	98.8	-20026.8	2185.5	833.9
	7	118.5	-3557.0	2196.1	833.9
	8	138.3	12912.7	2206.6	833.9
	9	158.0	29382.5	2217.2	833.9
	10	177.8	45852.2	2227.7	833.9
	11	197.5	62322.0	2238.3	833.9
	12	217.3	78791.7	2248.8	833.9
	13	237.0	95261.5	2259.4	833.9

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120B	12.0	12.0	144.1	165.3	34.0	11.0	0.65	1.10	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 3-4

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 417,0 daN
 Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{MO} \sqrt{3}) = 16595.38 \text{ daN}$

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 73 di 153

$V_{ed} / V_{crd} = 0.025 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -51187,8 daNcm, Ned = 1066,4 daN, Ved = 417,0 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.54$, $\psi = -0.94$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.07 < 9$ $\varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 11.38 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 60.77$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 89100.0$ daN

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.012$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.224$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 432850.0$ daNcm

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 481605.9$ daNcm $> M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$Med / M_{nrd} = 0.12 < 1$ Ok

sez. 13, dist. = 237,0 cm, Med = 47630,7 daNcm, Ned = 1129,7 daN, Ved = 417,0 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 319045.5$ daN

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$ Verifica non richiesta

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-4	1	0.0	88545.0	711.1	-1220.0
	2	20.9	62984.0	711.1	-1231.1
	3	41.7	37190.6	711.1	-1242.2
	4	62.6	11164.9	711.1	-1253.4
	5	83.4	-15093.2	711.1	-1264.5
	6	104.3	-41583.6	711.1	-1275.7
	7	125.1	-68306.4	711.1	-1286.8
	8	146.0	-95261.5	711.1	-1297.9

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	W _x [cm ³]	W _{px} [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120B	12.0	12.0	144.1	165.3	34.0	11.0	0.65	1.10	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-4

Taglio: sez. 8, dist. = 146,0 cm, Ved = -649,0 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 16595.38$ daN

$V_{ed} / V_{crd} = 0.039 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 8, dist. = 146,0 cm, Med = -47630,7 daNcm, Ned = 355,6 daN, Ved = -649,0 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.51$, $\psi = -0.98$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.07 < 9$ $\varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 11.38 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 64.51$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 89100.0$ daN

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.004$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.224$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 432850.0$ daNcm

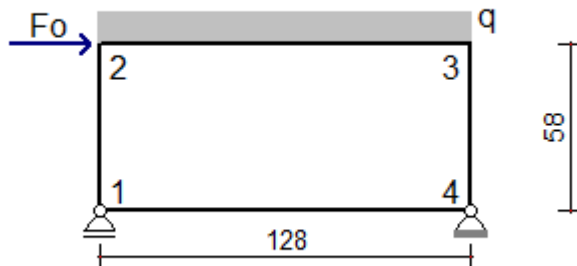
$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 485494.7$ daNcm $> M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$Med / M_{nrd} = 0.11 < 1$ Ok

Nota (*): non essendo possibile collegare le travi mediante calastrelli nel lato verso la muratura, le verifiche saranno eseguite su profili semplici dividendo le sollecitazioni per il numero delle sezioni presenti nel tratto.

Telaio B

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 74 di 153



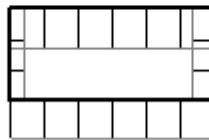
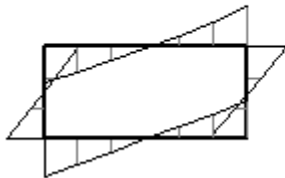
$$F_o = 14659.34 \text{ daN}, \quad q = G_k + \psi_2 Q_k = 11.57 \text{ daN/cm} \quad (\psi_2 = 0.00)$$

Sollecitazioni telaio B

Momento flettente

Sforzo normale

Taglio



Sollecitazione di compressione per $N > 0$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-2

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-2	1	0.0	-211308.6	-2553.8	7088.3
	2	19.3	-74268.9	-2557.3	7088.3
	3	38.7	62770.8	-2560.8	7088.3
	4	58.0	199810.5	-2564.3	7088.3

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE80	4.6	8.0	20.0	23.2	7.7	3.6	0.38	0.52	0.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-2

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 2362,8 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 6995.17 \text{ daN}$

$V_{ed} / V_{crd} = 0.338 < 1$ Ok

Tenso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -70436,2 daNcm, Ned = -851,3 daN, Ved = 2362,8 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.81, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.45, \quad \psi = -1.12$$

Ali in compressione: $c_f / e = 3.10 < 9 \varepsilon = 7.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 15.68 < 36 \varepsilon / \alpha = 65.52$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 25864.3 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = -0.033, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.375$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 78505.7 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 99780.5 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.90 < 1 \text{ Ok}$$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	199810.5	7571.1	-2564.3
	2	21.3	142432.2	7571.1	-2815.0

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO						Rev. 02 del 19/07/21		
	RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE						Pagina 75 di 153		

3	42.7	79705.5	7571.1	-3065.7
4	64.0	11630.5	7571.1	-3316.4
5	85.3	-61792.9	7571.1	-3567.1
6	106.7	-140564.6	7571.1	-3817.8
7	128.0	-224684.7	7571.1	-4068.5

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE80	4.6	8.0	20.0	23.2	7.7	3.6	0.38	0.52	0.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 2-3

Taglio: sez. 7, dist. = 128,0 cm, Ved = -1356,2 daN
 Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 6995.17 \text{ daN}$
 $V_{ed} / V_{crd} = 0.194 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 7, dist. = 128,0 cm, Med = -74894,9 daNcm, Ned = 2523,7 daN, Ved = -1356,2 daN
 Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.81, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.66, \quad \psi = -0.71$$

Ali in compressione: $c_f / e = 3.10 < 9 \varepsilon = 7.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 15.68 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 42.73$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 25864.3 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.098, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.375$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 78505.7 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 87175.3 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.95 < 1 \text{ Ok}$$

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 66603,5 daNcm, Ned = 2523,7 daN, Ved = -854,8 daN

Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 101404.4 \text{ daN}$$

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$ Verifica non richiesta

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-224684.7	4068.5	7571.1
	2	19.3	-78310.5	4072.0	7571.1
	3	38.7	68063.7	4075.4	7571.1
	4	58.0	214437.9	4078.9	7571.1

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE80	4.6	8.0	20.0	23.2	7.7	3.6	0.38	0.52	0.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 3-4

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 2523,7 daN
 Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 6995.17 \text{ daN}$
 $V_{ed} / V_{crd} = 0.361 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -74894,9 daNcm, Ned = 1356,2 daN, Ved = 2523,7 daN
 Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.81, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.58, \quad \psi = -0.83$$

Ali in compressione: $c_f / e = 3.10 < 9 \varepsilon = 7.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 15.68 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 48.84$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 25864.3 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.052, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.375$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 78505.7 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 91535.9 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.95 < 1 \text{ Ok}$$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-4	1	0.0	211308.6	7088.3	-3314.6

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO						Rev. 02 del 19/07/21		
	RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE						Pagina 76 di 153		

2	21.3	140555.9	7088.3	-3318.5
3	42.7	69721.1	7088.3	-3322.3
4	64.0	-1195.7	7088.3	-3326.1
5	85.3	-72194.4	7088.3	-3330.0
6	106.7	-143275.1	7088.3	-3333.8
7	128.0	-214437.9	7088.3	-3337.7

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE80	4.6	8.0	20.0	23.2	7.7	3.6	0.38	0.52	0.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-4

Taglio: sez. 7, dist. = 128,0 cm, Ved = -1112,6 daN
 Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 6995.17 \text{ daN}$
 $V_{ed} / V_{crd} = 0.159 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 7, dist. = 128,0 cm, Med = -71479,3 daNcm, Ned = 2362,8 daN, Ved = -1112,6 daN
 Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.81$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.65$, $\psi = -0.72$

Ali in compressione: $c_f / e = 3.10 < 9 \varepsilon = 7.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 15.68 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 43.48$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 25864.3 \text{ daN}$

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.091$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.375$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 78505.7 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 87776.4 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$Med / M_{nrd} = 0.91 < 1$ Ok

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 70436,2 daNcm, Ned = 2362,8 daN, Ved = -1104,9 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 101404.4 \text{ daN}$

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$ Verifica non richiesta

Nota (*): non essendo possibile collegare le travi mediante calastrelli nel lato verso la muratura, le verifiche saranno eseguite su profili semplici dividendo le sollecitazioni per il numero delle sezioni presenti nel tratto.

Verifica connessioni acciaio-acciaio: saldature a cordone d'angolo

Valgono le prescrizioni di cui alla *Cabina tipo "8"*. Essendo necessari i medesimi profili per le cerchiature, si prescrivono nuovamente **saldature a cordoni d'angolo di lato 21mm e gola 15mm**. Si omettono le verifiche delle saldature.

Connessioni acciaio-muratura

Valgono le considerazioni riportate per le altre cerchiature previste su altre cabine.

8 CABINA N°.3

8.1 PREMESSA

La cabina n°.3 presenta i medesimi interventi della cabina n°.2. L'unica differenza riguarda l'intervento relativo alle nuove forometrie per passaggio tubazione Dn200 da realizzarsi sulla parete ovest in quanto la posizione delle forometrie sia in stato di fatto sia in progetto è lievemente diversa.

8.2 NUOVE FOROMETRIE PER PASSAGGI IMPIANTISTICI

8.2.1 Parete Ovest

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 77 di 153

Sulla parete Ovest si rende necessario realizzare **n°.3 nuove forometrie** per passaggio tubazioni in acciaio Dn200. Già in stato di fatto sono presenti n°.3 fori delle medesime dimensioni, posti però ad un'altezza inferiore e lievemente traslati in pianta. Le nuove forometrie sono poste a più di 1m di distanza dagli incroci murari. **E' possibile realizzare l'intervento, come da calcoli riportati a seguire, senza introduzione di cerchiature metalliche aggiuntive sulle nuove forometrie.**

La lunghezza della parete è 10.0m e l'altezza 2.58m (misurata in asse parete). Le forometrie esistenti hanno una larghezza di 22cm ed un'altezza di 26cm (in quanto il passaggio nella muratura ha giacitura non orizzontale); le nuove forometrie sono imposte di dimensioni quadrate di lato 22cm (il passaggio nella muratura è a giacitura orizzontale).

Sulla parete insiste la copertura in latero-cemento con lunghezza di influenza di circa 1.50m (comprendendo lo sporto esterno); si può stimare un carico lineare permanente pari a $g = (2.00 + 0.04 + 0.50) \times 1.50 \approx 2.55 \times 1.50 = 3.81 \text{ kN/m}$. Il carico variabile indotto dalla neve viene assunto pari a $q = 1.30 \times 1.50 = 1.95 \text{ kN/m}$.

Tabulati di calcolo

MATERIALI

Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019
 f_m - resistenza compressione [daN/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)
 τ_o - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)
 f_{vo} - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)
 E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
 G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 4000.0 (min.), 6000.0 (max.)

Essendo il livello di conoscenza LC1 (Limitata) si utilizzano i valori medi per i moduli elastici e i valori minimi per la resistenza.

Valori di riferimento:

f_m - resistenza compressione = 26.00 daN/cm²
 τ_o - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
 f_{vo} - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²
 E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²
 G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²
 μ = fattore duttilità = 1.50 (da valori sperimentali secondo gli studi di Turnsek e Cacovic)
 γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

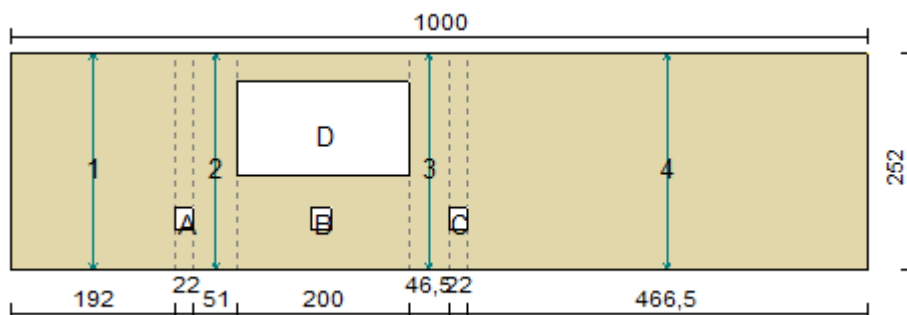
Fattore confidenza FC = 1.35
 Coef. parz. sic. $\gamma_M = 2.00$ (4.5.6.1)
 $f_m = 9.63 \text{ daN/cm}^2$
 $\tau_o = 0.19 \text{ daN/cm}^2$
 $f_{vo} = 0.48 \text{ daN/cm}^2$
 Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00
 $E = 7500 \text{ daN/cm}^2$
 $G = 2500 \text{ daN/cm}^2$

CARICHI

In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:
 Carico permanente $G_k = 381.0 \text{ daN/m}$
 Carico variabile $Q_k = 195.0 \text{ daN/m}$

Per la determinazione della tensione media verticale, verranno inoltre considerati i contributi dovuti al peso proprio di metà maschio murario e delle semifasce superiori gravanti sul maschio stesso.

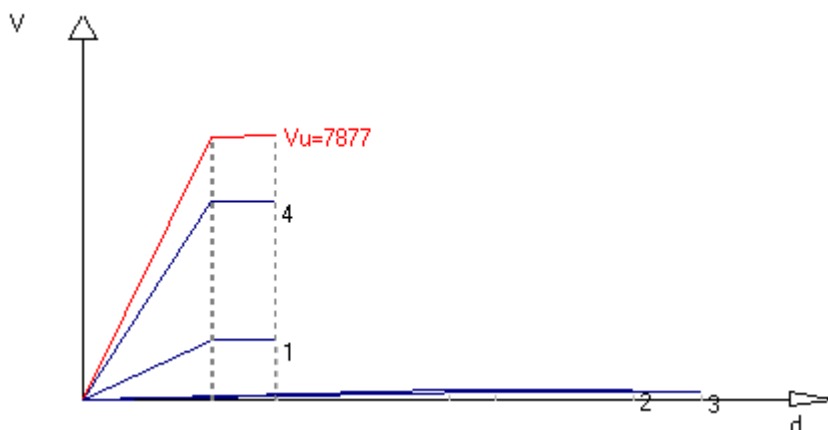
Ante-operam



T (sp. parete) = 28.00 cm

Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	$\sigma\sigma$	Ko	Vt	Vpf	Vu	δe	δu
1	192.0	252.0	1.31	0.463	30060.2	1857.7	1787.9	1787.9	0.059	0.089
2	51.0	252.0	1.50	1.006	1517.0	568.4	254.9	254.9	0.168	0.252
3	46.5	252.0	1.50	1.061	1175.3	529.4	221.9	221.9	0.189	0.283
4	466.5	252.0	1.00	0.445	99889.3	5852.8	10173.5	5852.8	0.059	0.088

Curva caratteristica ante-operam:

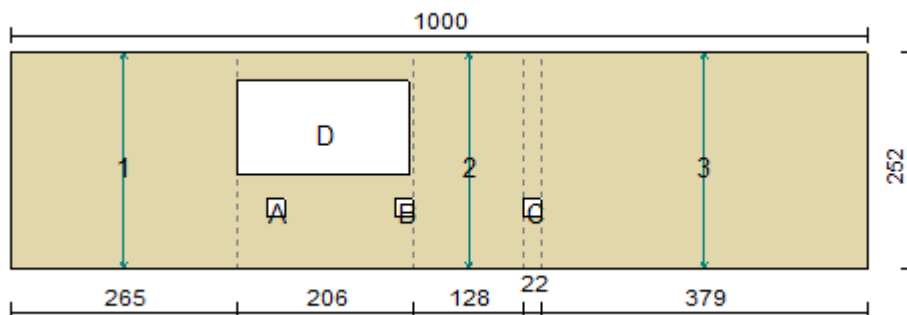


Rigidezza complessiva della parete: $K_{sa} = 132641.8$ daN/cm

Taglio ultimo della parete: $V_{sa} = 7877.3$ daN

Spostamento ultimo: $\delta u_{sa} = 0.088$ cm

Post-operam



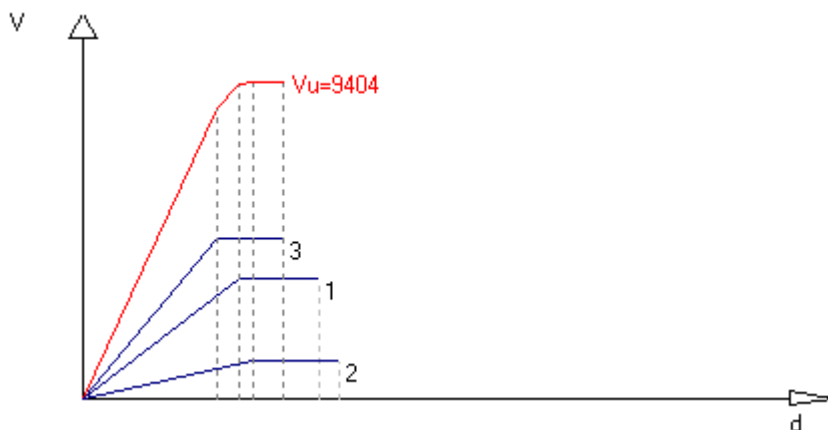
T (sp. parete) = 28.00 cm

Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
D	Libera	No	No	No
A	Libera	No	No	No
B	Libera	No	No	No
C	Libera	No	No	No

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 79 di 153

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ_0	K_0	V_t	V_{pf}	V_u	δ_e	δ_u
1	265.0	28.00	252.0	1.00	0.535	49027.3	3525.5	3900.7	3525.5	0.072	0.108
2	128.0	28.00	252.0	1.50	0.667	14267.9	1224.1	1115.3	1115.3	0.078	0.117
3	379.0	28.00	252.0	1.00	0.447	78135.9	4762.8	6749.0	4762.8	0.061	0.091

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 141431.1$ daN/cm

Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 9403.7$ daN

Spostamento ultimo: δ_u pr = 0.091 cm

VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 141431 - 132642 = 8789$ daN/cm (aumento rigidezza = 6.6%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 9404 - 7877 = 1526$ daN (aumento resistenza = 19.4%)

La variazione percentuale di ΔK è compresa tra +/- 15.0%, limite di accettabilità per considerare l'intervento di tipo locale. La resistenza post-operam non è inferiore di quella ante-operam, quindi la parete potrà essere modificata senza richiedere opere aggiuntive di irrigidimento delle aperture.

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 80 di 153

9 CABINA N°.5

9.1 PREMESSA

Gli interventi da realizzarsi riguardano:

- la tamponatura di n°.3 vani porta (n°.1 sul parete perimetrale e n°.2 su parete interna);
- la trasformazione di una finestra in porta-finestra;
- la realizzazione di n°.2 nuove aperture;
- la realizzazione di alcune forometrie per passaggio tubazioni;
- la realizzazione di nuovi basamenti in c.a. per alloggiamento pompe.

Per quanto attiene la **tamponatura delle aperture esistenti** si adotta una **soluzione non strutturale** ossia i vani porta saranno **semplicemente tamponati con laterizi forati (sui muri interni) o con laterizi semi-pieni (su muratura di perimetro), in entrambi i casi senza realizzare l'ammorsamento con le murature esistenti.**

La **trasformazione di finestra in porta-finestra** è un intervento **privo di rilevanza ai fini sismici** in quanto **non viene modificata la larghezza del vano.**

La realizzazione delle nuove aperture è oggetto di calcolo strutturale e risultano **necessarie cerchiature compensative** come meglio descritto nel seguito.

Relativamente alle **nuove forometrie in murature portanti per passaggi impiantistici**, si rimanda al paragrafo specifico riporto a seguire.

I **nuovi basamenti** di supporto delle pompe sono inquadrabili come **privi di rilevanza ai fini sismici**

9.2 TAMPONATURA APERTURE ESISTENTI

Come anticipato in premessa le tamponature delle aperture esistenti saranno di tipo **non strutturale**.

9.3 TRASFORMAZIONE DI FINESTRA IN PORTA-FINESTRA

La **trasformazione della finestra (200x110cm) in porta-finestra (200x210cm)** sul fronte est è un **intervento privo di rilevanza ai fini sismici** in quanto ricade al **punto B.4.2.** della *D.G.R. ER 2272/2016 - Trasformazione di finestra in porta-finestra, e viceversa, che non ne aumenti la larghezza originaria, esclusi gli interventi sistematici che alterino in maniera sostanziale il comportamento della fascia di piano. (L1).*

9.4 NUOVE FOROMETRIE PER PASSAGGI IMPIANTISTICI

9.4.1 Parete Sud

Sulla parete Sud si rende necessaria la realizzazione di un **nuovo foro** per il passaggio di una tubazione in acciaio di diametro 320mm. La distanza del foro dall'incrocio murario è inferiore ad 1m, motivo per il quale non è possibile inquadrare l'intervento come *privo di rilevanza ai fini sismici*. L'entità della forometria è decisamente limitata; l'area è circa 0.08m^2 ($< 0.15\text{m}^2$)

Si studia la parete in condizioni pre e post intervento.

La parete presenta un'altezza minima di 2.46m (in gronda) ed un'altezza massima di 3.58m (in colmo); nelle calcolazioni si considera un'altezza media pari a 3.02m. La lunghezza della parete è 4.50m (misurato asse-asse pareti longitudinali). La copertura è ordita parallelamente alla parete; si assume comunque una larghezza di influenza canonica pari ad 1m per la definizione dei carichi sulla parete stessa. Il solaio di

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 81 di 153

copertura è in latero-cemento; si può stimare un carico lineare permanente pari a $g = (2.00 + 0.04 + 0.50) \times 1.00 \approx 2.55 \times 1.00 = 2.55 \text{ kN/m}$. Il carico variabile indotto dalla neve ed utile esclusivamente alla verifica statica dell'architravatura superiore, viene assunto pari a $q = 1.30 \times 1.00 = 1.30 \text{ kN/m}$.

La parete è in muratura di mattoni pieni e malta di calce con spessore strutturale a "due teste" (28cm).

I risultati del calcolo evidenziano la necessità di realizzare una **cerchiatura metallica compensativa** in corrispondenza della **nuova forometria** caratterizzata da **doppi profili UPN 40x35**.

Tabulati di calcolo

ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

Programma: PRO_CAD Interventi locali - Verifica cerchiature software per verifica e progetto di aperture di vani in setti murari.
 Produttore: 2si - Software e Servizi per l'Ingegneria srl
 Via G. Garibaldi 90 - 44121 Ferrara
 Versione: 2020.09.0018h

MATERIALI

Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019
 f_m - resistenza compressione [daN/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)
 τ_o - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)
 f_{vo} - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)
 E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
 G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 4000.0 (min.), 6000.0 (max.)

Essendo il livello di conoscenza LC1 (Limitata) si utilizzano i valori medi per i moduli elastici e i valori minimi per la resistenza.

Valori di riferimento:

f_m - resistenza compressione = 26.00 daN/cm²
 τ_o - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
 f_{vo} - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²
 E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²
 G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²
 μ = fattore duttilità = 1.50 (da valori sperimentali secondo gli studi di Turnsek e Cacovic)
 γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

Fattore confidenza FC = 1.35
 Coef. parz. sic. $\gamma_M = 2.00$ (4.5.6.1)
 $f_m = 9.63 \text{ daN/cm}^2$
 $\tau_o = 0.19 \text{ daN/cm}^2$
 $f_{vo} = 0.48 \text{ daN/cm}^2$
 Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00
 $E = 7500 \text{ daN/cm}^2$
 $G = 2500 \text{ daN/cm}^2$

Materiali del telaio

Acciaio	f_{yk} [daN/cm ²]	f_{tk} [daN/cm ²]	E [daN/cm ²]	G [daN/cm ²]	γ_a [kg/mc]
S 275	2750.0	4300.0	2100000.0	807692.0	7850.0

Sezioni in acciaio del telaio

Profilo	B [cm]	H [cm]	W_x [cm ³]	W_{px} [cm ³]	W_y [cm ³]	W_{py} [cm ³]	Area [cm ²]	Peso [kg/m]
UPN40x35	3.5	4.0	7.1	8.9	3.1	5.6	6.2	4.88

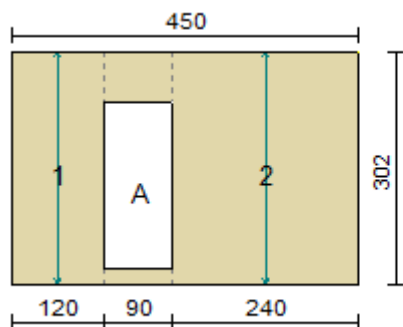
CARICHI

In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:
 Carico permanente $G_k = 255.0 \text{ daN/m}$; Carico variabile $Q_k = 130.0 \text{ daN/m}$

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 82 di 153

Per la determinazione della tensione media verticale, verranno inoltre considerati i contributi dovuti al peso proprio di metà maschio murario e delle semifasce superiori gravanti sul maschio stesso.

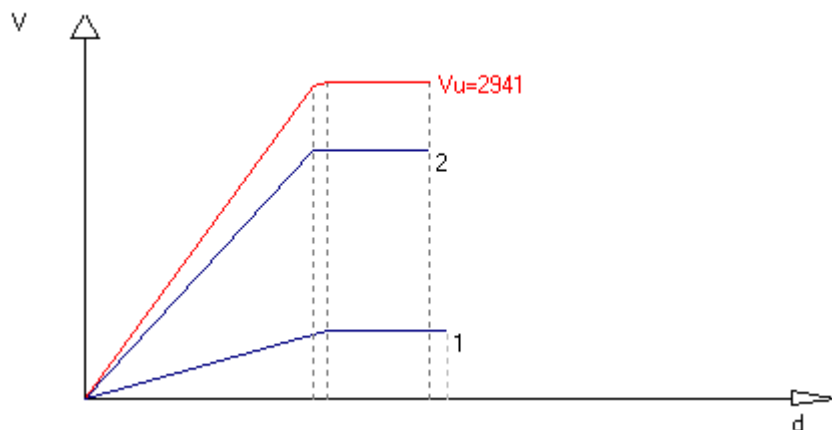
Ante-operam



T (sp. parete) = 28.00 cm

Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	σ	Ko	Vt	Vpf	Vu	δe	δu
1	120.0	302.0	1.50	0.506	8400.1	1045.3	633.9	633.9	0.075	0.113
2	240.0	302.0	1.26	0.458	32196.5	2414.0	2307.6	2307.6	0.072	0.108

Curva caratteristica ante-operam:

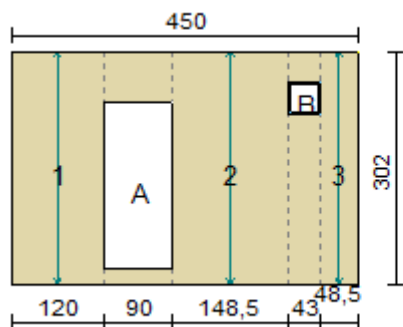


Rigidezza complessiva della parete: $K_{sa} = 40596.6$ daN/cm

Taglio ultimo della parete: $V_{sa} = 2941.5$ daN

Spostamento ultimo: $\delta u_{sa} = 0.108$ cm

Post-operam



T (sp. parete) = 28.00 cm

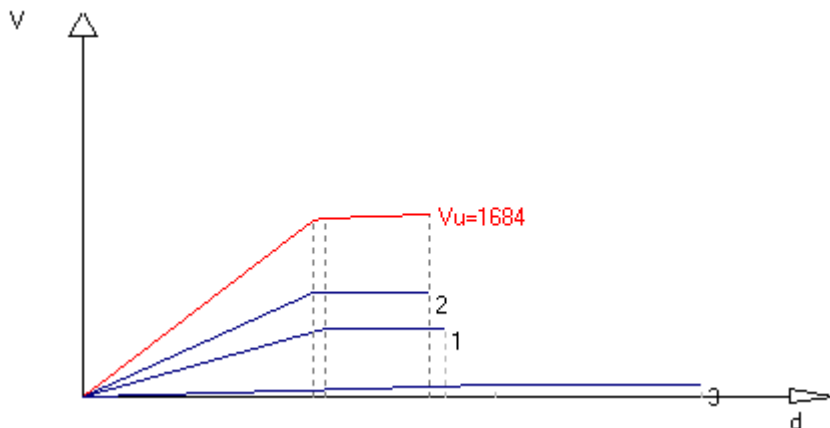
Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
A	Libera	No	No	No
B	Cerchiata	2 UPN40x35 (S 275)		2 UPN40x35 (S 275) 2UPN40x35+2UPN40x35 (S

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 83 di 153

275)

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ_0	Ko	Vt	Vpf	Vu	δ_e	δ_u
1	120.0	28.00	302.0	1.50	0.506	8400.1	1045.3	633.9	633.9	0.075	0.113
2	148.5	28.00	302.0	1.50	0.502	13348.5	1290.4	964.0	964.0	0.072	0.108
3	48.5	28.00	302.0	1.50	0.501	795.9	421.2	102.6	102.6	0.129	0.193

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 22544.6 \text{ daN/cm}$

Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 1684.1 \text{ daN}$

Spostamento ultimo: $\delta_u \text{ pr} = 0.108 \text{ cm}$

VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{\text{mur}} = K_{pr} - K_{sa} = 22545 - 40597 = -18052 \text{ daN/cm}$ (riduzione rigidezza = -44.5%)

$\Delta V_{\text{mur}} = V_{pr} - V_{sa} = 1684 - 2941 = -1257 \text{ daN}$ (riduzione resistenza = -42.7%)

Rigidezza e resistenza del telaio:

Note:

$K = c E J / H_i^3$, con: $c = 3$ nel caso di telaio incernierato alla base, $c = 12$ nel caso di incastro

$F_o = K \delta_{\min}$

Telaio	c	H_i [cm]	K [daN/cm]	M_u [daN cm]	δ_{\min} [cm]	F_o [daN]
B	12	39.00	24014.8	74026.3	0.11	2601.4

$K_t = \Sigma K = 24015 \text{ daN/cm}$

$V_t = \Sigma F_o = 2601 \text{ daN}$

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

$\Delta K_{\text{tot}} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = 5963 \text{ daN/cm}$

aumento rigidezza = 14.7%; **variazione percentuale di ΔK_{tot} compresa entro il 15.0% Ok**

$\Delta V_{\text{tot}} = V_{pr} + V_t - V_{sa} = 1344 \text{ daN}$

aumento resistenza = 45.7%; **$\Delta V_{\text{tot}} > 0$ Ok**

VERIFICA ARCHITRAVI IN ACCIAIO

La verifica si riferisce alla fase di montaggio nel momento in cui è già stata rimossa la muratura, ma le architravi non sono ancora collegate ai montanti.

Architrave: 2 UPN40x35

$J_x = 28.3 \text{ cm}^4$, $W_x = 14.1 \text{ cm}^3$, $A_{\text{taglio}} = 4.0 \text{ cm}^2$

Luce di calcolo $L = 39.0 \text{ cm}$

P.P. architrave $PP_a = 0.098 \text{ daN/cm}$

P.P. fascia muratura $PP_m = 1.966 \text{ daN/cm}$

Carico permanente trasmesso dalla sovrastruttura $G_k = 2.55 \text{ daN/cm}$

Carico variabile trasmesso dalla sovrastruttura $Q_k = 1.30 \text{ daN/cm}$

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 84 di 153

$$q_{SLU} = 1.3 (G_k + PP_a + PP_m) + 1.5 Q_k = 7.95 \text{ daN/cm}$$

$$q_{SLE} = G_1 + G_2 + PP_a + PP_m + 0.0 Q_k = 4.61 \text{ daN/cm}$$

$$M_{sd} = (q_{SLU} L^2) / 8 = 1510.9 \text{ daN cm} < W_x f_{yd} = 37013.2 \text{ daN cm} \quad \text{Ok}$$

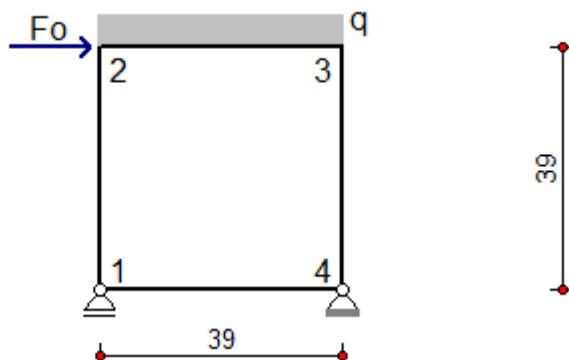
$$V_{sd} = (q_{SLU} L) / 2 = 155.0 \text{ daN}$$

$$1.5 V_{sd} / A_{taglio} = 58.1 \text{ daN} < f_{yd} / 3^{1/2} = 1512.1 \text{ daN} \quad \text{Ok}$$

$$\text{Freccia} = (5/384) (q_{SLE} L^4) / (E J_x) = 0.0023 \text{ cm} < L/500 = 0.0780 \text{ cm} \quad \text{Ok}$$

Verifiche dei telai.

Telaio B



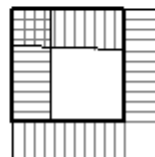
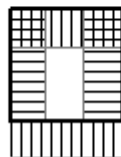
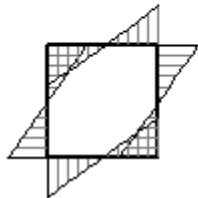
$$F_o = 2601.41 \text{ daN}, \quad q = G_k + \psi_2 Q_k = 4.52 \text{ daN/cm} \quad (\psi_2 = 0.00)$$

Sollecitazioni telaio B

Momento flettente

Sforzo normale

Taglio



Sollecitazione di compressione per $N > 0$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-2

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-2	1	0.0	-25397.2	-1201.1	1289.3
	2	3.5	-20826.2	-1201.5	1289.3
	3	7.1	-16255.1	-1201.8	1289.3
	4	10.6	-11684.1	-1202.2	1289.3
	5	14.2	-7113.0	-1202.5	1289.3
	6	17.7	-2541.9	-1202.9	1289.3
	7	21.3	2029.1	-1203.2	1289.3
	8	24.8	6600.2	-1203.6	1289.3
	9	28.4	11171.3	-1203.9	1289.3
	10	31.9	15742.3	-1204.2	1289.3
	11	35.5	20313.4	-1204.6	1289.3
	12	39.0	24884.5	-1204.9	1289.3
2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]
UPN40x35	3.5	4.0	7,066146	8,880085	6.2
					Av [cm ²]
					2.6
					a [cm]
					0.50
					e [cm]
					0.70
					r [cm]
					0.70

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	24884.5	1312.1	-1204.9
	2	3.5	20583.4	1312.1	-1221.3

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO					Rev. 02 del 19/07/21				
	RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE					Pagina 85 di 153				

3	7.1	16224.4	1312.1	-1237.7
4	10.6	11807.3	1312.1	-1254.0
5	14.2	7332.3	1312.1	-1270.4
6	17.7	2799.3	1312.1	-1286.7
7	21.3	-1791.7	1312.1	-1303.1
8	24.8	-6440.6	1312.1	-1319.4
9	28.4	-11147.6	1312.1	-1335.8
10	31.9	-15912.6	1312.1	-1352.1
11	35.5	-20735.5	1312.1	-1368.5
12	39.0	-25616.4	1312.1	-1384.9

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
UPN40x35	3.5	4.0	7,066146	8,880085	6.2	2.6	0.50	0.70	0.70

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-25616.4	1384.9	1312.1
	2	3.5	-20964.3	1385.2	1312.1
	3	7.1	-16312.2	1385.5	1312.1
	4	10.6	-11660.1	1385.9	1312.1
	5	14.2	-7008.0	1386.2	1312.1
	6	17.7	-2355.8	1386.6	1312.1
	7	21.3	2296.3	1386.9	1312.1
	8	24.8	6948.4	1387.3	1312.1
	9	28.4	11600.5	1387.6	1312.1
	10	31.9	16252.6	1388.0	1312.1
	11	35.5	20904.7	1388.3	1312.1
	12	39.0	25556.9	1388.7	1312.1

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
UPN40x35	3.5	4.0	7,066146	8,880085	6.2	2.6	0.50	0.70	0.70

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-4	1	0.0	25397.2	1289.3	-1304.6
	2	3.5	20771.2	1289.3	-1305.0
	3	7.1	16143.9	1289.3	-1305.3
	4	10.6	11515.4	1289.3	-1305.7
	5	14.2	6885.6	1289.3	-1306.0
	6	17.7	2254.7	1289.3	-1306.3
	7	21.3	-2377.5	1289.3	-1306.7
	8	24.8	-7010.9	1289.3	-1307.0
	9	28.4	-11645.6	1289.3	-1307.4
	10	31.9	-16281.5	1289.3	-1307.7
	11	35.5	-20918.5	1289.3	-1308.1
	12	39.0	-25556.9	1289.3	-1308.4

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
UPN40x35	3.5	4.0	7,066146	8,880085	6.2	2.6	0.50	0.70	0.70

Nota (*): non essendo possibile collegare le travi mediante calastrelli nel lato verso la muratura, le verifiche saranno eseguite su profili semplici dividendo le sollecitazioni per il numero delle sezioni presenti nel tratto.

9.4.2 Parete Ovest

Sulla parete Ovest si rende necessario realizzare n°.4 nuove forometrie per passaggio tubazioni in acciaio Dn200. Già in stato di fatto sono presenti n°.4 fori delle medesime caratteristiche posti però ad un'altezza inferiore. Le forometrie sono poste a più di 1m di distanza dagli incroci murari. **Trattandosi di una semplice traslazione in verticale di forometrie senza allargamento delle aperture, imponendo la risarcitura mediante cuci-scuci con mattoni pieni e malta di calce delle aperture esistenti, è possibile realizzare l'intervento senza introduzione di cerchiature metalliche aggiuntive sulle nuove forometrie.**

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 86 di 153

Ad ogni modo si effettuano le calcolazioni di verifica sulla parete in oggetto. La lunghezza della parete è 8.50m e l'altezza 2.46m. Le forometrie esistenti hanno una larghezza di 22cm ed un'altezza di 34cm (in quanto il passaggio nella muratura ha giacitura non orizzontale); le nuove forometrie sono imposte di dimensioni quadrate di lato 22cm (il passaggio nella muratura è a giacitura orizzontale).

Sulla parete insiste la copertura in latero-cemento con lunghezza di influenza di circa 1.50m (comprendendo lo sporto esterno); si può stimare un carico lineare permanente pari a $g = (2.00 + 0.04 + 0.50) \times 1.50 \approx 2.55 \times 1.50 = 3.81 \text{ kN/m}$. Il carico variabile indotto dalla neve viene assunto pari a $q = 1.30 \times 1.50 = 1.95 \text{ kN/m}$.

Tabulati di calcolo

MATERIALI

Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019
 f_m - resistenza compressione [daN/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)
 τ_o - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)
 f_{vo} - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)
 E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
 G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 4000.0 (min.), 6000.0 (max.)

Essendo il livello di conoscenza LC1 (Limitata) si utilizzano i valori medi per i moduli elastici e i valori minimi per la resistenza.

Valori di riferimento:

f_m - resistenza compressione = 26.00 daN/cm²
 τ_o - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
 f_{vo} - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²
 E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²
 G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²
 μ = fattore duttilità = 1.50 (da valori sperimentali secondo gli studi di Turnsek e Cacovic)
 γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

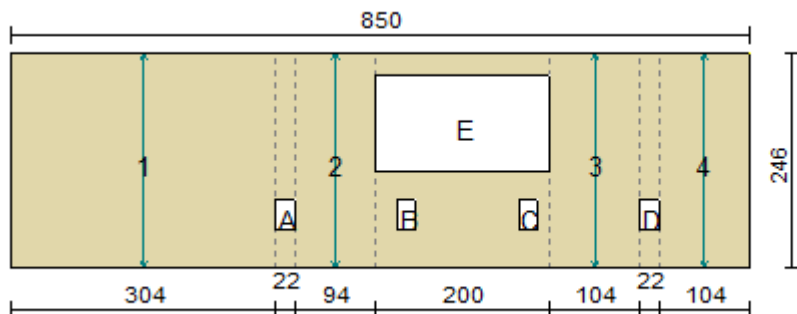
Fattore confidenza FC = 1.35
 Coef. parz. sic. $\gamma_M = 2.00$ (4.5.6.1)
 $f_m = 9.63 \text{ daN/cm}^2$
 $\tau_o = 0.19 \text{ daN/cm}^2$
 $f_{vo} = 0.48 \text{ daN/cm}^2$
 Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00
 $E = 7500 \text{ daN/cm}^2$
 $G = 2500 \text{ daN/cm}^2$

CARICHI

In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:
 Carico permanente $G_k = 381.0 \text{ daN/m}$
 Carico variabile $Q_k = 195.0 \text{ daN/m}$

Per la determinazione della tensione media verticale, verranno inoltre considerati i contributi dovuti al peso proprio di metà maschio murario e delle semifascie superiori gravanti sul maschio stesso.

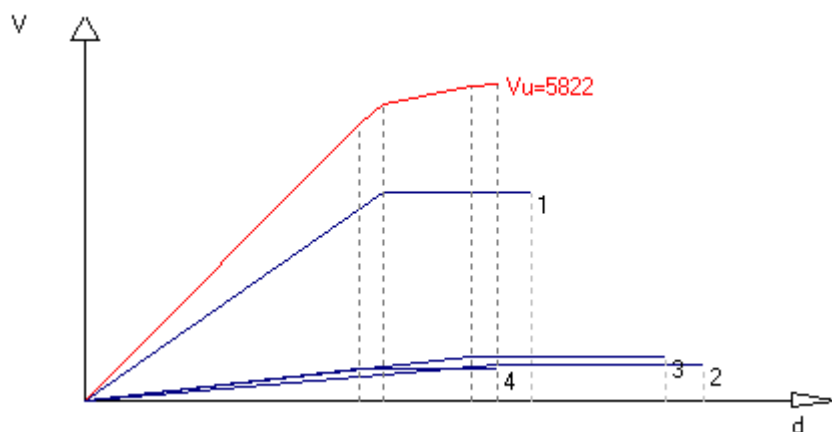
Ante-operam



T (sp. parete) = 28.00 cm

Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	σ_0	K_0	V_t	V_{pf}	V_u	δ_e	δ_u
1	304.0	246.0	1.00	0.446	60992.5	3815.5	4431.1	3815.5	0.063	0.094
2	94.0	246.0	1.50	0.725	7679.7	926.3	664.8	664.8	0.087	0.130
3	104.0	246.0	1.50	0.697	9655.3	1010.0	784.6	784.6	0.081	0.122
4	104.0	246.0	1.50	0.481	9655.3	891.2	557.2	557.2	0.058	0.087

Curva caratteristica ante-operam:

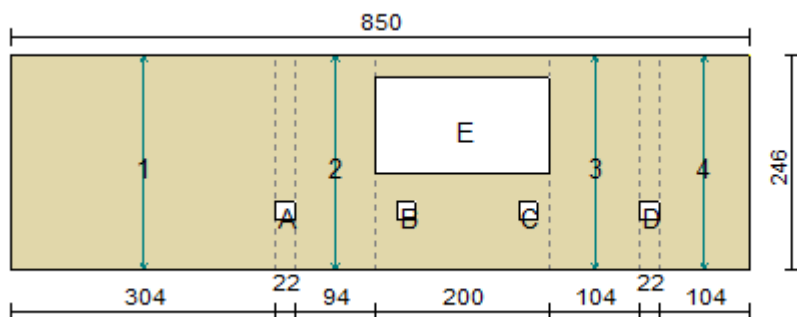


Rigidezza complessiva della parete: $K_{sa} = 87982.7$ daN/cm

Taglio ultimo della parete: $V_{sa} = 5822.2$ daN

Spostamento ultimo: δ_u sa = 0.087 cm

Post-operam



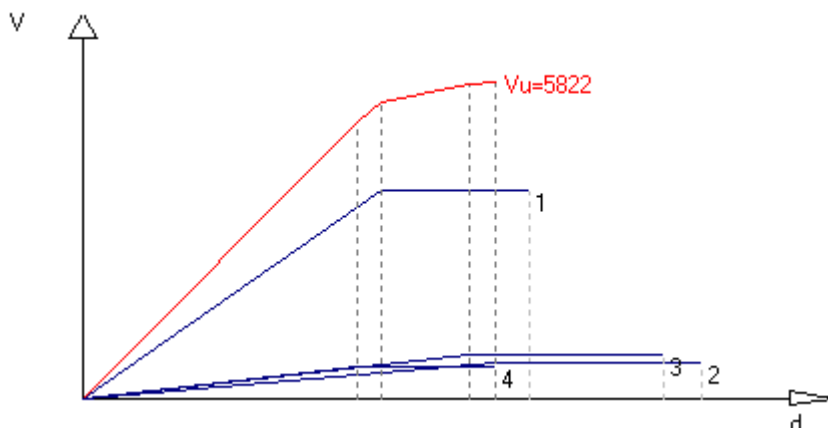
T (sp. parete) = 28.00 cm

Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
A	Libera	No	No	No
E	Libera	No	No	No
B	Libera	No	No	No
C	Libera	No	No	No
D	Libera	No	No	No

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 88 di 153

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ_0	K_0	V_t	V_{pf}	V_u	δ_e	δ_u
1	304.0	28.00	246.0	1.00	0.446	60992.5	3815.5	4431.1	3815.5	0.063	0.094
2	94.0	28.00	246.0	1.50	0.725	7679.7	926.3	664.8	664.8	0.087	0.130
3	104.0	28.00	246.0	1.50	0.697	9655.3	1010.0	784.6	784.6	0.081	0.122
4	104.0	28.00	246.0	1.50	0.481	9655.3	891.2	557.2	557.2	0.058	0.087

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 87982.7$ daN/cm

Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 5822.2$ daN

Spostamento ultimo: $\delta_{upr} = 0.087$ cm

VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 87983 - 87983 = 0$ daN/cm (riduzione rigidezza = 0.0%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 5822 - 5822 = 0$ daN (riduzione resistenza = 0.0%)

La variazione percentuale di ΔK è compresa tra +/- 15.0%, limite di accettabilità per considerare l'intervento di tipo locale. La resistenza post-operam non è inferiore di quella ante-operam, quindi la parete potrà essere modificata senza richiedere opere aggiuntive di irrigidimento delle aperture.

9.5 NUOVI BASAMENTI IN C.A.

I nuovi basamenti in c.a. a supporto dei macchinari (pompe, gruppo di pressurizzazione) possono essere inquadrati quali **interventi privi di rilevanza ai fini sismici** in analogia al **punto A.6.1** della *D.G.R. ER 2272/2016* – “A.6.1. Realizzazione di rampe, solette, pavimentazioni appoggiate a terra. (L0)”.

I basamenti esistenti saranno completamente demoliti e rimossi.

I nuovi basamenti in progetto per la cabina tipo “5” saranno n°.5 di cui n°.1 di dimensioni in pianta 90x165cm e n°.4 di dimensioni 90x200cm.

Le dimensioni in pianta dei basamenti sono già definite dal progettista elettromeccanico.

Si ritiene di mantenere l'**altezza complessiva** dei basamenti pari a **60cm** ed **armature longitudinali e trasversali $\Phi 14$** a **passo 20cm** sia **superiormente** sia **inferiormente**. Il **calcestruzzo di progetto è C25/30**. Per i calcoli si omettono in quanto i medesimi già sviluppati in precedenza per la Cabina “2”.

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 89 di 153

9.6 NUOVE APERTURE

Le **nuove aperture** devono essere realizzate entrambe sul fronte nord e di dimensioni nette, rispettivamente, **120x215cm** e **120x50cm**. La prima è un **vano porta** di accesso al locale *MT/bt* mentre la seconda è una **finestratura d'areazione** nel locale *Trafo*.

La parete muraria presenta **spessore strutturale 28cm** ed è in **mattoni pieni e malta di calce**.

Relativamente all'**altezza** della **parete**, sia assume quella prevalente relativa al *MT/bt* e pari a circa **4.33m** (da piano campagna a sommità muratura in asse parete). La **lunghezza** della **parete** interessata dagli interventi è pari a **5.40m** (misurata asse-asse murature ortogonali). Sulla parete insiste una copertura in latero-cemento con lunghezza di influenza di circa 1.85m; si può stimare un carico lineare permanente pari a $g = (2.00 + 0.04 + 0.50) \times 1.85 \approx 2.55 \times 1.85 = 4.72 \text{ kN/m}$. Il carico variabile indotto dalla neve ed utile esclusivamente alla verifica statica dell'architravatura superiore, viene assunto pari a $q = 1.30 \times 1.85 = 2.40 \text{ kN/m}$.

I risultati del calcolo evidenziano la necessità di realizzare:

- una **cerchiatura metallica compensativa** con **doppi profili HEB120** per il **nuovo vano porta**;
- una **cerchiatura metallica compensativa** con **tripli profili IPE80** per la **nuova apertura per areazione**.

Tabulati di calcolo

MATERIALI

Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019
 f_m - resistenza compressione [daN/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)
 τ_o - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)
 f_{vo} - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)
 E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
 G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 4000.0 (min.), 6000.0 (max.)

Essendo il livello di conoscenza LC1 (Limitata) si utilizzano i valori medi per i moduli elastici e i valori minimi per la resistenza.

Valori di riferimento:

f_m - resistenza compressione = 26.00 daN/cm²
 τ_o - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
 f_{vo} - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²
 E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²
 G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²
 μ = fattore duttilità = 1.50 (da valori sperimentali secondo gli studi di Turnsek e Cacovic)
 γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

Fattore confidenza $FC = 1.35$
 Coef. parz. sic. $\gamma_M = 2.00$ (4.5.6.1)
 $f_m = 9.63 \text{ daN/cm}^2$
 $\tau_o = 0.19 \text{ daN/cm}^2$
 $f_{vo} = 0.48 \text{ daN/cm}^2$
 Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00
 $E = 7500 \text{ daN/cm}^2$
 $G = 2500 \text{ daN/cm}^2$

Materiali dei telai

	f_{yk} [daN/cm ²]	f_{tk} [daN/cm ²]	E [daN/cm ²]	G [daN/cm ²]	γ_a [kg/mc]
Acciaio					
S 275	2750.0	4300.0	2100000.0	807692.0	7850.0
S 355	3550.0	5100.0	2100000.0	807692.0	7850.0

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 90 di 153

Sezioni in acciaio dei telai

Profilo	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	Wy [cm ³]	Wpy [cm ³]	Area [cm ²]	Peso [kg/m]
HE120B	12.0	12.0	144.1	165.3	52.9	81.0	34.0	26.71
IPE80	4.6	8.0	20.0	23.2	3.7	5.8	7.7	6.01

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

1. D.M. 17 Gennaio 2018 e allegate 'Norme tecniche per le costruzioni'.
2. Circolare 21/01/2019 n. 7 / CSLLPP Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle 'Norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018

METODOLOGIA DI VERIFICA

L'apertura di un vano in una parete muraria accompagnata da opportuni rinforzi è previsto, come 'intervento locale', nella Circolare n.7 / 2019 CSLLPP al punto C8.4.1.

Le verifiche possono essere eseguite limitandosi a valutazioni numeriche relative alla sola parete interessata dall'intervento solo a condizione che si dimostri che la rigidezza dell'elemento variato non cambi significativamente e che la resistenza non peggiori ai fini del comportamento rispetto alle azioni orizzontali.

Una variazione significativa della rigidezza delle pareti muterebbe il comportamento globale della struttura e pertanto non risulterebbe sufficiente la verifica locale.

La verifica risulta positiva quando la resistenza alle forze orizzontali V post-operam risultano maggiori o uguali a quelle ante-operam, con variazioni di rigidezza non sostanziali (+/- 15.00%).

Il calcolo di V viene svolto secondo i due seguenti criteri:

1 - criterio di rottura per fessurazione diagonale

Nel caso di muratura non armata in cui la rottura del pannello è di tipo fragile e caratterizzata da lesioni diagonali a 45° l'azione tagliante ultima è determinabile, come specificato nella Circolare n. 7 / 2019 CSLLPP al punto C8.7.1.16, con la seguente relazione:

$$V_t = (L T f_{td} / b) (1 + \sigma_o / f_{td})^{1/2}$$

dove i simboli hanno il seguente significato:

L = Lunghezza del pannello murario

T = Spessore del pannello murario

f_{td} = Resistenza di calcolo a trazione per fessurazione diagonale della muratura = 1,5 τ_o

σ_o = Tensione normale media riferita all'area totale della base del setto

b = Coefficiente correttivo legato alla distribuzione degli sforzi sulla sezione, dipendente dalla snellezza della parete. Si può assumere b = H / L, comunque non superiore a 1,5 e non inferiore a 1, dove H è l'altezza del pannello

2 - criterio di rottura per pressoflessione

$$V_{pf} = (L^2 T \sigma_o / 2) (1 - \sigma_o / 0,85 f_d) / (H / 2)$$

dove f_d = Resistenza di calcolo a compressione della muratura

La rigidezza del singolo pannello murario K viene valutata con la seguente relazione:

$$K = 1 / (H^3 / n E J + 1.2 H / G A)$$

dove i simboli hanno il seguente significato:

E, G moduli di elasticità normale e tangenziale della muratura

J momento di inerzia del maschio murario = T L³ / 12

n coefficiente relativo al grado di vincolo offerto dal traverso superiore.

In questo caso n = 12 (presenza di cordolo rigido => schema incastro scorrevole).

A area del maschio murario = T L

H altezza deformabile = h' + 0.33 L (H_{Piano} - h') / h' (metodo Dolce, fasce murarie parzialmente rigide)

con h' = base media dei trapezi individuati tra le aperture

La rigidezza complessiva risulterà dalla sommatoria dei contributi dei singoli maschi murari che formano la parete.

Considerando la forza tagliante Vu il minimo tra V_t e V_{pf}, lo spostamento al limite elastico vale:

$$\delta_e = V_u / K$$

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 91 di 153

Lo spostamento ultimo ottenuto considerando le riserve plastiche del materiale sarà:

$$\delta u = \delta e \mu \quad (\text{dove } \mu \text{ è il fattore di duttilità della muratura.})$$

La resistenza ultima a taglio verrà calcolate in base alla curva caratteristica del diagramma V- δ

TELAIO DI CERCHIATURA DELLE APERTURE

Definendo:

$\Delta K = K_{sa} - K_{pr}$ (carenza di rigidezza della muratura a seguito dell'intervento)

il telaio, per poter sopperire a tale carenza dovrà avere una rigidezza K_t maggiore o uguale a ΔK

La rigidezza del telaio è data dalla sommatoria delle rigidezze dei singoli montanti costituenti la cerchiatura.

Rigidezza del montante $K_i = n E J / H^3$ con n che dipende dal vincolo alla base (3 cerniera, 12 incastro)

La rigidezza totale del telaio sarà: $K_t = \sum K_i$

La resistenza a taglio del telaio sarà: $V_t = K_t \delta u$ (con δu = spostamento ultimo post-operam)

CARICHI

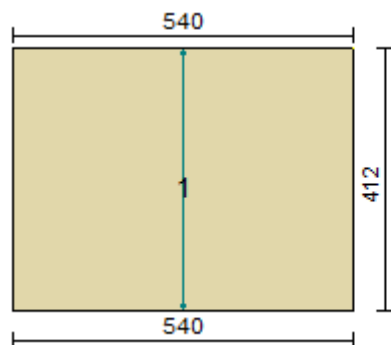
In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

Carico permanente $G_k = 472.0$ daN/m

Carico variabile $Q_k = 240.0$ daN/m

Per la determinazione della tensione media verticale, verranno inoltre considerati i contributi dovuti al peso proprio di metà maschio murario e delle semifascie superiori gravanti sul maschio stesso.

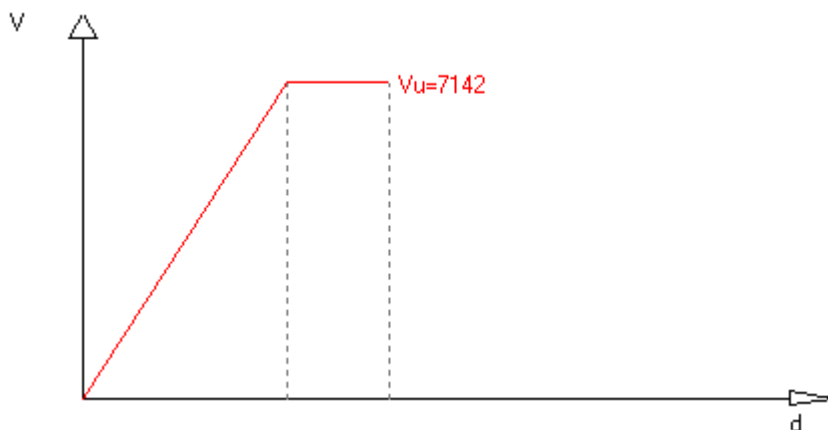
Ante-operam



T (sp. parete) = 28.00 cm

Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	σ_0	K_0	V_t	V_{pf}	V_u	δe	δu
1	540.0	301.3	1.00	0.525	96230.4	7142.4	13325.3	7142.4	0.074	0.111

Curva caratteristica ante-operam:



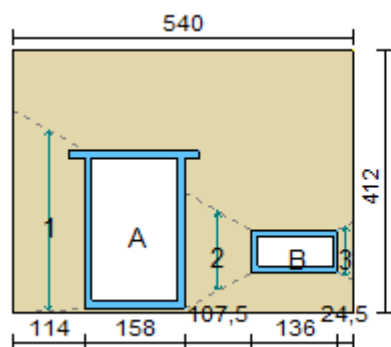
Rigidezza complessiva della parete: $K_{sa} = 96230.4$ daN/cm

Taglio ultimo della parete: $V_{sa} = 7142.4$ daN

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 92 di 153

Spostamento ultimo: $\delta u_{sa} = 0.111$ cm

Post-operam

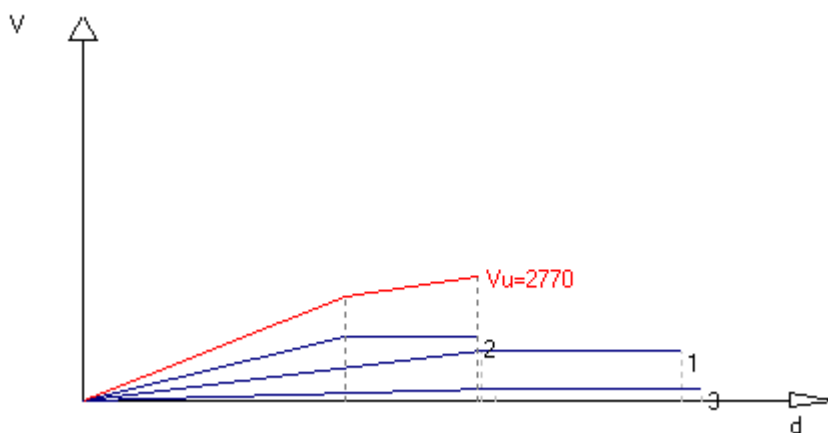


T (sp. parete) = 28.00 cm

Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
A	Cerchiata	2 HE120B (S 275)	2 HE120B (S 275)	2HE120B+2HE120B (S 275)
B	Cerchiata	3 IPE80 (S 355)	3 IPE80 (S 355)	3IPE80+3IPE80 (S 355)

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ_0	K_0	V_t	V_{pf}	V_u	δ_e	δ_u
1	114.0	28.00	301.3	1.50	1.032	7507.0	1283.8	1089.7	1089.7	0.145	0.218
2	107.5	28.00	206.5	1.50	1.561	14998.1	1434.3	1979.8	1434.3	0.096	0.143
3	24.5	28.00	113.6	1.50	2.754	1803.4	419.7	270.3	270.3	0.150	0.225

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 24308.4$ daN/cm

Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 2769.8$ daN

Spostamento ultimo: $\delta u_{pr} = 0.143$ cm

VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 24308 - 96230 = -71922$ daN/cm (riduzione rigidezza = -74.7%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 2770 - 7142 = -4373$ daN (riduzione resistenza = -61.2%)

Rigidezza e resistenza dei telai:

Note:

$K = c E J / H_i^3$, con: $c = 3$ nel caso di telaio incernierato alla base, $c = 12$ nel caso di incastro

$F_0 = K \delta_{min}$

Telaio	c	H_i [cm]	K [daN/cm]	M_u [daN cm]	δ_{min} [cm]	F_0 [daN]
A	12	237.00	6547.1	1509724.0	0.14	939.1
B	12	58.00	62119.2	406525.7	0.14	8910.7

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 93 di 153

$$K_t = \Sigma K = 68666 \text{ daN/cm}$$

$$V_t = \Sigma F_o = 9850 \text{ daN}$$

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

$$\Delta K_{\text{tot}} = K_{\text{pr}} + K_t - K_{\text{sa}} = -3256 \text{ daN/cm}$$

riduzione rigidezza = -3.4%; variazione percentuale di ΔK_{tot} compresa entro il 15.0% Ok

$$\Delta V_{\text{tot}} = V_{\text{pr}} + V_t - V_{\text{sa}} = 5477 \text{ daN}$$

aumento resistenza = 76.7%; $\Delta V_{\text{tot}} > 0$ Ok

VERIFICA ARCHITRAVI IN ACCIAIO

La verifica si riferisce alla fase di montaggio nel momento in cui è già stata rimossa la muratura, ma le architravi non sono ancora collegate ai montanti.

2 architravi	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Jx [cm ⁴]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120B	12.0	12.0	144.1	864.6	34.0	11.0	0.65	1.10	1.20

Luce di calcolo L = 146.0 cm

P.P. architrave PPa = 0.534 daN/cm

P.P. fascia muratura PPm = 7.963 daN/cm

Carico permanente trasmesso dalla sovrastruttura Gk = 4.72 daN/cm

Carico variabile trasmesso dalla sovrastruttura Qk = 2.40 daN/cm

$$q_{\text{SLU}} = 1.3 (G_k + PPa + PPm) + 1.5 Q_k = 20.78 \text{ daN/cm}$$

$$q_{\text{SLE Rare}} = G_1 + G_2 + PPa + PPm + 0.7 Q_k = 14.9 \text{ daN/cm} \quad (\psi_0 = 0.7)$$

$$M_{\text{Ed}} = (q_{\text{SLU}} L^2) / 8 = 55375.5 \text{ daN cm}$$

$$M_{\text{cRd}} = W_x f_{yd} = 754861.9 \text{ daN cm}$$

$$M_{\text{Ed}} / M_{\text{cRd}} = 0.0734 < 1 \text{ Ok}$$

$$V_{\text{Ed}} = (q_{\text{SLU}} L) / 2 = 1517.14 \text{ daN}$$

$$V_{\text{cRd}} = A_v f_{yd} / \sqrt{3} = 33190.77 \text{ daN}$$

$$V_{\text{Ed}} / V_{\text{cRd}} = 0.0457 < 1 \text{ Ok}$$

$$\text{Freccia} = (5/384) (q_{\text{SLE}} L^4) / (E J_x) = 0.0243 \text{ cm} < L/500 = 0.2920 \text{ cm Ok}$$

3 architravi	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Jx [cm ⁴]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE80	4.6	8.0	20.0	80.2	7.7	3.6	0.38	0.52	0.50

Luce di calcolo L = 128.0 cm

P.P. architrave PPa = 0.180 daN/cm

P.P. fascia muratura PPm = 14.314 daN/cm

Carico permanente trasmesso dalla sovrastruttura Gk = 4.72 daN/cm

Carico variabile trasmesso dalla sovrastruttura Qk = 2.40 daN/cm

$$q_{\text{SLU}} = 1.3 (G_k + PPa + PPm) + 1.5 Q_k = 28.58 \text{ daN/cm}$$

$$q_{\text{SLE Rare}} = G_1 + G_2 + PPa + PPm + 0.7 Q_k = 20.9 \text{ daN/cm} \quad (\psi_0 = 0.7)$$

$$M_{\text{Ed}} = (q_{\text{SLU}} L^2) / 8 = 58527.6 \text{ daN cm}$$

$$M_{\text{cRd}} = W_x f_{yd} = 203262.9 \text{ daN cm}$$

$$M_{\text{Ed}} / M_{\text{cRd}} = 0.2879 < 1 \text{ Ok}$$

$$V_{\text{Ed}} = (q_{\text{SLU}} L) / 2 = 1828.99 \text{ daN}$$

$$V_{\text{cRd}} = A_v f_{yd} / \sqrt{3} = 20985.50 \text{ daN}$$

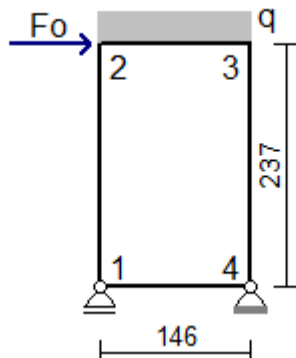
$$V_{\text{Ed}} / V_{\text{cRd}} = 0.0872 < 1 \text{ Ok}$$

$$\text{Freccia} = (5/384) (q_{\text{SLE}} L^4) / (E J_x) = 0.1446 \text{ cm} < L/500 = 0.2560 \text{ cm Ok}$$

Verifiche dei telai.

Telaio A

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 94 di 153



$$F_o = 939.15 \text{ daN}, \quad q = G_k + \psi_2 Q_k = 12.68 \text{ daN/cm} \quad (\psi_2 = 0.00)$$

Sollecitazioni telaio A



Sollecitazione di compressione per $N > 0$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-2

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-2	1	0.0	-52242.2	332.2	402.8
	2	19.8	-44287.4	321.6	402.8
	3	39.5	-36332.6	311.1	402.8
	4	59.3	-28377.8	300.6	402.8
	5	79.0	-20423.0	290.0	402.8
	6	98.8	-12468.2	279.5	402.8
	7	118.5	-4513.5	268.9	402.8
	8	138.3	3441.3	258.4	402.8
	9	158.0	11396.1	247.8	402.8
	10	177.8	19350.9	237.3	402.8
	11	197.5	27305.7	226.7	402.8
	12	217.3	35260.5	216.2	402.8
	13	237.0	43215.2	205.6	402.8

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120B	12.0	12.0	144.1	165.3	34.0	11.0	0.65	1.10	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-2

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 201,4 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 16595.38 \text{ daN}$

$V_{ed} / V_{crd} = 0.012 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -26121,1 daNcm, Ned = 166,1 daN, Ved = 201,4 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.51, \quad \psi = -0.99$$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.07 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 11.38 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 65.58$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 89100.0 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.002, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.224$$

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 95 di 153

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{MO} = 432850.0 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 486531.2 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$Med / M_{nrd} = 0.06 < 1 \text{ Ok}$

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -26121,1 daNcm, Ned = 166,1 daN, Ved = 201,4 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 319045.5 \text{ daN}$

$Ned < 0.04 N_{cr} \Rightarrow \text{Verifica non richiesta}$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	43215.2	536.4	205.6
	2	20.9	44628.8	536.4	-70.1
	3	41.7	40292.6	536.4	-345.7
	4	62.6	30206.6	536.4	-621.4
	5	83.4	14370.8	536.4	-897.1
	6	104.3	-7214.8	536.4	-1172.8
	7	125.1	-34550.2	536.4	-1448.4
	8	146.0	-67635.4	536.4	-1724.1

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120B	12.0	12.0	144.1	165.3	34.0	11.0	0.65	1.10	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 2-3

Taglio: sez. 8, dist. = 146,0 cm, Ved = -862,1 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{MO} \sqrt{3}) = 16595.38 \text{ daN}$

$Ved / V_{crd} = 0.052 < 1 \text{ Ok}$

Presso-flessione: sez. 8, dist. = 146,0 cm, Med = -33817,7 daNcm, Ned = 268,2 daN, Ved = -862,1 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.51, \psi = -0.99$

Ali in compressione: $cf / e = 4.07 < 9 \varepsilon = 8.32 \text{ (cl. 1)}$

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 11.38 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 65.00 \text{ (cl. 1)}$

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{MO} = 89100.0 \text{ daN}$

$n = Ned / N_{rd} = 0.003, a = (A - 2 B e) / A = 0.224$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{MO} = 432850.0 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 485972.7 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$Med / M_{nrd} = 0.08 < 1 \text{ Ok}$

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 21607,6 daNcm, Ned = 268,2 daN, Ved = 102,8 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 840705.0 \text{ daN}$

$Ned < 0.04 N_{cr} \Rightarrow \text{Verifica non richiesta}$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-67635.4	1724.1	536.4
	2	19.8	-57042.0	1734.7	536.4
	3	39.5	-46448.6	1745.2	536.4
	4	59.3	-35855.1	1755.8	536.4
	5	79.0	-25261.7	1766.3	536.4
	6	98.8	-14668.3	1776.9	536.4
	7	118.5	-4074.8	1787.4	536.4
	8	138.3	6518.6	1798.0	536.4
	9	158.0	17112.0	1808.5	536.4
	10	177.8	27705.5	1819.1	536.4
	11	197.5	38298.9	1829.6	536.4
	12	217.3	48892.3	1840.2	536.4
	13	237.0	59485.7	1850.7	536.4

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120B	12.0	12.0	144.1	165.3	34.0	11.0	0.65	1.10	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 3-4

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 96 di 153

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 268,2 daN
Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{MO} \sqrt{3}) = 16595.38 \text{ daN}$
 $V_{ed} / V_{crd} = 0.016 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -33817,7 daNcm, Ned = 862,1 daN, Ved = 268,2 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.53, \quad \psi = -0.95$$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.07 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 11.38 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 61.80$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{MO} = 89100.0 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.010, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.224$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{MO} = 432850.0 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 482723.8 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.08 < 1 \text{ Ok}$$

sez. 13, dist. = 237,0 cm, Med = 29742,9 daNcm, Ned = 925,4 daN, Ved = 268,2 daN

Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 319045.5 \text{ daN}$$

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$ Verifica non richiesta

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-4	1	0.0	52242.2	402.8	-726.3
	2	20.9	36978.1	402.8	-737.4
	3	41.7	21481.7	402.8	-748.5
	4	62.6	5752.9	402.8	-759.7
	5	83.4	-10208.3	402.8	-770.8
	6	104.3	-26401.7	402.8	-782.0
	7	125.1	-42827.6	402.8	-793.1
	8	146.0	-59485.7	402.8	-804.2

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	W _x [cm ³]	W _{px} [cm ³]	A [cm ²]	A _v [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120B	12.0	12.0	144.1	165.3	34.0	11.0	0.65	1.10	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-4

Taglio: sez. 8, dist. = 146,0 cm, Ved = -402,1 daN
Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{MO} \sqrt{3}) = 16595.38 \text{ daN}$
 $V_{ed} / V_{crd} = 0.024 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 8, dist. = 146,0 cm, Med = -29742,9 daNcm, Ned = 201,4 daN, Ved = -402,1 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.51, \quad \psi = -0.99$$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.07 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 11.38 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 65.38$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{MO} = 89100.0 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.002, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.224$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{MO} = 432850.0 \text{ daNcm}$$

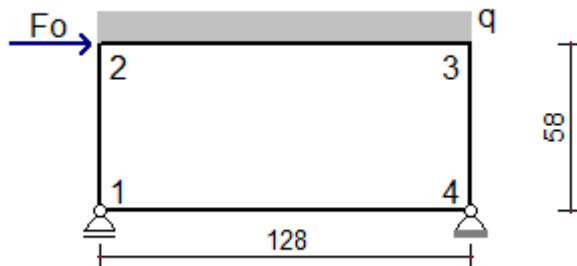
$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 486338.1 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.07 < 1 \text{ Ok}$$

Nota (*): non essendo possibile collegare le travi mediante calastrelli nel lato verso la muratura, le verifiche saranno eseguite su profili semplici dividendo le sollecitazioni per il numero delle sezioni presenti nel tratto.

Telaio B

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 97 di 153



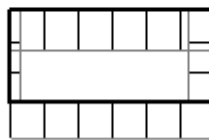
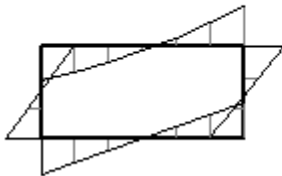
$F_o = 8910.74 \text{ daN}$, $q = G_k + \psi_2 Q_k = 12.68 \text{ daN/cm}$ ($\psi_2 = 0.00$)

Sollecitazioni telaio B

Momento flettente

Sforzo normale

Taglio



Sollecitazione di compressione per $N > 0$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-2

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-2	1	0.0	-127701.3	-1182.2	4191.5
	2	19.3	-46666.2	-1185.6	4191.5
	3	38.7	34368.9	-1189.1	4191.5
	4	58.0	115404.0	-1192.6	4191.5

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE80	4.6	8.0	20.0	23.2	7.7	3.6	0.38	0.52	0.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-2

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, $V_{ed} = 1397,2 \text{ daN}$

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 6995.17 \text{ daN}$

$V_{ed} / V_{crd} = 0.200 < 1$ Ok

Tenso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, $M_{ed} = -42567,1 \text{ daNcm}$, $N_{ed} = -394,1 \text{ daN}$, $V_{ed} = 1397,2 \text{ daN}$

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.81$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.48$, $\psi = -1.05$

Ali in compressione: $c_f / e = 3.10 < 9 \varepsilon = 7.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 15.68 < 36 \varepsilon / \alpha = 61.60$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 25864.3 \text{ daN}$

$n = N_{ed} / N_{rd} = -0.015$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.375$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 78505.7 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 98072.8 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$M_{ed} / M_{nrd} = 0.54 < 1$ Ok

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	115404.0	4719.3	-1192.6
	2	21.3	87034.5	4719.3	-1467.0

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO						Rev. 02 del 19/07/21		
	RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE						Pagina 98 di 153		

3	42.7	52810.7	4719.3	-1741.5
4	64.0	12732.6	4719.3	-2015.9
5	85.3	-33199.7	4719.3	-2290.3
6	106.7	-84986.3	4719.3	-2564.7
7	128.0	-142627.1	4719.3	-2839.1

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE80	4.6	8.0	20.0	23.2	7.7	3.6	0.38	0.52	0.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 2-3

Taglio: sez. 7, dist. = 128,0 cm, Ved = -946,4 daN
 Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 6995.17$ daN
 $Ved / V_{crd} = 0.135 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 7, dist. = 128,0 cm, Med = -47542,4 daNcm, Ned = 1573,1 daN, Ved = -946,4 daN
 Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.81$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.60$, $\psi = -0.81$

Ali in compressione: $cf / e = 3.10 < 9 \varepsilon = 7.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 15.68 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 47.58$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 25864.3$ daN

$n = Ned / N_{rd} = 0.061$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.375$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 78505.7$ daNcm

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 90725.7$ daNcm $> M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$Med / M_{nrd} = 0.61 < 1$ Ok

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 38468,0 daNcm, Ned = 1573,1 daN, Ved = -397,5 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 101404.4$ daN

$Ned < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$ Verifica non richiesta

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-142627.1	2839.1	4719.3
	2	19.3	-51387.9	2842.6	4719.3
	3	38.7	39851.3	2846.1	4719.3
	4	58.0	131090.5	2849.6	4719.3

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE80	4.6	8.0	20.0	23.2	7.7	3.6	0.38	0.52	0.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 3-4

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 1573,1 daN
 Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 6995.17$ daN
 $Ved / V_{crd} = 0.225 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -47542,4 daNcm, Ned = 946,4 daN, Ved = 1573,1 daN
 Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.81$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.56$, $\psi = -0.88$

Ali in compressione: $cf / e = 3.10 < 9 \varepsilon = 7.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 15.68 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 51.43$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 25864.3$ daN

$n = Ned / N_{rd} = 0.037$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.375$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 78505.7$ daNcm

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 93066.4$ daNcm $> M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$Med / M_{nrd} = 0.61 < 1$ Ok

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-4	1	0.0	127701.3	4191.5	-2010.3

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO				Rev. 02 del 19/07/21
	RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE				Pagina 99 di 153

2	21.3	84774.3	4191.5	-2014.1
3	42.7	41765.3	4191.5	-2018.0
4	64.0	-1325.7	4191.5	-2021.8
5	85.3	-44498.6	4191.5	-2025.7
6	106.7	-87753.6	4191.5	-2029.5
7	128.0	-131090.5	4191.5	-2033.3

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE80	4.6	8.0	20.0	23.2	7.7	3.6	0.38	0.52	0.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-4

Taglio: sez. 7, dist. = 128,0 cm, Ved = -677,8 daN
 Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 6995.17 \text{ daN}$
 $V_{ed} / V_{crd} = 0.097 < 1 \text{ Ok}$

Presso-flessione: sez. 7, dist. = 128,0 cm, Med = -43696,8 daNcm, Ned = 1397,2 daN, Ved = -677,8 daN
 Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.81$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.59$, $\psi = -0.83$

Ali in compressione: $c_f / e = 3.10 < 9 \varepsilon = 7.32 \text{ (cl. 1)}$

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 15.68 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 48.60 \text{ (cl. 1)}$

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 25864.3 \text{ daN}$

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.054$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.375$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 78505.7 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 91382.8 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$M_{ed} / M_{nrd} = 0.56 < 1 \text{ Ok}$

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 42567,1 daNcm, Ned = 1397,2 daN, Ved = -670,1 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 101404.4 \text{ daN}$

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow \text{Verifica non richiesta}$

Nota (*): non essendo possibile collegare le travi mediante calastrelli nel lato verso la muratura, le verifiche saranno eseguite su profili semplici dividendo le sollecitazioni per il numero delle sezioni presenti nel tratto.

Telaio "A" (doppi HEB120) - Verifica connessioni acciaio-acciaio: saldature a cordone d'angolo

I giunti sono tutti di tipo saldato. Lo schema statico è quello di maglia chiusa con vincoli d'incastro tra correnti e montanti. La verifica del telaio e dei profili è già stata eseguita; si riprende la schematizzazione del telaio e si verifica il giunto caratterizzato da taglio e momento resistenti maggiori.

- Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 16595.38 \text{ daN} \approx \mathbf{166 \text{ kN}}$

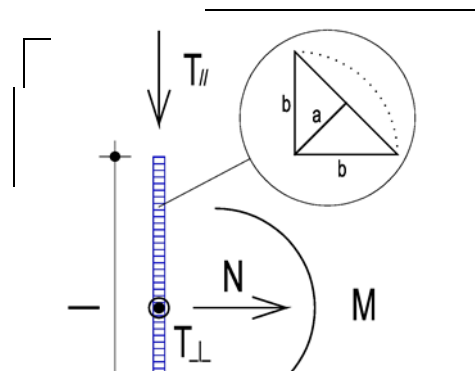
- $M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 489294.5 \text{ daNcm} \approx \mathbf{49 \text{ kNm}}$

Si precisa che i giunti saranno saldati lungo tutto il perimetro utile di contatto tra i profili.

Verifica a taglio

Per la **verifica a taglio** si assumono reagenti i soli cordoni di saldatura paralleli all'anima; in ragione dei profili HEB120, tali cordoni presentano ciascuno una lunghezza di 7.4cm (74mm). Si adottano **cordoni di saldatura con lato 21mm** e quindi **gola di circa 15mm**. La verifica a taglio risulta **soddisfatta**.

Sollecitazioni	
N (N)	0
T _{II} (N)	166000



Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 100 di 153

T_{\perp} (N)	0
M (Nmm)	0

Dati saldatura	
Acciaio	S275
b (mm)	21,2
l (mm)	74
n° cordoni	2
γ_{M2}	1,25
a (mm)	14,99

--	--

f_{yk} (N/mm ²)	275
f_{tk} (N/mm ²)	430

Verifica con formula 4.2.82

$$F_{w,Ed}/F_{w,Rd} \leq 1 \text{ con } F_{w,Rd} = a \cdot f_{tk} / (\sqrt{3} \cdot \beta \cdot \gamma_{M2})$$

β_w	0,85
$f_{w,d}$ (N/mm ²)	233,657
$F_{T//}$ (N/mm)	1121,622
$F_{T\perp}$ (N/mm)	0,000

$F_{T \text{ TOT}}$ (N/mm)	1121,622
$F_{\perp N}$ (N/mm)	0,000
$F_{\perp M}$ (N/mm)	0,000
$F_{\perp \text{ TOT}}$ (N/mm)	0,000

$F_{w,Ed}$ (N/mm)	1121,622
$F_{w,Rd}$ (N/mm)	3502,674

S/R	OK
0,320	

Verifica con formula 4.2.84 e 4.2.85

$$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)} \leq \beta_1 \cdot f_{yk}$$

$$|n_{\perp}| + |t_{\perp}| \leq \beta_2 \cdot f_{yk}$$

β_1	0,7
β_2	0,85
$t_{//}$ (N/mm ²)	74,8213
t_{\perp} (N/mm ²)	0,0000

$n_{\perp N}$ (N/mm ²)	0,0000
$n_{\perp M}$ (N/mm ²)	0,0000
n_{\perp} (N/mm ²)	0,0000

$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)}$	74,8213
$\beta_1 \cdot f_{yk}$	192,5000

S/R	OK
0,39	

$ n_{\perp} + t_{\perp} $	0,0000
$\beta_2 \cdot f_{yk}$	233,7500

S/R	OK
0,00	

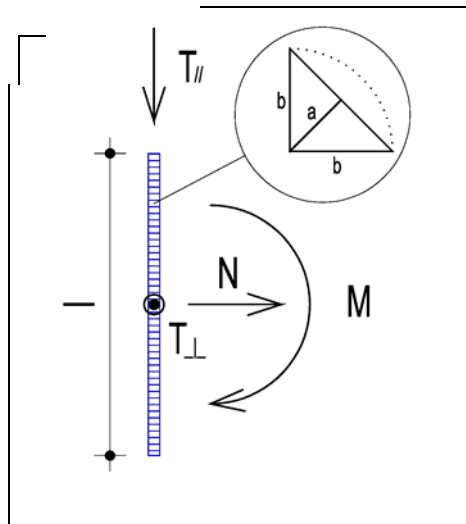
Verifica a momento flettente

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 101 di 153

Per la **verifica a momento flettente** si assumono reagenti, a favore di sicurezza, i soli cordoni paralleli alle ali; in ragione dei profil HEB120, tali cordoni presentano le seguenti lunghezze in pianta: n°.1 da 240mm e n°.4 da 45mm. Si assumono reagenti le saldature da un solo lato quando sottoposte ad un taglio perpendicolare pari a $V = M_{nrd} / i = 49 / 0.11 = 445.45 \text{ kNm}$. Si prevedono **cordoni di saldatura con lato 21mm** e quindi **gola di circa 15mm**. La verifica a momento risulta **soddisfatta**.

Sollecitazioni	
N (N)	0
T _{//} (N)	0
T _⊥ (N)	445450
M (Nmm)	0

Dati saldatura	
Acciaio	S275
b (mm)	21,2
l (mm)	330
n° cordoni	1
γ _{M2}	1,25
a (mm)	14,99



f _{yk} (N/mm ²)	275
f _{tk} (N/mm ²)	430

Verifica con formula 4.2.82

$$F_{w,Ed}/F_{w,Rd} \leq 1 \text{ con } F_{w,Rd} = a \cdot f_{tk} / (\sqrt{3} \cdot \beta \cdot \gamma_{M2})$$

β _w	0,85
f _{vwd} (N/mm ²)	233,657
F _{T//} (N/mm)	0,000
F _{T⊥} (N/mm)	1349,848

F _{T TOT} (N/mm)	1349,848
F _{⊥ N} (N/mm)	0,000
F _{⊥ M} (N/mm)	0,000
F _{⊥ TOT} (N/mm)	0,000

F _{w,Ed} (N/mm)	1349,848
F _{w,Rd} (N/mm)	3502,674

S/R	OK
0,385	

Verifica con formula 4.2.84 e 4.2.85

$$\sqrt{(n_{\perp})^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2} \leq \beta_1 \cdot f_{yk}$$

$$|n_{\perp}| + |t_{\perp}| \leq \beta_2 \cdot f_{yk}$$

β ₁	0,7
β ₂	0,85
t _{//} (N/mm ²)	0,0000
t _⊥ (N/mm ²)	90,0459

n _{⊥ N} (N/mm ²)	0,0000
n _{⊥ M} (N/mm ²)	0,0000
n _⊥ (N/mm ²)	0,0000

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 102 di 153

$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)}$	90,0459	S/R	OK
$\beta_1 \cdot f_{yk}$	192,5000	0,47	
$ n_{\perp} + t_{\perp} $	90,0459	S/R	OK
$\beta_2 \cdot f_{yk}$	233,7500	0,39	

Per tutti i nodi si prevedono saldature a cordoni d'angolo con lato 21mm e gola minima di almeno 15mm.

Connessioni acciaio-muratura

Per quanto attiene il trasverso superiore, avendo previsto idoneo prolungamento dello stesso nella muratura (ai lati) e quindi garanzia di blocco delle rotazioni, lo stesso risulta ben solidarizzato alla muratura con comportamento "shear-type"; l'intero momento flettente generato dallo spostamento orizzontale ultimo della parete è assorbito dalla colonna ed è trasmesso a questa dal collegamento rigido al trasverso. Il trasverso superiore risulta quindi non sollecitato se non localmente in corrispondenza del giunto con i montanti (collegamento già verificato in precedenza). L'adozione di barre filettate di collegamento alla muratura è meramente prudenziale ed a favore di sicurezza; le barre filettate non sono sollecitate; hanno un'utilità in sola fase di montaggio.

Per quanto attiene le colonne, anche su di esse sono previste barre filettate di collegamento alla muratura. Tali barre filettate sono previste, prudenzialmente, per realizzare una minima connessione muratura-acciaio che comunque, da calcolo della cerchiatura, non è stata considerata. Le suddette barre hanno utilità in fase di montaggio e rappresentano un semplice presidio aggiuntivo di buona norma; tali barre sono infatti disposte secondo un passo pressochè regolare e abbastanza rado sulla base dell'esperienza, anche per non produrre indebolimenti della muratura. La verifica della cerchiatura o meglio della parete in condizioni post-intervento è stata condotta con un approccio che può definirsi "disgiunto" ossia considerando la semplice somma delle rigidezze e resistenze dei singoli maschi murari più la cerchiatura; per tali motivazioni le barre filettate non vengono sottoposte a verifiche. Al riguardo occorre sottolineare che per ottenere una perfetta aderenza (nessun scorrimento) tra muratura e montanti delle cerchiature e quindi un comportamento idealmente non disgiunto, sarebbero necessarie molte più connessioni di quelle previste; ciò si ritiene produrrebbe un indebolimento della muratura che si è voluto evitare; in quel caso inoltre il dimensionamento della cerchiatura avrebbe dovuto seguire un diverso approccio di calcolo.

Telaio "B" (tripli IPE80) - Verifica connessioni acciaio-acciaio: saldature a cordone d'angolo

I giunti sono tutti di tipo saldato. Lo schema statico è quello di maglia chiusa con vincoli d'incastro tra correnti e montanti. La verifica del telaio e dei profili è già stata eseguita; si riprende la schematizzazione del telaio e si verifica il giunto caratterizzato da taglio e momento resistenti maggiori.

- Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 6995.17 \text{ daN} \approx \mathbf{70 \text{ kN}}$

- $M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 98072.8 \text{ daNcm} \approx \mathbf{9.81 \text{ kNm}}$

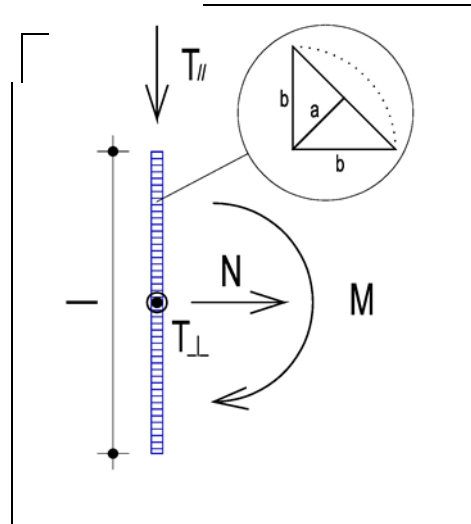
Si precisa che i giunti saranno saldati lungo tutto il perimetro utile di contatto tra i profili.

Verifica a taglio

Per la **verifica a taglio** si assumono reagenti i soli cordoni di saldatura paralleli all'anima; in ragione dei profili IPE80, tali cordoni presentano ciascuno una lunghezza di 6cm (60mm). Si adottano **cordoni di saldatura con lato 21mm** e quindi **gola di circa 15mm**. La verifica a taglio risulta **soddisfatta**.

Sollecitazioni	
N (N)	0
T _{//} (N)	70000
T _⊥ (N)	0
M (Nmm)	0

Dati saldatura	
Acciaio	S275
b (mm)	21,2
l (mm)	60
n° cordoni	2
γ _{M2}	1,25
a (mm)	14,99



f _{yk} (N/mm ²)	275
f _{tk} (N/mm ²)	430

Verifica con formula 4.2.82

$$F_{w,Ed}/F_{w,Rd} \leq 1 \text{ con } F_{w,Rd} = a \cdot f_{tk} / (\sqrt{3} \cdot \beta \cdot \gamma_{M2})$$

β _w	0,85
f _{w,d} (N/mm ²)	233,657
F _{T//} (N/mm)	583,333
F _{T⊥} (N/mm)	0,000

F _{T TOT} (N/mm)	583,333
F _{⊥ N} (N/mm)	0,000
F _{⊥ M} (N/mm)	0,000
F _{⊥ TOT} (N/mm)	0,000

F _{w,Ed} (N/mm)	583,333
F _{w,Rd} (N/mm)	3502,674

S/R	OK
0,167	

Verifica con formula 4.2.84 e 4.2.85

$$\sqrt{(n_{\perp})^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2} \leq \beta_1 \cdot f_{yk}$$

$$|n_{\perp}| + |t_{\perp}| \leq \beta_2 \cdot f_{yk}$$

β ₁	0,7
β ₂	0,85
t _{//} (N/mm ²)	38,9131

n _{⊥ N} (N/mm ²)	0,0000
n _{⊥ M} (N/mm ²)	0,0000

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 104 di 153

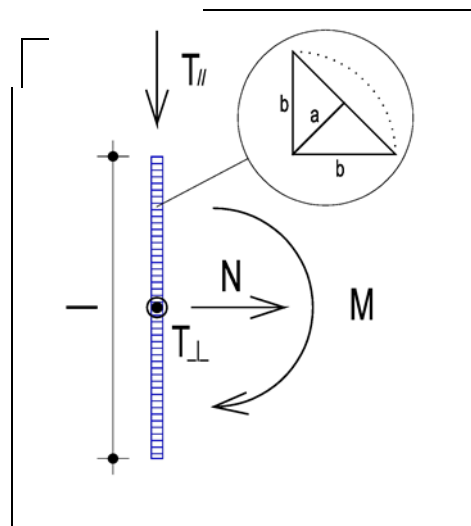
t_{\perp} (N/mm ²)	0,0000	n_{\perp} (N/mm ²)	0,0000
$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)}$	38,9131	S/R	OK
$\beta_1 \cdot f_{yk}$	192,5000	0,20	
$ n_{\perp} + t_{\perp} $	0,0000	S/R	OK
$\beta_2 \cdot f_{yk}$	233,7500	0,00	

Verifica a momento flettente

Per la **verifica a momento flettente** si assumono reagenti, a favore di sicurezza, i soli cordoni paralleli alle ali; in ragione dei profil IPE80, tali cordoni presentano le seguenti lunghezze in pianta: n°.1 da 138mm e n°.4 da 16mm. Si assumono reagenti le saldature da un solo lato quando sottoposte ad un taglio perpendicolare pari a $V = M_{nrd} / i = 9.81 / 0.075 = 130.8$ kN. Si prevedono **cordoni di saldatura con lato 21mm** e quindi **gola di circa 15mm**. La verifica a momento risulta **soddisfatta**.

Sollecitazioni	
N (N)	0
$T_{//}$ (N)	0
T_{\perp} (N)	130800
M (Nmm)	0

Dati saldatura	
Acciaio	S275
b (mm)	21,2
l (mm)	170
n° cordoni	1
γ_{M2}	1,25
a (mm)	14,99



f_{yk} (N/mm ²)	275
f_{tk} (N/mm ²)	430

Verifica con formula 4.2.82

$$F_{w,Ed}/F_{w,Rd} \leq 1 \text{ con } F_{w,Rd} = a \cdot f_{tk} / (\sqrt{3} \cdot \beta \cdot \gamma_{M2})$$

β_w	0,85
$f_{w,d}$ (N/mm ²)	233,657
$F_{T//}$ (N/mm)	0,000
$F_{T\perp}$ (N/mm)	769,412

$F_{T\text{TOT}}$ (N/mm)	769,412
$F_{\perp N}$ (N/mm)	0,000
$F_{\perp M}$ (N/mm)	0,000
$F_{\perp\text{TOT}}$ (N/mm)	0,000

$F_{w,Ed}$ (N/mm)	769,412
-------------------	---------

S/R	OK
-----	----

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 105 di 153

$F_{w,Rd}$ (N/mm)	3502,674	0,220	
-------------------	----------	-------	--

Verifica con formula 4.2.84 e 4.2.85

$$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)} \leq \beta_1 \cdot f_{yk}$$

$$|n_{\perp}| + |t_{\perp}| \leq \beta_2 \cdot f_{yk}$$

β_1	0,7
β_2	0,85
$t_{//}$ (N/mm ²)	0,0000
t_{\perp} (N/mm ²)	51,3261

$n_{\perp N}$ (N/mm ²)	0,0000
$n_{\perp M}$ (N/mm ²)	0,0000
n_{\perp} (N/mm ²)	0,0000

$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)}$	51,3261
$\beta_1 \cdot f_{yk}$	192,5000

S/R	OK
0,27	

$ n_{\perp} + t_{\perp} $	51,3261
$\beta_2 \cdot f_{yk}$	233,7500

S/R	OK
0,22	

Per tutti i nodi si prevedono saldature a cordoni d'angolo con lato 21mm e gola minima di almeno 15mm.

Connessioni acciaio-muratura

Per quanto attiene il trasverso superiore, avendo previsto idoneo prolungamento dello stesso nella muratura (ai lati) e quindi garanzia di blocco delle rotazioni, lo stesso risulta ben solidarizzato alla muratura con comportamento "shear-type"; l'intero momento flettente generato dallo spostamento orizzontale ultimo della parete è assorbito dalla colonna ed è trasmesso a questa dal collegamento rigido al trasverso. Il trasverso superiore risulta quindi non sollecitato se non localmente in corrispondenza del giunto con i montanti (collegamento già verificato in precedenza). L'adozione di barre filettate di collegamento alla muratura è meramente prudenziale ed a favore di sicurezza; le barre filettate non sono sollecitate; hanno un'utilità in sola fase di montaggio.

Per quanto attiene le colonne, anche su di esse sono previste barre filettate di collegamento alla muratura. Tali barre filettate sono previste, prudenzialmente, per realizzare una minima connessione muratura-acciaio che comunque, da calcolo della cerchiatura, non è stata considerata. Le suddette barre hanno utilità in fase di montaggio e rappresentano un semplice presidio aggiuntivo di buona norma; tali barre sono infatti disposte secondo un passo pressochè regolare e abbastanza rado sulla base dell'esperienza, anche per non produrre indebolimenti della muratura. La verifica della cerchiatura o meglio della parete in condizioni post-intervento è stata condotta con un approccio che può definirsi "disgiunto" ossia considerando la semplice somma delle rigidezze e resistenze dei singoli maschi murari più la cerchiatura; per tali motivazioni le barre filettate non vengono sottoposte a verifiche. Al riguardo occorre sottolineare che per ottenere una perfetta aderenza (nessun scorrimento) tra muratura e montanti delle cerchiature e quindi un comportamento idealmente non disgiunto, sarebbero necessarie molte più connessioni di quelle previste; ciò

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 106 di 153

si ritiene produrrebbe un indebolimento della muratura che si è voluto evitare; in quel caso inoltre il dimensionamento della cerchiatura avrebbe dovuto seguire un diverso approccio di calcolo.

10 CABINA N°.10

10.1 PREMESSA

La cabina n°.10 è speculare rispetto alla cabina n°.5; presenta però medesime geometrie ed interventi.

L'unica lieve differenza è rappresentata dal posizionamento delle nuove tubazioni Dn200 sul fronte ovest e la posizione della finestratura esistente; si effettua la verifica di controllo nel paragrafo seguente.

10.2 NUOVE FOROMETRIE PER PASSAGGI IMPIANTISTICI

10.2.1 Parete Ovest

Sulla parete Ovest si rende necessario realizzare n°.4 nuove forometrie per passaggio tubazioni in acciaio Dn200. Già in stato di fatto sono presenti n°.4 fori delle medesime caratteristiche posti però ad un'altezza inferiore. Le forometrie sono poste a più di 1m di distanza dagli incroci murari. **Trattandosi di una semplice traslazione in verticale di forometrie senza allargamento delle aperture, imponendo la risarcitura mediante cuci-scuci con mattoni pieni e malta di calce delle aperture esistenti, è possibile realizzare l'intervento senza introduzione di cerchiature metalliche aggiuntive sulle nuove forometrie.**

Ad ogni modo si effettuano le calcolazioni di verifica sulla parete in oggetto. La lunghezza della parete è 8.50m e l'altezza 2.46m. Le forometrie esistenti hanno una larghezza di 22cm ed un'altezza di 34cm (in quanto il passaggio nella muratura ha giacitura non orizzontale); le nuove forometrie sono imposte di dimensioni quadrate di lato 22cm (il passaggio nella muratura è a giacitura orizzontale).

Sulla parete insiste la copertura in latero-cemento con lunghezza di influenza di circa 1.50m (comprendendo lo sporto esterno); si può stimare un carico lineare permanente pari a $g = (2.00 + 0.04 + 0.50) \times 1.50 \approx 2.55 \times 1.50 = 3.81 \text{ kN/m}$. Il carico variabile indotto dalla neve viene assunto pari a $q = 1.30 \times 1.50 = 1.95 \text{ kN/m}$.

Tabulati di calcolo

MATERIALI

Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019
 f_m - resistenza compressione [daN/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)
 τ_o - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)
 f_{vo} - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)
 E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
 G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 4000.0 (min.), 6000.0 (max.)

Essendo il livello di conoscenza LC1 (Limitata) si utilizzano i valori medi per i moduli elastici e i valori minimi per la resistenza.

Valori di riferimento:

f_m - resistenza compressione = 26.00 daN/cm²
 τ_o - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
 f_{vo} - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²
 E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²
 G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²
 μ = fattore duttilità = 1.50 (da valori sperimentali secondo gli studi di Turnsek e Cacovic)
 γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 107 di 153

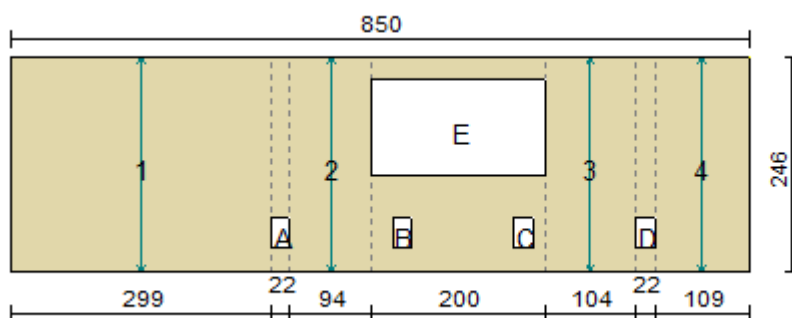
Fattore confidenza FC = 1.35
 Coef. parz. sic. $\gamma_M = 2.00$ (4.5.6.1)
 $f_m = 9.63$ daN/cm²
 $\tau_o = 0.19$ daN/cm²
 $f_{vo} = 0.48$ daN/cm²
 Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00
 $E = 7500$ daN/cm²
 $G = 2500$ daN/cm²

CARICHI

In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:
 Carico permanente $G_k = 381.0$ daN/m
 Carico variabile $Q_k = 195.0$ daN/m

Per la determinazione della tensione media verticale, verranno inoltre considerati i contributi dovuti al peso proprio di metà maschio murario e delle semifasce superiori gravanti sul maschio stesso.

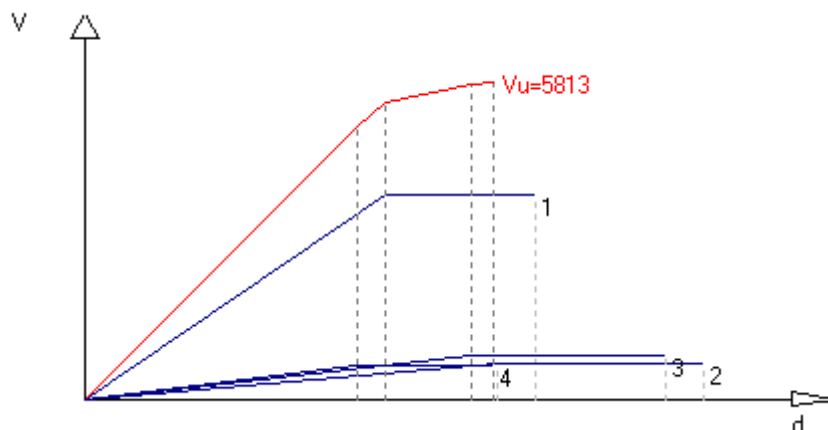
Ante-operam



T (sp. parete) = 28.00 cm

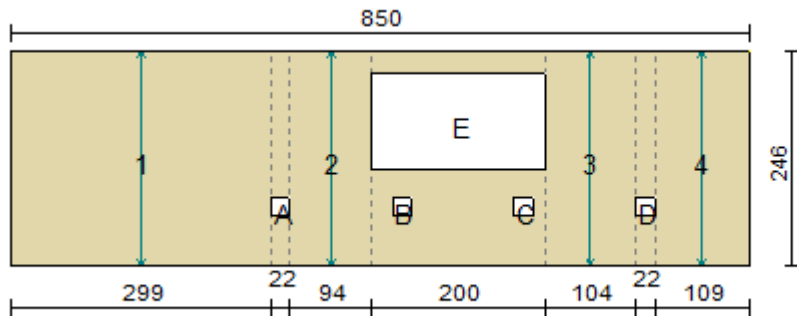
Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	σ_o	K_o	V_t	V_{pf}	V_u	δ_e	δ_u
1	299.0	246.0	1.00	0.447	59679.6	3756.5	4299.5	3756.5	0.063	0.094
2	94.0	246.0	1.50	0.725	7679.7	926.3	664.8	664.8	0.087	0.130
3	104.0	246.0	1.50	0.697	9655.3	1010.0	784.6	784.6	0.081	0.122
4	109.0	246.0	1.50	0.481	10703.3	934.5	612.8	612.8	0.057	0.086

Curva caratteristica ante-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{sa} = 87717.8$ daN/cm
 Taglio ultimo della parete: $V_{sa} = 5813.5$ daN
 Spostamento ultimo: δ_u sa = 0.086 cm

Post-operam

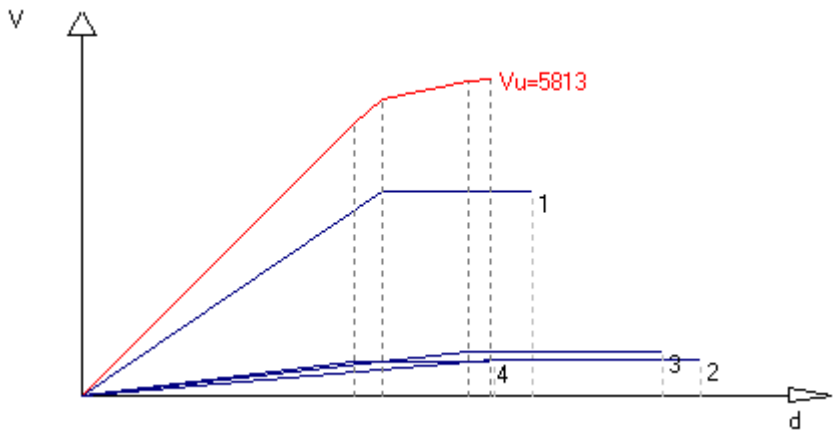


T (sp. parete) = 28.00 cm

Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
A	Libera	No	No	No
E	Libera	No	No	No
B	Libera	No	No	No
C	Libera	No	No	No
D	Libera	No	No	No

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ_0	K_0	V_t	V_{pf}	V_u	δ_e	δ_u
1	299.0	28.00	246.0	1.00	0.446	59679.6	3753.6	4289.3	3753.6	0.063	0.094
2	94.0	28.00	246.0	1.50	0.725	7679.7	926.3	664.8	664.8	0.087	0.130
3	104.0	28.00	246.0	1.50	0.697	9655.3	1010.0	784.6	784.6	0.081	0.122
4	109.0	28.00	246.0	1.50	0.478	10703.3	932.6	609.1	609.1	0.057	0.085

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{sa} = 87717.8 \text{ daN/cm}$
Taglio ultimo della parete: $V_{sa} \approx 5813.5 \text{ daN}$
Spostamento ultimo: $\delta_u \text{ pr} = 0.085 \text{ cm}$

VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:
 $\Delta K \text{ mur} = K_{pr} - K_{sa} = 87718 - 87718 = 0 \text{ daN/cm}$ (riduzione rigidezza = 0.0%)
 $\Delta V \text{ mur} = V_{pr} - V_{sa} = 5813 - 5813 = 0 \text{ daN}$ (riduzione resistenza = 0.0%)

La variazione percentuale di ΔK è compresa tra +/- 15.0%, limite di accettabilità per considerare l'intervento di tipo locale.
La resistenza post-operam non è inferiore di quella ante-operam, **quindi la parete potrà essere modificata senza richiedere opere aggiuntive di irrigidimento delle aperture.**

<p>Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti</p>	<p>PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE</p>	<p>Rev. 02 del 19/07/21</p> <hr/> <p>Pagina 109 di 153</p>
--	--	--

11 CABINA N°.6

11.1 PREMESSA

Gli interventi da realizzarsi riguardano:

- la tamponatura di n°.3 vani porta (n°.1 sul parete perimetrale e n°.2 su parete interna);
- la trasformazione di una finestra in porta-finestra;
- la realizzazione di n°.2 nuove aperture;
- la realizzazione di alcune forometrie per passaggio tubazioni;
- la realizzazione di nuovi basamenti in c.a. per alloggiamento pompe.

Per quanto attiene la **tamponatura delle aperture esistenti** si adotta una **soluzione non strutturale** ossia i vani porta saranno **semplicemente tamponati con laterizi forati (sui muri interni) o con laterizi semi-pieni (su muratura di perimetro), in entrambi i casi senza realizzare l'ammorsamento con le murature esistenti**

La **trasformazione di finestra in porta-finestra** è un intervento **privo di rilevanza ai fini sismici** in quanto **non viene modificata la larghezza del vano**.

La realizzazione delle nuove aperture è oggetto di calcolo strutturale e risultano **necessarie cerchiature compensative** come meglio descritto nel seguito.

Relativamente alle **nuove forometrie in murature portanti per passaggi impiantistici**, si rimanda al paragrafo specifico riporto a seguire.

I **nuovi basamenti** di supporto delle pompe sono inquadrabili come **privi di rilevanza ai fini sismici**

11.2 TAMPONATURA APERTURE ESISTENTI

Come anticipato in premessa le tamponature delle aperture esistenti saranno di tipo **non strutturale**.

11.3 TRASFORMAZIONE DI FINESTRA IN PORTA-FINESTRA

La **trasformazione** della **finestra (200x110cm)** in **porta-finestra (200x210cm)** sul fronte est è un **intervento privo di rilevanza ai fini sismici** in quanto ricade al **punto B.4.2.** della *D.G.R. ER 2272/2016 - Trasformazione di finestra in porta-finestra, e viceversa, che non ne aumenti la larghezza originaria, esclusi gli interventi sistematici che alterino in maniera sostanziale il comportamento della fascia di piano. (L1).*

11.4 NUOVE FOROMETRIE PER PASSAGGI IMPIANTISTICI

11.4.1 Parete Est

Sulla parete Est si rende necessaria la realizzazione di un **nuovo foro** per il passaggio di una tubazione in acciaio di diametro circa 60mm. La distanza del foro dall'incrocio murario è lievemente inferiore ad 1m, motivo per il quale, a rigore, non è possibile inquadrare l'intervento come *privo di rilevanza ai fini sismici*. L'entità della forometria è decisamente limitata; l'area è circa 0.0028m^2 ($< 0.15\text{m}^2$)

Tale nuova forometria viene inserita nel calcolo della parete oggetto di realizzazione di nuova apertura per aerazione. Contestualmente si prenderà in esame anche il passaggio impiantistico oggetto di lieve spostamento (tubazione Dn200).

11.4.2 Parete Sud

Sulla parete Sud si rende necessario realizzare n°.1 nuova forometria per passaggio tubazione in acciaio Dn300. La distanza del foro dall'incrocio murario è inferiore ad 1m, motivo per il quale non è possibile

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 110 di 153

inquadrare l'intervento come *privo di rilevanza ai fini sismici*. L'entità della forometria è comunque limitata; l'area è circa 0.08m^2 ($< 0.15\text{m}^2$).

Si studia la parete in condizioni pre e post intervento. Il vano porta oggetto di chiusura non verrà preso in conto nelle calcolazioni in quanto la tamponatura sarà di tipo non strutturale come già descritto in precedenza.

La parete presenta un'altezza minima di 2.45m (in gronda) ed un'altezza massima di 3.32m (in colmo); nelle calcolazioni si considera un'altezza media pari a 2.89m. La lunghezza della parete è 3.30m (misurato asse-asse pareti longitudinali). La copertura è ordita parallelamente alla parete; si assume comunque una larghezza di influenza canonica pari ad 1m per la definizione dei carichi sulla parete stessa. Il solaio di copertura è in latero-cemento; si può stimare un carico lineare permanente pari a $g = (2.00 + 0.04 + 0.50) \times 1.00 \approx 2.55 \times 1.00 = 2.55 \text{ kN/m}$. Il carico variabile indotto dalla neve ed utile esclusivamente alla verifica statica dell'architettura superiore, viene assunto pari a $q = 1.30 \times 1.00 = 1.30 \text{ kN/m}$.

La parete è in muratura di mattoni pieni e malta di calce con spessore strutturale a "due teste" (28cm).

I risultati del calcolo evidenziano la necessità di realizzare una **cerchiatura metallica compensativa** in corrispondenza della **nuova forometria** caratterizzata da **doppi profili UPN 40x35**.

Tabulati di calcolo

MATERIALI

Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019
 f_m - resistenza compressione [daN/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)
 τ_o - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)
 f_{vo} - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)
 E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
 G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 4000.0 (min.), 6000.0 (max.)

Essendo il livello di conoscenza LC1 (Limitata) si utilizzano i valori medi per i moduli elastici e i valori minimi per la resistenza.

Valori di riferimento:

f_m - resistenza compressione = 26.00 daN/cm²
 τ_o - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
 f_{vo} - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²
 E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²
 G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²
 μ = fattore duttilità = 1.50 (da valori sperimentali secondo gli studi di Turnsek e Cacovic)
 γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

Fattore confidenza $FC = 1.35$
 Coef. parz. sic. $\gamma_M = 2.00$ (4.5.6.1)
 $f_m = 9.63 \text{ daN/cm}^2$
 $\tau_o = 0.19 \text{ daN/cm}^2$
 $f_{vo} = 0.48 \text{ daN/cm}^2$
 Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00
 $E = 7500 \text{ daN/cm}^2$
 $G = 2500 \text{ daN/cm}^2$

Materiali del telaio

Acciaio	f_{yk} [daN/cm ²]	f_{tk} [daN/cm ²]	E [daN/cm ²]	G [daN/cm ²]	γ_a [kg/mc]
S 275	2750.0	4300.0	2100000.0	807692.0	7850.0

Sezioni in acciaio del telaio

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE						Rev. 02 del 19/07/21
							Pagina 111 di 153

Profilo	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	Wy [cm ³]	Wpy [cm ³]	Area [cm ²]	Peso [kg/m]
UPN40x35	3.5	4.0	7.1	8.9	3.1	5.6	6.2	4.88

CARICHI

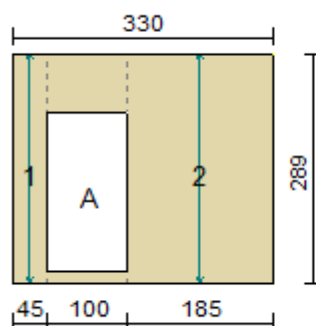
In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

Carico permanente Gk = 255.0 daN/m

Carico variabile Qk = 130.0 daN/m

Per la determinazione della tensione media verticale, verranno inoltre considerati i contributi dovuti al peso proprio di metà maschio murario e delle semifasce superiori gravanti sul maschio stesso.

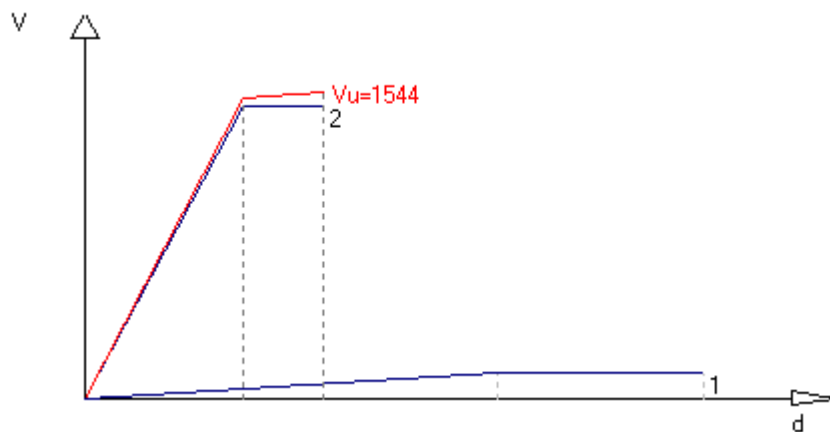
Ante-operam



T (sp. parete) = 28.00 cm

Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	σ_0	Ko	Vt	Vpf	Vu	δe	δu
1	45.0	289.0	1.50	0.698	729.2	437.4	125.3	125.3	0.172	0.258
2	185.0	289.0	1.50	0.471	22255.2	1574.8	1471.2	1471.2	0.066	0.099

Curva caratteristica ante-operam:



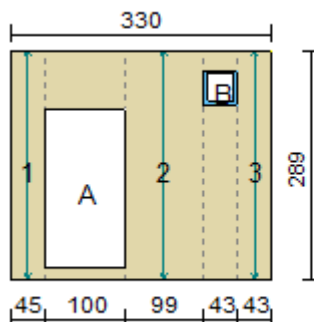
Rigidezza complessiva della parete: Ksa = 22984.3 daN/cm

Taglio ultimo della parete: Vsa = 1543.5 daN

Spostamento ultimo: δu_{sa} = 0.099 cm

Post-operam

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 112 di 153

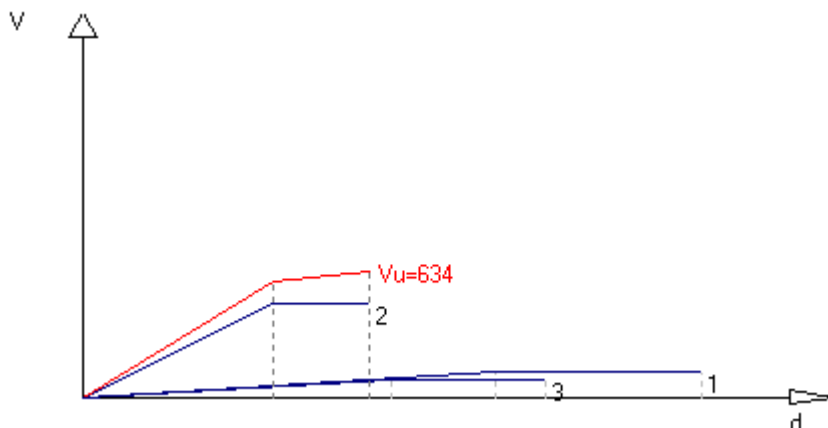


T (sp. parete) = 28.00 cm

Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
A	Libera	No	No	No
B	Cerchiata	2 UPN40x35 (S 275)		2 UPN40x35 (S 275) 2UPN40x35+2UPN40x35 (S 275)

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ_o	Ko	Vt	Vpf	Vu	δ_e	δ_u
1	45.0	28.00	289.0	1.50	0.698	729.2	437.4	125.3	125.3	0.172	0.258
2	99.0	28.00	289.0	1.50	0.531	5934.6	875.8	471.3	471.3	0.079	0.119
3	43.0	28.00	289.0	1.50	0.490	640.7	370.6	82.5	82.5	0.129	0.193

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete: Kpr = 7304.5 daN/cm

Taglio ultimo della parete: Vpr = 634.4 daN

Spostamento ultimo: δ_u pr = 0.119 cm

VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 7304 - 22984 = -15680$ daN/cm (riduzione rigidezza = -68.2%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 634 - 1544 = -909$ daN (riduzione resistenza = -58.9%)

Rigidezza e resistenza del telaio:

Note:

$K = c E J / H_i^3$, con: c = 3 nel caso di telaio incernierato alla base, c = 12 nel caso di incastro

$F_o = K \delta_{min}$

Telaio	c	H_i [cm]	K [daN/cm]	M_u [daN cm]	δ_{min} [cm]	F_o [daN]
B	12	39.00	24010.9	74066.7	0.12	2860.1

$K_t = \Sigma K = 24011$ daN/cm

$V_t = \Sigma F_o = 2860$ daN

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 113 di 153

$\Delta K_{tot} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = 8331 \text{ daN/cm}$ aumento rigidezza = 36.2%; $\Delta K_{tot} > 0$ Ok $\Delta V_{tot} = V_{pr} + V_t - V_{sa} = 1951 \text{ daN}$ aumento resistenza = 126.4%; $\Delta V_{tot} > 0$ Ok

VERIFICA ARCHITRAVI IN ACCIAIO

La verifica si riferisce alla fase di montaggio nel momento in cui è già stata rimossa la muratura, ma le architravi non sono ancora collegate ai montanti.

Architrave: 2 UPN40x35

$J_x = 28.3 \text{ cm}^4$, $W_x = 14.1 \text{ cm}^3$, $A_{\text{taglio}} = 4.0 \text{ cm}^2$

Luce di calcolo $L = 39.0 \text{ cm}$

P.P. architrave $PP_a = 0.098 \text{ daN/cm}$

P.P. fascia muratura $PP_m = 1.310 \text{ daN/cm}$

Carico permanente trasmesso dalla sovrastruttura $G_k = 2.55 \text{ daN/cm}$

Carico variabile trasmesso dalla sovrastruttura $Q_k = 1.30 \text{ daN/cm}$

$q_{SLU} = 1.3 (G_k + PP_a + PP_m) + 1.5 Q_k = 7.10 \text{ daN/cm}$

$q_{SLE} = G_1 + G_2 + PP_a + PP_m + 0.0 Q_k = 3.96 \text{ daN/cm}$

$M_{sd} = (q_{SLU} L^2) / 8 = 1349.0 \text{ daN cm} < W_x f_{yd} = 37033.3 \text{ daN cm}$ Ok

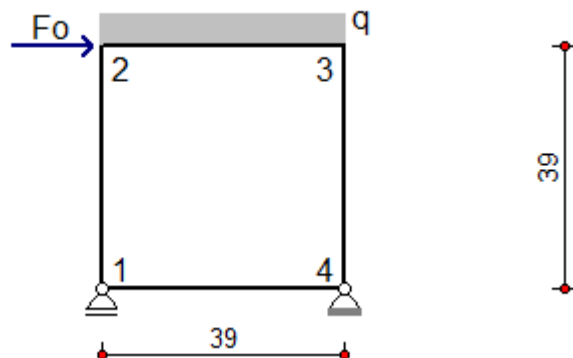
$V_{sd} = (q_{SLU} L) / 2 = 138.4 \text{ daN}$

$1.5 V_{sd} / A_{\text{taglio}} = 51.9 \text{ daN} < f_{yd} / 3^{1/2} = 1512.1 \text{ daN}$ Ok

Freccia = $(5/384) (q_{SLE} L^4) / (E J_x) = 0.0020 \text{ cm} < L/500 = 0.0780 \text{ cm}$ Ok

Verifiche dei telai.

Telaio B



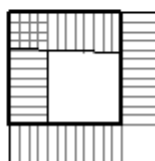
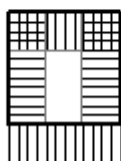
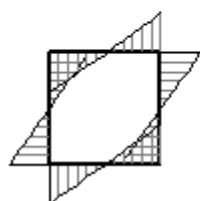
$F_o = 2860.08 \text{ daN}$, $q = G_k + \psi_2 Q_k = 3.86 \text{ daN/cm}$ ($\psi_2 = 0.00$)

Sollecitazioni telaio B

Momento flettente

Sforzo normale

Taglio



Sollecitazione di compressione per $N > 0$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-2

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-2	1	0.0	-27940.8	-1342.7	1420.2

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO						Rev. 02 del 19/07/21		
	RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE						Pagina 114 di 153		

2	3.3	-23325.2	-1343.0	1420.2
3	6.5	-18709.5	-1343.3	1420.2
4	9.8	-14093.9	-1343.6	1420.2
5	13.0	-9478.2	-1343.9	1420.2
6	16.3	-4862.6	-1344.3	1420.2
7	19.5	-246.9	-1344.6	1420.2
8	22.8	4368.7	-1344.9	1420.2
9	26.0	8984.4	-1345.2	1420.2
10	29.3	13600.0	-1345.5	1420.2
11	32.5	18215.7	-1345.8	1420.2
12	35.8	22831.3	-1346.2	1420.2
13	39.0	27447.0	-1346.5	1420.2

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
UPN40x35	3.5	4.0	7,07	8,88	6.2	2.6	0.50	0.70	0.70

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	27447.0	1439.9	-1346.5
	2	3.3	23050.0	1439.9	-1359.3
	3	6.5	18611.3	1439.9	-1372.2
	4	9.8	14130.7	1439.9	-1385.1
	5	13.0	9608.4	1439.9	-1397.9
	6	16.3	5044.2	1439.9	-1410.8
	7	19.5	438.3	1439.9	-1423.7
	8	22.8	-4209.5	1439.9	-1436.5
	9	26.0	-8899.1	1439.9	-1449.4
	10	29.3	-13630.5	1439.9	-1462.2
	11	32.5	-18403.6	1439.9	-1475.1
	12	35.8	-23218.6	1439.9	-1488.0
	13	39.0	-28075.4	1439.9	-1500.8

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
UPN40x35	3.5	4.0	7,07	8,88	6.2	2.6	0.50	0.70	0.70

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-28075.4	1500.8	1439.9
	2	3.3	-23395.8	1501.1	1439.9
	3	6.5	-18716.2	1501.5	1439.9
	4	9.8	-14036.6	1501.8	1439.9
	5	13.0	-9357.0	1502.1	1439.9
	6	16.3	-4677.4	1502.4	1439.9
	7	19.5	2.3	1502.7	1439.9
	8	22.8	4681.9	1503.0	1439.9
	9	26.0	9361.5	1503.4	1439.9
	10	29.3	14041.1	1503.7	1439.9
	11	32.5	18720.7	1504.0	1439.9
	12	35.8	23400.3	1504.3	1439.9
	13	39.0	28079.9	1504.6	1439.9

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
UPN40x35	3.5	4.0	7,07	8,88	6.2	2.6	0.50	0.70	0.70

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-4	1	0.0	27940.8	1420.2	-1434.5
	2	3.3	23278.1	1420.2	-1434.8
	3	6.5	18614.3	1420.2	-1435.2
	4	9.8	13949.5	1420.2	-1435.5
	5	13.0	9283.7	1420.2	-1435.8
	6	16.3	4616.8	1420.2	-1436.1
	7	19.5	-51.0	1420.2	-1436.4
	8	22.8	-4719.9	1420.2	-1436.7
	9	26.0	-9389.9	1420.2	-1437.1

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE				Rev. 02 del 19/07/21
					Pagina 115 di 153

10	29.3	-14060.9	1420.2	-1437.4
11	32.5	-18732.9	1420.2	-1437.7
12	35.8	-23405.9	1420.2	-1438.0
13	39.0	-28079.9	1420.2	-1438.3

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
UPN40x35	3.5	4.0	7,07	8,88	6.2	2.6	0.50	0.70	0.70

Nota (*): non essendo possibile collegare le travi mediante calastrelli nel lato verso la muratura, le verifiche saranno eseguite su profili semplici dividendo le sollecitazioni per il numero delle sezioni presenti nel tratto.

11.5 NUOVI BASAMENTI IN C.A.

I nuovi basamenti in c.a. a supporto dei macchinari (pompe, gruppo di pressurizzazione) possono essere inquadrati quali **interventi privi di rilevanza ai fini sismici** in analogia al **punto A.6.1** della *D.G.R. ER 2272/2016* – “A.6.1. Realizzazione di rampe, solette, pavimentazioni appoggiate a terra. (L0)”.

I basamenti esistenti saranno completamente demoliti e rimossi.

I nuovi basamenti in progetto per la cabina tipo “6” saranno n°.2 di cui n°.1 di dimensioni in pianta 90x165cm e n°.1 di dimensioni 100x200cm.

Le dimensioni in pianta dei basamenti sono già definite dal progettista elettromeccanico.

Si ritiene di mantenere l'**altezza complessiva** dei basamenti pari a **60cm** ed **armature longitudinali e trasversali Φ14** a **passo 20cm** sia **superiormente** sia **inferiormente**. Il **calcestruzzo di progetto è C25/30**. Per i calcoli si omettono in quanto i medesimi già sviluppati in precedenza per la Cabina “2”.

11.6 NUOVE APERTURE

11.6.1 Parete Est

La **nuova apertura** in progetto sulla parete est è una **finestratura per areazione** del locale *Trafo* di dimensioni **120x50cm**.

La parete muraria presenta **spessore strutturale 28cm** ed è in **mattoni pieni e malta di calce**.

L'**altezza** della **parete** è variabile: **2.32m** per il locale pompe e **7.60m** per il locale *MT/bt*. Cautelativamente si ritiene di assumere l'altezza minore (maggiore è l'altezza della parete, minore è la consistenza della cerchiatura metallica compensativa).

La **lunghezza** della **parete** è **6.70m** (misurata da asse-asse murature ortogonali).

Come anticipato in precedenza, nelle calcolazioni dello stato post-intervento, si considerano anche le nuove forometrie per passaggio nuove tubazioni.

Relativamente al carico gravante in sommità alla parete, si assume il carico indotto dalla copertura del locale pompe; si può stimare un carico lineare permanente pari a $g = (2.00 + 0.04 + 0.50) \times 1.20 \approx 2.55 \times 1.20 = 3.06$ kN/m. Il carico variabile indotto dalla neve ed utile esclusivamente alla verifica statica dell'architravatura superiore, viene assunto pari a $q = 1.30 \times 1.20 = 1.56$ kN/m.

Risulta necessario inserire una **cerchiatura metallica compensativa** costituita da **tripli profili IPE80**.

Tabulati di calcolo

MATERIALI

Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019

f_m - resistenza compressione [daN/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)

τ₀ - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 116 di 153

fvo - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)
E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 4000.0 (min.), 6000.0 (max.)

Essendo il livello di conoscenza LC1 (Limitata) si utilizzano i valori medi per i moduli elastici e i valori minimi per la resistenza.

Valori di riferimento:

f_m - resistenza compressione = 26.00 daN/cm²
 τ_o - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
fvo - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²
E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²
G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²
 μ = fattore duttilità = 1.50 (da valori sperimentali secondo gli studi di Turnsek e Cacovic)
 γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

Fattore confidenza FC = 1.35
Coef. parz. sic. γ_M = 2.00 (4.5.6.1)
f_m = 9.63 daN/cm²
 τ_o = 0.19 daN/cm²
fvo = 0.48 daN/cm²
Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00
E = 7500 daN/cm²
G = 2500 daN/cm²

Materiali del telaio

Acciaio	f _{yk} [daN/cm ²]	f _{tk} [daN/cm ²]	E [daN/cm ²]	G [daN/cm ²]	γ_a [kg/mc]
S 275	2750.0	4300.0	2100000.0	807692.0	7850.0

Sezioni in acciaio del telaio

Profilo	B [cm]	H [cm]	W _x [cm ³]	W _{px} [cm ³]	W _y [cm ³]	W _{py} [cm ³]	Area [cm ²]	Peso [kg/m]
IPE80	4.6	8.0	20.0	23.2	3.7	5.8	7.7	6.01

CARICHI

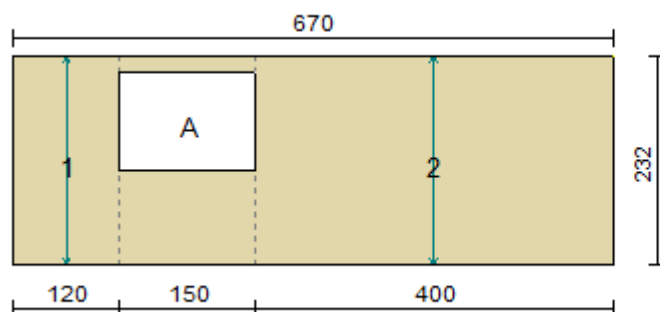
In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

Carico permanente G_k = 306.0 daN/m

Carico variabile Q_k = 156.0 daN/m

Per la determinazione della tensione media verticale, verranno inoltre considerati i contributi dovuti al peso proprio di metà maschio murario e delle semifascie superiori gravanti sul maschio stesso.

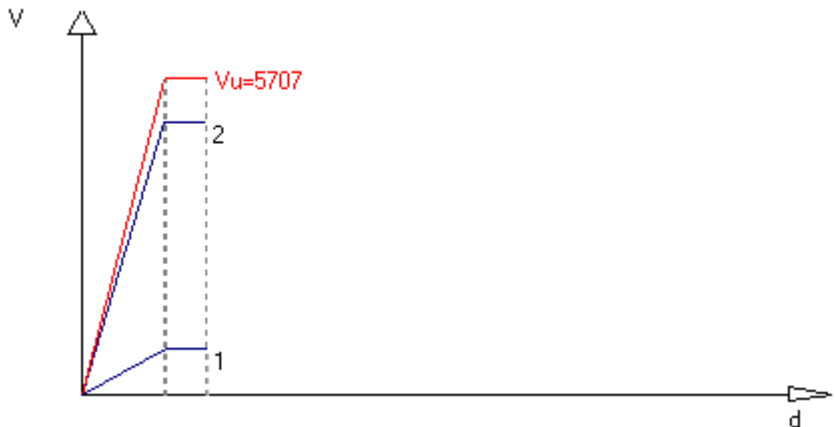
Ante-operam



T (sp. parete) = 28.00 cm

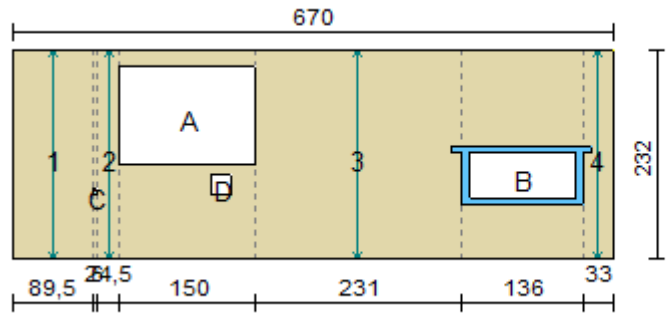
Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	σ_o	Ko	Vt	Vpf	Vu	δ_e	δ_u
1	120.0	232.0	1.50	0.496	14802.9	1038.6	809.9	809.9	0.055	0.082
2	400.0	232.0	1.00	0.410	91979.7	4897.4	7528.9	4897.4	0.053	0.080

Curva caratteristica ante-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{sa} = 106782.7 \text{ daN/cm}$
 Taglio ultimo della parete: $V_{sa} = 5707.3 \text{ daN}$
 Spostamento ultimo: $\delta u_{sa} = 0.080 \text{ cm}$

Post-operam

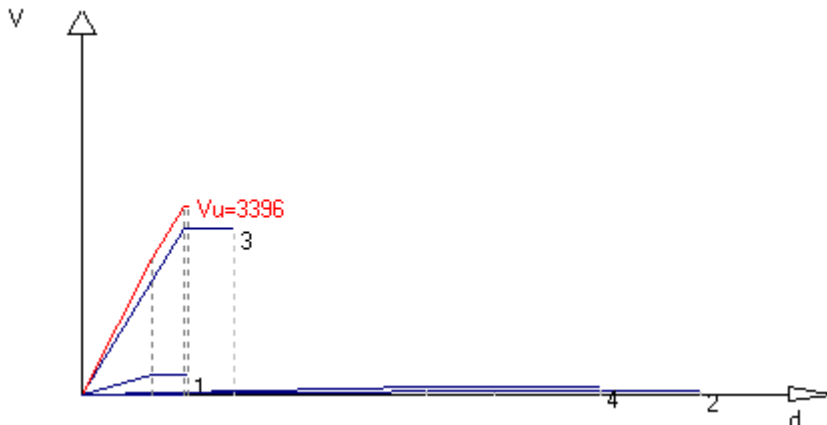


$T \text{ (sp. parete) } = 28.00 \text{ cm}$

Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
C	Libera	No	No	No
A	Libera	No	No	No
D	Libera	No	No	No
B	Cerchiata	3 IPE80 (S 275)	3 IPE80 (S 275)	3 IPE80+3 IPE80 (S 275)

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ_0	K_0	V_t	V_{pf}	V_u	δe	δu
1	89.5	28.00	232.0	1.50	0.389	7850.6	718.8	357.9	357.9	0.046	0.068
2	24.5	28.00	232.0	1.50	0.997	237.8	272.1	63.4	63.4	0.267	0.400
3	231.0	28.00	232.0	1.00	0.495	45369.8	2983.7	2994.4	2983.7	0.066	0.099
4	33.0	28.00	232.0	1.50	1.107	563.3	382.1	125.8	125.8	0.223	0.335

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 54021.5 \text{ daN/cm}$
 Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 3396.4 \text{ daN}$
 Spostamento ultimo: $\delta_{upr} = 0.068 \text{ cm}$

VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 54021 - 106783 = -52761 \text{ daN/cm}$ (riduzione rigidezza = -49.4%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 3396 - 5707 = -2311 \text{ daN}$ (riduzione resistenza = -40.5%)

Rigidezza e resistenza del telaio:

Note:

$K = c E J / H_i^3$, con: $c = 3$ nel caso di telaio incernierato alla base, $c = 12$ nel caso di incastro

$F_o = K \delta_{min}$

Telaio	c	H_i [cm]	K [daN/cm]	M_u [daN cm]	δ_{min} [cm]	F_o [daN]
B	12	58.00	62119.2	314914.3	0.07	4247.5

$K_t = \sum K = 62119 \text{ daN/cm}$

$V_t = \sum F_o = 4248 \text{ daN}$

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

$\Delta K_{tot} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = 9358 \text{ daN/cm}$

aumento rigidezza = 8.8%; variazione percentuale di ΔK_{tot} compresa entro il 15.0% Ok

$\Delta V_{tot} = V_{pr} + V_t - V_{sa} = 1937 \text{ daN}$

aumento resistenza = 33.9%; $\Delta V_{tot} > 0$ Ok

VERIFICA ARCHITRAVI IN ACCIAIO

La verifica si riferisce alla fase di montaggio nel momento in cui è già stata rimossa la muratura, ma le architravi non sono ancora collegate ai montanti.

Architrave: 3 IPE80

$J_x = 240.5 \text{ cm}^4$, $W_x = 60.1 \text{ cm}^3$, $A_{taglio} = 9.1 \text{ cm}^2$

Luce di calcolo $L = 128.0 \text{ cm}$

P.P. architrave $PP_a = 0.180 \text{ daN/cm}$

P.P. fascia muratura $PP_m = 0.857 \text{ daN/cm}$

Carico permanente trasmesso dalla sovrastruttura $G_k = 3.06 \text{ daN/cm}$

Carico variabile trasmesso dalla sovrastruttura $Q_k = 1.56 \text{ daN/cm}$

$q_{SLU} = 1.3 (G_k + PP_a + PP_m) + 1.5 Q_k = 7.67 \text{ daN/cm}$

$q_{SLE} = G_1 + G_2 + PP_a + PP_m + 0.0 Q_k = 4.10 \text{ daN/cm}$

$M_{sd} = (q_{SLU} L^2) / 8 = 15700.2 \text{ daN cm} < W_x f_{yd} = 157457.2 \text{ daN cm}$ Ok

$V_{sd} = (q_{SLU} L) / 2 = 490.6 \text{ daN}$

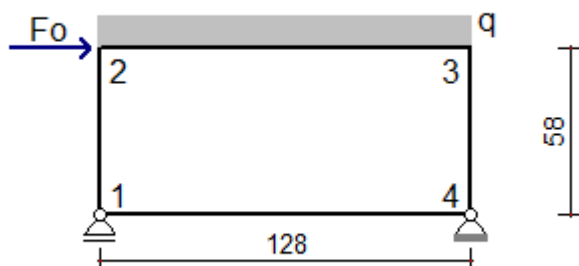
$1.5 V_{sd} / A_{taglio} = 80.7 \text{ daN} < f_{yd} / 3^{1/2} = 1512.1 \text{ daN}$ Ok

Freccia = $(5/384) (q_{SLE} L^4) / (E J_x) = 0.0284 \text{ cm} < L/500 = 0.2560 \text{ cm}$ Ok

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 119 di 153

Verifiche dei telai.

Telaio B



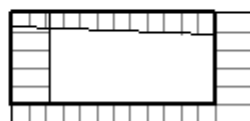
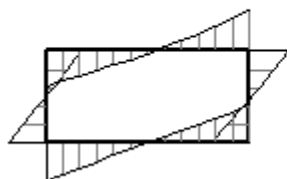
$$F_o = 4247.52 \text{ daN}, \quad q = G_k + \psi_2 Q_k = 3.92 \text{ daN/cm} \quad (\psi_2 = 0.00)$$

Sollecitazioni telaio B

Momento flettente

Sforzo normale

Taglio



Sollecitazione di compressione per $N > 0$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-2

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-2	1	0.0	-61010.2	-688.3	2037.2
	2	11.6	-37378.4	-690.3	2037.2
	3	23.2	-13746.6	-692.4	2037.2
	4	34.8	9885.2	-694.5	2037.2
	5	46.4	33517.0	-696.6	2037.2
	6	58.0	57148.8	-698.7	2037.2

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE80	4.6	8.0	20,04	23,22	7.7	3.6	0.38	0.52	0.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-2

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 679,1 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 5418.79 \text{ daN}$

$V_{ed} / V_{crd} = 0.125 < 1$ Ok

Tenso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -20336,7 daNcm, Ned = -229,4 daN, Ved = 679,1 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{235 / f_{yk}} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.48, \quad \psi = -1.04$$

Ali in compressione: $c_f / e = 3.10 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 15.68 < 36 \varepsilon / \alpha = 69.10$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 20035.7 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = -0.011, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.375$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 60814.3 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 75688.7 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 120 di 153

Med / Mnrd = 0.33 < 1 Ok

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	57148.8	2210.3	-698.7
	2	10.7	49462.8	2210.3	-742.4
	3	21.3	41310.7	2210.3	-786.1
	4	32.0	32692.5	2210.3	-829.8
	5	42.7	23608.1	2210.3	-873.5
	6	53.3	14057.6	2210.3	-917.2
	7	64.0	4041.0	2210.3	-960.9
	8	74.7	-6441.8	2210.3	-1004.6
	9	85.3	-17390.8	2210.3	-1048.3
	10	96.0	-28805.9	2210.3	-1092.0
	11	106.7	-40687.1	2210.3	-1135.7
	12	117.3	-53034.5	2210.3	-1179.4
	13	128.0	-65848.0	2210.3	-1223.1

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE80	4.6	8.0	20,04	23,22	7.7	3.6	0.38	0.52	0.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 2-3

Taglio: sez. 13, dist. = 128,0 cm, Ved = -407,7 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 5418.79$ daN

Ved / $V_{crd} = 0.075 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 13, dist. = 128,0 cm, Med = -21949,3 daNcm, Ned = 736,8 daN, Ved = -407,7 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.56$, $\psi = -0.88$

Ali in compressione: $c_f / e = 3.10 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 15.68 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 58.39$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 20035.7$ daN

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.037$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.375$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 60814.3$ daNcm

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 72080.0$ daNcm > $M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

Med / $M_{nrd} = 0.36 < 1$ Ok

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 19049,6 daNcm, Ned = 736,8 daN, Ved = -232,9 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 101404.4$ daN

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$ Verifica non richiesta

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-65848.0	1223.1	2210.3
	2	11.6	-40208.6	1225.2	2210.3
	3	23.2	-14569.2	1227.3	2210.3
	4	34.8	11070.3	1229.4	2210.3
	5	46.4	36709.7	1231.5	2210.3
	6	58.0	62349.1	1233.6	2210.3

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE80	4.6	8.0	20,04	23,22	7.7	3.6	0.38	0.52	0.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 3-4

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 736,8 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 5418.79$ daN

Ved / $V_{crd} = 0.136 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -21949,3 daNcm, Ned = 407,7 daN, Ved = 736,8 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.53$, $\psi = -0.93$

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 121 di 153

Ali in compressione: $cf / e = 3.10 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)
 Anima a presso-flessione: $cw / a = 15.68 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 61.78$ (cl. 1)
 La sezione è di classe 1
 Verifica di resistenza:
 $Nrd = A f_{yk} / \gamma_{MO} = 20035.7$ daN
 $n = Ned / Nrd = 0.020$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.375$
 $Mrd = W_{px} f_{yk} / \gamma_{MO} = 60814.3$ daNcm
 $Mnrd = Mrn (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 73309.1$ daNcm $> Mrd \Rightarrow Mnrd = Mrd$
 $Med / Mnrd = 0.36 < 1$ Ok

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-4	1	0.0	61010.2	2037.2	-952.2
	2	10.7	50843.0	2037.2	-954.1
	3	21.3	40655.3	2037.2	-956.1
	4	32.0	30447.1	2037.2	-958.0
	5	42.7	20218.4	2037.2	-959.9
	6	53.3	9969.2	2037.2	-961.8
	7	64.0	-300.5	2037.2	-963.7
	8	74.7	-10590.7	2037.2	-965.7
	9	85.3	-20901.4	2037.2	-967.6
	10	96.0	-31232.6	2037.2	-969.5
	11	106.7	-41584.3	2037.2	-971.4
	12	117.3	-51956.5	2037.2	-973.4
	13	128.0	-62349.1	2037.2	-975.3

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE80	4.6	8.0	20,04	23,22	7.7	3.6	0.38	0.52	0.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-4

Taglio: sez. 13, dist. = 128,0 cm, Ved = -325,1 daN
 Taglio resistente: $Vcrd = A_v f_{yk} / (\gamma_{MO} \sqrt{3}) = 5418.79$ daN
 $Ved / Vcrd = 0.060 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 13, dist. = 128,0 cm, Med = -20783,0 daNcm, Ned = 679,1 daN, Ved = -325,1 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (cw a f_{yk}))) = 0.55$, $\psi = -0.89$

Ali in compressione: $cf / e = 3.10 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $cw / a = 15.68 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 58.96$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$Nrd = A f_{yk} / \gamma_{MO} = 20035.7$ daN

$n = Ned / Nrd = 0.034$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.375$

$Mrd = W_{px} f_{yk} / \gamma_{MO} = 60814.3$ daNcm

$Mnrd = Mrn (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 72295.5$ daNcm $> Mrd \Rightarrow Mnrd = Mrd$

$Med / Mnrd = 0.34 < 1$ Ok

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 20336,7 daNcm, Ned = 679,1 daN, Ved = -317,4 daN

Instabilità a compressione:

$Ncr = \pi^2 E J / lo^2 = 101404.4$ daN

$Ned < 0.04 Ncr \Rightarrow$ Verifica non richiesta

Nota (*): non essendo possibile collegare le travi mediante calastrelli nel lato verso la muratura, le verifiche saranno eseguite su profili semplici dividendo le sollecitazioni per il numero delle sezioni presenti nel tratto.

Verifica connessioni acciaio-acciaio: saldature a cordone d'angolo

I giunti sono tutti di tipo saldato a **cordoni d'angolo**.

Le entità delle azioni sono limitate e simili a quelle già determinate in precedenza per la cabina n°.5. Si mantiene la prescrizione cautelativa di **cordoni di saldatura con lato 21mm** e quindi **gola di circa 15mm**.

Si ometto le relative verifiche.

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 122 di 153

Connessioni acciaio-muratura

Valgono le considerazioni già riportate per le cerchiature di cui alla Cabina tipo "5".

11.6.2 Parete Ovest

La **nuova apertura** in progetto sulla parete ovest è un **vano porta** di accesso al locale locale *MT/bt* di dimensioni **120x215cm**.

La parete muraria presenta **spessore strutturale 28cm** ed è in **mattoni pieni e malta di calce**.

L'**altezza** della **parete** è, come nel caso della parete precedente, variabile: **2.32m** per il locale pompe e **7.60m** per il locale *MT/bt*. Cautelativamente si ritiene di assumere l'altezza minore possibile anche in relazione all'altezza della nuova apertura (2.80m).

La **lunghezza** della **parete** è **6.70m** (misurata da asse-asse murature ortogonali).

Come anticipato in precedenza, nelle calcolazioni dello stato post-intervento, si considera anche la trasformazione delle finestra in porta-finestra.

Relativamente al carico gravante in sommità alla parete, si assume il carico indotto dalla copertura del locale pompe; si può stimare un carico lineare permanente pari a $g = (2.00 + 0.04 + 0.50) \times 1.20 \approx 2.55 \times 1.20 = 3.06$ kN/m. Il carico variabile indotto dalla neve ed utile esclusivamente alla verifica statica dell'architravatura superiore, viene assunto pari a $q = 1.30 \times 1.20 = 1.56$ kN/m.

Risulta necessario inserire una **cerchiatura metallica compensativa** costituita da **montanti in doppio profilo IPE270** e **correnti inferiore e superiore in doppio HEB140**.

Tabulati di calcolo

MATERIALI

Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019
 f_m - resistenza compressione [daN/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)
 τ_o - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)
 f_{vo} - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)
 E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
 G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 4000.0 (min.), 6000.0 (max.)

Essendo il livello di conoscenza LC1 (Limitata) si utilizzano i valori medi per i moduli elastici e i valori minimi per la resistenza.

Valori di riferimento:

f_m - resistenza compressione = 26.00 daN/cm²
 τ_o - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
 f_{vo} - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²
 E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²
 G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²
 μ = fattore duttilità = 1.50 (da valori sperimentali secondo gli studi di Turnsek e Cacovic)
 γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

Fattore confidenza $FC = 1.35$
 Coef. parz. sic. $\gamma_M = 2.00$ (4.5.6.1)
 $f_m = 9.63$ daN/cm²
 $\tau_o = 0.19$ daN/cm²
 $f_{vo} = 0.48$ daN/cm²
 Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00
 $E = 7500$ daN/cm²
 $G = 2500$ daN/cm²

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 123 di 153

Materiali del telaio

Acciaio	f_{yk} [daN/cm ²]	f_{tk} [daN/cm ²]	E [daN/cm ²]	G [daN/cm ²]	γ_a [kg/mc]
S 275	2750.0	4300.0	2100000.0	807692.0	7850.0

Sezioni in acciaio del telaio

Profilo	B [cm]	H [cm]	W_x [cm ³]	W_{px} [cm ³]	W_y [cm ³]	W_{py} [cm ³]	Area [cm ²]	Peso [kg/m]
IPE270	13.5	27.0	429.1	484.2	62.2	97.0	46.0	36.09
HE140B	14.0	14.0	215.7	245.5	78.5	119.8	43.0	33.74

CARICHI

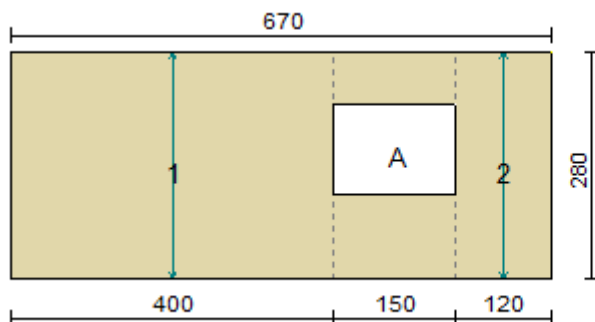
In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

Carico permanente $G_k = 306.0$ daN/m

Carico variabile $Q_k = 156.0$ daN/m

Per la determinazione della tensione media verticale, verranno inoltre considerati i contributi dovuti al peso proprio di metà maschio murario e delle semifasce superiori gravanti sul maschio stesso.

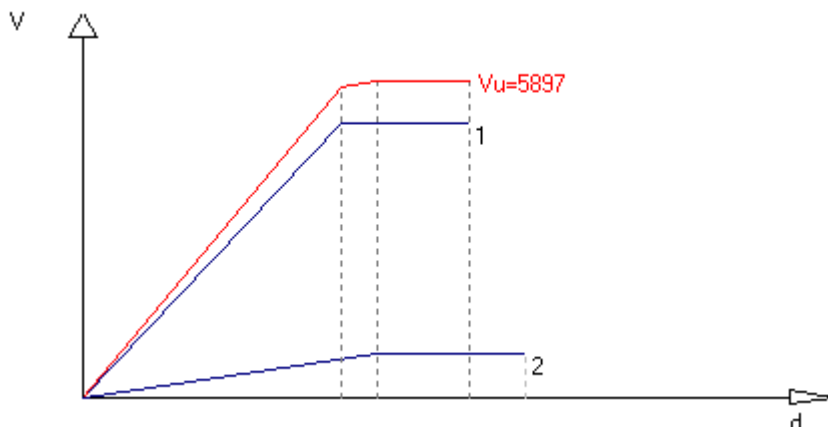
Ante-operam



T (sp. parete) = 28.00 cm

Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	σ_0	K_0	V_t	V_{pf}	V_u	δ_e	δ_u
1	400.0	280.0	1.00	0.470	73349.6	5104.4	7086.4	5104.4	0.070	0.104
2	120.0	280.0	1.50	0.593	9950.9	1101.9	792.4	792.4	0.080	0.119

Curva caratteristica ante-operam:



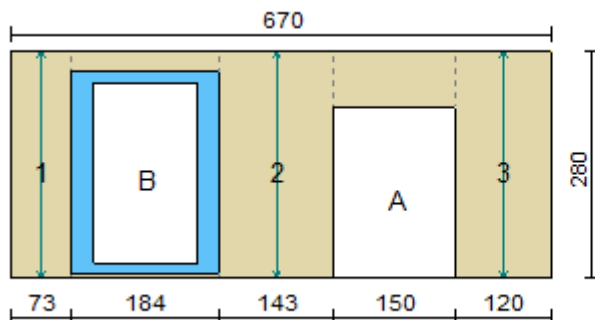
Rigidezza complessiva della parete: $K_{sa} = 83300.5$ daN/cm

Taglio ultimo della parete: $V_{sa} = 5896.7$ daN

Spostamento ultimo: δ_u sa = 0.104 cm

Post-operam

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 124 di 153

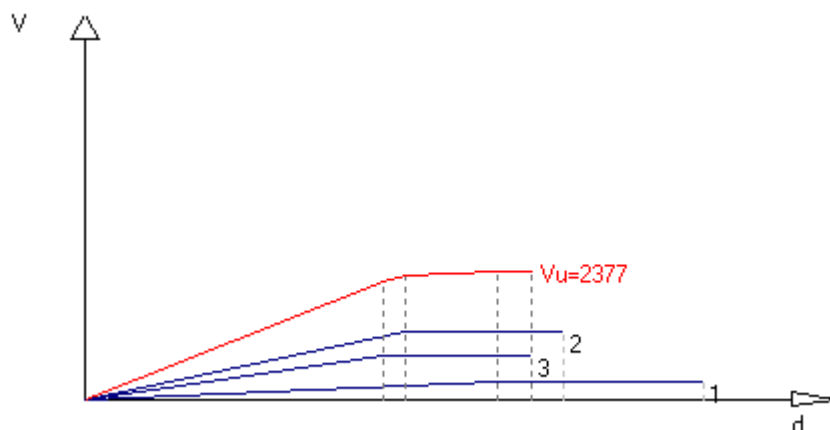


T (sp. parete) = 28.00 cm

Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
B	Cerchiata	2 HE140B (S 275)	2 HE140B (S 275)	2IPE270+2IPE270 (S 275)
A	Libera	No	No	No

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ_0	Ko	Vt	Vpf	Vu	δ_e	δ_u
1	73.0	28.00	280.0	1.50	0.682	2989.9	703.5	333.0	333.0	0.111	0.167
2	143.0	28.00	280.0	1.50	0.662	14427.1	1364.1	1244.7	1244.7	0.086	0.129
3	120.0	28.00	280.0	1.50	0.599	9950.9	1105.4	799.3	799.3	0.080	0.120

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 27367.8$ daN/cm

Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 2376.9$ daN

Spostamento ultimo: δ_u pr = 0.120 cm

VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 27368 - 83300 = -55933$ daN/cm (riduzione rigidezza = -67.1%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 2377 - 5897 = -3520$ daN (riduzione resistenza = -59.7%)

Rigidezza e resistenza del telaio:

Note:

$K = c E J / H_i^3$, con: $c = 3$ nel caso di telaio incernierato alla base, $c = 12$ nel caso di incastro

$F_o = K \delta_{min}$

Telaio	c	H_i [cm]	K [daN/cm]	M_u [daN cm]	δ_{min} [cm]	F_o [daN]
B	12	237.00	43862.5	4495186.0	0.12	5284.8

$K_t = \Sigma K = 43863$ daN/cm

$V_t = \Sigma F_o = 5285$ daN

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 125 di 153

$\Delta K_{tot} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = -12070 \text{ daN/cm}$ riduzione rigidezza = -14.5%; variazione percentuale di ΔK_{tot} compresa entro il 15.0% Ok $\Delta V_{tot} = V_{pr} + V_t - V_{sa} = 1765 \text{ daN}$ aumento resistenza = 29.9%; $\Delta V_{tot} > 0$ Ok

VERIFICA ARCHITRAVI IN ACCIAIO

La verifica si riferisce alla fase di montaggio nel momento in cui è già stata rimossa la muratura, ma le architravi non sono ancora collegate ai montanti.

Architrave: 2 HE140B

$J_x = 3019.2 \text{ cm}^4$, $W_x = 431.3 \text{ cm}^3$, $A_{\text{taglio}} = 19.6 \text{ cm}^2$

Luce di calcolo $L = 157.0 \text{ cm}$

P.P. architrave $PP_a = 0.675 \text{ daN/cm}$

P.P. fascia muratura $PP_m = 3.528 \text{ daN/cm}$

Carico permanente trasmesso dalla sovrastruttura $G_k = 3.06 \text{ daN/cm}$

Carico variabile trasmesso dalla sovrastruttura $Q_k = 1.56 \text{ daN/cm}$

$q_{SLU} = 1.3 (G_k + PP_a + PP_m) + 1.5 Q_k = 11.78 \text{ daN/cm}$

$q_{SLE} = G_1 + G_2 + PP_a + PP_m + 0.0 Q_k = 7.26 \text{ daN/cm}$

$M_{sd} = (q_{SLU} L^2) / 8 = 36300.7 \text{ daN cm} < W_x f_{yd} = 1129636.0 \text{ daN cm}$ Ok

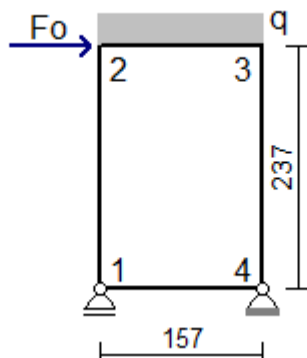
$V_{sd} = (q_{SLU} L) / 2 = 924.9 \text{ daN}$

$1.5 V_{sd} / A_{\text{taglio}} = 70.8 \text{ daN} < f_{yd} / 3^{1/2} = 1512.1 \text{ daN}$ Ok

Freccia = $(5/384) (q_{SLE} L^4) / (E J_x) = 0.0091 \text{ cm} < L/500 = 0.3140 \text{ cm}$ Ok

Verifiche dei telai.

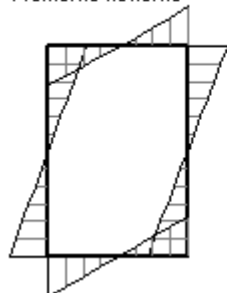
Telaio B



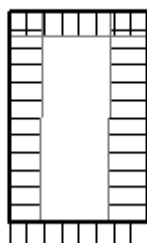
$F_o = 5284.75 \text{ daN}$, $q = G_k + \psi_2 Q_k = 4.32 \text{ daN/cm}$ ($\psi_2 = 0.00$)

Sollecitazioni telaio B

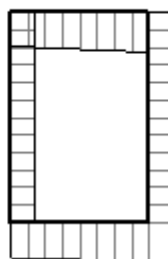
Momento flettente



Sforzo normale



Taglio



Sollecitazione di compressione per $N > 0$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-2

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-2	1	0.0	-314597.9	-3382.0	2599.0

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO					Rev. 02 del 19/07/21			
	RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE					Pagina 126 di 153			

2	19.8	-263267.0	-3396.3	2599.0
3	39.5	-211936.2	-3410.5	2599.0
4	59.3	-160605.3	-3424.8	2599.0
5	79.0	-109274.4	-3439.0	2599.0
6	98.8	-57943.5	-3453.3	2599.0
7	118.5	-6612.6	-3467.5	2599.0
8	138.3	44718.2	-3481.8	2599.0
9	158.0	96049.1	-3496.0	2599.0
10	177.8	147380.0	-3510.3	2599.0
11	197.5	198710.9	-3524.6	2599.0
12	217.3	250041.8	-3538.8	2599.0
13	237.0	301372.6	-3553.1	2599.0

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE270	13.5	27.0	429,0859	484,2375	46.0	22.2	0.66	1.02	1.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-2

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 1299,5 daN
 Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 33505.88 \text{ daN}$
 $V_{ed} / V_{crd} = 0.039 < 1$ Ok

Tenso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -157299,0 daNcm, Ned = -1691,0 daN, Ved = 1299,5 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.48$, $\psi = -1.05$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.82 < 9$ $\varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 33.27 < 36$ $\varepsilon / \alpha = 69.51$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 120385.0 \text{ daN}$

$n = N_{ed} / N_{rd} = -0.014$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.401$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 1268241.0 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 1608425.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$M_{ed} / M_{nrd} = 0.12 < 1$ Ok

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	301372.6	2685.7	-3553.1
	2	19.6	230682.1	2685.7	-3651.1
	3	39.3	158067.9	2685.7	-3749.1
	4	58.9	83530.1	2685.7	-3847.1
	5	78.5	7068.7	2685.7	-3945.1
	6	98.1	-71316.4	2685.7	-4043.2
	7	117.8	-151625.0	2685.7	-4141.2
	8	137.4	-233857.4	2685.7	-4239.2
	9	157.0	-318013.3	2685.7	-4337.2

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE140B	14.0	14.0	215,6577	245,4953	43.0	13.1	0.70	1.20	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 2-3

Taglio: sez. 9, dist. = 157,0 cm, Ved = -2168,6 daN
 Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 19792.00 \text{ daN}$
 $V_{ed} / V_{crd} = 0.110 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 9, dist. = 157,0 cm, Med = -159006,7 daNcm, Ned = 1342,9 daN, Ved = -2168,6 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.54$, $\psi = -0.94$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.54 < 9$ $\varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 13.14 < 396$ $\varepsilon / (13 \alpha - 1) = 61.08$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 112537.9 \text{ daN}$

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.012$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.218$

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 127 di 153

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{MO} = 642964.0 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 713026.4 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$Med / M_{nrd} = 0.25 < 1 \text{ Ok}$

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 150686,3 daNcm, Ned = 1342,9 daN, Ved = -1776,5 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 1269354.0 \text{ daN}$

$Ned < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$ Verifica non richiesta

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-318013.3	4337.2	2685.7
	2	19.8	-264970.4	4351.5	2685.7
	3	39.5	-211927.4	4365.7	2685.7
	4	59.3	-158884.5	4380.0	2685.7
	5	79.0	-105841.6	4394.2	2685.7
	6	98.8	-52798.6	4408.5	2685.7
	7	118.5	244.3	4422.7	2685.7
	8	138.3	53287.2	4437.0	2685.7
	9	158.0	106330.2	4451.2	2685.7
	10	177.8	159373.1	4465.5	2685.7
	11	197.5	212416.0	4479.7	2685.7
	12	217.3	265459.0	4494.0	2685.7
	13	237.0	318501.9	4508.2	2685.7

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE270	13.5	27.0	429,0859	484,2375	46.0	22.2	0.66	1.02	1.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 3-4

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 1342,9 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{MO} \sqrt{3}) = 33505.88 \text{ daN}$

$Ved / V_{crd} = 0.040 < 1 \text{ Ok}$

Presso-flessione: sez. 13, dist. = 237,0 cm, Med = 159251,0 daNcm, Ned = 2254,1 daN, Ved = 1342,9 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.53, \psi = -0.94$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.82 < 9 \varepsilon = 8.32 \text{ (cl. 1)}$

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 33.27 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 62.39 \text{ (cl. 1)}$

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{MO} = 120385.0 \text{ daN}$

$n = Ned / N_{rd} = 0.019, a = (A - 2 B e) / A = 0.401$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{MO} = 1268241.0 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 1556446.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$Med / M_{nrd} = 0.13 < 1 \text{ Ok}$

sez. 13, dist. = 237,0 cm, Med = 159251,0 daNcm, Ned = 2254,1 daN, Ved = 1342,9 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 2137472.0 \text{ daN}$

$Ned < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$ Verifica non richiesta

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-4	1	0.0	314597.9	2599.0	-3979.5
	2	19.6	236369.8	2599.0	-3992.8
	3	39.3	157881.9	2599.0	-4006.0
	4	58.9	79134.1	2599.0	-4019.2
	5	78.5	126.6	2599.0	-4032.5
	6	98.1	-79140.8	2599.0	-4045.7
	7	117.8	-158668.0	2599.0	-4059.0
	8	137.4	-238455.0	2599.0	-4072.2
	9	157.0	-318501.9	2599.0	-4085.4

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE140B	14.0	14.0	215,6577	245,4953	43.0	13.1	0.70	1.20	1.20

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 128 di 153

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-4

Taglio: sez. 9, dist. = 157,0 cm, Ved = -2042,7 daN
 Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 19792.00$ daN
 $V_{ed} / V_{crd} = 0.103 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 9, dist. = 157,0 cm, Med = -159251,0 daNcm, Ned = 1299,5 daN, Ved = -2042,7 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{235 / f_{yk}} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.54$, $\psi = -0.95$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.54 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 13.14 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 61.25$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 112537.9$ daN

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.012$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.218$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 642964.0$ daNcm

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 713304.3$ daNcm $> M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$M_{ed} / M_{nrd} = 0.25 < 1$ Ok

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 157299,0 daNcm, Ned = 1299,5 daN, Ved = -1989,8 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 1269354.0$ daN

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$ Verifica non richiesta

Nota (*): non essendo possibile collegare le travi mediante calastrelli nel lato verso la muratura, le verifiche saranno eseguite su profili semplici dividendo le sollecitazioni per il numero delle sezioni presenti nel tratto.

Verifica connessioni acciaio-acciaio: saldature a cordone d'angolo

I giunti sono tutti di tipo saldato. Lo schema statico è quello di maglia chiusa con vincoli d'incastro tra correnti e montanti. La verifica del telaio e dei profili è già stata eseguita; si riprende la schematizzazione del telaio e si verifica il giunto caratterizzato da taglio e momento resistenti maggiori.

- Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 33505.88$ daN \approx **335.06 kN**

- $M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 1608425$ daNcm \approx **160.84 kNm**

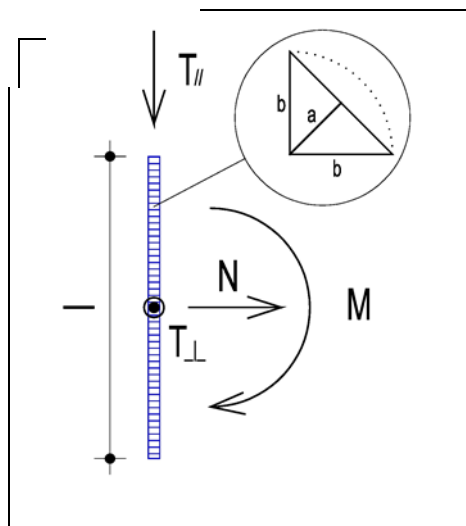
Si precisa che i giunti saranno saldati lungo tutto il perimetro utile di contatto tra i profili.

Verifica a taglio

Per la **verifica a taglio** si assumono reagenti i soli cordoni di saldatura paralleli all'anima; in ragione dei profili IPE270, tali cordoni presentano ciascuno una lunghezza di 21.9cm (219mm in n°.2). Si adottano **cordoni di saldatura con lato 21mm** e quindi **gola di circa 15mm**. La verifica a taglio risulta **soddisfatta**.

Sollecitazioni	
N (N)	0
$T_{//}$ (N)	335060
T_{\perp} (N)	0
M (Nmm)	0

Dati saldatura	
Acciaio	S275
b (mm)	21,2
l (mm)	219



Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 129 di 153

n° cordoni	2	f_{yk} (N/mm ²)	275
γ_{M2}	1,25	f_{tk} (N/mm ²)	430
a (mm)	14,99		

Verifica con formula 4.2.82

$$F_{w,Ed}/F_{w,Rd} \leq 1 \text{ con } F_{w,Rd} = a \cdot f_{tk} / (\sqrt{3} \cdot \beta \cdot \gamma_{M2})$$

β_w	0,85	$F_{T \text{ TOT}}$ (N/mm)	764,977
$f_{vw,d}$ (N/mm ²)	233,657	$F_{\perp N}$ (N/mm)	0,000
$F_{T//}$ (N/mm)	764,977	$F_{\perp M}$ (N/mm)	0,000
$F_{T\perp\perp}$ (N/mm)	0,000	$F_{\perp \text{ TOT}}$ (N/mm)	0,000

$F_{w,Ed}$ (N/mm)	764,977	S/R	OK
$F_{w,Rd}$ (N/mm)	3502,674	0,218	

Verifica con formula 4.2.84 e 4.2.85

$$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)} \leq \beta_1 \cdot f_{yk}$$

$$|n_{\perp}| + |t_{\perp}| \leq \beta_2 \cdot f_{yk}$$

β_1	0,7	$n_{\perp N}$ (N/mm ²)	0,0000
β_2	0,85	$n_{\perp M}$ (N/mm ²)	0,0000
$t_{//}$ (N/mm ²)	51,0302	n_{\perp} (N/mm ²)	0,0000
t_{\perp} (N/mm ²)	0,0000		

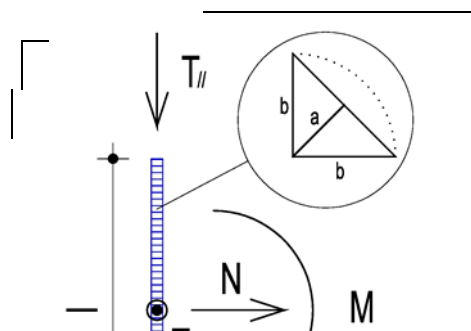
$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)}$	51,0302	S/R	OK
$\beta_1 \cdot f_{yk}$	192,5000	0,27	

$ n_{\perp} + t_{\perp} $	0,0000	S/R	OK
$\beta_2 \cdot f_{yk}$	233,7500	0,00	

Verifica a momento flettente

Per la **verifica a momento flettente** si assumono reagenti, a favore di sicurezza, i soli cordoni paralleli alle ali; in ragione dei profil IPE270, tali cordoni presentano le seguenti lunghezze in pianta: n°.1 da 270mm e n°.4 da 49mm. Si assumono reagenti le saldature da un solo lato quando sottoposte ad un taglio perpendicolare pari a $V = M_{nrd} / i = 160.84 / 0.259 = 621.0$ kNm. Si prevedono **cordoni di saldatura con lato 21mm** e quindi **gola di circa 15mm**. La verifica a momento risulta **soddisfatta**.

Sollecitazioni	
N (N)	0



Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 130 di 153

$T_{//}$ (N)	0
T_{\perp} (N)	621000
M (Nmm)	0

Dati saldatura	
Acciaio	S275
b (mm)	21,2
l (mm)	368
n° cordoni	1
γ_{M2}	1,25
a (mm)	14,99

f_{yk} (N/mm ²)	275
f_{tk} (N/mm ²)	430

Verifica con formula 4.2.82

$$F_{w,Ed}/F_{w,Rd} \leq 1 \text{ con } F_{w,Rd} = a \cdot f_{tk} / (\sqrt{3} \cdot \beta \cdot \gamma_{M2})$$

β_w	0,85
$f_{vw,d}$ (N/mm ²)	233,657
$F_{T//}$ (N/mm)	0,000
$F_{T\perp}$ (N/mm)	1687,500

$F_{T\text{ TOT}}$ (N/mm)	1687,500
$F_{\perp N}$ (N/mm)	0,000
$F_{\perp M}$ (N/mm)	0,000
$F_{\perp\text{ TOT}}$ (N/mm)	0,000

$F_{w,Ed}$ (N/mm)	1687,500
$F_{w,Rd}$ (N/mm)	3502,674

S/R	OK
0,482	

Verifica con formula 4.2.84 e 4.2.85

$$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)} \leq \beta_1 \cdot f_{yk}$$

$$|n_{\perp}| + |t_{\perp}| \leq \beta_2 \cdot f_{yk}$$

β_1	0,7
β_2	0,85
$t_{//}$ (N/mm ²)	0,0000
t_{\perp} (N/mm ²)	112,5701

$n_{\perp N}$ (N/mm ²)	0,0000
$n_{\perp M}$ (N/mm ²)	0,0000
n_{\perp} (N/mm ²)	0,0000

$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)}$	112,5701
$\beta_1 \cdot f_{yk}$	192,5000

S/R	OK
0,58	

$ n_{\perp} + t_{\perp} $	112,5701
$\beta_2 \cdot f_{yk}$	233,7500

S/R	OK
0,48	

<i>Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti</i>	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 131 di 153

Per tutti i nodi si prevedono saldature a cordoni d'angolo con lato 21mm e gola minima di almeno 15mm.

Connessioni acciaio-muratura

Valgono le considerazioni riportate per le precedenti cerchiature.

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 132 di 153

12 CABINA N°.8

12.1 PREMESSA

Gli interventi ricalcano sostanzialmente quelli previsti per la cabina N°.5.

12.2 TAMPONATURA APERTURE ESISTENTI

Come anticipato in premessa le tamponature delle aperture esistenti saranno di tipo **non strutturale**.

12.3 TRASFORMAZIONE DI FINESTRA IN PORTA-FINESTRA

La **trasformazione** della **finestra (200x110cm)** in **porta-finestra (200x210cm)** sul fronte ovest è un **intervento privo di rilevanza ai fini sismici** in quanto ricade al **punto B.4.2.** della *D.G.R. ER 2272/2016 - Trasformazione di finestra in porta-finestra, e viceversa, che non ne aumenti la larghezza originaria, esclusi gli interventi sistematici che alterino in maniera sostanziale il comportamento della fascia di piano. (L1).*

12.4 NUOVE FOROMETRIE PER PASSAGGI IMPIANTISTICI

12.4.1 Parete Sud

Sulla parete Sud si rende necessaria la realizzazione di un **nuovo foro** per il passaggio di una tubazione in acciaio di diametro 320mm. La distanza del foro dall'incrocio murario è inferiore ad 1m, motivo per il quale non è possibile inquadrare l'intervento come *privo di rilevanza ai fini sismici*. L'entità della forometria è decisamente limitata; l'area è circa 0.08m^2 ($< 0.15\text{m}^2$)

Si studia la parete in condizioni pre e post intervento.

La parete presenta un'altezza minima di 2.52m (in gronda) ed un'altezza massima di 3.61m (in colmo); nelle calcolazioni si considera un'altezza media pari a 3.07m. La lunghezza della parete è 4.70m (misurato asse-asse pareti longitudinali). La copertura è ordita parallelamente alla parete; si assume comunque una larghezza di influenza canonica pari ad 1m per la definizione dei carichi sulla parete stessa. Il solaio di copertura è in latero-cemento; si può stimare un carico lineare permanente pari a $g = (2.00 + 0.04 + 0.50) \times 1.00 \approx 2.55 \times 1.00 = 2.55 \text{ kN/m}$. Il carico variabile indotto dalla neve ed utile esclusivamente alla verifica statica dell'architravatura superiore, viene assunto pari a $q = 1.30 \times 1.00 = 1.30 \text{ kN/m}$.

La parete è in muratura di mattoni pieni e malta di calce con spessore strutturale a "due teste" (28cm).

I risultati del calcolo evidenziano la necessità di realizzare una **cerchiatura metallica compensativa** in corrispondenza della **nuova forometria** caratterizzata da **doppi profili UPN 40x35**.

Tabulati di calcolo

MATERIALI

Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019
 fm - resistenza compressione [daN/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)
 τo - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)
 fvo - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)
 E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
 G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 4000.0 (min.), 6000.0 (max.)

Essendo il livello di conoscenza LC1 (Limitata) si utilizzano i valori medi per i moduli elastici e i valori minimi per la resistenza.

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 133 di 153

Valori di riferimento:

f_m - resistenza compressione = 26.00 daN/cm²
 τ_o - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
 f_{vo} - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²
 E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²
 G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²
 μ = fattore duttilità = 1.50 (da valori sperimentali secondo gli studi di Turnsek e Cacovic)
 γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

Fattore confidenza FC = 1.35
 Coef. parz. sic. γ_M = 2.00 (4.5.6.1)
 f_m = 9.63 daN/cm²
 τ_o = 0.19 daN/cm²; f_{vo} = 0.48 daN/cm²
 Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00
 E = 7500 daN/cm²
 G = 2500 daN/cm²

Materiali del telaio

Acciaio	f_{yk} [daN/cm ²]	f_{tk} [daN/cm ²]	E [daN/cm ²]	G [daN/cm ²]	γ_a [kg/mc]
S 275	2750.0	4300.0	2100000.0	807692.0	7850.0

Sezioni in acciaio del telaio

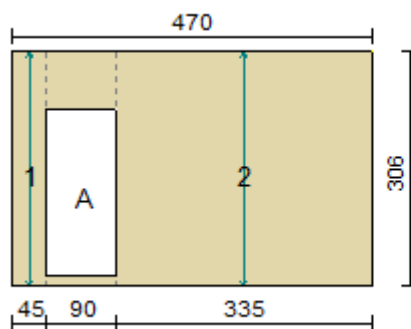
Profilo	B [cm]	H [cm]	W_x [cm ³]	W_{px} [cm ³]	W_y [cm ³]	W_{py} [cm ³]	Area [cm ²]	Peso [kg/m]
UPN40x35	3.5	4.0	7.1	8.9	3.1	5.6	6.2	4.88

CARICHI

In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:
 Carico permanente G_k = 255.0 daN/m; Carico variabile Q_k = 130.0 daN/m

Per la determinazione della tensione media verticale, verranno inoltre considerati i contributi dovuti al peso proprio di metà maschio murario e delle semifasce superiori gravanti sul maschio stesso.

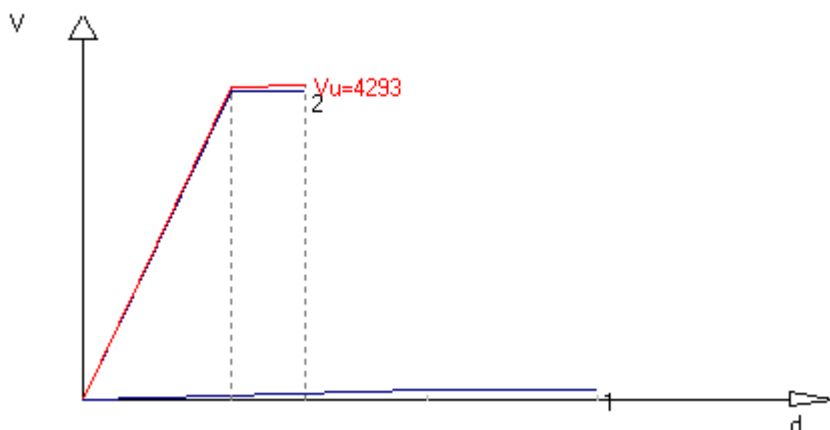
Ante-operam



T (sp. parete) = 28.00 cm

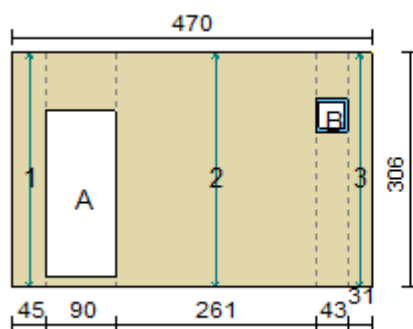
Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	σ_o	K_o	V_t	V_{pf}	V_u	δ_e	δ_u
1	45.0	306.0	1.50	0.687	619.6	434.9	116.6	116.6	0.188	0.282
2	335.0	306.0	1.00	0.450	51845.6	4217.0	4364.7	4217.0	0.081	0.122

Curva caratteristica ante-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{sa} = 52465.2$ daN/cm; Taglio ultimo della parete: $V_{sa} = 4292.6$ daN
Spostamento ultimo: $\delta u_{sa} = 0.122$ cm

Post-operam

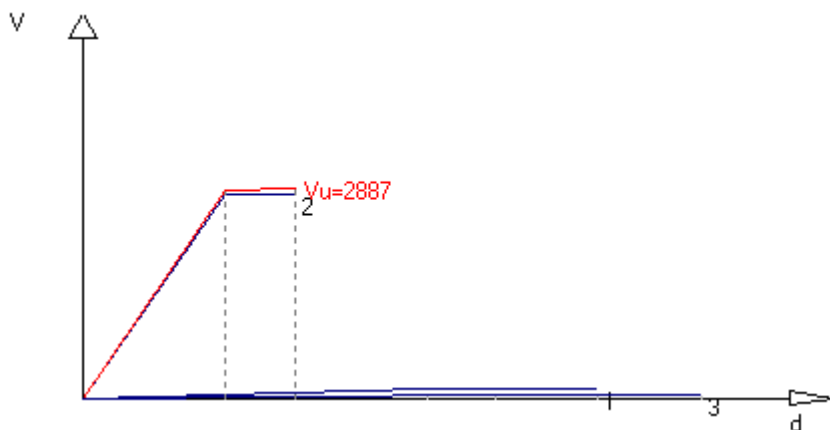


T (sp. parete) = 28.00 cm

Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
A	Libera	No	No	No
B	Cerchiata	2 UPN40x35 (S 275)		2 UPN40x35 (S 275) 2UPN40x35+2UPN40x35 (S 275)

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ_0	K_0	V_t	V_{pf}	V_u	δ_e	δ_u
1	45.0	28.00	306.0	1.50	0.687	619.6	434.9	116.6	116.6	0.188	0.282
2	261.0	28.00	306.0	1.17	0.475	36006.8	2850.9	2790.2	2790.2	0.077	0.116
3	31.0	28.00	306.0	1.50	0.583	210.6	282.9	47.6	47.6	0.226	0.339

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 36837.0$ daN/cm
Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 2886.7$ daN

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 135 di 153

Spostamento ultimo: $\delta u_{pr} = 0.116 \text{ cm}$

VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$$\Delta K_{\text{mur}} = K_{pr} - K_{sa} = 36837 - 52465 = -15628 \text{ daN/cm} \quad (\text{riduzione rigidezza} = -29.8\%)$$

$$\Delta V_{\text{mur}} = V_{pr} - V_{sa} = 2887 - 4293 = -1406 \text{ daN} \quad (\text{riduzione resistenza} = -32.8\%)$$

Rigidezza e resistenza del telaio:

Note:

$$K = c E J / H_i^3, \text{ con: } c = 3 \text{ nel caso di telaio incernierato alla base, } c = 12 \text{ nel caso di incastro}$$

$$F_o = K \delta_{\min}$$

Telaio	c	H_i [cm]	K [daN/cm]	M_u [daN cm]	δ_{\min} [cm]	F_o [daN]
B	12	39.00	24010.9	74066.7	0.12	2791.0

$$K_t = \Sigma K = 24011 \text{ daN/cm}$$

$$V_t = \Sigma F_o = 2791 \text{ daN}$$

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

$$\Delta K_{\text{tot}} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = 8383 \text{ daN/cm}$$

aumento rigidezza = 16.0%; $\Delta K_{\text{tot}} > 0$ Ok

$$\Delta V_{\text{tot}} = V_{pr} + V_t - V_{sa} = 1385 \text{ daN}$$

aumento resistenza = 32.3%; $\Delta V_{\text{tot}} > 0$ Ok

VERIFICA ARCHITRAVI IN ACCIAIO

La verifica si riferisce alla fase di montaggio nel momento in cui è già stata rimossa la muratura, ma le architravi non sono ancora collegate ai montanti.

Architrave: 2 UPN40x35

$$J_x = 28.3 \text{ cm}^4, \quad W_x = 14.1 \text{ cm}^3, \quad A_{\text{taglio}} = 4.0 \text{ cm}^2$$

Luce di calcolo $L = 39.0 \text{ cm}$

P.P. architrave $PP_a = 0.098 \text{ daN/cm}$

P.P. fascia muratura $PP_m = 2.999 \text{ daN/cm}$

Carico permanente trasmesso dalla sovrastruttura $G_k = 2.55 \text{ daN/cm}$

Carico variabile trasmesso dalla sovrastruttura $Q_k = 1.30 \text{ daN/cm}$

$$q_{SLU} = 1.3 (G_k + PP_a + PP_m) + 1.5 Q_k = 9.29 \text{ daN/cm}$$

$$q_{SLE} = G_1 + G_2 + PP_a + PP_m + 0.0 Q_k = 5.65 \text{ daN/cm}$$

$$M_{sd} = (q_{SLU} L^2) / 8 = 1766.3 \text{ daN cm} < W_x f_{yd} = 37033.3 \text{ daN cm} \quad \text{Ok}$$

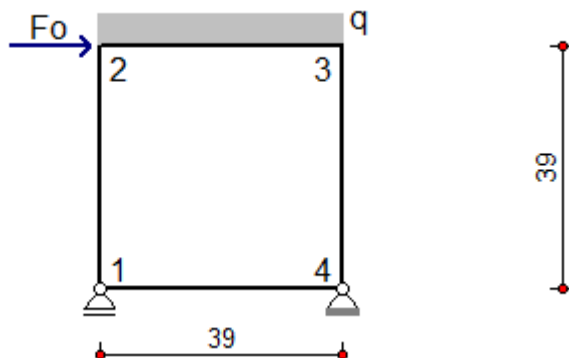
$$V_{sd} = (q_{SLU} L) / 2 = 181.2 \text{ daN}$$

$$1.5 V_{sd} / A_{\text{taglio}} = 67.9 \text{ daN} < f_{yd} / 3^{1/2} = 1512.1 \text{ daN} \quad \text{Ok}$$

$$\text{Freccia} = (5/384) (q_{SLE} L^4) / (E J_x) = 0.0029 \text{ cm} < L/500 = 0.0780 \text{ cm} \quad \text{Ok}$$

Verifiche dei telai.

Telaio B



Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 136 di 153

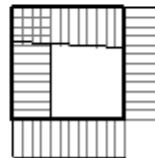
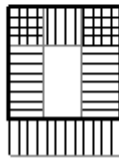
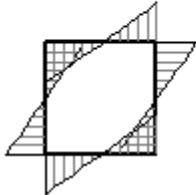
$F_o = 2790.96 \text{ daN}$, $q = G_k + \psi_2 Q_k = 5.55 \text{ daN/cm}$ ($\psi_2 = 0.00$)

Sollecitazioni telaio B

Momento flettente

Sforzo normale

Taglio



Sollecitazione di compressione per $N > 0$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-2

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-2	1	0.0	-27237.5	-1275.3	1381.5
	2	3.3	-22747.5	-1275.7	1381.5
	3	6.5	-18257.5	-1276.0	1381.5
	4	9.8	-13767.4	-1276.3	1381.5
	5	13.0	-9277.4	-1276.6	1381.5
	6	16.3	-4787.4	-1276.9	1381.5
	7	19.5	-297.4	-1277.2	1381.5
	8	22.8	4192.6	-1277.6	1381.5
	9	26.0	8682.6	-1277.9	1381.5
	10	29.3	13172.6	-1278.2	1381.5
	11	32.5	17662.6	-1278.5	1381.5
	12	35.8	22152.7	-1278.8	1381.5
	13	39.0	26642.7	-1279.1	1381.5

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
UPN40x35	3.5	4.0	7,07	8,88	6.2	2.6	0.50	0.70	0.70

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	26642.7	1409.4	-1279.1
	2	3.3	22455.6	1409.4	-1297.5
	3	6.5	18209.0	1409.4	-1315.8
	4	9.8	13902.7	1409.4	-1334.2
	5	13.0	9536.7	1409.4	-1352.5
	6	16.3	5111.1	1409.4	-1370.9
	7	19.5	625.9	1409.4	-1389.2
	8	22.8	-3919.0	1409.4	-1407.6
	9	26.0	-8523.5	1409.4	-1425.9
	10	29.3	-13187.6	1409.4	-1444.3
	11	32.5	-17911.4	1409.4	-1462.6
	12	35.8	-22694.8	1409.4	-1481.0
	13	39.0	-27537.9	1409.4	-1499.3

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
UPN40x35	3.5	4.0	7,07	8,88	6.2	2.6	0.50	0.70	0.70

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-27537.9	1499.3	1409.4
	2	3.3	-22957.3	1499.7	1409.4
	3	6.5	-18376.7	1500.0	1409.4
	4	9.8	-13796.1	1500.3	1409.4
	5	13.0	-9215.5	1500.6	1409.4
	6	16.3	-4634.9	1500.9	1409.4
	7	19.5	-54.2	1501.2	1409.4
	8	22.8	4526.4	1501.6	1409.4

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO						Rev. 02 del 19/07/21		
	RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE						Pagina 137 di 153		

9	26.0	9107.0	1501.9	1409.4
10	29.3	13687.6	1502.2	1409.4
11	32.5	18268.2	1502.5	1409.4
12	35.8	22848.8	1502.8	1409.4
13	39.0	27429.4	1503.2	1409.4

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
UPN40x35	3.5	4.0	7,07	8,88	6.2	2.6	0.50	0.70	0.70

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-4	1	0.0	27237.5	1381.5	-1399.8
	2	3.3	22687.6	1381.5	-1400.1
	3	6.5	18136.6	1381.5	-1400.4
	4	9.8	13584.7	1381.5	-1400.8
	5	13.0	9031.7	1381.5	-1401.1
	6	16.3	4477.6	1381.5	-1401.4
	7	19.5	-77.4	1381.5	-1401.7
	8	22.8	-4633.5	1381.5	-1402.0
	9	26.0	-9190.6	1381.5	-1402.3
	10	29.3	-13748.8	1381.5	-1402.7
	11	32.5	-18308.0	1381.5	-1403.0
	12	35.8	-22868.2	1381.5	-1403.3
	13	39.0	-27429.4	1381.5	-1403.6

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
UPN40x35	3.5	4.0	7,07	8,88	6.2	2.6	0.50	0.70	0.70

Nota (*): non essendo possibile collegare le travi mediante calastrelli nel lato verso la muratura, le verifiche saranno eseguite su profili semplici dividendo le sollecitazioni per il numero delle sezioni presenti nel tratto.

12.4.2 Parete Est

Sulla parete Est si rende necessario realizzare n°.3 nuove forometrie per passaggio tubazioni in acciaio Dn200. Già in stato di fatto sono presenti n°.3 fori delle medesime caratteristiche posti però ad un'altezza inferiore. Le forometrie sono poste a più di 1m di distanza dagli incroci murari. **Trattandosi di una semplice traslazione in verticale di forometrie senza allargamento delle aperture, imponendo la risarcitura mediante cuci-scuci con mattoni pieni e malta di calce delle aperture esistenti, è possibile realizzare l'intervento senza introduzione di cerchiature metalliche aggiuntive sulle nuove forometrie.**

Ad ogni modo si effettuano le calcolazioni di verifica sulla parete in oggetto. La lunghezza della parete è 10.0m e l'altezza 2.58m. Le forometrie esistenti hanno una larghezza di 22cm ed un'altezza di 33cm (in quanto il passaggio nella muratura ha giacitura non orizzontale); le nuove forometrie sono imposte di dimensioni quadrate di lato 22cm (il passaggio nella muratura è a giacitura orizzontale).

Sulla parete insiste la copertura in latero-cemento con lunghezza di influenza di circa 1.50m (comprendendo lo sporto esterno); si può stimare un carico lineare permanente pari a $g = (2.00 + 0.04 + 0.50) \times 1.50 \approx 2.55 \times 1.50 = 3.81$ kN/m. Il carico variabile indotto dalla neve viene assunto pari a $q = 1.30 \times 1.50 = 1.95$ kN/m.

Tabulati di calcolo

MATERIALI

Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019
 fm - resistenza compressione [daN/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)
 τo - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 138 di 153

fvo - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)
E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 4000.0 (min.), 6000.0 (max.)

Essendo il livello di conoscenza LC1 (Limitata) si utilizzano i valori medi per i moduli elastici e i valori minimi per la resistenza.

Valori di riferimento:

f_m - resistenza compressione = 26.00 daN/cm²
 τ_o - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
f_{vo} - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²
E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²
G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²
 μ = fattore duttilità = 1.50 (da valori sperimentali secondo gli studi di Turnsek e Cacovic)
 γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

Fattore confidenza FC = 1.35
Coef. parz. sic. γ_M = 2.00 (4.5.6.1)
f_m = 9.63 daN/cm²
 τ_o = 0.19 daN/cm²
f_{vo} = 0.48 daN/cm²
Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00
E = 7500 daN/cm²
G = 2500 daN/cm²

CARICHI

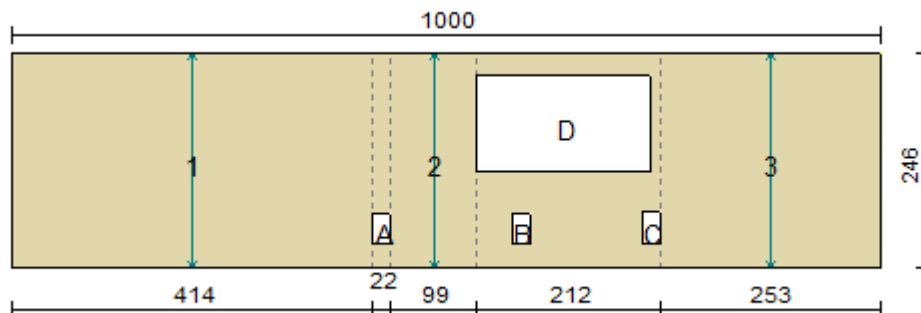
In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

Carico permanente G_k = 381.0 daN/m

Carico variabile Q_k = 195.0 daN/m

Per la determinazione della tensione media verticale, verranno inoltre considerati i contributi dovuti al peso proprio di metà maschio murario e delle semifasce superiori gravanti sul maschio stesso.

Ante-operam

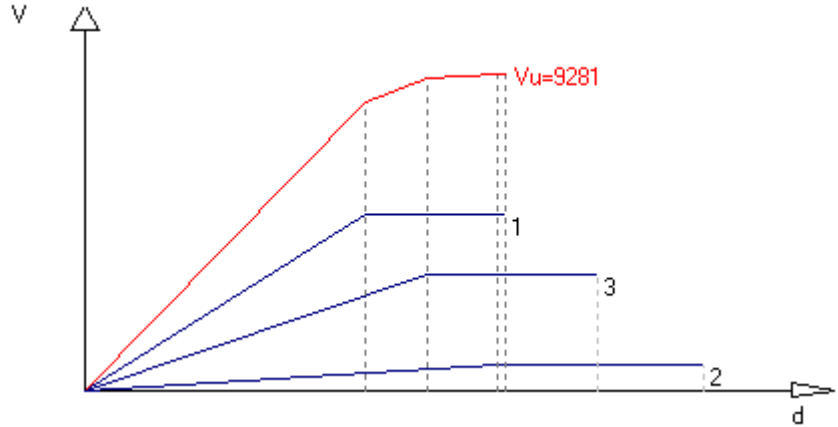


T (sp. parete) = 28.00 cm

Maschio	Lungh.	H cal.	Coef. b	σ_o	Ko	Vt	Vpf	Vu	δ_e	δ_u
1	414.0	246.0	1.00	0.441	89402.4	5181.4	8146.3	5181.4	0.058	0.087
2	99.0	246.0	1.50	0.726	8646.2	975.6	737.6	737.6	0.085	0.128

3 253.0 246.0 1.00 0.533 47514.9 3361.8 3629.8 3361.8 0.071 0.106

Curva caratteristica ante-operam:

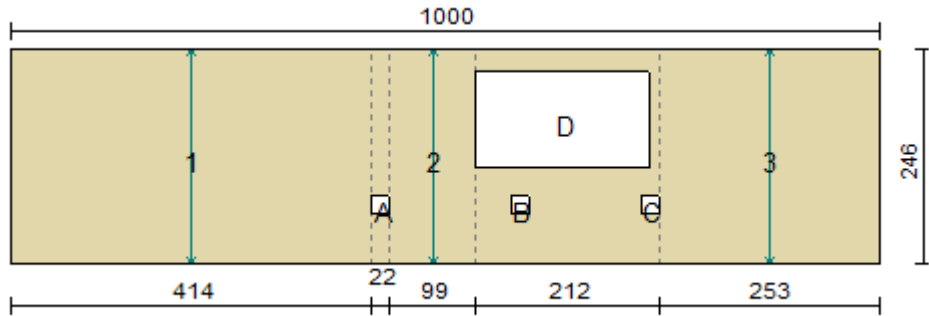


Rigidezza complessiva della parete: $K_{sa} = 145563.5 \text{ daN/cm}$

Taglio ultimo della parete: $V_{sa} = 9280.8 \text{ daN}$

Spostamento ultimo: $\delta u_{sa} = 0.087 \text{ cm}$

Post-operam



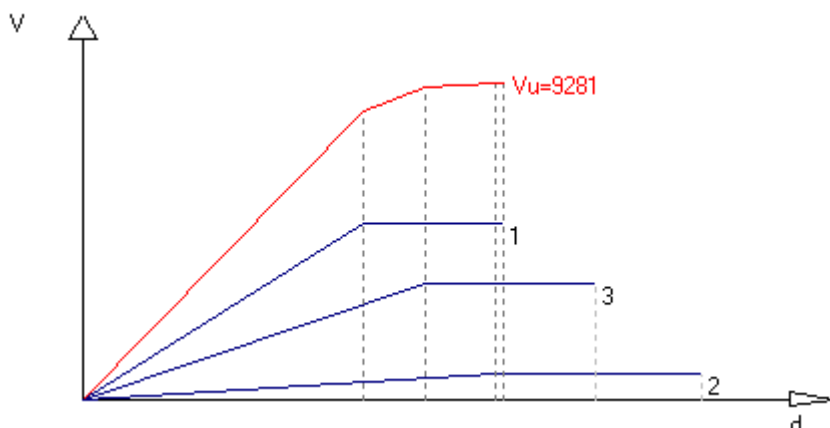
$T \text{ (sp. parete) } = 28.00 \text{ cm}$

Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
A	Libera	No	No	No
D	Libera	No	No	No
B	Libera	No	No	No
C	Libera	No	No	No

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ_0	K_0	V_t	V_{pf}	V_u	δ_e	δ_u
1	414.0	28.00	246.0	1.00	0.441	89402.4	5178.6	8133.0	5178.6	0.058	0.087
2	99.0	28.00	246.0	1.50	0.726	8646.2	975.6	737.6	737.6	0.085	0.128
3	253.0	28.00	246.0	1.00	0.533	47514.9	3361.8	3629.8	3361.8	0.071	0.106

Curva caratteristica post-operam:

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 140 di 153



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 145563.5 \text{ daN/cm}$

Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 9280.8 \text{ daN}$

Spostamento ultimo: $\delta u_{pr} = 0.087 \text{ cm}$

VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 145564 - 145564 = 0 \text{ daN/cm}$ (riduzione rigidezza = 0.0%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 9281 - 9281 = 0 \text{ daN}$ (riduzione resistenza = 0.0%)

La variazione percentuale di ΔK è compresa tra +/- 15.0%, limite di accettabilità per considerare l'intervento di tipo locale.

La resistenza post-operam non è inferiore di quella ante-operam, **quindi la parete potrà essere modificata senza richiedere opere aggiuntive di irrigidimento delle aperture.**

12.5 NUOVI BASAMENTI IN C.A.

I nuovi basamenti in c.a. a supporto dei macchinari (pompe, gruppo di pressurizzazione) possono essere inquadrati quali **interventi privi di rilevanza ai fini sismici** in analogia al **punto A.6.1** della *D.G.R. ER 2272/2016* – “A.6.1. Realizzazione di rampe, solette, pavimentazioni appoggiate a terra. (L0)”.

I basamenti esistenti saranno completamente demoliti e rimossi.

I nuovi basamenti in progetto per la cabina tipo “8” saranno n°.4 di cui n°.1 di dimensioni in pianta 90x165cm e n°.3 di dimensioni 90x200cm.

Le dimensioni in pianta dei basamenti sono già definite dal progettista elettromeccanico.

Si ritiene di mantenere l'**altezza complessiva** dei basamenti pari a **60cm** ed **armature longitudinali e trasversali $\Phi 14$** a **passo 20cm** sia **superiormente** sia **inferiormente**. Il **calcestruzzo di progetto è C25/30**. Per i calcoli si omettono in quanto i medesimi già sviluppati in precedenza per la Cabina “2”.

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 141 di 153

12.6 NUOVE APERTURE

Le **nuove aperture** devono essere realizzate entrambe sul fronte nord e di dimensioni nette, rispettivamente, **120x215cm** e **120x50cm**. La prima è un **vano porta** di accesso al locale *MT/bt* mentre la seconda è una **finestratura d'areazione** nel locale *Trafo*.

La parete muraria presenta **spessore strutturale 28cm** ed è in **mattoni pieni e malta di calce**.

Relativamente all'**altezza** della **parete**, sia assume quella prevalente relativa al *Vano cabina trasformatore* e pari a circa **4.41m** (da piano campagna a sommità muratura in asse parete). La **lunghezza** della **parete** interessata dagli interventi è pari a **6.60m** (misurata asse-asse murature ortogonali). Sulla parete insiste una copertura in latero-cemento con lunghezza di influenza di circa 1.00m; si può stimare un carico lineare permanente pari a $g = (2.00 + 0.04 + 0.50) \times 1.00 \approx 2.55 \times 1.00 = 2.55 \text{ kN/m}$. Il carico variabile indotto dalla neve ed utile esclusivamente alla verifica statica dell'architravatura superiore, viene assunto pari a $q = 1.30 \times 1.00 = 1.30 \text{ kN/m}$.

I risultati del calcolo evidenziano la necessità di realizzare:

- una **cerchiatura metallica compensativa** con **doppi profili HEB120 (S275)** per il **nuovo vano porta**;
- una **cerchiatura metallica compensativa** con **tripli profili IPE80 (S355)** per la **nuova apertura per areazione**.

Tabulati di calcolo

MATERIALI

Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019
 f_m - resistenza compressione [daN/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)
 τ_o - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)
 f_{vo} - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)
 E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
 G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 4000.0 (min.), 6000.0 (max.)

Essendo il livello di conoscenza LC1 (Limitata) si utilizzano i valori medi per i moduli elastici e i valori minimi per la resistenza.

Valori di riferimento:

f_m - resistenza compressione = 26.00 daN/cm²
 τ_o - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
 f_{vo} - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²
 E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²
 G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²
 μ = fattore duttilità = 1.50 (da valori sperimentali secondo gli studi di Turnsek e Cacovic)
 γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

Fattore confidenza $FC = 1.35$
 Coef. parz. sic. $\gamma_M = 2.00$ (4.5.6.1)
 $f_m = 9.63 \text{ daN/cm}^2$
 $\tau_o = 0.19 \text{ daN/cm}^2$
 $f_{vo} = 0.48 \text{ daN/cm}^2$
 Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00
 $E = 7500 \text{ daN/cm}^2$
 $G = 2500 \text{ daN/cm}^2$

Materiali dei telai

Acciaio	f_{yk} [daN/cm ²]	f_{tk} [daN/cm ²]	E [daN/cm ²]	G [daN/cm ²]	γ_a [kg/mc]
S 275	2750.0	4300.0	2100000.0	807692.0	7850.0

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE				Rev. 02 del 19/07/21
					Pagina 142 di 153

S 355 3550.0 5100.0 2100000.0 807692.0 7850.0

Sezioni in acciaio dei telai

Profilo	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	Wy [cm ³]	Wpy [cm ³]	Area [cm ²]	Peso [kg/m]
HE120B	12.0	12.0	144.1	165.3	52.9	81.0	34.0	26.71
IPE80	4.6	8.0	20.0	23.2	3.7	5.8	7.7	6.01

CARICHI

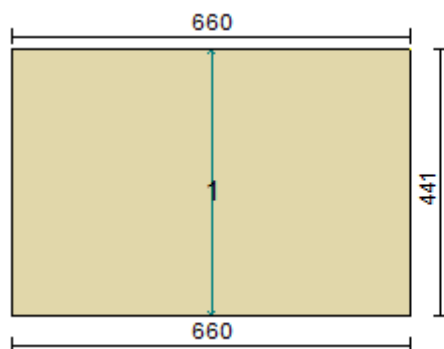
In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

Carico permanente Gk = 255.0 daN/m

Carico variabile Qk = 130.0 daN/m

Per la determinazione della tensione media verticale, verranno inoltre considerati i contributi dovuti al peso proprio di metà maschio murario e delle semifasce superiori gravanti sul maschio stesso.

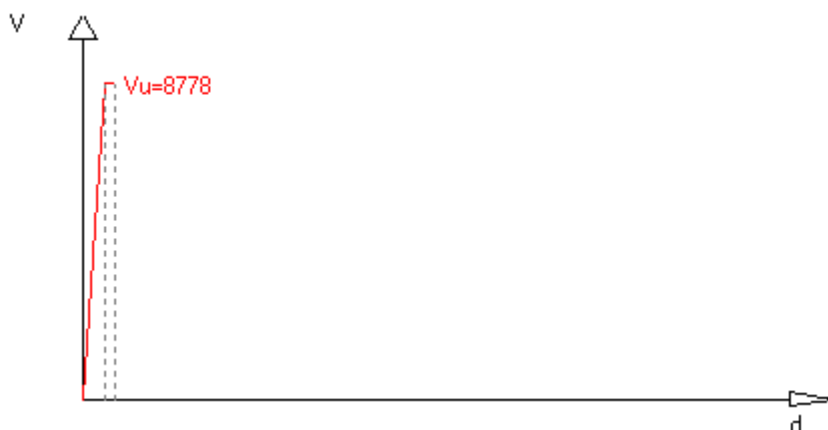
Ante-operam



T (sp. parete) = 28.00 cm

Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	σ_0	Ko	Vt	Vpf	Vu	δ_e	δ_u
1	660.0	441.0	1.00	0.534	77669.2	8778.1	13815.0	8778.1	0.113	0.170

Curva caratteristica ante-operam:



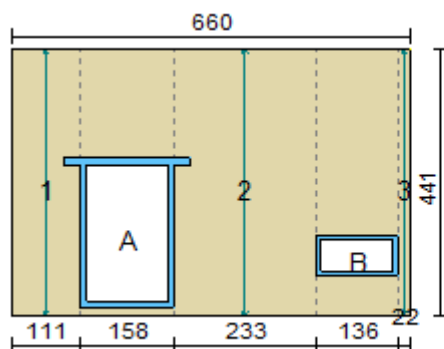
Rigidezza complessiva della parete: Ksa = 77669.2 daN/cm

Taglio ultimo della parete: Vsa = 8778.1 daN

Spostamento ultimo: δ_u sa = 0.170 cm

Post-operam

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 143 di 153

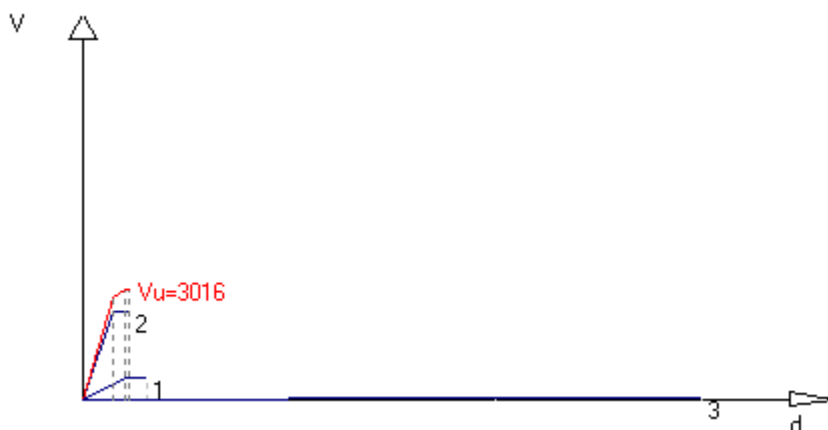


T (sp. parete) = 28.00 cm

Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
A	Cerchiata	2 HE120B (S 275)	2 HE120B (S 275)	2HE120B+2HE120B (S 275)
B	Cerchiata	3 IPE80 (S 355)	3 IPE80 (S 355)	3IPE80+3IPE80 (S 355)

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ_0	Ko	Vt	Vpf	Vu	δ_e	δ_u
1	111.0	28.00	441.0	1.50	0.862	2726.8	1165.7	603.1	603.1	0.221	0.332
2	233.0	28.00	441.0	1.50	0.824	15448.0	2406.7	2555.5	2406.7	0.156	0.234
3	22.0	28.00	441.0	1.50	2.673	25.8	371.8	55.3	55.3	2.141	3.211

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 18200.6$ daN/cm

Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 3015.8$ daN

Spostamento ultimo: δ_u pr = 0.234 cm

VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 18201 - 77669 = -59469$ daN/cm (riduzione rigidezza = -76.6%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 3016 - 8778 = -5762$ daN (riduzione resistenza = -65.6%)

Rigidezza e resistenza dei telai:

Note:

$K = c E J / H_i^3$, con: $c = 3$ nel caso di telaio incernierato alla base, $c = 12$ nel caso di incastro

$F_o = K \delta_{min}$

Telaio	c	H_i [cm]	K [daN/cm]	M_u [daN cm]	δ_{min} [cm]	F_o [daN]
A	12	237.00	6547.1	1509724.0	0.23	1530.0
B	12	58.00	62119.2	406525.7	0.23	14516.8

$K_t = \Sigma K = 68666$ daN/cm

$V_t = \Sigma F_o = 16047$ daN

<i>Studio Tecnico</i> <i>Ing. Massimo Garutti</i>	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 144 di 153

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

$$\Delta K_{tot} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = 9198 \text{ daN/cm}$$

aumento rigidezza = 11.8%; variazione percentuale di ΔK_{tot} compresa entro il 15.0% Ok

$$\Delta V_{tot} = V_{pr} + V_t - V_{sa} = 10284 \text{ daN}$$

aumento resistenza = 117.2%; $\Delta V_{tot} > 0$ Ok

VERIFICA ARCHITRAVI IN ACCIAIO

La verifica si riferisce alla fase di montaggio nel momento in cui è già stata rimossa la muratura, ma le architravi non sono ancora collegate ai montanti.

2 architravi	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Jx [cm ⁴]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120B	12.0	12.0	144.1	864.6	34.0	11.0	0.65	1.10	1.20

Luce di calcolo L = 146.0 cm

P.P. architrave PPa = 0.534 daN/cm

P.P. fascia muratura PPm = 9.022 daN/cm

Carico permanente trasmesso dalla sovrastruttura Gk = 2.55 daN/cm

Carico variabile trasmesso dalla sovrastruttura Qk = 1.30 daN/cm

$$q_{SLU} = 1.3 (G_k + PPa + PPm) + 1.5 Q_k = 17.69 \text{ daN/cm}$$

$$q_{SLE \text{ Rare}} = G_1 + G_2 + PPa + PPm + 0.7 Q_k = 13.0 \text{ daN/cm} \quad (\psi_0 = 0.7)$$

$$M_{Ed} = (q_{SLU} L^2) / 8 = 47128.6 \text{ daN cm}$$

$$M_{cRd} = W_x f_{yd} = 754861.9 \text{ daN cm}$$

$$M_{Ed} / M_{cRd} = 0.0624 < 1 \text{ Ok}$$

$$V_{Ed} = (q_{SLU} L) / 2 = 1291.20 \text{ daN}$$

$$V_{cRd} = A_v f_{yd} / \sqrt{3} = 33190.77 \text{ daN}$$

$$V_{Ed} / V_{cRd} = 0.0389 < 1 \text{ Ok}$$

$$\text{Freccia} = (5/384) (q_{SLE} L^4) / (E J_x) = 0.0212 \text{ cm} < L/500 = 0.2920 \text{ cm Ok}$$

3 architravi	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Jx [cm ⁴]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE80	4.6	8.0	20.0	80.2	7.7	3.6	0.38	0.52	0.50

Luce di calcolo L = 128.0 cm

P.P. architrave PPa = 0.180 daN/cm

P.P. fascia muratura PPm = 15.523 daN/cm

Carico permanente trasmesso dalla sovrastruttura Gk = 2.55 daN/cm

Carico variabile trasmesso dalla sovrastruttura Qk = 1.30 daN/cm

$$q_{SLU} = 1.3 (G_k + PPa + PPm) + 1.5 Q_k = 25.68 \text{ daN/cm}$$

$$q_{SLE \text{ Rare}} = G_1 + G_2 + PPa + PPm + 0.7 Q_k = 19.2 \text{ daN/cm} \quad (\psi_0 = 0.7)$$

$$M_{Ed} = (q_{SLU} L^2) / 8 = 52591.5 \text{ daN cm}$$

$$M_{cRd} = W_x f_{yd} = 203262.9 \text{ daN cm}$$

$$M_{Ed} / M_{cRd} = 0.2587 < 1 \text{ Ok}$$

$$V_{Ed} = (q_{SLU} L) / 2 = 1643.48 \text{ daN}$$

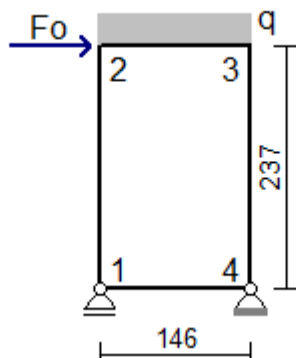
$$V_{cRd} = A_v f_{yd} / \sqrt{3} = 20985.50 \text{ daN}$$

$$V_{Ed} / V_{cRd} = 0.0783 < 1 \text{ Ok}$$

$$\text{Freccia} = (5/384) (q_{SLE} L^4) / (E J_x) = 0.1326 \text{ cm} < L/500 = 0.2560 \text{ cm Ok}$$

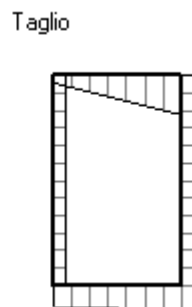
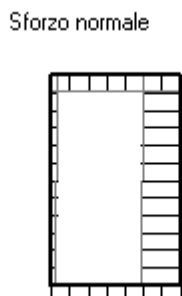
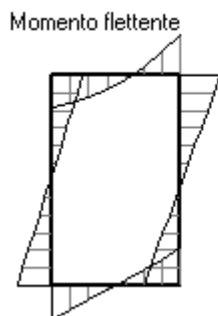
Verifiche dei telai.

Telaio A



$$F_o = 1529.99 \text{ daN}, \quad q = G_k + \psi_2 Q_k = 11.57 \text{ daN/cm} \quad (\psi_2 = 0.00)$$

Sollecitazioni telaio A



Sollecitazione di compressione per $N > 0$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-2

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-2	1	0.0	-87650.9	-226.6	703.6
	2	19.8	-73755.0	-237.2	703.6
	3	39.5	-59859.0	-247.7	703.6
	4	59.3	-45963.0	-258.3	703.6
	5	79.0	-32067.0	-268.8	703.6
	6	98.8	-18171.0	-279.4	703.6
	7	118.5	-4275.1	-289.9	703.6
	8	138.3	9620.9	-300.5	703.6
	9	158.0	23516.9	-311.0	703.6
	10	177.8	37412.9	-321.5	703.6
	11	197.5	51308.8	-332.1	703.6
	12	217.3	65204.8	-342.6	703.6
	13	237.0	79100.8	-353.2	703.6

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120B	12.0	12.0	144.1	165.3	34.0	11.0	0.65	1.10	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-2

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 351,8 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 16595.38 \text{ daN}$

$V_{ed} / V_{crd} = 0.021 < 1$ Ok

Tenso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -43825,5 daNcm, Ned = -113,3 daN, Ved = 351,8 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{235 / f_{yk}} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.50, \quad \psi = -1.01$$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.07 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 11.38 < 36 \varepsilon / \alpha = 67.13$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 89100.0 \text{ daN}$$

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 146 di 153

$n = N_{ed} / N_{rd} = -0.001$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.224$
 $M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{MO} = 432850.0 \text{ daNcm}$
 $M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 488059.7 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$
 $Med / M_{nrd} = 0.10 < 1 \text{ Ok}$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	79100.8	826.4	-353.2
	2	20.9	69101.0	826.4	-605.7
	3	41.7	53835.0	826.4	-858.2
	4	62.6	33302.8	826.4	-1110.7
	5	83.4	7504.3	826.4	-1363.2
	6	104.3	-23560.4	826.4	-1615.6
	7	125.1	-59891.3	826.4	-1868.1
	8	146.0	-101488.5	826.4	-2120.6

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120B	12.0	12.0	144.1	165.3	34.0	11.0	0.65	1.10	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 2-3

Taglio: sez. 8, dist. = 146,0 cm, Ved = -1060,3 daN
 Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{MO} \sqrt{3}) = 16595.38 \text{ daN}$
 $V_{ed} / V_{crd} = 0.064 < 1 \text{ Ok}$

Presso-flessione: sez. 8, dist. = 146,0 cm, Med = -50744,3 daNcm, Ned = 413,2 daN, Ved = -1060,3 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.52$, $\psi = -0.98$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.07 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 11.38 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 64.19$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{MO} = 89100.0 \text{ daN}$

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.005$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.224$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{MO} = 432850.0 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 485179.4 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$Med / M_{nrd} = 0.12 < 1 \text{ Ok}$

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 39550,4 daNcm, Ned = 413,2 daN, Ved = -176,6 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 840705.0 \text{ daN}$

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$ Verifica non richiesta

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-101488.5	2120.6	826.4
	2	19.8	-85167.2	2131.2	826.4
	3	39.5	-68845.8	2141.7	826.4
	4	59.3	-52524.5	2152.3	826.4
	5	79.0	-36203.2	2162.8	826.4
	6	98.8	-19881.9	2173.4	826.4
	7	118.5	-3560.5	2183.9	826.4
	8	138.3	12760.8	2194.5	826.4
	9	158.0	29082.1	2205.0	826.4
	10	177.8	45403.5	2215.6	826.4
	11	197.5	61724.8	2226.1	826.4
	12	217.3	78046.1	2236.7	826.4
	13	237.0	94367.5	2247.2	826.4

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120B	12.0	12.0	144.1	165.3	34.0	11.0	0.65	1.10	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 3-4

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 413,2 daN
 Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{MO} \sqrt{3}) = 16595.38 \text{ daN}$

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 147 di 153

$V_{ed} / V_{crd} = 0.025 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -50744,3 daNcm, Ned = 1060,3 daN, Ved = 413,2 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.54$, $\psi = -0.94$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.07 < 9$ $\varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 11.38 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 60.80$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 89100.0$ daN

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.012$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.224$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 432850.0$ daNcm

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 481639.2$ daNcm $> M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$Med / M_{nrd} = 0.12 < 1$ Ok

sez. 13, dist. = 237,0 cm, Med = 47183,7 daNcm, Ned = 1123,6 daN, Ved = 413,2 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 319045.5$ daN

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$ Verifica non richiesta

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-4	1	0.0	87650.9	703.6	-1207.7
	2	20.9	62345.4	703.6	-1218.9
	3	41.7	36807.4	703.6	-1230.0
	4	62.6	11037.2	703.6	-1241.1
	5	83.4	-14965.5	703.6	-1252.3
	6	104.3	-41200.4	703.6	-1263.4
	7	125.1	-67667.8	703.6	-1274.6
	8	146.0	-94367.5	703.6	-1285.7

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	W _x [cm ³]	W _{px} [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120B	12.0	12.0	144.1	165.3	34.0	11.0	0.65	1.10	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-4

Taglio: sez. 8, dist. = 146,0 cm, Ved = -642,8 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 16595.38$ daN

$V_{ed} / V_{crd} = 0.039 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 8, dist. = 146,0 cm, Med = -47183,7 daNcm, Ned = 351,8 daN, Ved = -642,8 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.51$, $\psi = -0.98$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.07 < 9$ $\varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 11.38 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 64.53$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 89100.0$ daN

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.004$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.224$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 432850.0$ daNcm

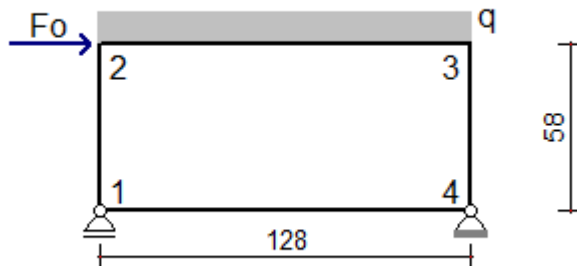
$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 485515.3$ daNcm $> M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$Med / M_{nrd} = 0.11 < 1$ Ok

Nota (*): non essendo possibile collegare le travi mediante calastrelli nel lato verso la muratura, le verifiche saranno eseguite su profili semplici dividendo le sollecitazioni per il numero delle sezioni presenti nel tratto.

Telaio B

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 148 di 153



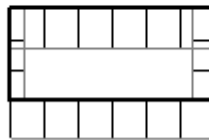
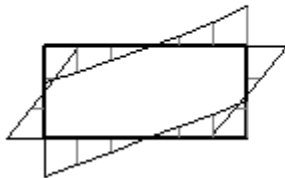
$F_o = 14516.75 \text{ daN}$, $q = G_k + \psi_2 Q_k = 11.57 \text{ daN/cm}$ ($\psi_2 = 0.00$)

Sollecitazioni telaio B

Momento flettente

Sforzo normale

Taglio



Sollecitazione di compressione per $N > 0$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-2

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-2	1	0.0	-209238.0	-2521.5	7017.0
	2	19.3	-73576.7	-2525.0	7017.0
	3	38.7	62084.6	-2528.5	7017.0
	4	58.0	197746.0	-2532.0	7017.0

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE80	4.6	8.0	20.0	23.2	7.7	3.6	0.38	0.52	0.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-2

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, $V_{ed} = 2339,0 \text{ daN}$

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 6995.17 \text{ daN}$

$V_{ed} / V_{crd} = 0.334 < 1$ Ok

Tenso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, $M_{ed} = -69746,0 \text{ daNcm}$, $N_{ed} = -840,5 \text{ daN}$, $V_{ed} = 2339,0 \text{ daN}$

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.81$, $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.45$, $\psi = -1.12$

Ali in compressione: $c_f / e = 3.10 < 9 \varepsilon = 7.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 15.68 < 36 \varepsilon / \alpha = 65.42$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 25864.3 \text{ daN}$

$n = N_{ed} / N_{rd} = -0.032$, $a = (A - 2 B e) / A = 0.375$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 78505.7 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 99740.3 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$M_{ed} / M_{nrd} = 0.89 < 1$ Ok

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	197746.0	7499.8	-2532.0
	2	21.3	141055.8	7499.8	-2782.7

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO						Rev. 02 del 19/07/21		
	RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE						Pagina 149 di 153		

3	42.7	79017.3	7499.8	-3033.4
4	64.0	11630.5	7499.8	-3284.1
5	85.3	-61104.7	7499.8	-3534.8
6	106.7	-139188.3	7499.8	-3785.5
7	128.0	-222620.2	7499.8	-4036.2

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE80	4.6	8.0	20.0	23.2	7.7	3.6	0.38	0.52	0.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 2-3

Taglio: sez. 7, dist. = 128,0 cm, Ved = -1345,4 daN
Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 6995.17 \text{ daN}$
 $Ved / V_{crd} = 0.192 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 7, dist. = 128,0 cm, Med = -74206,7 daNcm, Ned = 2499,9 daN, Ved = -1345,4 daN
Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.81, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.66, \quad \psi = -0.71$$

Ali in compressione: $cf / e = 3.10 < 9 \varepsilon = 7.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 15.68 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 42.84$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 25864.3 \text{ daN}$$

$$n = Ned / N_{rd} = 0.097, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.375$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 78505.7 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 87264.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$Med / M_{nrd} = 0.95 < 1 \text{ Ok}$$

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 65915,3 daNcm, Ned = 2499,9 daN, Ved = -844,0 daN

Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 101404.4 \text{ daN}$$

$Ned < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$ Verifica non richiesta

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-222620.2	4036.2	7499.8
	2	19.3	-77624.4	4039.7	7499.8
	3	38.7	67371.5	4043.2	7499.8
	4	58.0	212367.3	4046.7	7499.8

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE80	4.6	8.0	20.0	23.2	7.7	3.6	0.38	0.52	0.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 3-4

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 2499,9 daN
Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 6995.17 \text{ daN}$
 $Ved / V_{crd} = 0.357 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -74206,7 daNcm, Ned = 1345,4 daN, Ved = 2499,9 daN
Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.81, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.58, \quad \psi = -0.83$$

Ali in compressione: $cf / e = 3.10 < 9 \varepsilon = 7.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 15.68 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 48.91$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 25864.3 \text{ daN}$$

$$n = Ned / N_{rd} = 0.052, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.375$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 78505.7 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 91576.1 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$Med / M_{nrd} = 0.95 < 1 \text{ Ok}$$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-4	1	0.0	209238.0	7017.0	-3282.3

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO						Rev. 02 del 19/07/21		
	RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE						Pagina 150 di 153		

2	21.3	139175.5	7017.0	-3286.1
3	42.7	69030.9	7017.0	-3289.9
4	64.0	-1195.7	7017.0	-3293.8
5	85.3	-71504.2	7017.0	-3297.6
6	106.7	-141894.8	7017.0	-3301.5
7	128.0	-212367.3	7017.0	-3305.3

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
IPE80	4.6	8.0	20.0	23.2	7.7	3.6	0.38	0.52	0.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-4

Taglio: sez. 7, dist. = 128,0 cm, Ved = -1101,8 daN
 Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 6995.17 \text{ daN}$
 $V_{ed} / V_{crd} = 0.158 < 1 \quad \text{Ok}$

Presso-flessione: sez. 7, dist. = 128,0 cm, Med = -70789,1 daNcm, Ned = 2339,0 daN, Ved = -1101,8 daN
 Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.81, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.65, \quad \psi = -0.73$

Ali in compressione: $c_f / e = 3.10 < 9 \varepsilon = 7.32 \quad (\text{cl. 1})$

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 15.68 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 43.59 \quad (\text{cl. 1})$

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 25864.3 \text{ daN}$

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.090, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.375$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 78505.7 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 87865.1 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$M_{ed} / M_{nrd} = 0.90 < 1 \quad \text{Ok}$

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 69746,0 daNcm, Ned = 2339,0 daN, Ved = -1094,1 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 101404.4 \text{ daN}$

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow \text{Verifica non richiesta}$

Nota (*): non essendo possibile collegare le travi mediante calastrelli nel lato verso la muratura, le verifiche saranno eseguite su profili semplici dividendo le sollecitazioni per il numero delle sezioni presenti nel tratto.

Verifica connessioni acciaio-acciaio: saldature a cordone d'angolo

Valgono le prescrizioni di cui alla *Cabina tipo "5"*. Essendo necessari i medesimi profili per le cerchiature, si prescrivono nuovamente **saldature a cordoni d'angolo di lato 21mm e gola 15mm**. Si omettono le verifiche delle saldature.

Connessioni acciaio-muratura

Valgono le considerazioni riportate per le precedenti cerchiature.

13 CABINA N°.7

La cabina n°.7 presenta medesima geometria ed interventi strutturali della cabina n°.8.

14 CABINA N°.9

14.1 PREMESSA

La cabina n°.9 presenta medesima geometria ed interventi strutturali della cabina n°.8. L'unica differenza riguarda la posizione delle forometrie per nuove tubazioni Dn200 che risulta lievemente diversa; si effettua la verifica di controllo nel paragrafo seguente.

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	Rev. 02 del 19/07/21
		Pagina 151 di 153

14.2 NUOVE FOROMETRIE PER PASSAGGI IMPIANTISTICI

14.2.1 Parete Est

Sulla parete Est si rende necessario realizzare n°.3 nuove forometrie per passaggio tubazioni in acciaio Dn200. Già in stato di fatto sono presenti n°.3 fori. Le forometrie sono poste a più di 1m di distanza dagli incroci murari. **Come dimostrato a seguire, imponendo la ricostruzione con cuci-scuci di mattoni pieni e malta di calce delle aperture esistenti, è possibile realizzare l'intervento senza introduzione di cerchiature metalliche aggiuntive sulle nuove forometrie.**

Ad ogni modo si effettuano le calcolazioni di verifica sulla parete in oggetto. La lunghezza della parete è 10.0m e l'altezza 2.58m. Le forometrie esistenti hanno una larghezza di 22cm ed un'altezza di 33cm (in quanto il passaggio nella muratura ha giacitura non orizzontale); le nuove forometrie sono imposte di dimensioni quadrate di lato 22cm (il passaggio nella muratura è a giacitura orizzontale).

Sulla parete insiste la copertura in latero-cemento con lunghezza di influenza di circa 1.50m (comprendendo lo sporto esterno); si può stimare un carico lineare permanente pari a $g = (2.00 + 0.04 + 0.50) \times 1.50 \approx 2.55 \times 1.50 = 3.81 \text{ kN/m}$. Il carico variabile indotto dalla neve viene assunto pari a $q = 1.30 \times 1.50 = 1.95 \text{ kN/m}$.

Tabulati di calcolo

MATERIALI

Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019
 f_m - resistenza compressione [daN/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)
 τ_o - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)
 f_{vo} - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)
 E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
 G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 4000.0 (min.), 6000.0 (max.)

Essendo il livello di conoscenza LC1 (Limitata) si utilizzano i valori medi per i moduli elastici e i valori minimi per la resistenza.

Valori di riferimento:

f_m - resistenza compressione = 26.00 daN/cm²
 τ_o - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
 f_{vo} - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²
 E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²
 G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²
 μ = fattore duttilità = 1.50 (da valori sperimentali secondo gli studi di Turnsek e Cacovic)
 γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

Fattore confidenza FC = 1.35
 Coef. parz. sic. γ_M = 2.00 (4.5.6.1)
 f_m = 9.63 daN/cm²
 τ_o = 0.19 daN/cm²
 f_{vo} = 0.48 daN/cm²
 Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00
 E = 7500 daN/cm²
 G = 2500 daN/cm²

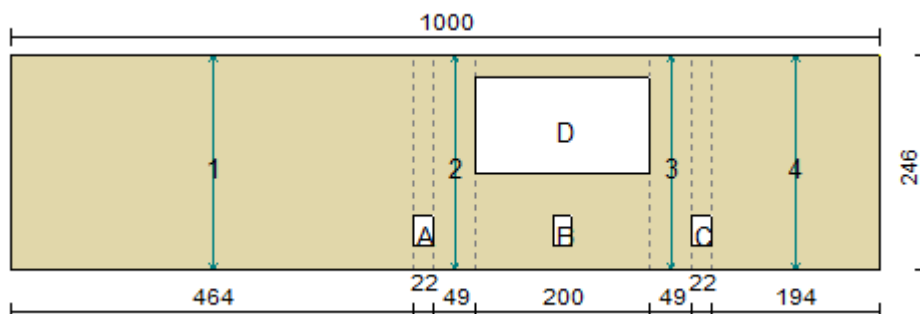
CARICHI

In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:
 Carico permanente G_k = 381.0 daN/m
 Carico variabile Q_k = 195.0 daN/m

Per la determinazione della tensione media verticale, verranno inoltre considerati i contributi dovuti al peso proprio di

metà maschio murario e delle semifasce superiori gravanti sul maschio stesso.

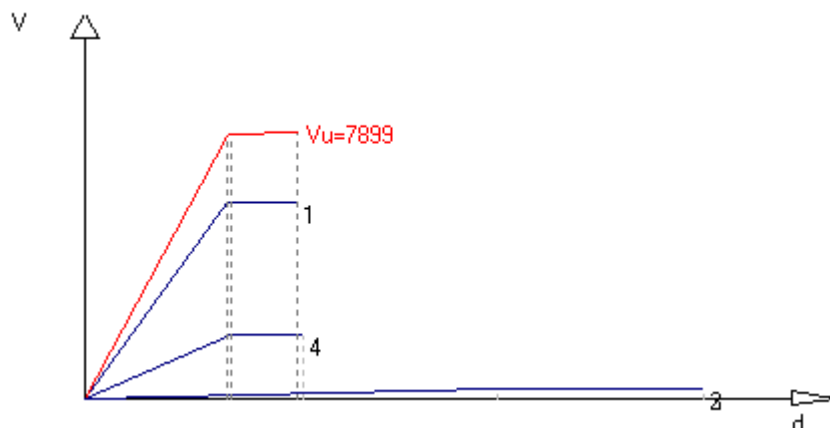
Ante-operam



T (sp. parete) = 28.00 cm

Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	σ_0	Ko	Vt	Vpf	Vu	δe	δu
1	464.0	246.0	1.00	0.440	102058.5	5800.9	10199.3	5800.9	0.057	0.085
2	49.0	246.0	1.50	0.999	1452.2	544.8	239.7	239.7	0.165	0.248
3	49.0	246.0	1.50	0.999	1452.2	544.8	239.7	239.7	0.165	0.248
4	194.0	246.0	1.27	0.458	31799.5	1936.2	1850.5	1850.5	0.058	0.087

Curva caratteristica ante-operam:

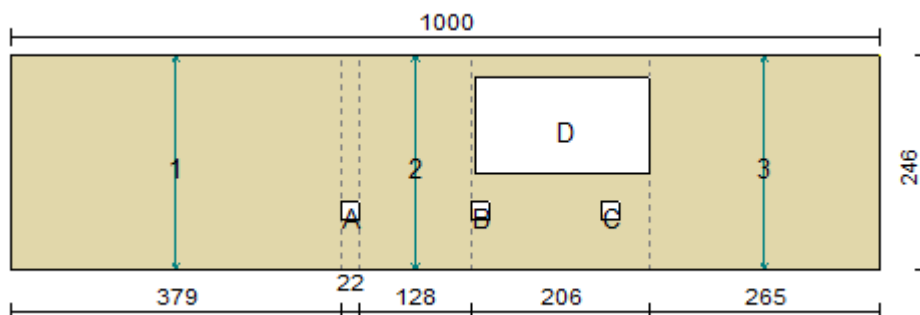


Rigidezza complessiva della parete: Ksa = 136762.4 daN/cm

Taglio ultimo della parete: Vsa = 7899.0 daN

Spostamento ultimo: $\delta u_{sa} = 0.085$ cm

Post-operam



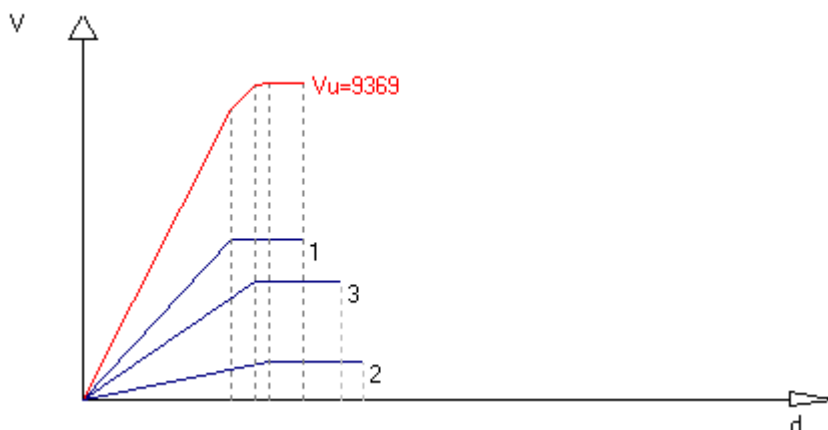
T (sp. parete) = 28.00 cm

Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
A	Libera	No	No	No
B	Libera	No	No	No

Studio Tecnico Ing. Massimo Garutti	PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA INTERVENTI STRUTTURALI SU CABINE DI POMPAGGIO RCS01 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE					Rev. 02 del 19/07/21	
						Pagina 153 di 153	

D	Libera	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
C	Libera	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ_0	Ko	Vt	Vpf	Vu	δ_e	δ_u
1	379.0	28.00	246.0	1.00	0.442	80455.7	4744.9	6834.2	4744.9	0.059	0.088
2	128.0	28.00	246.0	1.50	0.652	14981.4	1214.3	1119.0	1119.0	0.075	0.112
3	265.0	28.00	246.0	1.00	0.525	50702.0	3504.6	3929.0	3504.6	0.069	0.104

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 146139.1$ daN/cm

Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 9368.6$ daN

Spostamento ultimo: δ_u pr = 0.088 cm

VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 146139 - 136762 = 9377$ daN/cm (aumento rigidezza = 6.9%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 9369 - 7899 = 1470$ daN (aumento resistenza = 18.6%)

La variazione percentuale di ΔK è compresa tra +/- 15.0%, limite di accettabilità per considerare l'intervento di tipo locale.

La resistenza post-operam non è inferiore di quella ante-operam, quindi la parete potrà essere modificata senza richiedere opere aggiuntive di irrigidimento delle aperture.

15 CONSIDERAZIONI RIGUARDO LE FONDAZIONI

Si precisa che gli interventi in progetto non producono un incremento di sollecitazioni in fondazione. Per tale motivo non si ritiene di effettuare verifiche strutturale e/o geotecniche.