RegioneLombardia

*Direzione Generale Infrastrutture e Opere Pubbliche*

FERROVIENORD
FNMGROUP

NORD_ING
FNMGROUP

| CODICE COMMESSA | LIVELLO PROGETTAZIONE | D.P.R. 207/10 | PROGRESSIVO ELABORATO | CATEGORIA OPERA | NUMERO OPERA | REVISIONE | SCALA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R31 | D | f | 001 | OV | 01 | R0 | === |

# OPERE SOSTITUTIVE P.L. DI VIA TRIESTE IN COMUNE DI ERBA
# OPERE DI COMPETENZA FERROVIENORD

*Progetto Definitivo*

# CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE E DEGLI IMPIANTI

## Relazione di calcolo opere civili

| Revisioni | | Data | Descrizione | Redatto | Controllato |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3 | | - | | |
| | 2 | | - | | |
| | 1 | | - | | |
| | 0 | Ott. 2025 | PRIMA EMISSIONE | | |

NORD_ING

NORD_ING Srl
IL DIRETTORE TECNICO
*Ing. Laura Stiriti*

Signed by LAURA CAROLINA STIRITI
Date: 10/11/2025
15:46:06 CET

FERROVIENORD

FERROVIENORD S.p.A.
DIRETTORE INFRASTRUTTURA
Ing. Andrea Lucia Passarelli

Firmato da: Andrea Lucia Passarelli
Data: il 10/11/2025
Ore: 16:39 CET

Progettista

NORD_ING
FNMGROUP

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI MILANO
ING. STIRITI LAURA
Sez. A
Settori:
a) civile e ambientale
b) industriale
n° A 23801

Signed by LAURA CAROLINA STIRITI
Date: 10/11/2025
15:46:07 CET

Collaborazione

50 NET ENGINEERING years
Via Squero, 12 – 35043 Monselice (PD)

iDea
INFRASTRUCTURE DESIGN, ENERGY AND ARCHITECTURE
www.idea-eng.it - info@idea-eng.it
Via Sommacampagna, 63/H Scala D - 37137 - Verona
Telefono/Fax: 045 6517106 - e-mail: tecnico@idea-eng.it - www.idea-eng.it

| REDATTO | CONTROLLATO | APPROVATO | DATA |
|---|---|---|---|
| | | | |

| CODICE ARCHIVIO COLLABORATORE | AGG. |
|---|---|
| | |

mod. 7.5 03 rev.01

FILE: R31Df001OV01R0_Relazione di calcolo opere civili

# Sommario

**1. PREMESSA ..... 4**
**2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO ..... 5**
2.1. Normativa nazionale ..... 5
2.2. Normativa europea ..... 5
**3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA ..... 6**
3.1. Modello geotecnico ..... 6
3.2. Falda ..... 6
3.3. Liquefazione ..... 6
3.4. Bonifica piano di posa ..... 7
3.5. Pericolosità sismica ..... 8
**4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI ..... 10**
4.1. Calcestruzzo fondazioni ed elevazioni muri di sostegno e cordoli ..... 10
4.2. Acciaio per c.a. ..... 12
**5. SOFTWARE DI CALCOLO ..... 13**
**6. DESCRIZIONE DEI MURI DI SOSTEGNO ..... 14**
6.1. Sezioni tipologiche di calcolo dei muri ..... 14
6.2. Muri d sostegno ..... 19
*6.2.1. Muro 01 ..... 19*
*6.2.2. Muro 02 ..... 19*
*6.2.3. Muro 03 ..... 19*
*6.2.4. Muro 04 ..... 20*
*6.2.5. Muro 05 ..... 20*
*6.2.6. Muro 06 ..... 20*
6.3. Riepilogo ..... 21
**7. ANALISI DEI CARICHI MURI ..... 21**
7.1. Carichi permanenti ..... 21
7.2. Carico da traffico ..... 22
7.3. Urto ..... 22
7.4. Azioni sismiche ..... 23
**8. COMBINAZIONI DI CARICO ..... 25**
**9. CRITERI DI VERIFICA ..... 30**
9.1. Ipotesi di calcolo ..... 30
9.2. Richiami teorici ..... 31
*9.2.1. Calcolo della spinta sul muro: metodo di Culmann ..... 32*
*9.2.2. Spinta in presenza di sisma ..... 32*
9.3. Verifiche geotecniche (GEO) allo SLU ..... 33
*9.3.1. Verifica a scorrimento ..... 33*
*9.3.2. Verifica al ribaltamento ..... 34*
*9.3.3. Verifica al carico limite ..... 35*

*9.3.4. Verifica alla stabilità globale ... 36*
9.4. Verifiche geotecniche (GEO) allo SLE - Cedimenti della fondazione – Metodo elastico ... 37
9.5. Verifiche strutturali (STR) allo SLU ... 38
9.6. Verifiche strutturali (STR) allo SLE ... 39
*9.6.1. Verifica a fessurazione ... 39*
*9.6.2. Verifica delle tensioni di esercizio ... 40*
**10. SINTESI DEI RISULTATI ... 41**
10.1. Input software di calcolo ... 41
10.2. Sezione tipo 1 e 2 – 2.80m < H < 4.00m ... 44
*10.2.1. Carichi ... 44*
*10.2.2. Verifiche geotecniche ... 45*
*10.2.3. Verifiche strutturali ... 46*
10.3. Sezione tipo 3 – 2.00m < H < 2.80m ... 49
*10.3.1. Carichi ... 49*
*10.3.2. Verifiche geotecniche ... 50*
*10.3.3. Verifiche strutturali ... 51*
10.4. Sezione tipo 4 – 1.00m < H < 2.00m ... 54
*10.4.1. Carichi ... 54*
*10.4.2. Verifiche geotecniche ... 55*
*10.4.3. Verifiche strutturali ... 56*
10.5. Sezione tipo 5 - H < 1.00m ... 59
*10.5.1. Carichi ... 59*
*10.5.2. Verifiche geotecniche ... 60*
*10.5.3. Verifiche strutturali ... 60*
10.6. Sezione tipo 6 - 2.00 < H < 2.80m (Sez. L) ... 63
*10.6.1. Carichi ... 64*
*10.6.2. Verifiche geotecniche ... 64*
*10.6.3. Verifiche strutturali ... 65*
10.7. Sezione tipo 7 - 1.00 < H < 2.00m (Sez. L) ... 69
*10.7.1. Carichi ... 69*
*10.7.2. Verifiche geotecniche ... 70*
*10.7.3. Verifiche strutturali ... 71*
10.8. Sezione tipo 8 - H < 2.00m (sottoscarpa) ... 74
*10.8.1. Carichi ... 74*
*10.8.2. Verifiche geotecniche ... 75*
*10.8.3. Verifiche strutturali ... 76*
10.9. Sezione tipo 9 - H < 1.50m ... 79
*10.9.1. Carichi ... 79*
*10.9.2. Verifiche geotecniche ... 80*
*10.9.3. Verifiche strutturali ... 80*
10.10. Verifiche strutturali condizione di urto ... 83
*10.10.1. Altezza paramento H = 1.00m ... 83*
*10.10.2. Altezza paramento H = 2.00m ... 85*
*10.10.3. Altezza paramento H = 2.80m ... 88*
*10.10.4. Altezza paramento H = 4.00m ... 90*
**11. CORDOLO PORTA BARRIERA DI COLLEGAMENTO MU03 ... 93**
11.1. Analisi dei carichi ... 93
11.2. Verifica strutturale ... 96

*11.2.1. Verifica sezione A – combinazione eccezionale ... 96*
*11.2.2. Verifica sezione B – combinazione eccezionale ... 96*
*11.2.3. Verifica sezione B ... 97*
11.3. Verifica degli inghisaggi ... 99
**12. SCALA IN CEMENTO ARMATO ... 103**
12.1. Carichi e sollecitazioni ... 104
12.2. Verifiche strutturali gradino ... 105
12.3. Verifiche strutturali plinto ... 106
**13. SCALA METALLICA ... 109**
13.1. Analisi dei carichi e coefficienti di carico ... 111
13.2. I parapetti ... 111
13.3. I cosciali UPN180 ... 114
13.4. La fondazione ... 123
**14. VALIDAZIONE DEL SOFTWARE DI CALCOLO ... 130**

# 1. PREMESSA

Nell'ambito della progettazione esecutiva relativa alla sistemazione, nel comune di Erba, della viabilità esistente su via Milano, è prevista la realizzazione di nuovi muri di sostegno al fine di ampliare la sede stradale esistente. Tali opere saranno realizzate con muri di sostegno in calcestruzzo armato gettati in opera.
Nella presente relazione sono riassunti i calcoli statici di verifica di tali muri, in particolare saranno esposte: le caratteristiche geometriche, le condizioni di carico, le condizioni geotecniche, le ipotesi e i criteri generali di calcolo delle sezioni dimensionate e un sunto dei risultati ottenuti.
In specifico allegato alla presente sono invece riportati in dettaglio: i tabulati di calcolo per le varie tipologie calcolate e le verifiche locali per i muri soggetti all'azione da urto di veicoli in svio.
Oltre alle opere di sostegno sono previste alcune opere secondarie costituite da un cordolo porta barriera di sicurezza in cemento armato e delle scale in cemento armato e carpenteria metallica, anch'esse descritte e verificate nella presente relazione.

# 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

## 2.1. Normativa nazionale

- Legge 05/11/1971, n°1086 – Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso e a struttura metallica.

- D.M. 17/01/2018 – Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni.

- Circolare 21/01/201, n°7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. del 17/01/2018.

## 2.2. Normativa europea

- UNI EN 1992-1-1:2015 – Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.

- UNI EN 206:2021 – Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità.

- UNI 11104:2016 – Calcestruzzo – Specificazioni, prestazione e conformità – Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206.

# 3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

A seguire la caratterizzazione geotecnica utilizzata per il dimensionamento delle opere di sostegno. Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione geotecnica allegata al progetto.

## 3.1. Modello geotecnico

Stralcio relazione geotecnica:

NOTA: Per le verifiche dei muri di sostegno si utilizzerà cautelativamente il valore **minimo** relativamente a $\gamma$ e $\phi'$ e il valore medio di **Eop** per la stima dei cedimenti.

## 3.2. Falda

Stralcio relazione geotecnica:

### 9 PIEZOMETRIA

Per la definizione della linea di falda nel tratto in esame, si è fatto riferimento a quanto rilevato durante l'esecuzione dei sondaggi più recenti e dalle indicazioni trovate sulla relazione geologica risalente al 2013 [23], in modo da tenere conto anche di una eventuale oscillazione stagionale.
Si osserva che la falda si attesta ad una quota di circa 266 m s.l.m. nell'area in esame, con un'oscillazione stagionale di circa +/- 3 ÷ 4m rispetto alla quota 264 m s.l.m. Pertanto, per la progettazione si raccomanda di adottare una falda a quota piano di fondazione.

## 3.3. Liquefazione

Stralcio relazione geotecnica:

Sulla base dei risultati dell'analisi sismica si ottiene che le accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero sono minori di 0.1g, verificando così uno dei criteri di esclusione forniti dalle NTC 2018. Pertanto, la verifica alla liquefazione è implicitamente soddisfatta.

### 3.4. Bonifica piano di posa

Dato che secondo i sondaggi effettuati risulta che lo spessore dello strato superficiale di riporto può raggiungere anche i 2.00m, è stato previsto, dove necessario al di sotto delle opere fondali, uno spessore minimo di bonifica pari a 1.00m e comunque di altezza sufficiente alla completa rimozione del riporto. A tal proposito si veda lo schema di seguito esposto.

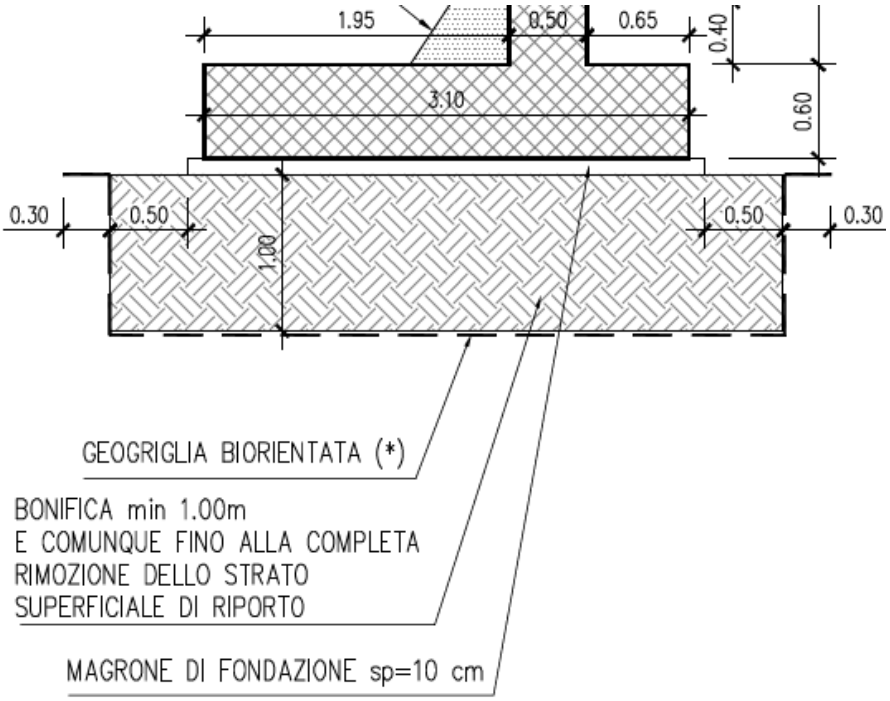



*Figura 3.1 – Schema bonifica*

Lo strato di bonifica sarà realizzato mediante scavo a sezione ristretta sotto l'intera area di fondazione con posa a contatto del terreno naturale di una geogriglia biorientata a maglia rettangolare in polietilene. Successivamente il terreno scavato sarà sostituito con materiale di buone caratteristiche geotecniche da compattarsi in situ tramite compattatore meccanico di almeno 20 ton. Il riporto di materiale granulare, costipato ogni 0.20m, sarà sufficiente a garantire un modulo elastico simile a quello di un terreno moderatamente addensato (25-30 N/mmq).

## 3.5. Pericolosità sismica

A seguire si riporta la caratterizzazione geotecnica del sito in esame (per maggiori dettagli si rimanda alla relazione geotecnica).

*Figura 3.2 – Vista aerea sito di riferimento*

Classe d'uso: III

Coeff. d'uso: 1.50

Vina nominale Vn = 50 anni

Categoria sottosuolo: **C** (vedasi rel. geotecnica)

Coeff. topografico: **T1** (vedasi rel. geotecnica)

**2.4.2. CLASSI D'USO**

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

*Classe I:* Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

*Classe II:* Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

*Classe III:* Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

*Classe IV:* Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

**Tab. 2.4.II** – *Valori del coefficiente d'uso* $C_U$

| CLASSE D'USO | I | II | III | IV |
|---|---|---|---|---|
| COEFFICIENTE $C_U$ | 0,7 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |

*Figura 3.3 – Stralcio normativo*

| SL | $T_R$ (anni) | $a_g$ (g) | Fo (-) | Tc* (s) |
|---|---|---|---|---|
| SLO | 45 | 0.021 | 2.570 | 0.178 |
| SLD | 75 | 0.026 | 2.602 | 0.194 |
| SLV | 712 | 0.052 | 2.666 | 0.289 |
| SLC | 1462 | 0.063 | 2.715 | 0.305 |

*Figura 3.4 – Parametri sismici di riferimento (da relazione geotecnica)*

# 4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

## 4.1. Calcestruzzo fondazioni ed elevazioni muri di sostegno e cordoli

Classe di esposizione ambientale:

Fondazioni Elevazioni Cordoli

**Tab. 4.1.III** – *Descrizione delle condizioni ambientali*

| Condizioni ambientali | Classe di esposizione |
|---|---|
| Ordinarie | X0, XC1, XC2, XC3, XF1 |
| Aggressive | XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3 |
| Molto aggressive | XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4 |

*Figura 4.1 – Tabella 4.1.III NTC2018*

Scelta calcestruzzo per fondazioni ed elevazioni muri:

prospetto 5 **Valori limite per la composizione e le proprietà del calcestruzzo**

| | Classi di esposizione | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nessun rischio di corrosione dell'armatura | Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione | | | | Corrosione delle armature indotta da cloruri | | | | | | Attacco da cicli di gelo/disgelo | | | |
| | | | | | | Acqua di mare | | | Cloruri provenienti da altre fonti | | | | | | |
| | X0 | XC1 | XC2 | XC3 | XC4 | XS1 | XS2 | XS3 | XD1 | XD2 | XD3 | XF1 | XF2 | XF3 | XF4 |
| Massimo rapporto *a/c* | - | 0,60 | | 0,55 | 0,50 | 0,50 | 0,45 | | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,50 | 0,50 | | 0,45 |
| Minima classe di resistenza | C12/15 | C25/30 | | C30/37 | C32/40 | C32/40 | C35/45 | | C30/37 | C32/40 | C35/45 | C32/40 | C25/30 | | C30/37 |
| Minimo contenuto in cemento (kg/m³) d) | - | 300 | | 320 | 340 | 340 | 360 | | 320 | 340 | 360 | 320 | 340 | | 360 |
| Contenuto minimo in aria (%) | | | | | | | | | | | | b) | 4,0 a) | | |
| Altri requisiti | | | | | | E' richiesto l'utilizzo di cementi resistenti all'acqua di mare secondo UNI 9156 | | | | | | E' richiesto l'utilizzo di aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo | | | |

*Figura 4.2 – Prospetto 5 UNI 11104:2016*

Riepilogo caratteristiche calcestruzzo per elevazione muri:

| | |
|---|---|
| Classe di resistenza | **C32/40** |
| classe di esposizione | XC4-XF1 |
| minimo contenuto di cemento | 340 kg/mc |
| massimo rapporto a/c | 0.50 |
| classe di consistenza | S4 |
| massima dimensione aggregati | 20 mm |

| | |
|---|---|
| copriferro minimo | cf,min 40 mm (vedasi calcolo a seguire) |
| modulo elastico C32/40 | Ec = 33346 MPa |
| resistenza caratteristica cubica | Rck = 40 MPa |
| resistenza caratteristica cilindrica | fck = 32 MPa |
| resistenza di calcolo calcestruzzo | fcd = fck / $\gamma$c |
| con | $\gamma$c = 1.50 per SLU |
| resistenza di calcolo SLU | fcd = fck x 0.85 / $\gamma$c = 18.13 MPa |
| limite di compressione (combinazione rara) | $\sigma$c ≤ 0.60 x fck = 19.20 MPa |

Riepilogo caratteristiche calcestruzzo per fondazioni muri:

| | |
|---|---|
| Classe di resistenza | **C25/30** |
| classe di esposizione | XC2 |
| minimo contenuto di cemento | 300 kg/mc |
| massimo rapporto a/c | 0.60 |
| classe di consistenza | S4 |
| massima dimensione aggregati | 20 mm |
| copriferro minimo | cf,min 40 mm (vedasi calcolo a seguire) |
| modulo elastico C25/30 | Ec = 31476 MPa |
| resistenza caratteristica cubica | Rck = 30 MPa |
| resistenza caratteristica cilindrica | fck = 25 MPa |
| resistenza di calcolo calcestruzzo | fcd = fck / $\gamma$c |
| con | $\gamma$c = 1.50 per SLU |
| resistenza di calcolo SLU | fcd = fck x 0.85 / $\gamma$c = 14.16 MPa |
| limite di compressione (combinazione rara) | $\sigma$c ≤ 0.60 x fck = 15.00 MPa |

Riepilogo caratteristiche calcestruzzo per cordoli muri:

| | |
|---|---|
| Classe di resistenza | **C35/45** |
| classe di esposizione | XC4-XF4 |
| minimo contenuto di cemento | 360 kg/mc |
| massimo rapporto a/c | 0.45 |
| classe di consistenza | S4 |
| massima dimensione aggregati | 20 mm |
| copriferro minimo | cf,min 50 mm (vedasi calcolo a seguire) |
| modulo elastico C35/45 | Ec = 34077 MPa |
| resistenza caratteristica cubica | Rck = 45 MPa |
| resistenza caratteristica cilindrica | fck = 35 MPa |
| resistenza di calcolo calcestruzzo | fcd = fck / $\gamma$c |
| con | $\gamma$c = 1.50 per SLU |
| resistenza di calcolo SLU | fcd = fck x 0.85 / $\gamma$c = 19.83 MPa |
| limite di compressione (combinazione rara) | $\sigma$c ≤ 0.60 x fck = 21.00 MPa |

Calcolo copriferri minimi:

**Tabella C4.1.IV** - *Copriferri minimi in mm*

| | | | barre da c.a. elementi a piastra | | barre da c.a. altri elementi | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{min}$ | $C_o$ | ambiente | $C \geq C_o$ | $C_{min} \leq C < C_o$ | $C \geq C_o$ | $C_{min} \leq C < C_o$ |
| C25/30 | C35/45 | ordinario | 15 | 20 | 20 | 25 |
| C30/37 | C40/50 | aggressivo | 25 | 30 | 30 | 35 |
| C35/45 | C45/55 | molto ag. | 35 | 40 | 40 | 45 |

*Figura 4.3 – Tabella C4.1.IV Circolare 7/2019*

I valori dei copriferri minimi riportati in tabella si riferiscono a Vn = 50 anni
Tolleranze di posa = 10 mm.
Copriferro minimo totale (assunto sia **per elevazioni** che **fondazioni**) = 30 mm + 10 mm = **40 mm**
Copriferro minimo totale per **cordoli** = 40 mm + 10 mm = **50 mm**

## 4.2. Acciaio per c.a.

Barre ad aderenza migliorata, saldabile, tipo **B450C** dotato delle seguenti caratteristiche meccaniche:

| | |
|---|---|
| modulo elastico | Es = 210000 MPa |
| resistenza caratteristica a rottura | ftk ≥ 540 MPa |
| resistenza caratteristica a snervamento | fyk ≥ 450 MPa |
| resistenza di calcolo acciaio | fyd = fyk / $\gamma$s = 391.3 MPa |
| con | $\gamma$s = 1.15 per SLU |
| limite di trazione (combinazione rara) | $\sigma$s ≤ 0.80 x fyk = 360 Mpa |

## 5. SOFTWARE DI CALCOLO

I software utilizzati nella redazione della presente relazione di calcolo sono:

- Max 16.0 – Aztec Informatica per il dimensionamento dei muri di sostegno.
- Microsoft Word per la stesura delle relazioni;
- Microsoft Excel per verifiche varie per mezzo di fogli autoprodotti e validati;

## 6. DESCRIZIONE DEI MURI DI SOSTEGNO

Lungo lo sviluppo del tracciato si rendono necessarie opere di sostegno di varia geometria, si riconoscono muri di sostegno standard, su cui può essere istallata la barriera sicurvia o un parapetto e muri di sottoscarpa.
Le fondazioni sono superficiali, ma per garantire un livello di spostamenti accettabile è prevista la bonifica dello strato sottostante il piano di imposta come descritto nel precedente paragrafo.
Ove necessario, allo scopo di evitare interferenza con sottoservizi, a tergo dei muri sono previste delle opere provvisionali realizzate con palancole metalliche verticali variamente puntonate. Si rimanda agli specifici elaborati per una dettagliata descrizione.
A tergo dell'elevazione dei muri, come sistema di impermeabilizzazione, è prevista la presenza di un geocomposito drenante con lo scopo di convogliare le acque verso un tubo microfessurato posto alla base del muro. Ad interasse di circa 3.0m è poi previsto un tubo di scarico che evita l'accumularsi di acque a tergo del paramento.

### 6.1. Sezioni tipologiche di calcolo dei muri

Di seguito si ripota una rappresentazione grafica delle sezioni tipologiche analizzate.

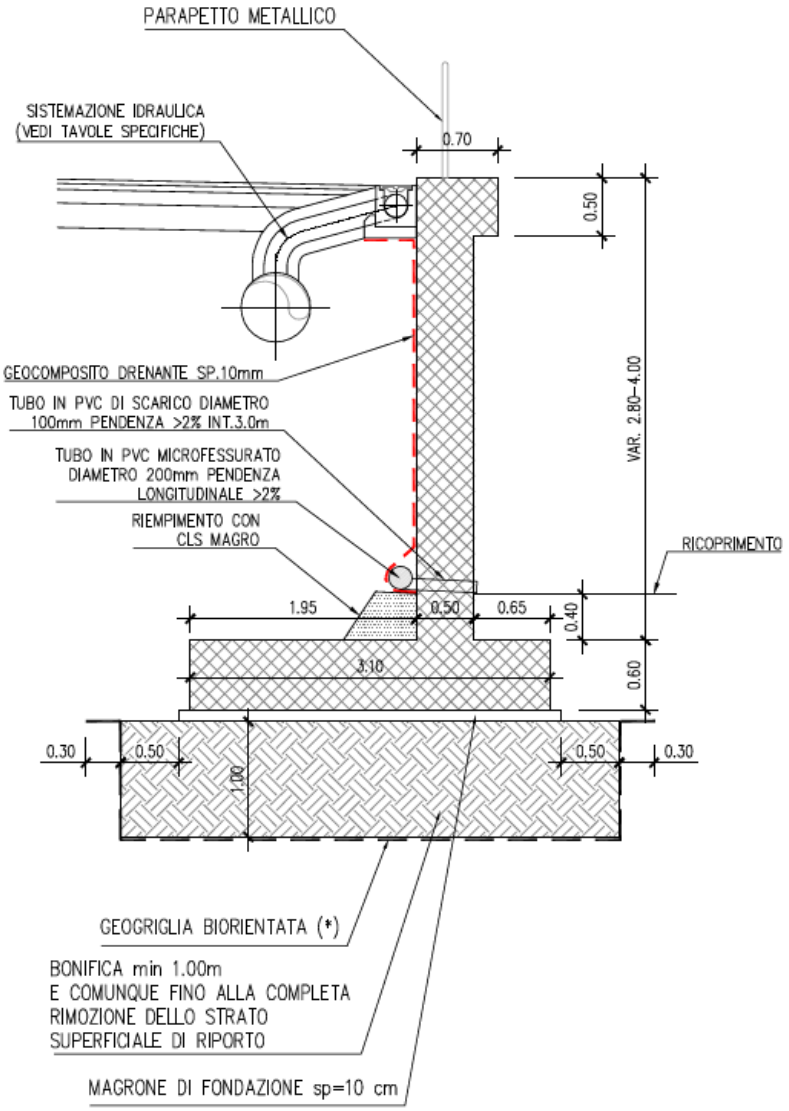



*Figura 6.1* – Sezione *tipo 1*

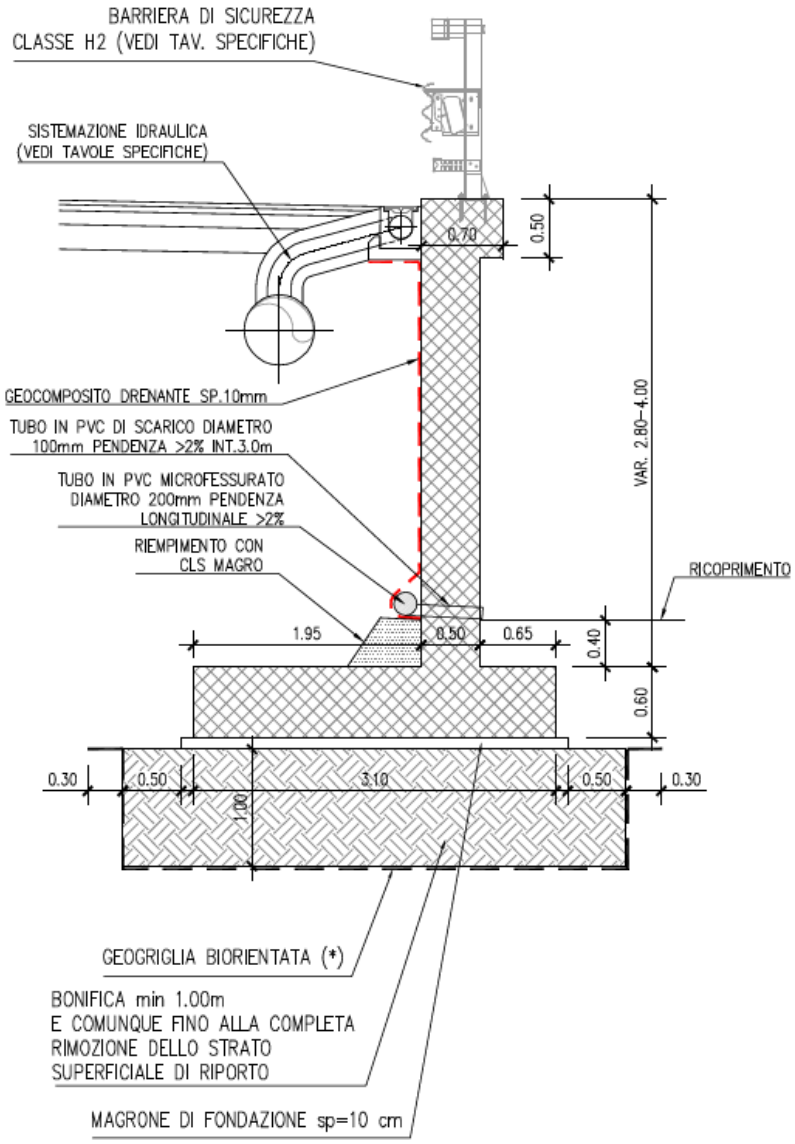



*Figura 6.2 – Sezione tipo 2*

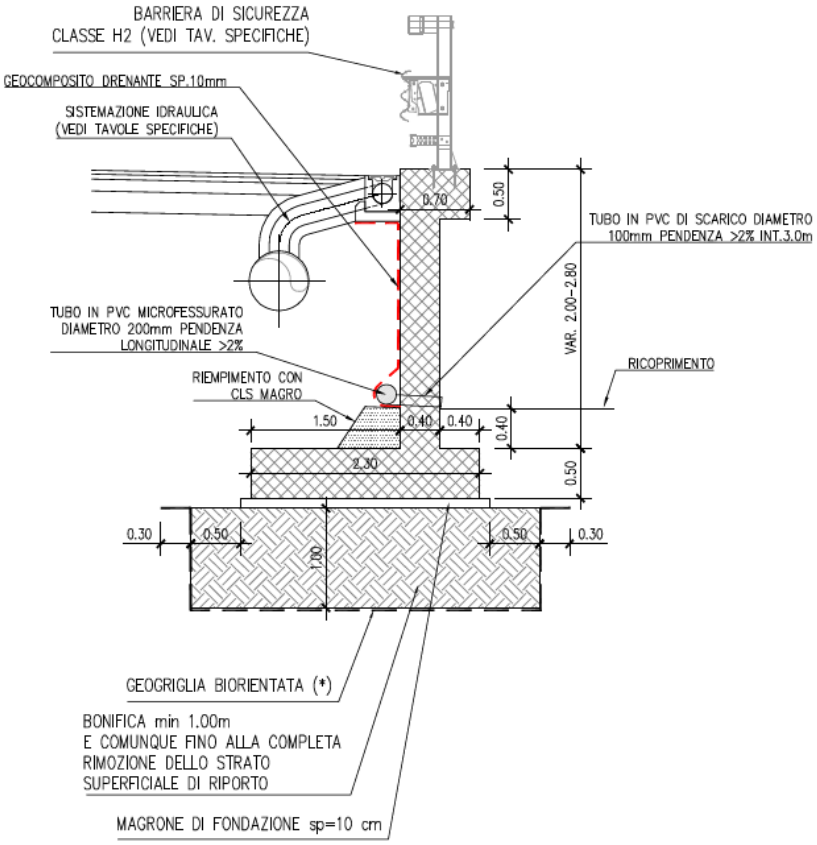



*Figura 6.3 – Sezione tipo 3*

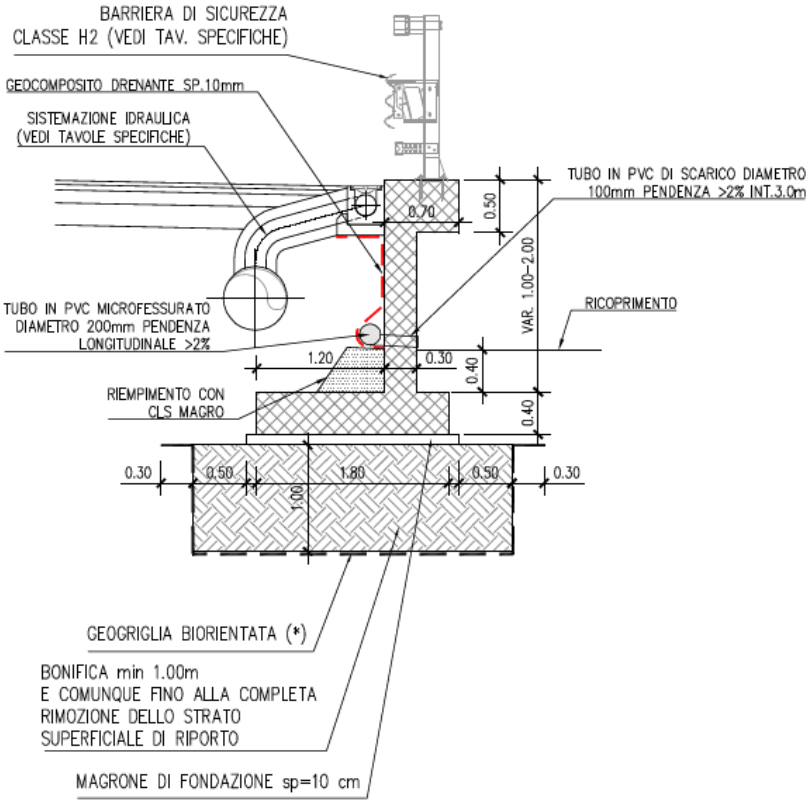



*Figura 6.4 – Sezione tipo 4*

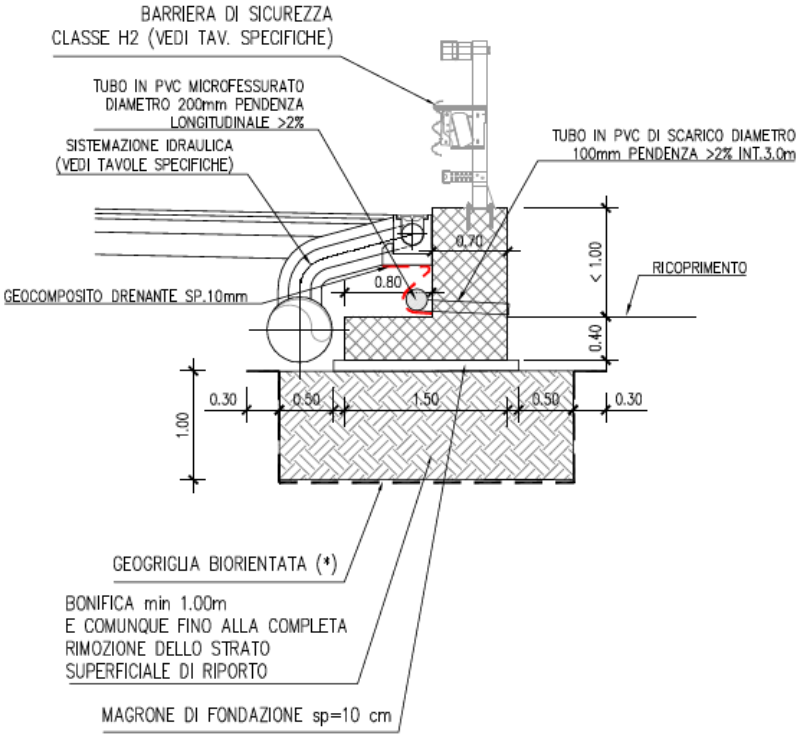



*Figura 6.5 – Sezione tipo 5*

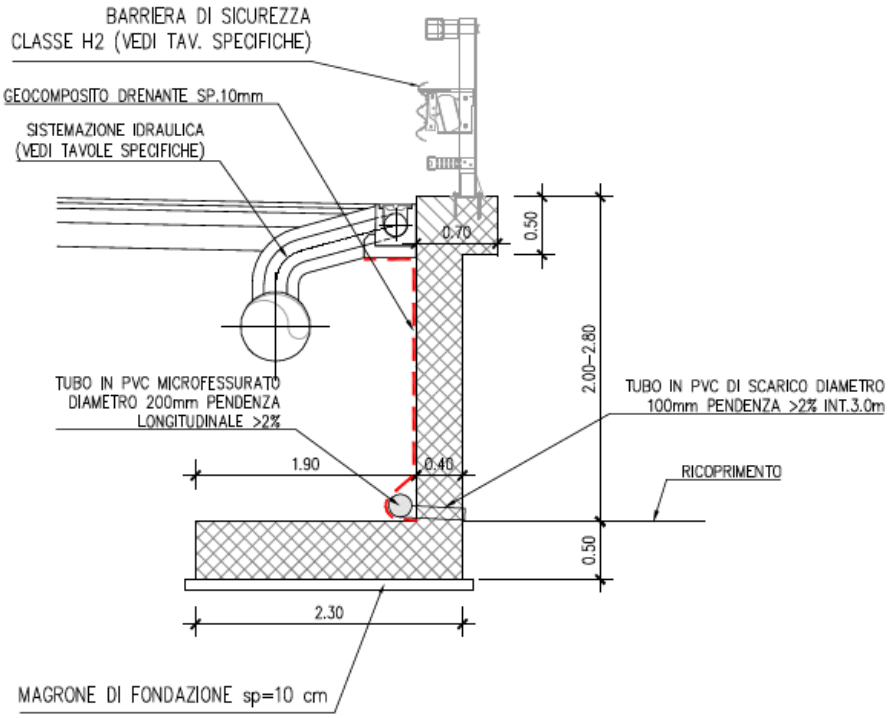



*Figura 6.6 – Sezione tipo 6*

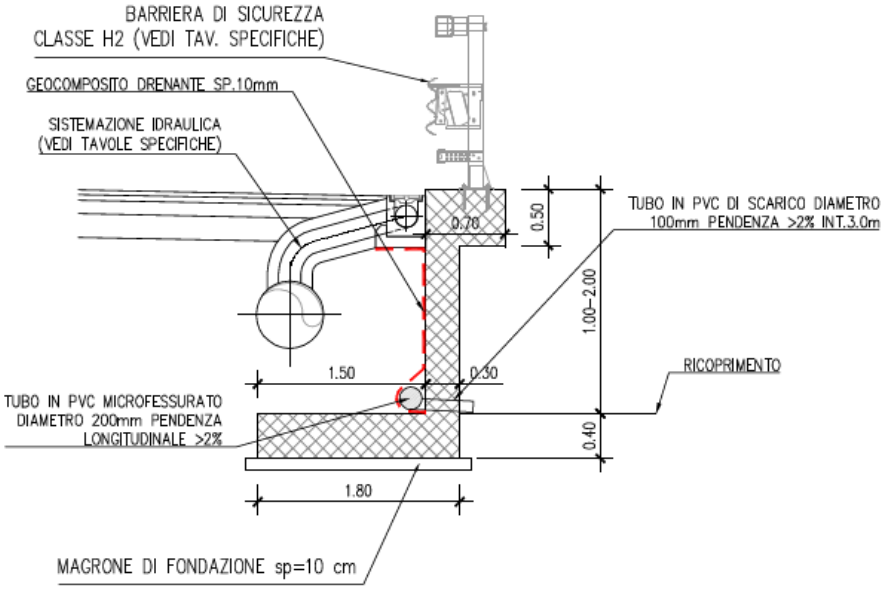



*Figura 6.7 – Sezione tipo 7*

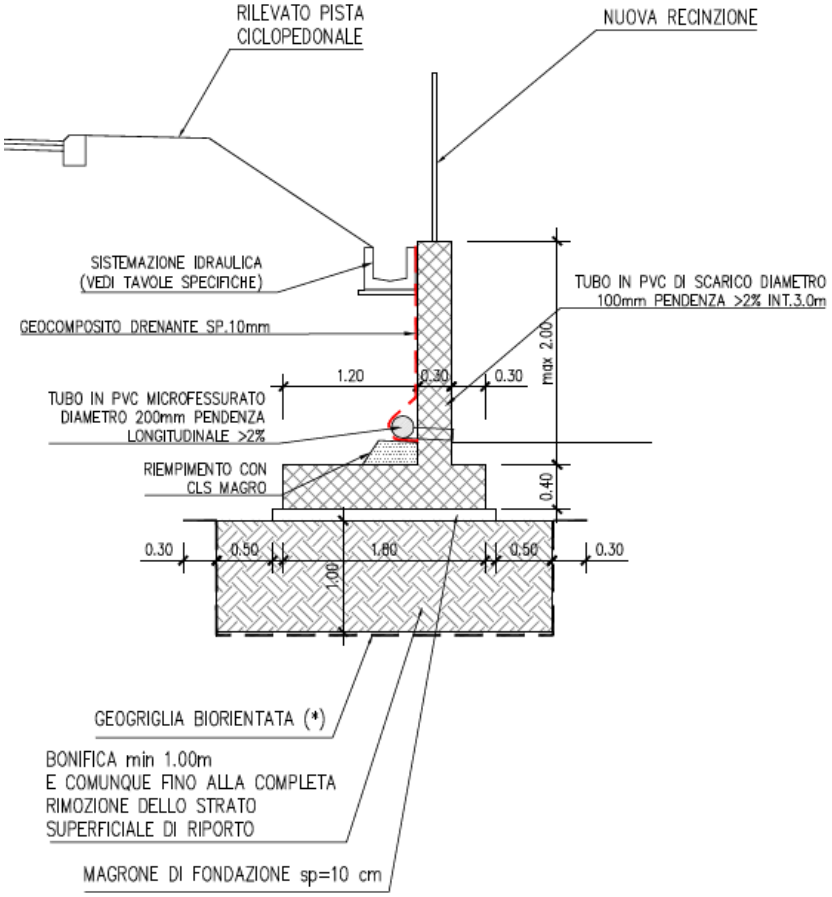



*Figura 6.8 – Sezione tipo 8*

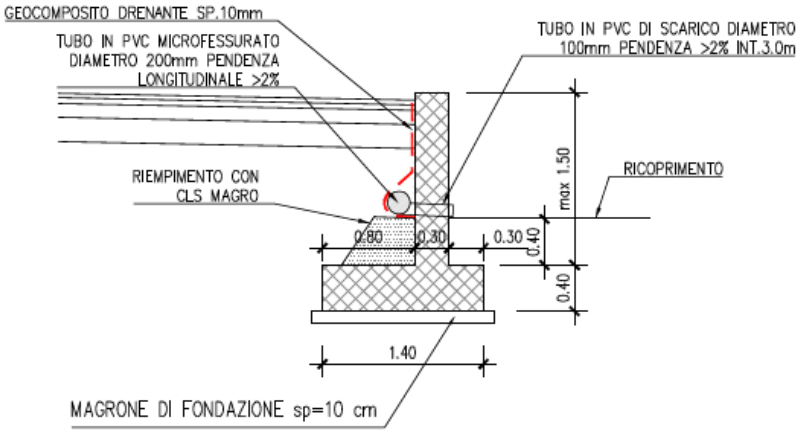



*Figura 6.9 – Sezione tipo 9*

## 6.2. Muri d sostegno

A seguire si elencano le caratteristiche salienti di ciascun muro presente a progetto. Per la nomenclatura si rimanda a quanto presente sulle tavole grafiche.

### *6.2.1. Muro 01*

- Altezza elevazione variabile tra 3.20m e 4.00m circa;
- Assenza di barriera di sicurezza in sommità muro;
- Presenza di tubatura SNAM che in alcuni tratti interferisce con gli scavi necessari alla realizzazione dell'opera di sostegno. Necessarie opere provvisionali.
- Diffusione carico da urto per verifiche globali (lunghezza minima concio) = 10.00 m. Il carico da urto risultante è pari a (cautelativamente si utilizza l'altezza massima del muro):
  F = 100 kN/10.00m = 10 kN/m – M = 100 kNm/10m = 10 kNm/m
- Verifiche strutturali del paramento sotto il carico da urto eseguite considerando una diffusione a 45° del carico stesso fino a estradosso fondazione. Tale verifica sarà eseguita separatamente rispetto a quanto implementato all'interno del software di calcolo.
- Spessore elevazione = 0.50 m;
- Spessore fondazione = 0.60 m.

### *6.2.2. Muro 02*

- Altezza elevazione pari a 1.90m;
- Assenza di barriera di sicurezza in sommità muro;
- Muro di sottoscarpa con rilevato Hmax = 1.20m circa da sommità muro.
- Spessore elevazione = 0.30 m;
- Spessore fondazione = 0.40 m.

### *6.2.3. Muro 03*

- Altezza elevazione variabile tra 1.55m e 3.65m circa;
- Presenza di barriera di sicurezza in sommità muro;
- Diffusione carico da urto per verifiche globali (lunghezza minima concio) = 10.00 m. Il carico da urto risultante è pari a (cautelativamente si utilizza l'altezza massima del muro):
  F = 100 kN/10.00m = 10 kN/m – M = 100 kNm/10m = 10 kNm/m

- Verifiche strutturali del paramento sotto il carico da urto eseguite considerando una diffusione a 45° del carico stesso fino a estradosso fondazione. Tale verifica sarà eseguita separatamente rispetto a quanto implementato all'interno del software di calcolo.
- Spessore elevazione = 0.30-0.40-0.50 m;
- Spessore fondazione = 0.40-0.50-0.60 m.

### *6.2.4. Muro 04*

- Altezza elevazione variabile tra 0.60m e 2.00m circa;
- Presenza di barriera di sicurezza in sommità muro;
- Opera interferente con tubatura SNAM lungo tutto il suo sviluppo. Si rende necessario lo spostamento della tubatura stessa prima dell'inizio dei lavori.
- Diffusione carico da urto per verifiche globali (lunghezza minima concio) = 10.00 m. Il carico da urto risultante è pari a (cautelativamente si utilizza l'altezza massima del muro):
  F = 100 kN/10.00m = 10 kN/m – M = 100 kNm/10m = 10 kNm/m
- Verifiche strutturali del paramento sotto il carico da urto eseguite considerando una diffusione a 45° del carico stesso fino a estradosso fondazione. Tale verifica sarà eseguita separatamente rispetto a quanto implementato all'interno del software di calcolo.
- Spessore elevazione = 0.30 m;
- Spessore fondazione = 0.40 m.

### *6.2.5. Muro 05*

- Altezza elevazione variabile tra 0.55m e 2.75m circa;
- Presenza di barriera di sicurezza in sommità muro;
- Diffusione carico da urto per verifiche globali (lunghezza minima concio) = 10.00 m. Il carico da urto risultante è pari a (cautelativamente si utilizza l'altezza massima del muro):
  F = 100 kN/10.00m = 10 kN/m – M = 100 kNm/10m = 10 kNm/m;
- Verifiche strutturali del paramento sotto il carico da urto eseguite considerando una diffusione a 45° del carico stesso fino a estradosso fondazione. Tale verifica sarà eseguita separatamente rispetto a quanto implementato all'interno del software di calcolo.
- Spessore elevazione = 0.30-0.40-0.70 m;
- Spessore fondazione = 0.40-0.50 m;
- Dato che questo muro dovrà essere realizzato a tergo di un'opera di sostegno esistente, presenterà la sezione trasversale con configurazione ad "L" al fine di limitare l'ingombro del muro stesso.

### *6.2.6. Muro 06*

- Altezza elevazione variabile tra 0.86m e 1.42m circa;
- Nessuna barriera di sicurezza in sommità muro;
- Presenza di recinzione metallica in sommità muro;
- Presenza di muretto di recinzione da demolire in prossimità alla nuova opera di sostegno;
- Spessore elevazione = 0.30 m;
- Spessore fondazione = 0.40 m.

### 6.3. Riepilogo

Si riporta di seguito una tabella riepilogativa con indicazione del muro e delle sezioni tipo associate:

| OPERA | progr. km inizio | progr. km fine | L (m) | Sezioni tipo |
|---|---|---|---|---|
| **MS01** | 0+091.47(R) | 0+101.49(B) | 45.18 | 1 |
| **MS02** | 0+083.06(B) | 0+095.55(B) | 12.52 | 8 |
| **MS03** | 0+070.50(R) | 0+125,00 | 11.25+110.9 | 2, 3 |
| **MS04** | 0+322.21 | 0+467.07 | 145.01 | 3, 4 |
| **MS05** | 0+274.50 | 0+472.05 | 197.60 | 5, 6, 7 |
| **MS06** | 0+328.11(A) | 0+022.67(E) | 20.71 | 9 |

## 7. ANALISI DEI CARICHI MURI

### 7.1. Carichi permanenti

I carichi permanenti (pesi propri strutturali e spinta delle terre) sono calcolati in automatico dal software di calcolo. Nei capitoli a seguire saranno riportate nello specifico le ipotesi assunte, che per semplicità sono comunque di seguito riepilogate:

- Peso specifico cls = 25.00 kN/mc
- Peso specifico terreno spingente (rilevato) = 19.00 kN/mc
- Angolo d'attrito terreno spingente (rilevato) = 35°
- Angolo di attrito terra-muro terreno spingente = 2/3 $\phi$ = 23.33°
- Peso barriera di sicurezza = 1.00 kN/m
- Peso cordolo per barriera: vedasi schema a seguire (cautelativamente sarà considerato il peso maggiore del cordolo per tutte le tipologie di opere su cui è prevista la barriera di sicurezza).

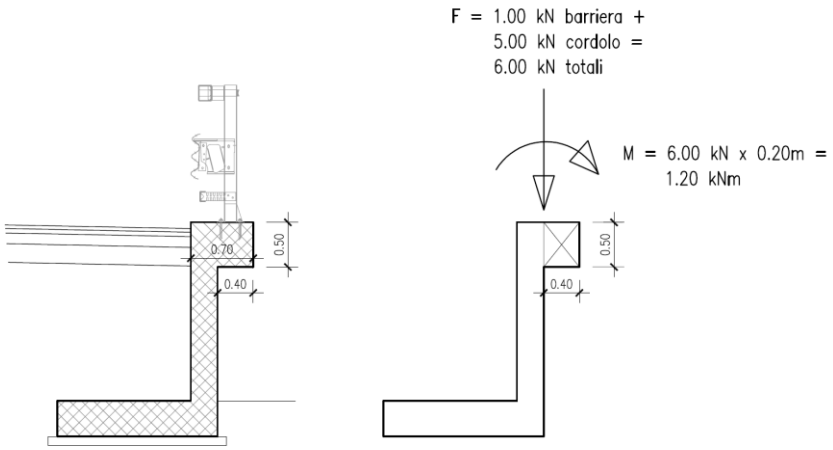



*Figura 7.1 – Computo carichi dovuti a barriera e cordolo*

## 7.2. Carico da traffico

Al fine di simulare la presenza del traffico veicolare a tergo delle opere di sostegno, si considera un sovraccarico variabile pari a **20.00 kN/mq** come da prassi consolidata. Il valore "Quasi Permanente" di tale carico sarà computato utilizzando il coeff. **ψ2 = 0.20** come da indicazioni presenti al paragrafo 5.1.3.12 delle NTC2018 e relativo ai ponti stradali (vedasi stralcio a seguire).

**5.1.3.12 AZIONI SISMICHE: E**

Per le azioni sismiche si devono rispettare le prescrizioni di cui ai §§ 2.5.3 e 3.2.

Nelle espressioni [2.5.5] e [2.5.7] si assume, di regola, per i carichi dovuti al transito dei mezzi $\psi_{2j} = 0{,}0$.

Ove necessario, per esempio per ponti in zona urbana di intenso traffico, si assume per i carichi dovuti al transito dei mezzi $\psi_{2j} = 0{,}2$, quando rilevante, sia nella combinazione delle azioni, sia per la definizione dell'effetto dell'azione sismica.

Relativamente al carico afferente alla pista ciclabile si assume invece **5.00 kN/mq.**

I carichi da traffico sopra descritti, all'interno dei modelli di calcolo riportati nei capitoli a seguire, saranno disposti secondo due distinte configurazioni al fine di massimizzare le sollecitazioni sia sul paramento che in fondazione. La prima configurazione ("Variabile_1" nei modelli di calcolo) prevede il carico mobile a filo del paramento, mentre la seconda configurazione ("Variabile_2" nei modelli di calcolo) prevede il carico mobile a filo della mensola di monte della fondazione.

## 7.3. Urto

Per i muri su cui è prevista l'installazione della barriera di sicurezza si prevede il carico da urto come indicato al paragrafo 3.6.3.3.2 delle NTC2018. Vedasi lo stralcio normativo riportato a seguire.

**3.6.3.3.2 Traffico veicolare sopra i ponti**

In assenza di specifiche prescrizioni, nel progetto strutturale dei ponti si può tener conto delle forze causate da collisioni accidentali sugli elementi di sicurezza attraverso una forza orizzontale equivalente di collisione pari a 100 kN. Essa rappresenta l'effetto dell'impatto da trasmettere ai vincoli e deve essere considerata agente trasversalmente ed orizzontalmente 100 mm sotto la sommità dell'elemento o 1,0 m sopra il livello del piano di marcia, a seconda di quale valore sia più piccolo.

Le azioni da considerare nelle verifiche locali dell'impalcato dovranno essere definite in accordo al § 5.1.3.10.

Le forze di collisione da veicoli sugli elementi strutturali eventualmente presenti al disopra del livello di carreggiata sono quelle specificate nel § 3.6.3.3.1

Si considera quindi un carico da urto pari a 100 kN posto a 1.00m di altezza dal piano stradale. La ripartizione di tale carico sulle opere di sostegno sarà eseguita secondo i seguenti criteri:

- Per le verifiche strutturali del paramento si considera una diffusione a 45° a partire dalla sommità del muro. Il carico da urto sarà perciò ripartito su una porzione di opera lunga 2 volte l'altezza a cui va sommata la distanza compresa tra numero 3 montanti della barriera di sicurezza assunta pari a 2.00m. Si ipotizza infatti che il carico da urto si ripartisca su 3 montanti della barriera stessa.
- Per le verifiche "globali" (ribaltamento, scorrimento, capacità portante) si considera una lunghezza di diffusione pari alla lunghezza del singolo concio di muro (il muro può scorrere e/o ribaltarsi nella sua interezza). Eventualmente potrà essere adottata la medesima diffusione del punto precedente (maggiormente restrittiva) se non dimensionante. La dimensione **minima** del singolo concio di opera assunta nel dimensionamento è pari a 10.00m

NOTA:

- In carico da urto è un carico “eccezionale” quindi ai fini del calcolo delle verifiche “globali” si considera un coefficiente di sicurezza unitario. Anche il coefficiente parziale di sicurezza sui materiali, ai fini delle verifiche strutturali, sarà considerato unitario come da normativa vigente (maggiori dettagli saranno riportati nei capitoli a seguire).

## 7.4. Azioni sismiche

Le azioni sismiche sono computate in automatico dal software di calcolo avendo inserito i parametri sismici riportati nel capitolo specifico. Nel form a seguire si riassumono le ipotesi assunte:

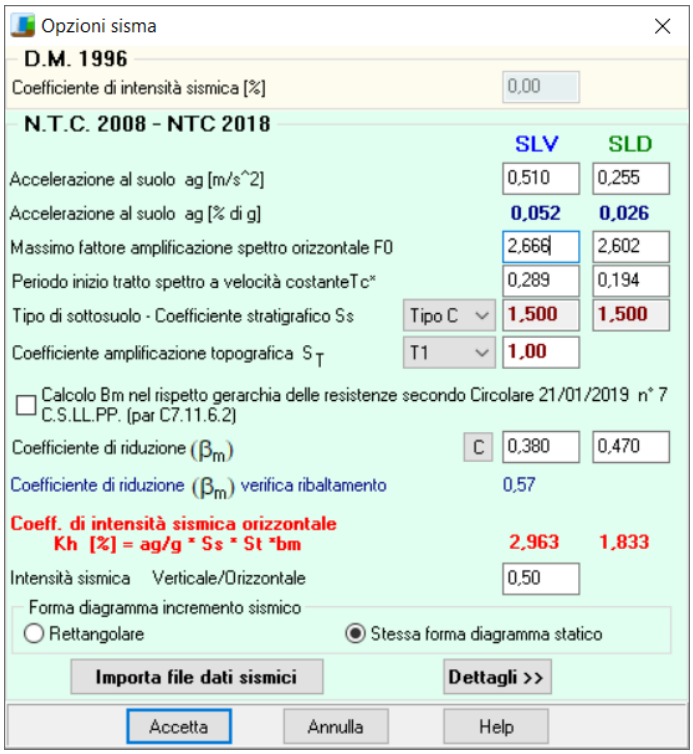



*Figura 7.2 – Riepilogo input sismico (fondazioni superficiali)*

Si osservi che, come da normativa vigente (vedasi stralcio riportato a seguire):

- βm = 0.38 per SLV;
- βm = 0.47 per SLD;
- Per i muri liberi di traslare o di ruotare attorno al piede (come per i muri su fondazione superficiale), si può assumere che l’incremento di spinta dovuto al sisma, agisca nello stesso punto di quella statica;
- Nella verifica a ribaltamento allo SLV il coeff. βm sarà incrementato del 50% rispetto ai valori sopra esposti (βm, ribaltamento, SLV = 0.38 x 1.50 = 0.57);

**7.11.6.2.1 Metodi di analisi**

A meno di specifiche analisi dinamiche, l'analisi della sicurezza dei muri di sostegno in condizioni sismiche può essere eseguita mediante i metodi pseudo-statici e i metodi degli spostamenti.

Se la struttura può spostarsi, l'analisi pseudo-statica si esegue mediante i metodi dell'equilibrio limite. Il modello di calcolo deve comprendere l'opera di sostegno, il volume di terreno a tergo dell'opera, che si suppone in stato di equilibrio limite attivo, e gli eventuali sovraccarichi agenti sul volume suddetto.

Nell'analisi pseudo-statica, l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Nelle verifiche, i valori dei coefficienti sismici orizzontale $k_h$ e verticale $k_v$ possono essere valutati mediante le espressioni

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g} \qquad [7.11.6]$$

$$k_v = \pm 0{,}5 \cdot k_h \qquad [7.11.7]$$

dove

$\beta_m$ = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{max}$ = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione

$$a_{max} = S \cdot a_g = (S_S \cdot S_T) \cdot a_g \qquad [7.11.8]$$

dove

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ($S_S$) e dell'amplificazione topografica ($S_S$), di cui al § 3.2.3.2;

$a_g$ = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Nella precedente espressione, il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito è pari a:

$\beta_m$ = 0.38 nelle verifiche allo stato limite ultimo (*SLV*)

$\beta_m$ = 0.47 nelle verifiche allo stato limite di esercizio (*SLD*).

Per muri non liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente $\beta_m$ assume valore unitario. I valori del coefficiente $\beta_m$ possono essere incrementati in ragione di particolari caratteristiche prestazionali del muro, prendendo a riferimento il diagramma di Figura 7.11.3 di cui al successivo § 7.11.6.3.2.

Nel caso di muri di sostegno liberi di traslare o di ruotare intorno al piede, si può assumere che l'incremento di spinta dovuta al sisma agisca nello stesso punto di quella statica. Negli altri casi, in assenza di specifici studi, si deve assumere che tale incremento sia applicato a metà altezza del muro.

Lo stato limite di ribaltamento deve essere trattato impiegando coefficienti parziali unitari sulle azioni e sui parametri geotecnici (§ 7.11.1) e utilizzando valori di $\beta_m$ incrementati del 50% rispetto a quelli innanzi indicati e comunque non superiori all'unità.

*Figura 7.3 – Stralcio normativo NTC2018*

# 8. COMBINAZIONI DI CARICO

A seguire si riporta l'elenco delle combinazioni di carico previste dalla norme e quelle effettivamente implementate.

### 2.5.3. COMBINAZIONI DELLE AZIONI

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

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):
  $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \ldots$ [2.5.1]
- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:
  $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \ldots$ [2.5.2]
- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:
  $G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \ldots$ [2.5.3]
- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:
  $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \ldots$ [2.5.4]
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:
  $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \ldots$ [2.5.5]
- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:
  $G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \ldots$ [2.5.6]

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$ . [2.5.7]

Le combinazioni di carico effettivamente implementate sono riportate a seguire.

Simbologia adottata

$\gamma$ Coefficiente di partecipazione della condizione
$\Psi$ Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.30 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.50 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_1 | 1.50 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3)

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.30 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.50 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_2 | 1.50 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 3 - STR (A1-M1-R3) H + V

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_1 | 1.00 | 0.20 | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3) H + V

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 5 - STR (A1-M1-R3)  H - V

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_1 | 1.00 | 0.20 | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3)  H - V

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 7 - STR (A1-M1-R3)

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.30 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.30 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.30 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.50 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_1 | 1.50 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 8 - STR (A1-M1-R3)

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.30 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.30 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.50 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_1 | 1.50 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 9 - STR (A1-M1-R3)

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.30 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.30 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.50 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_1 | 1.50 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 10 - STR (A1-M1-R3)

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.30 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.30 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.30 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.50 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_2 | 1.50 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 11 - STR (A1-M1-R3)

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.30 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.30 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.50 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_2 | 1.50 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 12 - STR (A1-M1-R3)

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.30 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.30 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.50 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_2 | 1.50 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 13 - GEO (A2-M2-R2)

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.30 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_1 | 1.30 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 14 - GEO (A2-M2-R2)

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.30 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_2 | 1.30 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 15 - GEO (A2-M2-R2) H + V

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_1 | 1.00 | 0.20 | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 16 - GEO (A2-M2-R2) H + V

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 17 - GEO (A2-M2-R2) H - V

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_1 | 1.00 | 0.20 | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 18 - GEO (A2-M2-R2) H - V

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 19 - EQU (A1-M1-R3)

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.30 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.50 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_1 | 1.50 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 20 - EQU (A1-M1-R3)

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.30 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.50 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_2 | 1.50 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 21 - EQU (A1-M1-R3) H + V

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_1 | 1.00 | 0.20 | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 22 - EQU (A1-M1-R3) H + V

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 23 - EQU (A1-M1-R3) H - V

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_1 | 1.00 | 0.20 | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 24 - EQU (A1-M1-R3)  H - V

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 25 - ECC

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_1 | 1.00 | 0.20 | Sfavorevole |
| Urto | 1.00 | 1.00 | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 26 - SLER

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_1 | 1.00 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 27 - SLEF

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_1 | 1.00 | 0.75 | Sfavorevole |

Combinazione n° 28 - SLEQ

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_1 | 1.00 | 0.20 | Sfavorevole |

Combinazione n° 29 - SLER

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_2 | 1.00 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 30 - SLEF

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_2 | 1.00 | 0.75 | Sfavorevole |

Combinazione n° 31 - SLEQ

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 32 - SLEQ  H + V

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_1 | 1.00 | 0.20 | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 33 - SLEQ  H - V

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_1 | 1.00 | 0.20 | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 34 - SLEQ_H + V

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 35 - SLEQ_H - V

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 36 - HYD

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_1 | 1.00 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 37 - UPL

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 0.90 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 0.90 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.10 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.50 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_1 | 1.50 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 38 - HYD

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_2 | 1.00 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 39 - UPL

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 0.90 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 0.90 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.10 | -- | Sfavorevole |
| Barriera | 1.50 | -- | Sfavorevole |
| Variabile_2 | 1.50 | 1.00 | Sfavorevole |

## 9. CRITERI DI VERIFICA

Il progetto e la verifica della struttura in questione è eseguita mediante il metodo degli "Stati Limite", verificando:

*SLU di tipo geotecnico (GEO) e di equilibrio di corpo rigido (EQU):*

- scorrimento sul piano di posa
- verifica al ribaltamento
- collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno
- stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno

*SLE di tipo geotecnico (GEO):*

- Cedimenti dell'opera

*SLU di tipo strutturale (STR):*

- raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali

*SLE di tipo strutturale (STR):*

- raggiungimento dello stato limite nei confronti della corrosione e/o dell'eccessivo degrado.

### 9.1. Ipotesi di calcolo

Come prescritto dalla norma (par 6.5.3.1.1 NTC2018) i muri di sostegno devono essere verificati secondo i seguenti criteri:

Verifica di stabilità globale → A2+M2+R2;
Capacità portante, ribaltamento, scorrimento → A1+M1+R3;

Stralcio normativo NTC2018:

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata, analogamente a quanto previsto al § 6.8, secondo l'Approccio 1, con la Combinazione 2 (A2+M2+R2), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tab. 6.8.I per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I.

I coeff. parziali utilizzati all'interno del software di calcolo sono di seguito riassunti:

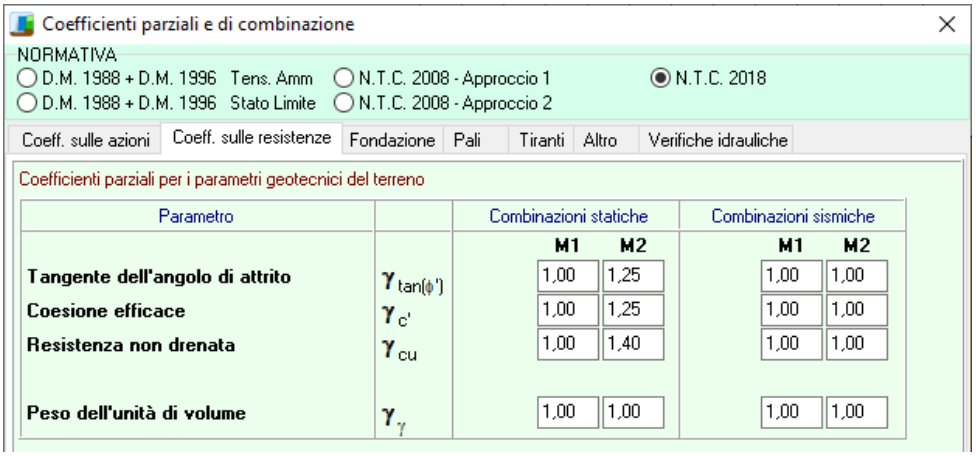
Coefficienti parziali e di combinazione

NORMATIVA
D.M. 1988 + D.M. 1996 Tens. Amm — N.T.C. 2008 - Approccio 1 — N.T.C. 2018
D.M. 1988 + D.M. 1996 Stato Limite — N.T.C. 2008 - Approccio 2

Coeff. sulle azioni | Coeff. sulle resistenze | Fondazione | Pali | Tiranti | Altro | Verifiche idrauliche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

| Carichi | Effetto | | | | Combinazioni statiche | | | Combinazioni sismiche | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | HYD | UPL | EQU | A1 | A2 | EQU | A1 | A2 |
| P. strutturali | Favorevole | $\gamma_{Gfav}$ | 1,00 | 0,90 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| P. strutturali | Sfavorevole | $\gamma_{Gsfav}$ | 1,00 | 1,10 | 1,30 | 1,30 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| P. non strutturali | Favorevole | $\gamma_{G2fav}$ | 0,00 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| P. non strutturali | Sfavorevole | $\gamma_{G2sfav}$ | 1,00 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,30 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Variabili | Favorevole | $\gamma_{Qfav}$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variabili | Sfavorevole | $\gamma_{Qsfav}$ | 1,00 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,30 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Variabili da traffico | Favorevole | $\gamma_{Qfav}$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Variabili da traffico | Sfavorevole | $\gamma_{Qsfav}$ | 1,00 | 1,50 | 1,35 | 1,35 | 1,15 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |


Coefficienti parziali e di combinazione

NORMATIVA
D.M. 1988 + D.M. 1996 Tens. Amm | N.T.C. 2008 - Approccio 1 | N.T.C. 2018
D.M. 1988 + D.M. 1996 Stato Limite | N.T.C. 2008 - Approccio 2

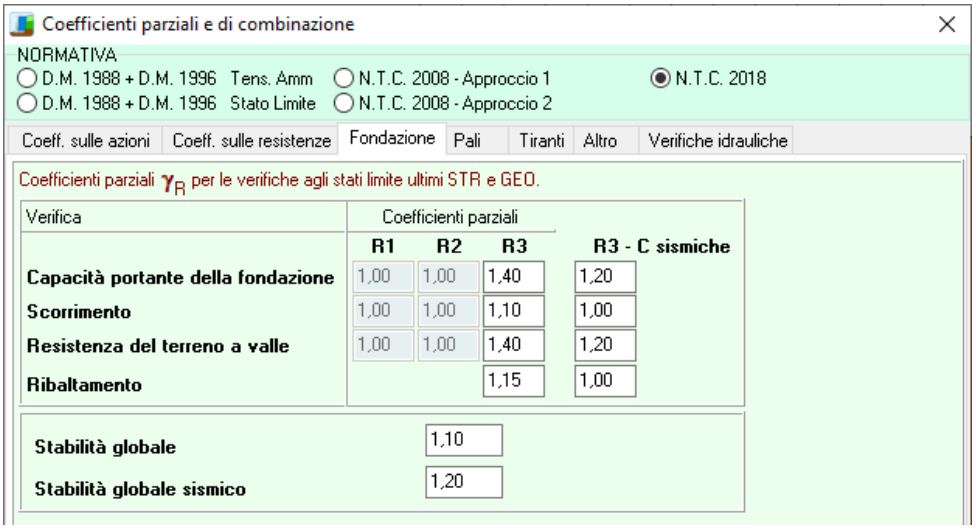
Coeff. sulle azioni | Coeff. sulle resistenze | Fondazione | Pali | Tiranti | Altro | Verifiche idrauliche

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

| Parametro | | Combinazioni statiche M1 | Combinazioni statiche M2 | Combinazioni sismiche M1 | Combinazioni sismiche M2 |
|---|---|---|---|---|---|
| Tangente dell'angolo di attrito | $\gamma_{\tan(\phi')}$ | 1,00 | 1,25 | 1,00 | 1,00 |
| Coesione efficace | $\gamma_{c'}$ | 1,00 | 1,25 | 1,00 | 1,00 |
| Resistenza non drenata | $\gamma_{cu}$ | 1,00 | 1,40 | 1,00 | 1,00 |
| Peso dell'unità di volume | $\gamma_{\gamma}$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

*Figura 9.1 – Coefficienti parziali per carichi e parametri del terreno*

- Le verifiche a capacità portante, scorrimento, ribaltamento e stabilità globale saranno soddisfatte se il coefficiente di sicurezza minimo riportato nelle calcozioni a seguire **risulterà superiore ai coeff. R3** riportati nella tabella sotto esposta.


Coefficienti parziali e di combinazione

NORMATIVA
D.M. 1988 + D.M. 1996 Tens. Amm | N.T.C. 2008 - Approccio 1 | N.T.C. 2018
D.M. 1988 + D.M. 1996 Stato Limite | N.T.C. 2008 - Approccio 2

Coeff. sulle azioni | Coeff. sulle resistenze | Fondazione | Pali | Tiranti | Altro | Verifiche idrauliche

Coefficienti parziali $\gamma_R$ per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO.

| Verifica | Coefficienti parziali R1 | R2 | R3 | R3 - C sismiche |
|---|---|---|---|---|
| Capacità portante della fondazione | 1,00 | 1,00 | 1,40 | 1,20 |
| Scorrimento | 1,00 | 1,00 | 1,10 | 1,00 |
| Resistenza del terreno a valle | 1,00 | 1,00 | 1,40 | 1,20 |
| Ribaltamento | | | 1,15 | 1,00 |

| | |
|---|---|
| Stabilità globale | 1,10 |
| Stabilità globale sismico | 1,20 |

*Figura 9.2 – Coefficienti di sicurezza per le verifiche*

## 9.2. Richiami teorici

Il calcolo dei muri di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno;
- Verifica a ribaltamento;
- Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa;
- Verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite);
- Verifica della stabilità globale;
- Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione, progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.

### *9.2.1. Calcolo della spinta sul muro: metodo di Culmann*

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb. La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il coefficiente di spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo). Come il metodo di Coulomb anche questo metodo considera una superficie di rottura rettilinea.

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione $\rho$ rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio (W), carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura (R e C) e resistenza per coesione lungo la parete (A);
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima.
La convergenza non si raggiunge se il terrapieno risulta inclinato di un angolo maggiore dell'angolo d'attrito del terreno.
Nei casi in cui è applicabile il metodo di Coulomb (profilo a monte rettilineo e carico uniformemente distribuito) i risultati ottenuti col metodo di Culmann coincidono con quelli del metodo di Coulomb.
Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata z. Noto il diagramma delle pressioni è possibile ricavare il punto di applicazione della spinta.

### *9.2.2. Spinta in presenza di sisma*

Per tener conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana).
La Normativa Italiana suggerisce di tener conto di un incremento di spinta dovuto al sisma nel modo seguente.
Detta $\varepsilon$ l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e $\beta$ l'inclinazione della parete rispetto alla verticale, si calcola la spinta S' considerando un'inclinazione del terrapieno e della parte pari a:

$\varepsilon' = \varepsilon + \theta \qquad \beta' = \beta + \theta$

dove $\theta = \mathrm{arctg}(k_h/(1 \pm k_v))$ essendo $k_h$ il coefficiente sismico orizzontale e $k_v$ il coefficiente sismico verticale, definito in funzione di $k_h$.

In presenza di falda a monte, $\theta$ assume le seguenti espressioni:

Terreno a bassa permeabilità:

$$\theta = \arctan\left(\frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - \gamma_w}\frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)$$

Terreno a permeabilità elevata:

$$\theta = \arctan\left(\frac{\gamma}{\gamma_{sat} - \gamma_w}\frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)$$

Detta S la spinta calcolata in condizioni statiche l'incremento di spinta da applicare è espresso da

$\Delta S = AS' - S$

dove il coefficiente A vale:

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta)}{\cos^2\beta\cos\theta}$$

In presenza di falda a monte, nel coefficiente *A* si tiene conto dell'influenza dei pesi di volume nel calcolo di $\theta$.
Adottando il metodo di Mononobe-Okabe per il calcolo della spinta, il coefficiente *A* viene posto pari a 1.
Tale incremento di spinta è applicato a metà altezza della parete di spinta nel caso di forma rettangolare del diagramma di incremento sismico, allo stesso punto di applicazione della spinta statica nel caso in cui la forma del diagramma di incremento sismico è uguale a quella del diagramma statico.
Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali e verticali che si destano per effetto del sisma. Tali forze vengono valutate come:

$F_{iH} = k_h W$ $\quad$ $F_{iV} = \pm k_v W$

dove W è il peso del muro, del terreno soprastante la mensola di monte ed i relativi sovraccarichi e va applicata nel baricentro dei pesi.
Il metodo di Culmann tiene conto automaticamente dell'incremento di spinta. Basta inserire nell'equazione risolutiva la forza d'inerzia del cuneo di spinta. La superficie di rottura nel caso di sisma risulta meno inclinata della corrispondente superficie in assenza di sisma.

## 9.3. Verifiche geotecniche (GEO) allo SLU

In conformità a quanto previsto dalle NTC, le verifiche agli Stati Limite Ultimo dei muri devono essere condotte con riferimento a tutti i meccanismi di rottura e instabilità che possono verificarsi e previsti da normativa tecnica.

### *9.3.1. Verifica a scorrimento*

Al fine di soddisfare la verifica a scorrimento, la risultante delle azioni orizzontali agenti sul muro deve risultare non superiore alla forza resistente costituita dall'attrito sul piano di imposta. Questa a sua volta è valutata come prodotto della risultante delle azioni verticali (ortogonali al piano di imposta) per il coefficiente di attrito in fondazione $\mu = \tan(\phi')$.
In condizioni sismiche si considerano, oltre all'incremento di spinta del terreno, anche le forze di inerzia delle masse del muro, del terreno poggiante su di esso e degli elementi marginali.
Per la verifica a scorrimento, deve quindi essere soddisfatta la seguente espressione:

$$R_d = \frac{N \cdot tg(\delta_s)}{\gamma_R} \geq E_d = H$$

dove:

N carico verticale totale a quota intradosso fondazione

H carico orizzontale totale a quota intradosso fondazione

$\delta s$ angolo di attrito tra fondazione e terreno.

Le forze che intervengono nella H sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.
La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione (nel nostro caso trascurata).

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle del muro. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 50%. Nei nostri dimensionamenti tale contributo è trascurato.
Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, $\delta_s$, diversi autori suggeriscono di assumere un valore di $\delta_f$ pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

### *9.3.2. Verifica al ribaltamento*

La verifica a ribaltamento consiste nel determinare il momento risultante di tutte le forze che tendono a fare ribaltare il muro (momento ribaltante $M_r$) ed il momento risultante di tutte le forze che tendono a stabilizzare il muro (momento stabilizzante $M_s$) rispetto allo spigolo a valle della fondazione e verificare che il rapporto $M_s/M_r$ sia maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza $\eta_r$.
Deve quindi essere verificata la seguente diseguaglianza: $M_s/M_r >= \eta_r$

Il momento ribaltante $M_r$ è dato dalla componente orizzontale della spinta *S*, dalle forze di inerzia del muro e del terreno gravante sulla fondazione di monte (caso di presenza di sisma) per i rispettivi bracci. Nel momento stabilizzante interviene il peso del muro (applicato nel baricentro) ed il peso del terreno gravante sulla fondazione di monte. Per quanto riguarda invece la componente verticale della spinta essa sarà stabilizzante se l'angolo d'attrito terra-muro $\delta$ è positivo, ribaltante se $\delta$ è negativo. $\delta$ è positivo quando è il terrapieno che scorre rispetto al muro, negativo quando è il muro che tende a scorrere rispetto al terrapieno (questo può essere il caso di una spalla da ponte gravata da carichi notevoli). Se sono presenti dei tiranti essi contribuiscono al momento stabilizzante.
Questa verifica ha significato solo per fondazione superficiale e non per fondazione su pali.

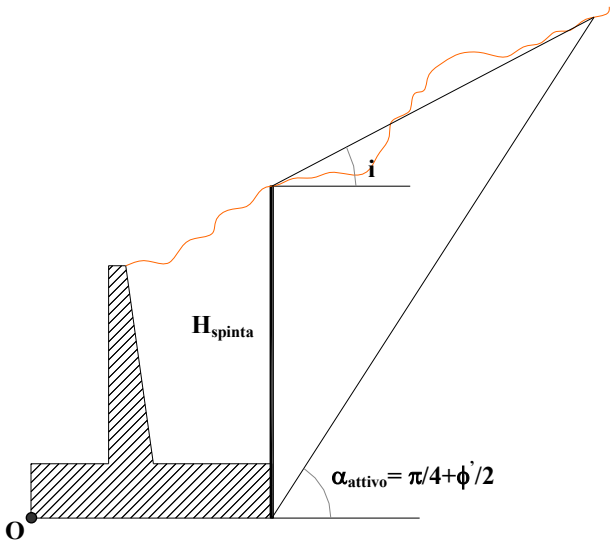



*Figura 9-3. Posizione del punto O per la verifica al ribaltamento del muro*

### *9.3.3. Verifica al carico limite*

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi dal muro sul terreno di fondazione deve essere superiore a $\eta_q$. Cioè, detto $Q_u$, il carico limite ed *R* la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$Q_u / R > = \eta_q$

La formula di **Vesic** è analoga alla formula di Hansen. Cambia solo il fattore $N_\gamma$ e l'espressione di alcuni coefficienti.
Di seguito sono riportate per intero tutte le espressioni.

Caso generale $\phi > 0$

$$q_u = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + qN_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5B\gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

Caso di terreno puramente coesivo $\phi = 0$

$$q_u = 5.14c_u\left(1 + s_c + d_c - i_c - g_c - b_c\right) + q$$

I fattori che compaiono in queste espressioni sono espressi da:

N fattori di capacità portante
s fattori di forma
d fattori di profondità
i fattori di inclinazione del carico
b fattori di inclinaz. del piano di fondaz. (base inclinata), con $\eta$ inclinazione del piano di posa
g fattori di inclinazione del terreno (fondazione su pendio), con $\beta$ pendenza del pendio

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Fattori di capacità portante | | $N_c = (N_q - 1)\cot\varphi$ | $N_q = e^{\pi\tan\varphi}K_p$ | $N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\varphi$ |
| Fattori di forma | $\varphi = 0$ | $s_c = 0.2\frac{B}{L}$ | | |
| | $\varphi > 0$ | $s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c}\frac{B}{L}$ | $s_q = 1 + \frac{B}{L}\tan\varphi$ | $s_\gamma = 1 - 0.4\frac{B}{L}$ |
| Fattori di profondità | $\varphi = 0$ | $d_c = 0.4k$ | | |
| | $\varphi > 0$ | $d_c = 1 + 0.4k$ | $d_q = 1 + 2\tan\varphi\,(1 - \sin\varphi)^2 k$ | $d_\gamma = 1$ |
| Fattori di inclinazione del carico | $\varphi = 0$ | $i_c = 1 - \frac{mH}{A_f c_a N_c}$ | | |
| | $\varphi > 0$ | $i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$ | $i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \cot\varphi}\right)^m$ | $i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \cot\varphi}\right)^{m+1}$ |
| Fattori di inclinazione del piano di fondazione (base inclinata) | $\varphi = 0$ | $b_c = \frac{\eta°}{147°}$ | | |
| | $\varphi > 0$ | $b_c = 1 - \frac{\eta°}{147°}$ | $b_q = (1 - \eta\tan\varphi)^2$ | $b_\gamma = (1 - \eta\tan\varphi)^2$ |
| Fattori di inclinazione del terreno (fondazione su pendio) | $\varphi = 0$ | $g_c = \frac{\beta°}{147°}$ | | |
| | $\varphi > 0$ | $g_c = 1 - \frac{\beta°}{147°}$ | $g_q = (1 - \tan\beta)^2$ | $g_\gamma = (1 - \tan\beta)^2$ |

*Figura 9.4 – Fattori correttivi per calcolo del carico limite della fondazione*

Indichiamo con Kp il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$$K_p = \tan^2\left(45° + \frac{\varphi}{2}\right)$$

Dove i coeff. *k* e *m* assumono le seguenti espressioni:

| | | |
|---|---|---|
| $k = \frac{D}{B}$ se $\frac{D}{B} \le 1$ | $k = \arctan\frac{D}{B}$ se $\frac{D}{B} > 1$ | $m = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}}$ |

Per poter applicare la formula di Vesic devono risultare verificate le seguenti condizioni:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $H < V\tan\delta + A_f c_a$ | $\beta \le \varphi$ | $i_q, i_\gamma > 0$ | $\beta + \eta \le 90°$ |

**Riduzione per effetto piastra**

Per valori elevati di B (dimensione minore della fondazione), Bowles propone di utilizzare un fattore correttivo $r_\gamma$ del solo termine sul peso di volume (0.5 B g $N_\gamma$) quando B supera i 2 m.

$r_\gamma$ = 1.0 – 0.25 log (B/2.0)

Il termine sul peso di volume diventa: 0.5 $\gamma$ $N_\gamma$ $r_\gamma$

### *9.3.4. Verifica alla stabilità globale*

La verifica alla stabilità globale del complesso muro+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a $h_g$.

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento viene supposta circolare e determinata in modo tale da non avere intersezione con il profilo del muro.
Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop.

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di Bishop si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_{i=0}^{n}\left[\frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i)\tan\varphi_i}{m}\right]}{\sum_{i=0}^{n} W_i \sin\alpha_i}$$

dove il termine *m* è espresso da:

$$m = \left(1 + \frac{\tan\varphi_i \tan\alpha_i}{\eta}\right)\cos\alpha_i$$

In questa espressione *n* è il numero delle strisce considerate, $b_i$ e $\alpha_i$ sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia $i_{esima}$ rispetto all'orizzontale, $W_i$ è il peso della striscia $i_{esima}$ , $c_i$ e $\phi_i$ sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed $u_i$ è la pressione neutra lungo la base della striscia.
L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine *m* che è funzione di $\eta$. Quindi essa è risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per $\eta$ da inserire nell'espressione di *m* ed iterare fin quando il valore calcolato coincide con il valore assunto.
Come prescritto dalla normativa la verifica viene effettuata secondo la "Combinazione 2" (A2+M2+R2).
La metodologia di calcolo adottata dal programma consiste nell'analizzare molteplici superfici di scivolamento ben definite, fornendone il fattore di sicurezza. La resistenza al taglio agente lungo la superficie di scivolamento necessaria all'equilibrio è calcolata attraverso l'equazione della statica. Il coefficiente di sicurezza è inteso come il fattore per il quale possono essere divisi i parametri di resistenza meccanica del materiale per portare il pendio alle condizioni di equilibrio limite, implicitamente assunto costante lungo tutta la superficie di scivolamento. Nello specifico, nel metodo di Bishop si divide la massa di terreno interessata dal cinematismo in più conci assumendo che le azioni agenti all'interfaccia dei conci stessi abbiano risultante orizzontale, trascurando gli sforzi di taglio all'interfaccia tra i vari volumetti.
Le forze di inerzia, orizzontali e verticali, applicate alle masse in condizioni sismiche sono valutate mediante i coefficienti $k_h$ e $k_v$ di cui al paragrafo § 6.4.1. Il coefficiente $\beta$ assume i valori indicati nella tabella 7.11.I della normativa vigente e qui di seguito riprodotta:

| **Intervallo dell'accelerazione sismica** | **β** | |
|---|---|---|
| | **Categoria di sottosuolo** | |
| | **A** | **B, C, D, E** |
| $0.2 < a_g \leq 0.4$ | 0.30 | 0.28 |
| $0.1 < a_g \leq 0.2$ | 0.27 | 0.24 |
| $a_g \leq 0.1$ | 0.20 | 0.20 |

## 9.4. Verifiche geotecniche (GEO) allo SLE - Cedimenti della fondazione – Metodo elastico

Il metodo dell'elasticità per il calcolo dei cedimenti fornisce la seguente espressione:

$$w = \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta\sigma_i}{E_i}\Delta z_i$$

dove:

$\Delta s$ è la tensione indotta nel terreno alla profondità z, dalla pressione di contatto della fondazione;
E è il modulo elastico relativo allo strato i-esimo;
$\Delta z$ rappresenta lo spessore dello strato i-esimo in cui è stato suddiviso lo strato compressibile e per il quale si conosce il modulo elastico.

Lo spessore dello strato compressibile considerato nell'analisi dei cedimenti è stato determinato in funzione della percentuale della tensione di contatto.

## 9.5. Verifiche strutturali (STR) allo SLU

La verifica si esegue in condizioni statiche e sismiche ed in corrispondenza delle membrature maggiormente sollecitate: il fusto del muro in corrispondenza dell'incastro e la platea di fondazione in corrispondenza della sezione di incastro.
Le sollecitazione di progetto vengono calcolate con il software MAX15, considerando i vari elementi come delle mensole incastrate all'estremità soggette ai carichi di competenza.

Per le verifiche strutturali in condizione di urto (carico "eccezionale") il coeff. parziale di sicurezza sui materiali sarà considerato pari a 1.00 (vedasi stralcio normativo a seguire).

**4.1.4. VERIFICHE PER SITUAZIONI ECCEZIONALI**

Le resistenze di progetto dei materiali riferite ad una specifica situazione di verifica si ottengono con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

- calcestruzzo e aderenza con le armature $\gamma_c = 1{,}0$
- acciaio d'armatura $\gamma_s = 1{,}0$

- Armature minime fondazioni come da paragrafo 7.2.5 NTC2018 (platee di fondazione).

FONDAZIONI SUPERFICIALI

Le strutture delle fondazioni superficiali devono essere progettate per le azioni definite al precedente capoverso, assumendo un comportamento non dissipativo; non sono quindi necessarie armature specifiche per ottenere un comportamento duttile.

Le platee di fondazione in calcestruzzo armato devono avere armature longitudinali, secondo due direzioni ortogonali e per l'intera estensione, in percentuale non inferiore allo 0,1% dell'area della sezione trasversale della platea, sia inferiormente sia superiormente.

Le travi di fondazione in calcestruzzo armato devono avere, per l'intera lunghezza, armature longitudinali in percentuale non inferiore allo 0,2% dell'area della sezione trasversale della trave, sia inferiormente sia superiormente.

Fondazione **spessore 600mm** – As,min = 0.1% x 1000 mm x 600mm = 600 mmq corrispondenti a 5ϕ14/m (770 mmq/m) sia superiormente che inferiormente.

Fondazione **spessore 500mm** – As,min = 0.1% x 1000 mm x 500mm = 500 mmq corrispondenti a 5ϕ12/m (565 mmq/m) sia superiormente che inferiormente.

Fondazione **spessore 400mm** – As,min = 0.1% x 1000 mm x 400mm = 400 mmq corrispondenti a 5ϕ12/m (565 mmq/m) sia superiormente che inferiormente.

- Armatura minima elevazione (zona tesa) come da paragrafo 4.1.6.1.1 NTC2018 (Armatura delle travi)

**4.1.6.1.1 Armatura delle travi**

L'area dell'armatura longitudinale in zona tesa non deve essere inferiore a

$$A_{s,min} = 0{,}26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t \cdot d \quad \text{e comunque non minore di } 0{,}0013 \cdot b_t \cdot d \qquad [4.1.45]$$

fctm (C32/40) = 3.02 N/mmq
fyk = 450 N/mmq
bt = 1000 mm

Elevazione **spessore 500** mm si ha (d = 450mm) : As,min = 785 mmq corrispondenti a minimo 5ϕ16/m (1005 mmq/m)

Elevazione **spessore 400** mm si ha (d = 350mm) : As,min = 611 mmq corrispondenti a minimo 5ϕ14/m (769 mmq/m)

Elevazione **spessore 300** mm si ha (d = 250 mm) : As,min = 436 mmq corrispondenti a minimo 5ϕ12/m (565 mmq/m)

## 9.6. Verifiche strutturali (STR) allo SLE

In corrispondenza delle medesime sezioni si eseguono le verifiche sulla massima ampiezza delle fessure (*verifica allo stato limite di fessurazione*) e sulle massime tensioni nel calcestruzzo e nelle armature (*verifica delle tensioni in esercizio*).

### *9.6.1. Verifica a fessurazione*

L'ampiezza limite delle fessure è dettata dalla classe di esposizione dell'elemento, per cui si avrà:
Suola di fondazione → classe di esposizione XC2 → condizioni ambientali ordinarie

Armature poco sensibili

Ampiezza limite in condizione frequente $w_{lim} = w_3 = 0.4$ mm

Ampiezza limite in condizione quasi permanente $w_{lim} = w_2 = 0.3$ mm

Parete in elevazione → classe di esposizione XC4-XF1 → condizioni ambientali aggressive

Armature poco sensibili

Ampiezza limite in condizione frequente $w_{lim} = w_2 = 0.3$ mm

Ampiezza limite in condizione quasi permanente $w_{lim} = w_1 = 0.2$ mm

Stralcio normativo:

**Tab. 4.1.IV -** *Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione*

| Gruppi di Esigenze | Condizioni ambientali | Combinazione di azioni | Armatura | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Sensibile | | Poco sensibile | |
| | | | Stato limite | $w_k$ | Stato limite | $w_k$ |
| A | Ordinarie | frequente | apertura fessure | $\leq w_2$ | apertura fessure | $\leq w_3$ |
| | | quasi permanente | apertura fessure | $\leq w_1$ | apertura fessure | $\leq w_2$ |
| B | Aggressive | frequente | apertura fessure | $\leq w_1$ | apertura fessure | $\leq w_2$ |
| | | quasi permanente | decompressione | - | apertura fessure | $\leq w_1$ |
| C | Molto aggressive | frequente | formazione fessure | - | apertura fessure | $\leq w_1$ |
| | | quasi permanente | decompressione | - | apertura fessure | $\leq w_1$ |

### *9.6.2. Verifica delle tensioni di esercizio*

Coerentemente con quanto previsto dalle NTC, la massima tensione di compressione nel calcestruzzo $\sigma_c$ deve rispettare i seguenti vincoli:

$\sigma_c < 0.60\ f_{ck}$ per combinazione caratteristica (rara)

$\sigma_c < 0.45\ f_{ck}$ per combinazione quasi permanente

Nel caso di elementi piani (solette, pareti,…) gettati in opera con calcestruzzi ordinari e spessori di calcestruzzo minori di 50 mm, i valori limite sopra citati vanno ridotti del 20%.
Relativamente alle condizioni di tensioni massime dell'acciaio $\sigma_s$, queste ultime devono rispettare il seguente limite:

$\sigma_s < 0.8\ f_{yk}$ per combinazione caratteristica

# 10. SINTESI DEI RISULTATI

## 10.1. Input software di calcolo

Nel presente paragrafo si riportano i principali dati di input validi per tutte le sezioni di calcolo analizzate. Gli input specifici di ciascuna tipologia saranno riportati nei relativi paragrafi presenti nel seguito.

NOTA: Nei paragrafi a seguire si riportano i principali risultati ottenuti, mentre il listato di calcolo completo delle varie sezioni tipologiche sarà riportato in uno specifico documento allegato al progetto.

### Materiali

Simbologia adottata
n° Indice materiale
Descr Descrizione del materiale

Calcestruzzo armato
C Classe di resistenza del cls
A Classe di resistenza dell'acciaio
$\gamma$ Peso specifico, espresso in [kN/mc]
$R_{ck}$ Resistenza caratteristica a compressione, espressa in [N/mmq]
E Modulo elastico, espresso in [N/mmq]
$\nu$ Coeff. di Poisson
n Coeff. di omogenizzazione acciaio/cls
ntc Coeff. di omogenizzazione cls teso/compresso

### Calcestruzzo armato

| n° | Descr | C | A | $\gamma$ | $R_{ck}$ | E | $\nu$ | n | ntc |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | [kN/mc] | [N/mmq] | [N/mmq] | | | |
| 1 | C32/40 | C32/40 | B450C | 25,0000 | 40,000 | 33642,6 | 0.30 | 15.00 | 0.50 |
| 5 | C25/30 | C25/30 | B450C | 25,0000 | 30,000 | 31447,0 | 0.30 | 15.00 | 0.50 |

### Acciai

| Descr | $f_{yk}$ | $f_{uk}$ |
|---|---|---|
| | [N/mmq] | [N/mmq] |
| B450C | 450,000 | 540,000 |

### Descrizione terreni

Parametri di resistenza

Simbologia adottata
n° Indice del terreno
Descr Descrizione terreno
$\gamma$ Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
$\gamma_s$ Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
$\phi$ Angolo d'attrito interno espresso in [°]
$\delta$ Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c Coesione espressa in [N/mmq]
$c_a$ Adesione terra-muro espressa in [N/mmq]
Per calcolo portanza con il metodo di Bustamante-Doix
Cesp Coeff. di espansione laterale (solo per il metodo di Bustamante-Doix)
$\tau l$ Tensione tangenziale limite, espressa in [N/mmq]

| n° | Descr | $\gamma$ | $\gamma_{sat}$ | $\phi$ | $\delta$ | c | ca | Cesp | $\tau l$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | [kN/mc] | [kN/mc] | [°] | [°] | [N/mmq] | [N/mmq] | | [N/mmq] | |
| 1 | Spingente | 19,0000 | 19,0000 | 35.000 | 23.330 | 0,000 | 0,000 | --- | --- | |
| 2 | Strato_1 | 19,0000 | 19,0000 | 32.000 | 32.000 | 0,000 | 0,000 | --- | --- | |
| 3 | Strato_2 | 19,0000 | 19,0000 | 36.000 | 36.000 | 0,000 | 0,000 | --- | --- | |
| 4 | Strato_3 | 19,0000 | 19,0000 | 0.000 | 0.000 | 0,030 | 0,000 | --- | --- | |
| 5 | Strato_4 | 19,0000 | 19,0000 | 37.000 | 37.000 | 0,000 | 0,000 | --- | --- | |

Parametri di deformabilità

Simbologia adottata
n° Indice del terreno
Descr Descrizione terreno
E Modulo elastico, espresso in [N/mmq]
$\nu$ Coeff. di Poisson
Ed Modulo edometrico, espresso in [N/mmq]
CR Rapporto di compressione

RR Rapporto di ricompressione
OCR Grado di sovraconsolidazione

| n° | Descr | E | ν | Ed | CR | RR | OCR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | [N/mmq] | | [N/mmq] | | | |
| 1 | Spingente | 0,000 | 0.000 | 0,000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| 2 | Strato_1 | 12,500 | 0.300 | 0,000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| 3 | Strato_2 | 37,500 | 0.300 | 0,000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| 4 | Strato_3 | 4,500 | 0.300 | 0,000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| 5 | Strato_4 | 42,500 | 0.300 | 0,000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |

## Stratigrafia

### Simbologia adottata

n° Indice dello strato
H Spessore dello strato espresso in [m]
α Inclinazione espressa in [°]
Terreno Terreno dello strato

Per calcolo pali (solo se presenti)
Kw Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm$^2$/cm
Ks Coefficiente di spinta
Cesp Coefficiente di espansione laterale (per tutti i metodi tranne il metodo di Bustamante-Doix)

Per calcolo della spinta con coeff. di spinta definiti (usati solo se attiva l'opzione 'Usa coeff. di spinta da strato')
$Kst_{sta}$, $Kst_{sis}$ Coeff. di spinta statico e sismico

| n° | H | α | Terreno | Kw | Ks | Cesp | $Kst_{sta}$ | $Kst_{sis}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [°] | | [Kg/cm$^3$] | | | | |
| 1 | var | 0.000 | Spingente | --- | --- | --- | --- | --- |
| 2 | 3,00 | 0.000 | Strato_1 | --- | --- | --- | --- | --- |
| 3 | 4,00 | 0.000 | Strato_2 | --- | --- | --- | --- | --- |
| 4 | 4,00 | 0.000 | Strato_3 | --- | --- | --- | --- | --- |
| 5 | 2,00 | 0.000 | Strato_4 | --- | --- | --- | --- | --- |

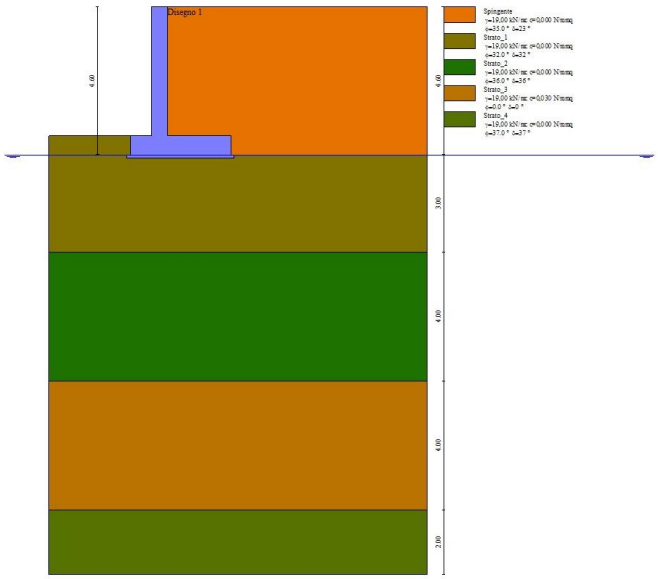



*Figura 10.1 – Stratigrafia e posizione falda per il muro di maggiore altezza (la stratigrafia è la medesima per tutte le sezioni di calcolo e la falda è sempre assunta a intradosso fondazione)*

Coeff. parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

| Carichi | Effetto | | Combinazioni statiche | | | | | Combinazioni sismiche | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | UPL | EQU | A1 | A2 | EQU | A1 | A2 |
| Permanenti strutturali | Favorevoli | $\gamma_{G1,fav}$ | 0.90 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Permanenti strutturali | Sfavorevoli | $\gamma_{G1,sfav}$ | 1.10 | 1.30 | 1.30 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Permanenti non strutturali | Favorevoli | $\gamma_{G2,fav}$ | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Permanenti non strutturali | Sfavorevoli | $\gamma_{G2,sfav}$ | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.30 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Variabili | Favorevoli | $\gamma_{Q,fav}$ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Variabili | Sfavorevoli | $\gamma_{Q,sfav}$ | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.30 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Variabili da traffico | Favorevoli | $\gamma_{QT,fav}$ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Variabili da traffico | Sfavorevoli | $\gamma_{QT,sfav}$ | 1.50 | 1.35 | 1.35 | 1.15 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

Coeff. parziali per i parametri geotecnici del terreno

| Parametro | | Combinazioni statiche | | Combinazioni sismiche | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | M1 | M2 | M1 | M2 |
| Tangente dell'angolo di attrito | $\gamma_{\tan(\phi')}$ | 1.00 | 1.25 | 1.00 | 1.00 |
| Coesione efficace | $\gamma_{c'}$ | 1.00 | 1.25 | 1.00 | 1.00 |
| Resistenza non drenata | $\gamma_{cu}$ | 1.00 | 1.40 | 1.00 | 1.00 |
| Peso nell'unita di volume | $\gamma_{\gamma}$ | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

Coeff. parziali $\gamma_R$ per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO

| Verifica | Combinazioni statiche | | | Combinazioni sismiche | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | R1 | R2 | R3 | R1 | R2 | R3 |
| Capacità portante | -- | -- | 1.40 | -- | -- | 1.20 |
| Scorrimento | -- | -- | 1.10 | -- | -- | 1.00 |
| Resistenza terreno a valle | -- | -- | 1.40 | -- | -- | 1.20 |
| Ribaltameno | -- | -- | 1.15 | -- | -- | 1.00 |
| Stabilità fronte di scavo | -- | 1.10 | -- | -- | 1.20 | -- |

Specifiche per le verifiche nelle combinazioni allo Stato Limite Ultimo (SLU)

| | SLU | Eccezionale |
|---|---|---|
| Coefficiente di sicurezza calcestruzzo a compressione | 1.50 | 1.00 |
| Coefficiente di sicurezza acciaio | 1.15 | 1.00 |
| Fattore di riduzione da resistenza cubica a cilindrica | 0.83 | 0.83 |
| Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo | 0.85 | 0.85 |
| Coefficiente di sicurezza per la sezione | 1.00 | 1.00 |

## Dati sismici

| | Simbolo | U.M. | | SLU | SLE |
|---|---|---|---|---|---|
| Accelerazione al suolo | $a_g$ | [m/s$^2$] | | 0.510 | 0.255 |
| Accelerazione al suolo | $a_g/g$ | [%] | | 0.052 | 0.026 |
| Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale | F0 | | | 2.666 | 2.602 |
| Periodo inizio tratto spettro a velocità costante | Tc* | | | 0.289 | 0.194 |
| Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico | Ss | | C | 1.500 | 1.500 |
| Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica | St | | T1 | 1.000 | |

| Stato limite ... | Coeff. di riduzione $\beta_m$ | kh [%] | kv [%] |
|---|---|---|---|
| Ultimo | 0.380 | 2.963 | 1.482 |
| Ultimo - Ribaltamento | 0.570 | 4.445 | 2.222 |
| Esercizio | 0.470 | 1.833 | 0.916 |

## Opzioni di calcolo

Spinta

| | |
|---|---|
| Metodo di calcolo della spinta | Culmann |
| Tipo di spinta | Spinta attiva |
| Terreno a bassa permeabilità | NO |
| Superficie di spinta limitata | NO |

Capacità portante

| | |
|---|---|
| Metodo di calcolo della portanza | Vesic |
| Criterio di media calcolo del terreno equivalente (terreni stratificati) | Ponderata |
| Criterio di riduzione per eccentricità della portanza | Nessuna |
| Criterio di riduzione per rottura locale (punzonamento) | Nessuna |
| Larghezza fondazione nel terzo termine della formula del carico limite ($0.5B\gamma N_\gamma$) | Larghezza ridotta (B') |
| Fattori di forma e inclinazione del carico | Fattori di inclinazione e fattori di forma |

Se la fondazione ha larghezza superiore a 2.0 m viene applicato il fattore di riduzione per comportamento a piastra

Stabilità globale

| | |
|---|---|
| Metodo di calcolo della stabilità globale | Bishop |

Altro

| | |
|---|---|
| Partecipazione spinta passiva terreno antistante | 0.00 |
| Partecipazione resistenza passiva dente di fondazione | 50.00 |
| Componente verticale della spinta nel calcolo delle sollecitazioni | NO |
| Considera terreno sulla fondazione di valle | NO |
| Considera spinta e peso acqua fondazione di valle | NO |
| Calcolo percorso filtrazione nella verifica a sifonamento | Bligh |

Spostamenti

Non è stato richiesto il calcolo degli spostamenti

Cedimenti

| | |
|---|---|
| Metodo di calcolo delle tensioni | Boussinesq |
| Metodo di calcolo dei cedimenti | Elastico |
| Profondità calcolo cedimenti | Automatica |
| ΔH massimo suddivisione strati | 1,00 [m] |

Specifiche per le verifiche nelle combinazioni allo Stato Limite di Esercizio (SLE)

Verifiche strutturali nelle combinazioni SLD SI

| | |
|---|---|
| Condizioni ambientali | Aggressive |
| Armatura ad aderenza migliorata | SI |

**Verifica a fessurazione**

| | |
|---|---|
| Sensibilità armatura | Poco sensibile |
| Metodo di calcolo aperture delle fessure | NTC 2018 - CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. |
| Calcolo momento fessurazione | Formazione |
| Resistenza a trazione per | Flessione |
| Valori limite aperture delle fessure: | $w_1$=0.20 |
| | $w_2$=0.30 |
| | $w_3$=0.40 |

**Verifica delle tensioni**

Valori limite delle tensioni nei materiali:

| Combinazione | Calcestruzzo | Acciaio |
|---|---|---|
| Rara | 0.60 $f_{ck}$ | 0.80 $f_{yk}$ |
| Frequente | 1.00 $f_{ck}$ | 1.00 $f_{yk}$ |
| Quasi permanente | 0.45 $f_{ck}$ | 1.00 $f_{yk}$ |

## 10.2. Sezione tipo 1 e 2 – 2.80m < H < 4.00m

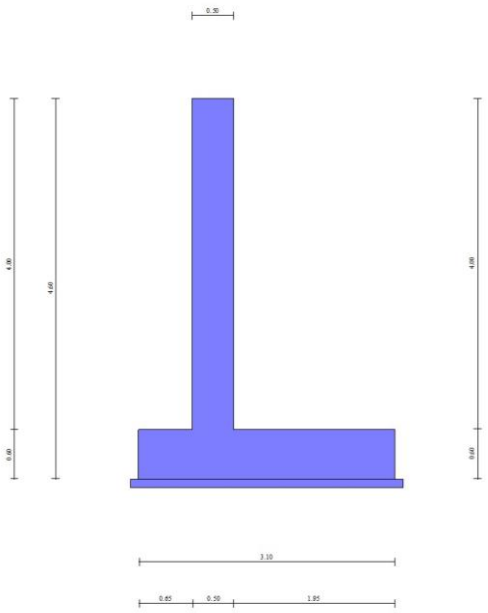



*Figura 10.2 – Geometria sezione di calcolo*

### *10.2.1. Carichi*

Condizioni di carico

Simbologia adottata
Carichi verticali positivi verso il basso.
Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.
X Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m]
$F_x$ Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kN]
$F_y$ Componente verticale del carico concentrato espressa in [kN]
M Momento espresso in [kNm]
$X_i$ Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]
$X_f$ Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]
$Q_i$ Intensità del carico per $x=X_i$ espressa in [kN]
$Q_f$ Intensità del carico per $x=X_f$ espressa in [kN]

Condizione n° 1 (Variabile_1) - VARIABILE

Coeff. di combinazione $\Psi_0$=0.75 - $\Psi_1$=0.75 - $\Psi_2$=0.20
Indice di raggruppamento 1

*Carichi sul terreno*

| n° | Tipo | X | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | [m] | [kN] | [kN] | [kNm] | [m] | [m] | [kN] | [kN] |
| 1 | Distribuito | | | | | 0,00 | 8,00 | 20,0000 | 20,0000 |

Condizione n° 2 (Urto) - ECCEZIONALE

*Carichi sul muro*

| n° | Tipo | Dest | X; Y | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | [m] | [kN] | [kN] | [kNm] | [m] | [m] | [kN] | [kN] |
| 1 | Concentrato | Paramento | 0,00; 0,00 | 10,0000 | 0,0000 | 10,0000 | | | | |

Condizione n° 3 (Variabile_2) - VARIABILE

Coeff. di combinazione $\Psi_0$=0.75 - $\Psi_1$=0.75 - $\Psi_2$=0.00
Indice di raggruppamento 2

*Carichi sul terreno*

| n° | Tipo | X | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | [m] | [kN] | [kN] | [kNm] | [m] | [m] | [kN] | [kN] |
| 1 | Distribuito | | | | | 1,95 | 8,00 | 20,0000 | 20,0000 |

Condizione n° 4 (Barriera) - PERMANENTE NS

*Carichi sul muro*

| n° | Tipo | Dest | X; Y | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | [m] | [kN] | [kN] | [kNm] | [m] | [m] | [kN] | [kN] |
| 1 | Concentrato | Paramento | -0,50; 0,00 | 0,0000 | 6,0000 | 1,2000 | | | | |

### 10.2.2. Verifiche geotecniche

*Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati*

Simbologia adottata
Cmb Indice/Tipo combinazione
S Sisma (H: componente orizzontale, V: componente verticale)
$FS_{SCO}$ Coeff. di sicurezza allo scorrimento
$FS_{RIB}$ Coeff. di sicurezza al ribaltamento
$FS_{QLIM}$ Coeff. di sicurezza a carico limite
$FS_{STAB}$ Coeff. di sicurezza a stabilità globale
$FS_{HYD}$ Coeff. di sicurezza a sifonamento
$FS_{UPL}$ Coeff. di sicurezza a sollevamento

| Cmb | Sismica | $FS_{SCO}$ | $FS_{RIB}$ | $FS_{QLIM}$ | $FS_{STAB}$ | $FS_{HYD}$ | $FS_{UPL}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 - STR (A1-M1-R3) | | 2.446 | | 2.870 | | | |
| 2 - STR (A1-M1-R3) | | 2.038 | | 2.883 | | | |
| 3 - STR (A1-M1-R3) | H + V | 2.921 | | 4.046 | | | |
| 4 - STR (A1-M1-R3) | H + V | 3.056 | | 4.319 | | | |
| 5 - STR (A1-M1-R3) | H - V | 2.907 | | 4.151 | | | |
| 6 - STR (A1-M1-R3) | H - V | 3.041 | | 4.431 | | | |
| 7 - STR (A1-M1-R3) | | 2.958 | | 2.744 | | | |
| 8 - STR (A1-M1-R3) | | 2.756 | | 2.801 | | | |
| 9 - STR (A1-M1-R3) | | 2.648 | | 2.829 | | | |
| 10 - STR (A1-M1-R3) | | 2.550 | | 2.850 | | | |
| 11 - STR (A1-M1-R3) | | 2.348 | | 2.883 | | | |
| 12 - STR (A1-M1-R3) | | 2.240 | | 2.892 | | | |
| 13 - GEO (A2-M2-R2) | | | | | 1.254 | | |
| 14 - GEO (A2-M2-R2) | | | | | 1.266 | | |
| 15 - GEO (A2-M2-R2) | H + V | | | | 1.658 | | |
| 16 - GEO (A2-M2-R2) | H + V | | | | 1.699 | | |
| 17 - GEO (A2-M2-R2) | H - V | | | | 1.649 | | |
| 18 - GEO (A2-M2-R2) | H - V | | | | 1.689 | | |

| Cmb | Sismica | FSSCO | FSRIB | FSQLIM | FSSTAB | FSHYD | FSUPL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19 - EQU (A1-M1-R3) | | | 4.185 | | | | |
| 20 - EQU (A1-M1-R3) | | | 3.422 | | | | |
| 21 - EQU (A1-M1-R3) | H + V | | 4.661 | | | | |
| 22 - EQU (A1-M1-R3) | H + V | | 4.940 | | | | |
| 23 - EQU (A1-M1-R3) | H - V | | 4.301 | | | | |
| 24 - EQU (A1-M1-R3) | H - V | | 4.537 | | | | |
| 25 - ECC | | 2.950 | 3.814 | 4.154 | 1.748 | | |
| 36 - HYD | | | | | | 100.000 | |
| 37 - UPL | | | | | | | 100.000 |
| 38 - HYD | | | | | | 100.000 | |
| 39 - UPL | | | | | | | 100.000 |

### *Cedimenti*

Simbologia adottata

Ic Indice combinazione
X, Y Punto di calcolo del cedimento, espressa in [m]
w Cedimento, espressa in [m]
dw Cedimento differenziale, espressa in [m]

| Ic | X; Y | w | dw |
|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[m]* |
| 26 | -1,15; -4,60 | 0,02672 | 0,00036 |
| 26 | 0,40; -4,60 | 0,03628 | 0,00992 |
| 26 | 1,95; -4,60 | 0,02636 | 0,00000 |

## *10.2.3. Verifiche strutturali*

### Sollecitazioni

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

n° Indice della sezione
X Posizione della sezione, espresso in [m]
N Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione.
T Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle
M Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)

La posizione delle sezioni di verifica fanno riferimento al sistema di riferimento globale la cui origine è nello spigolo in alto a destra del paramento.

### *Paramento*

| n° | X | Nmin | Nmax | Tmin | Tmax | Mmin | Mmax |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[kNm]* |
| 41 | -4,00 | 55,26 | 74,00 | 34,11 | 71,28 | 48,19 | 117,05 |

### *Fondazione*

| n° | X | Nmin | Nmax | Tmin | Tmax | Mmin | Mmax |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[kNm]* |
| 8 | -0,50 | 0,00 | 0,00 | 44,62 | 79,17 | 14,44 | 25,81 |
| 9 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -70,92 | -4,31 | -77,34 | -2,44 |

### Verifiche strutturali

### *Verifiche a flessione*

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

n° indice sezione
B larghezza sezione espresso in [m]
H altezza sezione espressa in [m]
Afi area ferri inferiori espresso in [mq]
Afs area ferri superiori espressa in [mq]
M momento agente espressa in [kNm]
N sforzo normale agente espressa in [kN]
Mrd momento resistente espresso in [kNm]
Nrd sforzo normale resistente espresso in [kN]
FS fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente)

**Paramento**

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | Mrd | Nrd | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[mq]* | *[mq]* | *[kNm]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[kN]* | |
| 41 | 1,00 | 0,50 | 0,000565 | 0,001407 | 117,05 | 59,00 | 234,37 | 59,00 | 2.002 |

## Fondazione

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | Mrd | Nrd | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [kNm] | [kN] | |
| 8 | 1,00 | 0,60 | 0,001005 | 0,001005 | 25,81 | 0,00 | 197,49 | 0,00 | 7.651 |
| 9 | 1,00 | 0,60 | 0,001005 | 0,001005 | -77,34 | 0,00 | -197,49 | 0,00 | 2.553 |

## *Verifiche a taglio*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° (o Is) | indice sezione |
| Y | ordinata sezione espressa in [m] |
| B | larghezza sezione espresso in [m] |
| H | altezza sezione espressa in [m] |
| $A_{sw}$ | area ferri a taglio espresso in [mq] |
| cotgθ | inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo |
| $V_{Rcd}$ | resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kN] |
| $V_{Rsd}$ | resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kN] |
| $V_{Rd}$ | resistenza di progetto a taglio espresso in [kN]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio ($A_{sw}$>0.0) $V_{Rd}$=min($V_{Rcd}$, $V_{Rsd}$). |
| T | taglio agente espressa in [kN] |
| FS | fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente) |

## Paramento

| n° | B | H | $A_{sw}$ | cotθ | $V_{Rcd}$ | $V_{Rsd}$ | $V_{Rd}$ | T | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | |
| 41 | 1,00 | 0,50 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 229,30 | 71,28 | 3.217 |

## Fondazione

| n° | B | H | $A_{sw}$ | cotθ | $V_{Rcd}$ | $V_{Rsd}$ | $V_{Rd}$ | T | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | |
| 8 | 1,00 | 0,60 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 222,50 | -79,17 | 2.810 |
| 9 | 1,00 | 0,60 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 222,50 | -70,92 | 3.137 |

## *Verifica delle tensioni*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| Y | ordinata sezione, espressa in [m] |
| B | larghezza sezione, espresso in [m] |
| H | altezza sezione, espressa in [m] |
| Afi | area ferri inferiori, espresso in [mq] |
| Afs | area ferri superiori, espressa in [mq] |
| M | momento agente, espressa in [kNm] |
| N | sforzo normale agente, espressa in [kN] |
| σc | tensione di compressione nel cls, espressa in [N/mmq] |
| σfi | tensione nei ferri inferiori, espressa in [N/mmq] |
| σfs | tensione nei ferri superiori, espressa in [N/mmq] |

## Combinazioni SLER

### Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 19,920 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 360,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 41 | 1,00 | 0,50 | 0,000565 | 0,001407 | 84,10 | 56,00 | 3,487 (26) | 129,322 (26) | 28,470 (26) |

### Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14,940 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 360,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 8 | 1,00 | 0,60 | 0,001005 | 0,001005 | 18,98 | 0,00 | 0,620 (26) | 37,489 (26) | 4,290 (26) |
| 9 | 1,00 | 0,60 | 0,001005 | 0,001005 | -20,19 | 0,00 | 0,659 (29) | 4,565 (29) | 39,889 (29) |

## Combinazioni SLEF

### Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 33,200 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 41 | 1,00 | 0,50 | 0,000565 | 0,001407 | 75,12 | 56,00 | 3,119 (27) | 113,522 (27) | 25,754 (27) |

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 24,900 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 8 | 1,00 | 0,60 | 0,001005 | 0,001005 | 17,84 | 0,00 | 0,583 (27) | 35,246 (27) | 4,034 (27) |
| 9 | 1,00 | 0,60 | 0,001005 | 0,001005 | -15,75 | 0,00 | 0,514 (30) | 3,561 (30) | 31,120 (30) |

**Combinazioni SLEQ**

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14,940 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 41 | 1,00 | 0,50 | 0,000565 | 0,001407 | 60,22 | 56,46 | 2,508 (32) | 87,174 (32) | 21,250 (32) |

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 11,205 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 8 | 1,00 | 0,60 | 0,001005 | 0,001005 | 16,97 | 0,00 | 0,554 (32) | 33,512 (32) | 3,835 (32) |
| 9 | 1,00 | 0,60 | 0,001005 | 0,001005 | -15,33 | 0,00 | 0,501 (33) | 3,465 (33) | 30,274 (33) |

## *Verifica a fessurazione*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| Y | ordinata sezione espressa in [m] |
| B | larghezza sezione espresso in [m] |
| H | altezza sezione espressa in [m] |
| Af | area ferri zona tesa espresso in [mq] |
| Aeff | area efficace espressa in [mq] |
| M | momento agente espressa in [kNm] |
| Mpf | momento di formazione/apertura fessure espressa in [kNm] |
| ε | deformazione espresso in % |
| Sm | spaziatura tra le fessure espressa in [mm] |
| w | apertura delle fessure espressa in [mm] |

**Combinazioni SLEF**

Paramento

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.30

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 41 | 1,00 | 0,50 | 0,001407 | 0,126324 | 75,12 | 149,93 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |

Fondazione

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.30

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 8 | 1,00 | 0,60 | 0,001005 | 0,145000 | 17,84 | 168,55 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |
| 9 | 1,00 | 0,60 | 0,001005 | 0,145000 | -14,74 | -168,55 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |

**Combinazioni SLEQ**

Paramento

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.20

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 41 | 1,00 | 0,50 | 0,001407 | 0,126324 | 55,37 | 149,94 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (28) |

Fondazione

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.20

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 8 | 1,00 | 0,60 | 0,001005 | 0,145000 | 15,35 | 168,55 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (28) |
| 9 | 1,00 | 0,60 | 0,001005 | 0,145000 | -5,72 | -168,55 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (28) |

## 10.3. Sezione tipo 3 – 2.00m < H < 2.80m

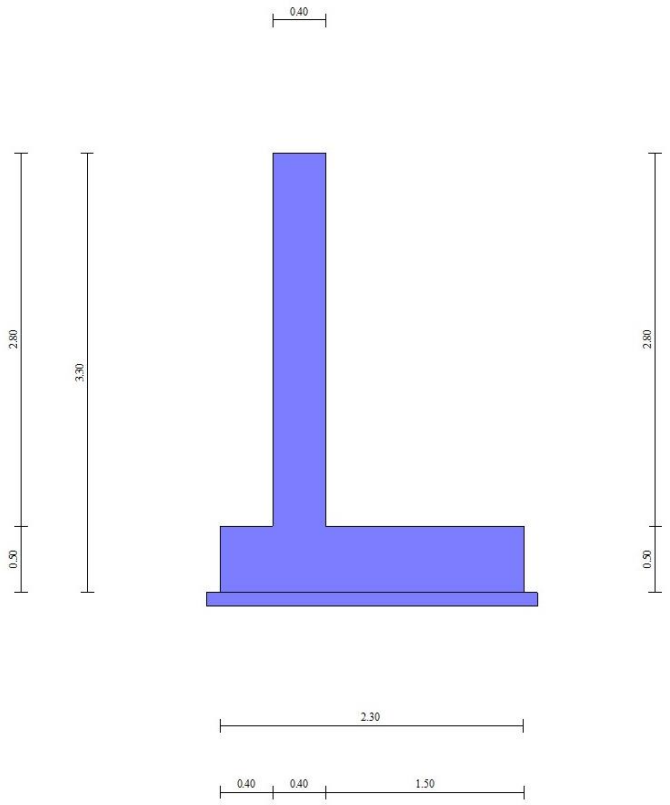



*Figura 10.3 – Geometria sezione di calcolo*

### *10.3.1. Carichi*

Condizioni di carico

Simbologia adottata
Carichi verticali positivi verso il basso.
Carichi orizzontali positivi verso sinistra.
Momento positivo senso antiorario.

| | |
|---|---|
| X | Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m] |
| $F_x$ | Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kN] |
| $F_y$ | Componente verticale del carico concentrato espressa in [kN] |
| M | Momento espresso in [kNm] |
| $X_i$ | Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m] |
| $X_f$ | Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m] |
| $Q_i$ | Intensità del carico per $x=X_i$ espressa in [kN] |
| $Q_f$ | Intensità del carico per $x=X_f$ espressa in [kN] |

Condizione n° 1 (Variabile 1) - VARIABILE
Coeff. di combinazione $\Psi_0$=0.75 - $\Psi_1$=0.75 - $\Psi_2$=0.20
Indice di raggruppamento 1

*Carichi sul terreno*

| n° | Tipo | X | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | | [m] | [kN] | [kN] | [kNm] | [m] | [m] | [kN] | [kN] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Distribuito | | | | | 0,00 | 8,00 | 20,0000 | 20,0000 |

Condizione n° 2 (Urto) - ECCEZIONALE

*Carichi sul muro*

| n° | Tipo | Dest | X; Y | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | [m] | [kN] | [kN] | [kNm] | [m] | [m] | [kN] | [kN] |
| 1 | Concentrato | Paramento | 0,00; 0,00 | 10,0000 | 0,0000 | 10,0000 | | | | |

Condizione n° 3 (Variabile_2) - VARIABILE
Coeff. di combinazione $\Psi_0$=0.75 - $\Psi_1$=0.75 - $\Psi_2$=0.00
Indice di raggruppamento 2

*Carichi sul terreno*

| n° | Tipo | X | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | [m] | [kN] | [kN] | [kNm] | [m] | [m] | [kN] | [kN] |
| 1 | Distribuito | | | | | 1,50 | 8,00 | 20,0000 | 20,0000 |

Condizione n° 4 (Barriera) - PERMANENTE NS

*Carichi sul muro*

| n° | Tipo | Dest | X; Y | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | [m] | [kN] | [kN] | [kNm] | [m] | [m] | [kN] | [kN] |
| 1 | Concentrato | Paramento | -0,40; 0,00 | 0,0000 | 6,0000 | 1,2000 | | | | |

### 10.3.2. Verifiche geotecniche

*Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati*

Simbologia adottata
Cmb Indice/Tipo combinazione
S Sisma (H: componente orizzontale, V: componente verticale)
$FS_{SCO}$ Coeff. di sicurezza allo scorrimento
$FS_{RIB}$ Coeff. di sicurezza al ribaltamento
$FS_{QLIM}$ Coeff. di sicurezza a carico limite
$FS_{STAB}$ Coeff. di sicurezza a stabilità globale
$FS_{HYD}$ Coeff. di sicurezza a sifonamento
$FS_{UPL}$ Coeff. di sicurezza a sollevamento

| Cmb | Sismica | $FS_{SCO}$ | $FS_{RIB}$ | $FS_{QLIM}$ | $FS_{STAB}$ | $FS_{HYD}$ | $FS_{UPL}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 - STR (A1-M1-R3) | | 2.542 | | 2.899 | | | |
| 2 - STR (A1-M1-R3) | | 2.005 | | 2.931 | | | |
| 3 - STR (A1-M1-R3) | H + V | 3.106 | | 4.380 | | | |
| 4 - STR (A1-M1-R3) | H + V | 3.305 | | 4.768 | | | |
| 5 - STR (A1-M1-R3) | H - V | 3.092 | | 4.494 | | | |
| 6 - STR (A1-M1-R3) | H - V | 3.289 | | 4.891 | | | |
| 7 - STR (A1-M1-R3) | | 3.030 | | 2.764 | | | |
| 8 - STR (A1-M1-R3) | | 2.827 | | 2.826 | | | |
| 9 - STR (A1-M1-R3) | | 2.745 | | 2.849 | | | |
| 10 - STR (A1-M1-R3) | | 2.493 | | 2.909 | | | |
| 11 - STR (A1-M1-R3) | | 2.290 | | 2.939 | | | |
| 12 - STR (A1-M1-R3) | | 2.208 | | 2.944 | | | |
| 13 - GEO (A2-M2-R2) | | | | | 1.272 | | |
| 14 - GEO (A2-M2-R2) | | | | | 1.285 | | |
| 15 - GEO (A2-M2-R2) | H + V | | | | 1.742 | | |
| 16 - GEO (A2-M2-R2) | H + V | | | | 1.806 | | |
| 17 - GEO (A2-M2-R2) | H - V | | | | 1.732 | | |
| 18 - GEO (A2-M2-R2) | H - V | | | | 1.795 | | |
| 19 - EQU (A1-M1-R3) | | | 4.170 | | | | |
| 20 - EQU (A1-M1-R3) | | | 3.197 | | | | |
| 21 - EQU (A1-M1-R3) | H + V | | 4.741 | | | | |
| 22 - EQU (A1-M1-R3) | H + V | | 5.106 | | | | |
| 23 - EQU (A1-M1-R3) | H - V | | 4.363 | | | | |
| 24 - EQU (A1-M1-R3) | H - V | | 4.669 | | | | |
| 25 - ECC | | 2.760 | 2.830 | 4.121 | 1.849 | | |
| 36 - HYD | | | | | | 100.000 | |
| 37 - UPL | | | | | | | 100.000 |
| 38 - HYD | | | | | | 100.000 | |
| 39 - UPL | | | | | | | 100.000 |

## Cedimenti

Simbologia adottata
Ic Indice combinazione
X, Y Punto di calcolo del cedimento, espressa in [m]
w Cedimento, espressa in [m]
dw Cedimento differenziale, espressa in [m]

| Ic | X; Y | w | dw |
|---|---|---|---|

| | [m] | [m] | [m] |
|---|---|---|---|
| 26 | -0,80; -3,30 | 0,01879 | 0,00098 |
| 26 | 0,35; -3,30 | 0,02429 | 0,00649 |
| 26 | 1,50; -3,30 | 0,01781 | 0,00000 |

### 10.3.3. Verifiche strutturali

## Sollecitazioni

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

n° Indice della sezione
X Posizione della sezione, espresso in [m]
N Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione.
T Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle
M Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)

La posizione delle sezioni di verifica fanno riferimento al sistema di riferimento globale la cui origine è nello spigolo in alto a destra del paramento.

### *Paramento*

| n° | X | $N_{min}$ | $N_{max}$ | $T_{min}$ | $T_{max}$ | $M_{min}$ | $M_{max}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kNm] | [kNm] |
| 29 | -2,80 | 33,59 | 45,40 | 16,72 | 40,58 | 18,01 | 59,53 |

### *Fondazione*

| n° | X | $N_{min}$ | $N_{max}$ | $T_{min}$ | $T_{max}$ | $M_{min}$ | $M_{max}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kNm] | [kNm] |
| 5 | -0,40 | 0,00 | 0,00 | 22,74 | 42,55 | 4,56 | 8,58 |
| 6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -39,08 | -0,95 | -35,52 | -1,60 |

## Verifiche strutturali

### *Verifiche a flessione*

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

n° indice sezione
B larghezza sezione espresso in [m]
H altezza sezione espressa in [m]
Afi area ferri inferiori espresso in [mq]
Afs area ferri superiori espressa in [mq]
M momento agente espressa in [kNm]
N sforzo normale agente espressa in [kN]
Mrd momento resistente espresso in [kNm]
Nrd sforzo normale resistente espresso in [kN]
FS fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente)

**Paramento**

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | Mrd | Nrd | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [kNm] | [kN] | |
| 29 | 1,00 | 0,40 | 0,000565 | 0,001005 | 59,53 | 34,00 | 149,71 | 34,00 | 2.515 |

**Fondazione**

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | Mrd | Nrd | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [kNm] | [kN] | |
| 5 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | 8,58 | 0,00 | 159,46 | 0,00 | 18.590 |
| 6 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | -35,52 | 0,00 | -159,46 | 0,00 | 4.490 |

### *Verifiche a taglio*

Simbologia adottata

n° (o Is) indice sezione
Y ordinata sezione espressa in [m]
B larghezza sezione espresso in [m]
H altezza sezione espressa in [m]
$A_{sw}$ area ferri a taglio espresso in [mq]
cotgθ inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
$V_{Rcd}$ resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kN]
$V_{Rsd}$ resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kN]
$V_{Rd}$ resistenza di progetto a taglio espresso in [kN]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio ($A_{sw}$>0.0) $V_{Rd}$=min($V_{Rcd}$, $V_{Rsd}$).
T taglio agente espressa in [kN]
FS fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente)

**Paramento**

| n° | B | H | $A_{sw}$ | cotθ | $V_{Rcd}$ | $V_{Rsd}$ | $V_{Rd}$ | T | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | |
| 29 | 1,00 | 0,40 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 187,64 | 40,58 | 4.624 |

## Fondazione

| n° | B | H | $A_{sw}$ | cotθ | $V_{Rcd}$ | $V_{Rsd}$ | $V_{Rd}$ | T | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | |
| 5 | 1,00 | 0,50 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 202,37 | -42,55 | 4.756 |
| 6 | 1,00 | 0,50 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 202,37 | -39,08 | 5.179 |

## *Verifica delle tensioni*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| Y | ordinata sezione, espressa in [m] |
| B | larghezza sezione, espresso in [m] |
| H | altezza sezione, espressa in [m] |
| Afi | area ferri inferiori, espresso in [mq] |
| Afs | area ferri superiori, espressa in [mq] |
| M | momento agente, espressa in [kNm] |
| N | sforzo normale agente, espressa in [kN] |
| σc | tensione di compressione nel cls, espressa in [N/mmq] |
| σfi | tensione nei ferri inferiori, espressa in [N/mmq] |
| σfs | tensione nei ferri superiori, espressa in [N/mmq] |

## Combinazioni SLER

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 19,920 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 360,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 29 | 1,00 | 0,40 | 0,000565 | 0,001005 | 35,60 | 34,00 | 2,538 (26) | 96,706 (26) | 15,217 (26) |

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14,940 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 360,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 5 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | 6,24 | 0,00 | 0,283 (26) | 15,245 (26) | 1,689 (26) |
| 6 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | -10,81 | 0,00 | 0,490 (29) | 2,925 (29) | 26,410 (29) |

## Combinazioni SLEF

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 33,200 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 29 | 1,00 | 0,40 | 0,000565 | 0,001005 | 31,20 | 34,00 | 2,225 (27) | 82,713 (27) | 13,691 (27) |

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 24,900 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 5 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | 5,82 | 0,00 | 0,264 (27) | 14,222 (27) | 1,575 (27) |
| 6 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | -8,51 | 0,00 | 0,386 (30) | 2,302 (30) | 20,787 (30) |

## Combinazioni SLEQ

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14,940 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 29 | 1,00 | 0,40 | 0,000565 | 0,001005 | 23,47 | 34,26 | 1,673 (32) | 58,038 (32) | 11,000 (32) |

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 11,205 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 5 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | 5,37 | 0,00 | 0,244 (32) | 13,131 (32) | 1,454 (32) |
| 6 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | -7,45 | 0,00 | 0,338 (33) | 2,017 (33) | 18,208 (33) |

## *Verifica a fessurazione*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| Y | ordinata sezione espressa in [m] |
| B | larghezza sezione espresso in [m] |
| H | altezza sezione espressa in [m] |
| Af | area ferri zona tesa espresso in [mq] |
| Aeff | area efficace espressa in [mq] |
| M | momento agente espressa in [kNm] |
| Mpf | momento di formazione/apertura fessure espressa in [kNm] |
| ε | deformazione espresso in % |
| Sm | spaziatura tra le fessure espressa in [mm] |
| w | apertura delle fessure espressa in [mm] |

### Combinazioni SLEF

Paramento

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.30

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 29 | 1,00 | 0,40 | 0,001005 | 0,103566 | 31,20 | 93,31 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |

Fondazione

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.30

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 5 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,134570 | 5,82 | 117,96 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |
| 6 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,134570 | -7,88 | -117,96 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |

### Combinazioni SLEQ

Paramento

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.20

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 29 | 1,00 | 0,40 | 0,001005 | 0,103566 | 21,53 | 93,31 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (28) |

Fondazione

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.20

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 5 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,134570 | 4,90 | 117,96 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (28) |
| 6 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,134570 | -3,28 | -117,96 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (28) |

## 10.4. Sezione tipo 4 – 1.00m < H < 2.00m

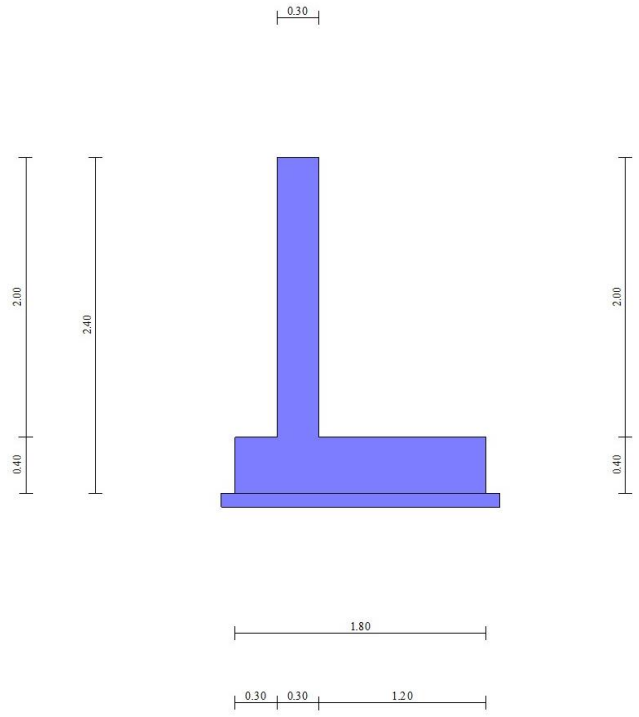



*Figura 10.4 – Geometria sezione di calcolo*

### *10.4.1. Carichi*

Condizioni di carico

Simbologia adottata
Carichi verticali positivi verso il basso.
Carichi orizzontali positivi verso sinistra.
Momento positivo senso antiorario.

| | |
|---|---|
| X | Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m] |
| $F_x$ | Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kN] |
| $F_y$ | Componente verticale del carico concentrato espressa in [kN] |
| M | Momento espresso in [kNm] |
| $X_i$ | Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m] |
| $X_f$ | Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m] |
| $Q_i$ | Intensità del carico per $x=X_i$ espressa in [kN] |
| $Q_f$ | Intensità del carico per $x=X_f$ espressa in [kN] |

Condizione n° 1 (Variabile_1) - VARIABILE
Coeff. di combinazione $\Psi_0$=0.75 - $\Psi_1$=0.75 - $\Psi_2$=0.20
Indice di raggruppamento 1

*Carichi sul terreno*

| n° | Tipo | X | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[m]* | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* |
| 1 | Distribuito | | | | | 0,00 | 8,00 | 20,0000 | 20,0000 |

Condizione n° 2 (Urto) - ECCEZIONALE

*Carichi sul muro*

| n° | Tipo | Dest | X; Y | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[m]* | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* |
| 1 | Concentrato | Paramento | 0,00; 0,00 | 10,0000 | 0,0000 | 10,0000 | | | | |

Condizione n° 3 (Variabile_2) - VARIABILE

Coeff. di combinazione $\Psi_0$=0.75 - $\Psi_1$=0.75 - $\Psi_2$=0.00
Indice di raggruppamento 2

*Carichi sul terreno*

| n° | Tipo | X | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[m]* | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* |
| 1 | Distribuito | | | | | 1,20 | 8,00 | 20,0000 | 20,0000 |

Condizione n° 4 (Barriera) - PERMANENTE NS

*Carichi sul muro*

| n° | Tipo | Dest | X; Y | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[m]* | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* |
| 1 | Concentrato | Paramento | -0,30; 0,00 | 0,0000 | 6,0000 | 1,2000 | | | | |

## 10.4.2. Verifiche geotecniche

### *Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati*

Simbologia adottata
Cmb Indice/Tipo combinazione
S Sisma (H: componente orizzontale, V: componente verticale)
$FS_{SCO}$ Coeff. di sicurezza allo scorrimento
$FS_{RIB}$ Coeff. di sicurezza al ribaltamento
$FS_{QLIM}$ Coeff. di sicurezza a carico limite
$FS_{STAB}$ Coeff. di sicurezza a stabilità globale
$FS_{HYD}$ Coeff. di sicurezza a sifonamento
$FS_{UPL}$ Coeff. di sicurezza a sollevamento

| Cmb | Sismica | $FS_{SCO}$ | $FS_{RIB}$ | $FS_{QLIM}$ | $FS_{STAB}$ | $FS_{HYD}$ | $FS_{UPL}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 - STR (A1-M1-R3) | | 2.674 | | 2.921 | | | |
| 2 - STR (A1-M1-R3) | | 1.973 | | 2.979 | | | |
| 3 - STR (A1-M1-R3) | H + V | 3.326 | | 4.768 | | | |
| 4 - STR (A1-M1-R3) | H + V | 3.615 | | 5.313 | | | |
| 5 - STR (A1-M1-R3) | H - V | 3.313 | | 4.891 | | | |
| 6 - STR (A1-M1-R3) | H - V | 3.599 | | 5.449 | | | |
| 7 - STR (A1-M1-R3) | | 3.132 | | 2.781 | | | |
| 8 - STR (A1-M1-R3) | | 2.940 | | 2.844 | | | |
| 9 - STR (A1-M1-R3) | | 2.866 | | 2.867 | | | |
| 10 - STR (A1-M1-R3) | | 2.432 | | 2.975 | | | |
| 11 - STR (A1-M1-R3) | | 2.239 | | 2.997 | | | |
| 12 - STR (A1-M1-R3) | | 2.166 | | 2.999 | | | |
| 13 - GEO (A2-M2-R2) | | | | | 1.271 | | |
| 14 - GEO (A2-M2-R2) | | | | | 1.286 | | |
| 15 - GEO (A2-M2-R2) | H + V | | | | 1.802 | | |
| 16 - GEO (A2-M2-R2) | H + V | | | | 1.896 | | |
| 17 - GEO (A2-M2-R2) | H - V | | | | 1.793 | | |
| 18 - GEO (A2-M2-R2) | H - V | | | | 1.885 | | |
| 19 - EQU (A1-M1-R3) | | | 4.372 | | | | |
| 20 - EQU (A1-M1-R3) | | | 3.100 | | | | |
| 21 - EQU (A1-M1-R3) | H + V | | 4.997 | | | | |
| 22 - EQU (A1-M1-R3) | H + V | | 5.456 | | | | |
| 23 - EQU (A1-M1-R3) | H - V | | 4.572 | | | | |
| 24 - EQU (A1-M1-R3) | H - V | | 4.949 | | | | |
| 25 - ECC | | 2.445 | 2.025 | 3.908 | 1.920 | | |
| 36 - HYD | | | | | | 100.000 | |
| 37 - UPL | | | | | | | 100.000 |
| 38 - HYD | | | | | | 100.000 | |
| 39 - UPL | | | | | | | 100.000 |

## Cedimenti

Simbologia adottata
Ic Indice combinazione
X, Y Punto di calcolo del cedimento, espressa in [m]
w Cedimento, espressa in [m]
dw Cedimento differenziale, espressa in [m]

| Ic | X; Y | w | dw |
|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[m]* |
| 26 | -0,60; -2,40 | 0,01310 | 0,00068 |
| 26 | 0,30; -2,40 | 0,01661 | 0,00419 |
| 26 | 1,20; -2,40 | 0,01242 | 0,00000 |

### 10.4.3. Verifiche strutturali

## Sollecitazioni

Elementi calcolati a trave
Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | Indice della sezione |
| X | Posizione della sezione, espresso in [m] |
| N | Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione. |
| T | Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle |
| M | Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte) |

La posizione delle sezioni di verifica fanno riferimento al sistema di riferimento globale la cui origine è nello spigolo in alto a destra del paramento.

### *Paramento*

| n° | X | $N_{min}$ | $N_{max}$ | $T_{min}$ | $T_{max}$ | $M_{min}$ | $M_{max}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[kNm]* |
| 21 | -2,00 | 20,78 | 28,50 | 8,53 | 24,55 | 7,79 | 39,58 |

### *Fondazione*

| n° | X | $N_{min}$ | $N_{max}$ | $T_{min}$ | $T_{max}$ | $M_{min}$ | $M_{max}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[kNm]* |
| 4 | -0,30 | 0,00 | 0,00 | 13,34 | 30,79 | 2,01 | 4,80 |
| 5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -27,02 | 0,16 | -26,45 | -0,77 |

## Verifiche strutturali

### *Verifiche a flessione*

Elementi calcolati a trave
Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| B | larghezza sezione espresso in [m] |
| H | altezza sezione espressa in [m] |
| Afi | area ferri inferiori espresso in [mq] |
| Afs | area ferri superiori espressa in [mq] |
| M | momento agente espressa in [kNm] |
| N | sforzo normale agente espressa in [kN] |
| Mrd | momento resistente espresso in [kNm] |
| Nrd | sforzo normale resistente espresso in [kN] |
| FS | fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente) |

**Paramento**

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | Mrd | Nrd | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[mq]* | *[mq]* | *[kNm]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[kN]* | |
| 21 | 1,00 | 0,30 | 0,000770 | 0,000770 | 39,58 | 21,00 | 81,27 | 21,00 | 2.053 |

**Fondazione**

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | Mrd | Nrd | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[mq]* | *[mq]* | *[kNm]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[kN]* | |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | 4,80 | 0,00 | 110,57 | 0,00 | 23.026 |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -26,45 | 0,00 | -110,57 | 0,00 | 4.180 |

### *Verifiche a taglio*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° (o Is) | indice sezione |
| Y | ordinata sezione espressa in [m] |
| B | larghezza sezione espresso in [m] |
| H | altezza sezione espressa in [m] |
| $A_{sw}$ | area ferri a taglio espresso in [mq] |
| cotgθ | inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo |
| $V_{Rcd}$ | resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kN] |
| $V_{Rsd}$ | resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kN] |
| $V_{Rd}$ | resistenza di progetto a taglio espresso in [kN]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio ($A_{sw}$>0.0) $V_{Rd}$=min($V_{Rcd}$, $V_{Rsd}$). |
| T | taglio agente espressa in [kN] |
| FS | fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente) |

**Paramento**

| n° | B | H | $A_{sw}$ | cotθ | $V_{Rcd}$ | $V_{Rsd}$ | $V_{Rd}$ | T | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[mq]* | | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | |
| 21 | 1,00 | 0,30 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 159,52 | 24,55 | 6.496 |

**Fondazione**

| n° | B | H | $A_{sw}$ | cotθ | $V_{Rcd}$ | $V_{Rsd}$ | $V_{Rd}$ | T | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 164,96 | -30,79 | 5.357 |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 164,96 | -27,02 | 6.105 |

## *Verifica delle tensioni*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| Y | ordinata sezione, espressa in [m] |
| B | larghezza sezione, espresso in [m] |
| H | altezza sezione, espressa in [m] |
| Afi | area ferri inferiori, espresso in [mq] |
| Afs | area ferri superiori, espressa in [mq] |
| M | momento agente, espressa in [kNm] |
| N | sforzo normale agente, espressa in [kN] |
| σc | tensione di compressione nel cls, espressa in [N/mmq] |
| σfi | tensione nei ferri inferiori, espressa in [N/mmq] |
| σfs | tensione nei ferri superiori, espressa in [N/mmq] |

### Combinazioni SLER

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 19,920 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 360,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 21 | 1,00 | 0,30 | 0,000770 | 0,000770 | 16,77 | 21,00 | 2,300 (26) | 84,510 (26) | 6,579 (26) |

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14,940 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 360,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | 2,85 | 0,00 | 0,221 (26) | 11,716 (26) | 0,822 (26) |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -5,39 | 0,00 | 0,420 (29) | 1,558 (29) | 22,204 (29) |

### Combinazioni SLEF

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 33,200 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 21 | 1,00 | 0,30 | 0,000770 | 0,000770 | 14,52 | 21,00 | 1,988 (27) | 71,323 (27) | 6,094 (27) |

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 24,900 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | 2,64 | 0,00 | 0,205 (27) | 10,861 (27) | 0,762 (27) |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -4,24 | 0,00 | 0,330 (30) | 1,224 (30) | 17,448 (30) |

### Combinazioni SLEQ

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14,940 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 21 | 1,00 | 0,30 | 0,000770 | 0,000770 | 10,43 | 21,14 | 1,418 (32) | 47,239 (32) | 5,201 (32) |

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 11,205 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | 2,37 | 0,00 | 0,185 (32) | 9,773 (32) | 0,686 (32) |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -3,50 | 0,00 | 0,273 (33) | 1,012 (33) | 14,422 (33) |

## *Verifica a fessurazione*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| Y | ordinata sezione espressa in [m] |
| B | larghezza sezione espresso in [m] |
| H | altezza sezione espressa in [m] |
| Af | area ferri zona tesa espresso in [mq] |
| Aeff | area efficace espressa in [mq] |
| M | momento agente espressa in [kNm] |
| Mpf | momento di formazione/apertura fessure espressa in [kNm] |
| ε | deformazione espresso in % |
| Sm | spaziatura tra le fessure espressa in [mm] |
| w | apertura delle fessure espressa in [mm] |

### Combinazioni SLEF

Paramento

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.30

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 21 | 1,00 | 0,30 | 0,000770 | 0,078171 | 14,52 | 51,67 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |

Fondazione

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.30

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | 2,64 | 74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | -3,84 | -74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |

### Combinazioni SLEQ

Paramento

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.20

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 21 | 1,00 | 0,30 | 0,000770 | 0,078171 | 9,58 | 51,67 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (28) |

Fondazione

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.20

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | 2,18 | 74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (28) |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | -1,59 | -74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (28) |

## 10.5. Sezione tipo 5 - H < 1.00m

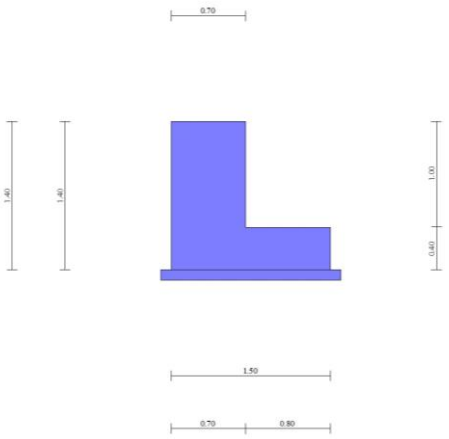



*Figura 10.5 – Geometria sezione di calcolo*

### *10.5.1. Carichi*

Condizioni di carico

Simbologia adottata
Carichi verticali positivi verso il basso.
Carichi orizzontali positivi verso sinistra.
Momento positivo senso antiorario.

| | |
|---|---|
| X | Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m] |
| $F_x$ | Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kN] |
| $F_y$ | Componente verticale del carico concentrato espressa in [kN] |
| M | Momento espresso in [kNm] |
| $X_i$ | Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m] |
| $X_f$ | Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m] |
| $Q_i$ | Intensità del carico per $x=X_i$ espressa in [kN] |
| $Q_f$ | Intensità del carico per $x=X_f$ espressa in [kN] |

Condizione n° 1 (Variabile_1) - VARIABILE
Coeff. di combinazione $\Psi_0$=0.75 - $\Psi_1$=0.75 - $\Psi_2$=0.20
Indice di raggruppamento 1

*Carichi sul terreno*

| n° | Tipo | X | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[m]* | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* |
| 1 | Distribuito | | | | | 0,00 | 8,00 | 20,0000 | 20,0000 |

Condizione n° 2 (Urto) - ECCEZIONALE

*Carichi sul muro*

| n° | Tipo | Dest | X; Y | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[m]* | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* |
| 1 | Concentrato | Paramento | 0,00; 0,00 | 10,0000 | 0,0000 | 10,0000 | | | | |

Condizione n° 3 (Variabile_2) – VARIABILE

Coeff. di combinazione $\Psi_0$=0.75 - $\Psi_1$=0.75 - $\Psi_2$=0.00
Indice di raggruppamento 2

*Carichi sul terreno*

| n° | Tipo | X | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[m]* | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* |
| 1 | Distribuito | | | | | 0,80 | 8,00 | 20,0000 | 20,0000 |

Condizione n° 4 (Barriera) - PERMANENTE NS

*Carichi sul muro*

| n° | Tipo | Dest | X; Y | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[m]* | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* |
| 1 | Concentrato | Paramento | -0,35; 0,00 | 0,0000 | 1,0000 | 0,0000 | | | | |

## 10.5.2. Verifiche geotecniche

### *Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati*

Simbologia adottata

Cmb Indice/Tipo combinazione
S Sisma (H: componente orizzontale, V: componente verticale)
$FS_{SCO}$ Coeff. di sicurezza allo scorrimento
$FS_{RIB}$ Coeff. di sicurezza al ribaltamento
$FS_{QLIM}$ Coeff. di sicurezza a carico limite
$FS_{STAB}$ Coeff. di sicurezza a stabilità globale
$FS_{HYD}$ Coeff. di sicurezza a sifonamento
$FS_{UPL}$ Coeff. di sicurezza a sollevamento

| Cmb | Sismica | $FS_{SCO}$ | $FS_{RIB}$ | $FS_{QLIM}$ | $FS_{STAB}$ | $FS_{HYD}$ | $FS_{UPL}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 - STR (A1-M1-R3) | | 3.347 | | 4.484 | | | |
| 2 - STR (A1-M1-R3) | | 2.338 | | 4.973 | | | |
| 3 - STR (A1-M1-R3) | H + V | 4.641 | | 7.538 | | | |
| 4 - STR (A1-M1-R3) | H + V | 5.372 | | 8.532 | | | |
| 5 - STR (A1-M1-R3) | H - V | 4.608 | | 7.738 | | | |
| 6 - STR (A1-M1-R3) | H - V | 5.329 | | 8.760 | | | |
| 7 - STR (A1-M1-R3) | | 3.949 | | 4.137 | | | |
| 8 - STR (A1-M1-R3) | | 3.539 | | 4.372 | | | |
| 9 - STR (A1-M1-R3) | | 3.757 | | 4.246 | | | |
| 10 - STR (A1-M1-R3) | | 2.940 | | 4.716 | | | |
| 11 - STR (A1-M1-R3) | | 2.530 | | 4.912 | | | |
| 12 - STR (A1-M1-R3) | | 2.748 | | 4.816 | | | |
| 13 - GEO (A2-M2-R2) | | | | | 1.455 | | |
| 14 - GEO (A2-M2-R2) | | | | | 1.540 | | |
| 15 - GEO (A2-M2-R2) | H + V | | | | 2.354 | | |
| 16 - GEO (A2-M2-R2) | H + V | | | | 2.601 | | |
| 17 - GEO (A2-M2-R2) | H - V | | | | 2.338 | | |
| 18 - GEO (A2-M2-R2) | H - V | | | | 2.582 | | |
| 19 - EQU (A1-M1-R3) | | | 7.731 | | | | |
| 20 - EQU (A1-M1-R3) | | | 4.841 | | | | |
| 21 - EQU (A1-M1-R3) | H + V | | 8.934 | | | | |
| 22 - EQU (A1-M1-R3) | H + V | | 10.325 | | | | |
| 23 - EQU (A1-M1-R3) | H - V | | 7.580 | | | | |
| 24 - EQU (A1-M1-R3) | H - V | | 8.540 | | | | |
| 25 - ECC | | 2.196 | 1.546 | 4.810 | 2.558 | | |
| 36 - HYD | | | | | | 100.000 | |
| 37 - UPL | | | | | | | 100.000 |
| 38 - HYD | | | | | | 100.000 | |
| 39 - UPL | | | | | | | 100.000 |

### Cedimenti

Simbologia adottata

Ic Indice combinazione
X, Y Punto di calcolo del cedimento, espressa in [m]
w Cedimento, espressa in [m]
dw Cedimento differenziale, espressa in [m]

| Ic | X; Y | w | dw |
|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[m]* |
| 26 | -0,70; -1,40 | 0,00797 | 0,00000 |
| 26 | 0,05; -1,40 | 0,01032 | 0,00234 |
| 26 | 0,80; -1,40 | 0,00807 | 0,00010 |

## 10.5.3. Verifiche strutturali

### Sollecitazioni

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

n° Indice della sezione
X Posizione della sezione, espresso in [m]
N Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione.
T Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle
M Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)

La posizione delle sezioni di verifica fanno riferimento al sistema di riferimento globale la cui origine è nello spigolo in alto a destra del paramento.

### *Paramento*

| n° | X | Nmin | Nmax | Tmin | Tmax | Mmin | Mmax |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[kNm]* |
| 11 | -1,00 | 18,24 | 24,25 | 2,13 | 13,03 | 0,71 | 21,16 |

### *Fondazione*

| n° | X | Nmin | Nmax | Tmin | Tmax | Mmin | Mmax |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[kNm]* |
| 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -25,40 | 1,07 | -10,52 | 0,02 |

## Verifiche strutturali

### *Verifiche a flessione*

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| B | larghezza sezione espresso in [m] |
| H | altezza sezione espressa in [m] |
| Afi | area ferri inferiori espresso in [mq] |
| Afs | area ferri superiori espressa in [mq] |
| M | momento agente espressa in [kNm] |
| N | sforzo normale agente espressa in [kN] |
| Mrd | momento resistente espresso in [kNm] |
| Nrd | sforzo normale resistente espresso in [kN] |
| FS | fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente) |

**Paramento**

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | Mrd | Nrd | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[mq]* | *[mq]* | *[kNm]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[kN]* | |
| 11 | 1,00 | 0,70 | 0,000770 | 0,000770 | 21,16 | 18,50 | 218,58 | 18,50 | 10.329 |

**Fondazione**

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | Mrd | Nrd | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[mq]* | *[mq]* | *[kNm]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[kN]* | |
| 1 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -10,52 | 0,00 | -110,57 | 0,00 | 10.508 |

### *Verifiche a taglio*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° (o Is) | indice sezione |
| Y | ordinata sezione espressa in [m] |
| B | larghezza sezione espresso in [m] |
| H | altezza sezione espressa in [m] |
| $A_{sw}$ | area ferri a taglio espresso in [mq] |
| cotgθ | inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo |
| $V_{Rcd}$ | resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kN] |
| $V_{Rsd}$ | resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kN] |
| $V_{Rd}$ | resistenza di progetto a taglio espresso in [kN]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio ($A_{sw}$>0.0) $V_{Rd}$=min($V_{Rcd}$, $V_{Rsd}$). |
| T | taglio agente espressa in [kN] |
| FS | fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente) |

**Paramento**

| n° | B | H | Asw | cotθ | VRcd | VRsd | VRd | T | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[mq]* | | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | |
| 11 | 1,00 | 0,70 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 259,35 | 13,03 | 19.902 |

**Fondazione**

| n° | B | H | Asw | cotθ | VRcd | VRsd | VRd | T | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[mq]* | | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | |
| 1 | 1,00 | 0,40 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 164,96 | -25,40 | 6.495 |

### *Verifica delle tensioni*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| Y | ordinata sezione, espressa in [m] |
| B | larghezza sezione, espresso in [m] |
| H | altezza sezione, espressa in [m] |
| Afi | area ferri inferiori, espresso in [mq] |
| Afs | area ferri superiori, espressa in [mq] |
| M | momento agente, espressa in [kNm] |
| N | sforzo normale agente, espressa in [kN] |
| σc | tensione di compressione nel cls, espressa in [N/mmq] |
| σfi | tensione nei ferri inferiori, espressa in [N/mmq] |

σfs tensione nei ferri superiori, espressa in [N/mmq]

## Combinazioni SLER

### Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 19,920 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 360,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 11 | 1,00 | 0,70 | 0,000770 | 0,000770 | 0,73 | 18,50 | 0,061 (26) | 0,279 (29) | 0,824 (26) |

### Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14,940 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 360,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 1 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -0,70 | 0,00 | 0,055 (29) | 0,203 (29) | 2,894 (29) |

## Combinazioni SLEF

### Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 33,200 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 11 | 1,00 | 0,70 | 0,000770 | 0,000770 | 0,71 | 18,50 | 0,053 (27) | 0,281 (30) | 0,729 (27) |

### Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 24,900 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 1 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -0,52 | 0,00 | 0,041 (30) | 0,151 (30) | 2,150 (30) |

## Combinazioni SLEQ

### Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14,940 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 11 | 1,00 | 0,70 | 0,000770 | 0,000770 | 1,39 | 18,66 | 0,042 (32) | 0,281 (31) | 0,587 (32) |

### Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 11,205 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 1 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -0,57 | 0,00 | 0,044 (33) | 0,165 (33) | 2,348 (33) |

## *Verifica a fessurazione*

Simbologia adottata

n° indice sezione
Y ordinata sezione espressa in [m]
B larghezza sezione espresso in [m]
H altezza sezione espressa in [m]
Af area ferri zona tesa espresso in [mq]
Aeff area efficace espressa in [mq]
M momento agente espressa in [kNm]
Mpf momento di formazione/apertura fessure espressa in [kNm]
ε deformazione espresso in %
Sm spaziatura tra le fessure espressa in [mm]
w apertura delle fessure espressa in [mm]

**Combinazioni SLEF**

Paramento

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.30

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[mq]* | *[mq]* | *[kNm]* | *[kNm]* | *[%]* | *[mm]* | *[mm]* |
| 11 | 1,00 | 0,70 | 0,000770 | 0,142500 | 2,40 | 272,87 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |

Fondazione

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.30

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[mq]* | *[mq]* | *[kNm]* | *[kNm]* | *[%]* | *[mm]* | *[mm]* |
| 1 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | -0,45 | -74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |

**Combinazioni SLEQ**

Paramento

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.20

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[mq]* | *[mq]* | *[kNm]* | *[kNm]* | *[%]* | *[mm]* | *[mm]* |
| 11 | 1,00 | 0,70 | 0,000770 | 0,142500 | 1,16 | 272,86 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (28) |

Fondazione

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.20

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[mq]* | *[mq]* | *[kNm]* | *[kNm]* | *[%]* | *[mm]* | *[mm]* |
| 1 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | -0,11 | -74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (28) |

## 10.6. Sezione tipo 6 - 2.00 < H < 2.80m (Sez. L)

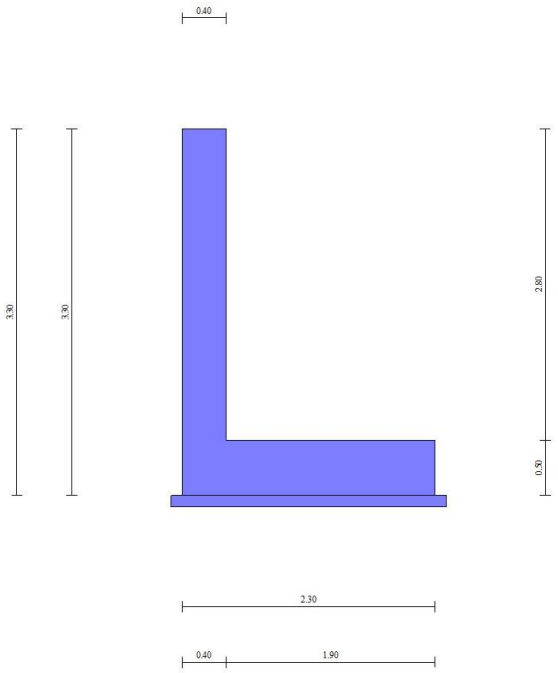



*Figura 10.6 – Geometria sezione di calcolo*

### 10.6.1. Carichi

## Condizioni di carico

Simbologia adottata
Carichi verticali positivi verso il basso.
Carichi orizzontali positivi verso sinistra.
Momento positivo senso antiorario.

| | |
|---|---|
| X | Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m] |
| $F_x$ | Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kN] |
| $F_y$ | Componente verticale del carico concentrato espressa in [kN] |
| M | Momento espresso in [kNm] |
| $X_i$ | Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m] |
| $X_f$ | Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m] |
| $Q_i$ | Intensità del carico per $x=X_i$ espressa in [kN] |
| $Q_f$ | Intensità del carico per $x=X_f$ espressa in [kN] |

Condizione n° 1 (Variabile_1) - VARIABILE
Coeff. di combinazione $\Psi_0$=0.75 - $\Psi_1$=0.75 - $\Psi_2$=0.20
Indice di raggruppamento 1

*Carichi sul terreno*

| n° | Tipo | X | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[m]* | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* |
| 1 | Distribuito | | | | | 0,00 | 8,00 | 20,0000 | 20,0000 |

Condizione n° 2 (Urto) - ECCEZIONALE

*Carichi sul muro*

| n° | Tipo | Dest | X; Y | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[m]* | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* |
| 1 | Concentrato | Paramento | 0,00; 0,00 | 10,0000 | 0,0000 | 10,0000 | | | | |

Condizione n° 3 (Variabile_2) - VARIABILE
Coeff. di combinazione $\Psi_0$=0.75 - $\Psi_1$=0.75 - $\Psi_2$=0.00
Indice di raggruppamento 2

*Carichi sul terreno*

| n° | Tipo | X | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[m]* | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* |
| 1 | Distribuito | | | | | 1,80 | 8,00 | 20,0000 | 20,0000 |

Condizione n° 4 (Barriera) - PERMANENTE NS

*Carichi sul muro*

| n° | Tipo | Dest | X; Y | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[m]* | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* |
| 1 | Concentrato | Paramento | -0,40; 0,00 | 0,0000 | 6,0000 | 1,2000 | | | | |

### 10.6.2. Verifiche geotecniche

## *Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| Cmb | Indice/Tipo combinazione |
| S | Sisma (H: componente orizzontale, V: componente verticale) |
| $FS_{SCO}$ | Coeff. di sicurezza allo scorrimento |
| $FS_{RIB}$ | Coeff. di sicurezza al ribaltamento |
| $FS_{QLIM}$ | Coeff. di sicurezza a carico limite |
| $FS_{STAB}$ | Coeff. di sicurezza a stabilità globale |
| $FS_{HYD}$ | Coeff. di sicurezza a sifonamento |
| $FS_{UPL}$ | Coeff. di sicurezza a sollevamento |

| Cmb | Sismica | $FS_{SCO}$ | $FS_{RIB}$ | $FS_{QLIM}$ | $FS_{STAB}$ | $FS_{HYD}$ | $FS_{UPL}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 - STR (A1-M1-R3) | | 2.938 | | 2.793 | | | |
| 2 - STR (A1-M1-R3) | | 2.295 | | 2.939 | | | |
| 3 - STR (A1-M1-R3) | H + V | 3.476 | | 4.098 | | | |
| 4 - STR (A1-M1-R3) | H + V | 3.685 | | 4.444 | | | |
| 5 - STR (A1-M1-R3) | H - V | 3.459 | | 4.204 | | | |
| 6 - STR (A1-M1-R3) | H - V | 3.665 | | 4.560 | | | |
| 7 - STR (A1-M1-R3) | | 3.503 | | 2.607 | | | |
| 8 - STR (A1-M1-R3) | | 3.300 | | 2.675 | | | |
| 9 - STR (A1-M1-R3) | | 3.141 | | 2.728 | | | |
| 10 - STR (A1-M1-R3) | | 2.859 | | 2.817 | | | |

| Cmb | Sismica | FSsco | FSrib | FSqlim | FSstab | FShyd | FSupl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 11 - STR (A1-M1-R3) | | 2.656 | | 2.873 | | | |
| 12 - STR (A1-M1-R3) | | 2.498 | | 2.909 | | | |
| 13 - GEO (A2-M2-R2) | | | | | 1.324 | | |
| 14 - GEO (A2-M2-R2) | | | | | 1.341 | | |
| 15 - GEO (A2-M2-R2) | H + V | | | | 1.812 | | |
| 16 - GEO (A2-M2-R2) | H + V | | | | 1.880 | | |
| 17 - GEO (A2-M2-R2) | H - V | | | | 1.800 | | |
| 18 - GEO (A2-M2-R2) | H - V | | | | 1.867 | | |
| 19 - EQU (A1-M1-R3) | | | 4.242 | | | | |
| 20 - EQU (A1-M1-R3) | | | 3.225 | | | | |
| 21 - EQU (A1-M1-R3) | H + V | | 4.554 | | | | |
| 22 - EQU (A1-M1-R3) | H + V | | 4.869 | | | | |
| 23 - EQU (A1-M1-R3) | H - V | | 4.196 | | | | |
| 24 - EQU (A1-M1-R3) | H - V | | 4.460 | | | | |
| 25 - ECC | | 3.156 | 2.832 | 3.944 | 1.928 | | |
| 36 - HYD | | | | | | 100.000 | |
| 37 - UPL | | | | | | | 100.000 |
| 38 - HYD | | | | | | 100.000 | |
| 39 - UPL | | | | | | | 100.000 |

## Cedimenti

Simbologia adottata

Ic Indice combinazione
X, Y Punto di calcolo del cedimento, espressa in [m]
w Cedimento, espressa in [m]
dw Cedimento differenziale, espressa in [m]

| Ic | X; Y | w | dw |
|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[m]* |
| 26 | -0,40; -3,30 | 0,02338 | 0,00449 |
| 26 | 0,75; -3,30 | 0,02806 | 0,00917 |
| 26 | 1,90; -3,30 | 0,01889 | 0,00000 |

### *10.6.3. Verifiche strutturali*

## Sollecitazioni

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

n° Indice della sezione
X Posizione della sezione, espresso in [m]
N Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione.
T Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle
M Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)

La posizione delle sezioni di verifica fanno riferimento al sistema di riferimento globale la cui origine è nello spigolo in alto a destra del paramento.

### *Paramento*

| n° | X | Nmin | Nmax | Tmin | Tmax | Mmin | Mmax |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[kNm]* |
| 29 | -2,80 | 33,59 | 45,40 | 16,72 | 40,58 | 18,01 | 59,53 |

### *Fondazione*

| n° | X | Nmin | Nmax | Tmin | Tmax | Mmin | Mmax |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[kNm]* |
| 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -27,70 | 8,92 | -56,83 | -8,38 |
| 4 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | -35,40 | 0,07 | -49,49 | -9,55 |
| 10 | 0,90 | 0,00 | 0,00 | -42,08 | -8,39 | -26,78 | -6,54 |

## Verifiche strutturali

### *Verifiche a flessione*

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

n° indice sezione
B larghezza sezione espresso in [m]
H altezza sezione espressa in [m]
Afi area ferri inferiori espresso in [mq]
Afs area ferri superiori espressa in [mq]
M momento agente espressa in [kNm]
N sforzo normale agente espressa in [kN]
Mrd momento resistente espresso in [kNm]
Nrd sforzo normale resistente espresso in [kN]
FS fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente)

### Paramento

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | Mrd | Nrd | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [kNm] | [kN] | |
| 29 | 1,00 | 0,40 | 0,000565 | 0,001005 | 59,53 | 34,00 | 149,71 | 34,00 | 2.515 |

### Fondazione

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | Mrd | Nrd | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [kNm] | [kN] | |
| 1 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | -56,83 | 0,00 | -159,46 | 0,00 | 2.806 |
| 4 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | -49,49 | 0,00 | -159,46 | 0,00 | 3.222 |
| 10 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | -26,78 | 0,00 | -159,46 | 0,00 | 5.955 |

## *Verifiche a taglio*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° (o Is) | indice sezione |
| Y | ordinata sezione espressa in [m] |
| B | larghezza sezione espresso in [m] |
| H | altezza sezione espressa in [m] |
| $A_{sw}$ | area ferri a taglio espresso in [mq] |
| cotgθ | inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo |
| $V_{Rcd}$ | resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kN] |
| $V_{Rsd}$ | resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kN] |
| $V_{Rd}$ | resistenza di progetto a taglio espresso in [kN]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio ($A_{sw}$>0.0) $V_{Rd}$=min($V_{Rcd}$, $V_{Rsd}$). |
| T | taglio agente espressa in [kN] |
| FS | fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente) |

### Paramento

| n° | B | H | $A_{sw}$ | cotθ | $V_{Rcd}$ | $V_{Rsd}$ | $V_{Rd}$ | T | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | |
| 29 | 1,00 | 0,40 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 187,64 | 40,58 | 4.624 |

### Fondazione

| n° | B | H | $A_{sw}$ | cotθ | $V_{Rcd}$ | $V_{Rsd}$ | $V_{Rd}$ | T | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | |
| 1 | 1,00 | 0,50 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 202,37 | -27,70 | 7.306 |
| 4 | 1,00 | 0,50 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 202,37 | -35,40 | 5.717 |
| 9 | 1,00 | 0,50 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 202,37 | -42,21 | 4.795 |
| 10 | 1,00 | 0,50 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 202,37 | -42,08 | 4.809 |

## *Verifica delle tensioni*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| Y | ordinata sezione, espressa in [m] |
| B | larghezza sezione, espresso in [m] |
| H | altezza sezione, espressa in [m] |
| Afi | area ferri inferiori, espresso in [mq] |
| Afs | area ferri superiori, espressa in [mq] |
| M | momento agente, espressa in [kNm] |
| N | sforzo normale agente, espressa in [kN] |
| σc | tensione di compressione nel cls, espressa in [N/mmq] |
| σfi | tensione nei ferri inferiori, espressa in [N/mmq] |
| σfs | tensione nei ferri superiori, espressa in [N/mmq] |

### Combinazioni SLER

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 19,920 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 360,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 29 | 1,00 | 0,40 | 0,000565 | 0,001005 | 35,60 | 34,00 | 2,538 (26) | 96,706 (26) | 15,217 (26) |

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14,940 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 360,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 1 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | -19,06 | 0,00 | 0,865 (29) | 5,158 (29) | 46,570 (29) |
| 2 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | -19,61 | 0,00 | 0,890 (29) | 5,307 (29) | 47,912 (29) |
| 3 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | -19,73 | 0,00 | 0,895 (29) | 5,340 (29) | 48,215 (29) |
| 4 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | -19,47 | 0,00 | 0,884 (29) | 5,271 (29) | 47,589 (29) |

## Combinazioni SLEF

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 33,200 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 29 | 1,00 | 0,40 | 0,000565 | 0,001005 | 31,20 | 34,00 | 2,225 (27) | 82,713 (27) | 13,691 (27) |

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 24,900 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 1 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | -16,39 | 0,00 | 0,744 (30) | 4,436 (30) | 40,050 (30) |
| 2 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | -16,97 | 0,00 | 0,770 (30) | 4,592 (30) | 41,459 (30) |
| 3 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | -17,15 | 0,00 | 0,778 (30) | 4,643 (30) | 41,918 (30) |
| 4 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | -16,99 | 0,00 | 0,771 (30) | 4,599 (30) | 41,524 (30) |

## Combinazioni SLEQ

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14,940 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 29 | 1,00 | 0,40 | 0,000565 | 0,001005 | 23,47 | 34,26 | 1,673 (32) | 58,038 (32) | 11,000 (32) |

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 11,205 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 1 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | -16,55 | 0,00 | 0,751 (33) | 4,480 (33) | 40,451 (33) |
| 2 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | -16,78 | 0,00 | 0,761 (33) | 4,542 (33) | 41,009 (33) |
| 3 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | -16,68 | 0,00 | 0,757 (33) | 4,516 (33) | 40,775 (33) |
| 4 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,001005 | -16,30 | 0,00 | 0,740 (33) | 4,412 (33) | 39,836 (33) |

## *Verifica a fessurazione*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| Y | ordinata sezione espressa in [m] |
| B | larghezza sezione espresso in [m] |
| H | altezza sezione espressa in [m] |
| Af | area ferri zona tesa espresso in [mq] |
| Aeff | area efficace espressa in [mq] |
| M | momento agente espressa in [kNm] |
| Mpf | momento di formazione/apertura fessure espressa in [kNm] |
| ε | deformazione espresso in % |
| Sm | spaziatura tra le fessure espressa in [mm] |
| w | apertura delle fessure espressa in [mm] |

## Combinazioni SLEF

Paramento

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.30

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 29 | 1,00 | 0,40 | 0,001005 | 0,103566 | 31,20 | 93,31 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |

Fondazione

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.30

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 1 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,134570 | -15,88 | -117,96 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |
| 2 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,134570 | -16,15 | -117,96 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 3 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,134570 | -16,10 | -117,96 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |
| 4 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,134570 | -15,76 | -117,96 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |

## Combinazioni SLEQ

Paramento

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.20

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 29 | 1,00 | 0,40 | 0,001005 | 0,103566 | 21,53 | 93,31 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (28) |

Fondazione

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.20

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 1 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,134570 | -10,38 | -117,96 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (28) |
| 2 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,134570 | -10,94 | -117,96 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (28) |
| 3 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,134570 | -11,20 | -117,96 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (28) |
| 4 | 1,00 | 0,50 | 0,001005 | 0,134570 | -11,20 | -117,96 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (28) |

## 10.7. Sezione tipo 7 - 1.00 < H < 2.00m (Sez. L)

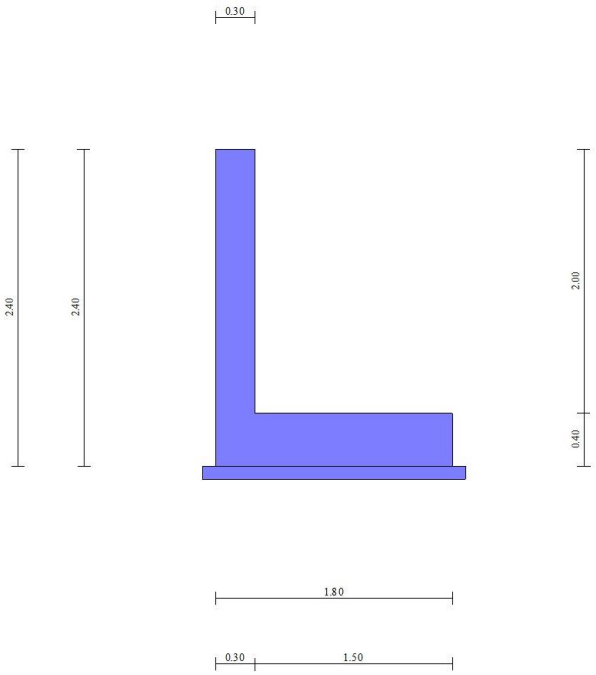



*Figura 10.7 – Geometria sezione di calcolo*

### *10.7.1. Carichi*

Condizioni di carico

Simbologia adottata
Carichi verticali positivi verso il basso.
Carichi orizzontali positivi verso sinistra.
Momento positivo senso antiorario.

| | |
|---|---|
| X | Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m] |
| $F_x$ | Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kN] |
| $F_y$ | Componente verticale del carico concentrato espressa in [kN] |
| M | Momento espresso in [kNm] |
| $X_i$ | Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m] |
| $X_f$ | Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m] |
| $Q_i$ | Intensità del carico per $x=X_i$ espressa in [kN] |
| $Q_f$ | Intensità del carico per $x=X_f$ espressa in [kN] |

Condizione n° 1 (Variabile 1) - VARIABILE
Coeff. di combinazione $\Psi_0$=0.75 - $\Psi_1$=0.75 - $\Psi_2$=0.20
Indice di raggruppamento 1

*Carichi sul terreno*

| n° | Tipo | X | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[m]* | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* |
| 1 | Distribuito | | | | | 0,00 | 8,00 | 20,0000 | 20,0000 |

Condizione n° 2 (Urto) - ECCEZIONALE

*Carichi sul muro*

| n° | Tipo | Dest | X; Y | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[m]* | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* |
| 1 | Concentrato | Paramento | 0,00; 0,00 | 10,0000 | 0,0000 | 10,0000 | | | | |

Condizione n° 3 (Variabile 2) - VARIABILE
Coeff. di combinazione $\Psi_0$=0.75 - $\Psi_1$=0.75 - $\Psi_2$=0.00
Indice di raggruppamento 2

*Carichi sul terreno*

| n° | Tipo | X | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[m]* | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* |
| 1 | Distribuito | | | | | 1,50 | 8,00 | 20,0000 | 20,0000 |

Condizione n° 4 (Barriera) - PERMANENTE NS

*Carichi sul muro*

| n° | Tipo | Dest | X; Y | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[m]* | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* |
| 1 | Concentrato | Paramento | -0,30; 0,00 | 0,0000 | 6,0000 | 1,2000 | | | | |

## 10.7.2. Verifiche geotecniche

### *Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati*

Simbologia adottata
Cmb Indice/Tipo combinazione
S Sisma (H: componente orizzontale, V: componente verticale)
$FS_{SCO}$ Coeff. di sicurezza allo scorrimento
$FS_{RIB}$ Coeff. di sicurezza al ribaltamento
$FS_{QLIM}$ Coeff. di sicurezza a carico limite
$FS_{STAB}$ Coeff. di sicurezza a stabilità globale
$FS_{HYD}$ Coeff. di sicurezza a sifonamento
$FS_{UPL}$ Coeff. di sicurezza a sollevamento

| Cmb | Sismica | $FS_{SCO}$ | $FS_{RIB}$ | $FS_{QLIM}$ | $FS_{STAB}$ | $FS_{HYD}$ | $FS_{UPL}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 - STR (A1-M1-R3) | | 3.070 | | 2.802 | | | |
| 2 - STR (A1-M1-R3) | | 2.195 | | 2.999 | | | |
| 3 - STR (A1-M1-R3) | H + V | 3.688 | | 4.459 | | | |
| 4 - STR (A1-M1-R3) | H + V | 3.987 | | 4.952 | | | |
| 5 - STR (A1-M1-R3) | H - V | 3.670 | | 4.574 | | | |
| 6 - STR (A1-M1-R3) | H - V | 3.967 | | 5.079 | | | |
| 7 - STR (A1-M1-R3) | | 3.596 | | 2.623 | | | |
| 8 - STR (A1-M1-R3) | | 3.403 | | 2.689 | | | |
| 9 - STR (A1-M1-R3) | | 3.263 | | 2.737 | | | |
| 10 - STR (A1-M1-R3) | | 2.720 | | 2.909 | | | |
| 11 - STR (A1-M1-R3) | | 2.528 | | 2.956 | | | |
| 12 - STR (A1-M1-R3) | | 2.388 | | 2.982 | | | |
| 13 - GEO (A2-M2-R2) | | | | | 1.328 | | |
| 14 - GEO (A2-M2-R2) | | | | | 1.345 | | |
| 15 - GEO (A2-M2-R2) | H + V | | | | 1.881 | | |
| 16 - GEO (A2-M2-R2) | H + V | | | | 1.980 | | |
| 17 - GEO (A2-M2-R2) | H - V | | | | 1.870 | | |
| 18 - GEO (A2-M2-R2) | H - V | | | | 1.968 | | |
| 19 - EQU (A1-M1-R3) | | | 4.430 | | | | |
| 20 - EQU (A1-M1-R3) | | | 3.039 | | | | |
| 21 - EQU (A1-M1-R3) | H + V | | 4.779 | | | | |
| 22 - EQU (A1-M1-R3) | H + V | | 5.170 | | | | |
| 23 - EQU (A1-M1-R3) | H - V | | 4.376 | | | | |
| 24 - EQU (A1-M1-R3) | H - V | | 4.698 | | | | |
| 25 - ECC | | 2.767 | 2.012 | 3.807 | 2.016 | | |
| 36 - HYD | | | | | | 100.000 | |
| 37 - UPL | | | | | | | 100.000 |
| 38 - HYD | | | | | | 100.000 | |
| 39 - UPL | | | | | | | 100.000 |

## Cedimenti

Simbologia adottata
Ic Indice combinazione
X, Y Punto di calcolo del cedimento, espressa in [m]
w Cedimento, espressa in [m]
dw Cedimento differenziale, espressa in [m]

| Ic | X; Y | w | dw |
|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[m]* |
| 26 | -0,30; -2,40 | 0,01605 | 0,00283 |
| 26 | 0,60; -2,40 | 0,01905 | 0,00583 |
| 26 | 1,50; -2,40 | 0,01322 | 0,00000 |

### 10.7.3. Verifiche strutturali

## Sollecitazioni

Elementi calcolati a trave
Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | Indice della sezione |
| X | Posizione della sezione, espresso in [m] |
| N | Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione. |
| T | Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle |
| M | Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte) |

La posizione delle sezioni di verifica fanno riferimento al sistema di riferimento globale la cui origine è nello spigolo in alto a destra del paramento.

### *Paramento*

| n° | X | $N_{min}$ | $N_{max}$ | $T_{min}$ | $T_{max}$ | $M_{min}$ | $M_{max}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[kNm]* |
| 21 | -2,00 | 20,78 | 28,50 | 8,53 | 24,55 | 7,79 | 39,58 |

### *Fondazione*

| n° | X | $N_{min}$ | $N_{max}$ | $T_{min}$ | $T_{max}$ | $M_{min}$ | $M_{max}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[kNm]* |
| 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -14,38 | 7,62 | -36,03 | -3,99 |
| 2 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | -19,68 | 3,31 | -34,39 | -4,44 |
| 3 | 0,20 | 0,00 | 0,00 | -25,23 | 1,16 | -32,13 | -4,66 |
| 4 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | -29,56 | -0,71 | -29,38 | -4,68 |
| 5 | 0,40 | 0,00 | 0,00 | -32,68 | -2,27 | -26,26 | -4,53 |
| 6 | 0,50 | 0,00 | 0,00 | -34,58 | -3,54 | -22,89 | -4,23 |
| 7 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | -35,28 | -4,52 | -19,39 | -3,83 |

## Verifiche strutturali

### *Verifiche a flessione*

Elementi calcolati a trave
Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| B | larghezza sezione espresso in [m] |
| H | altezza sezione espressa in [m] |
| Afi | area ferri inferiori espresso in [mq] |
| Afs | area ferri superiori espressa in [mq] |
| M | momento agente espressa in [kNm] |
| N | sforzo normale agente espressa in [kN] |
| Mrd | momento resistente espresso in [kNm] |
| Nrd | sforzo normale resistente espresso in [kN] |
| FS | fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente) |

**Paramento**

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | Mrd | Nrd | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[mq]* | *[mq]* | *[kNm]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[kN]* | |
| 21 | 1,00 | 0,30 | 0,000770 | 0,000770 | 39,58 | 21,00 | 81,27 | 21,00 | 2.053 |

**Fondazione**

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | Mrd | Nrd | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[mq]* | *[mq]* | *[kNm]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[kN]* | |
| 1 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -36,03 | 0,00 | -110,57 | 0,00 | 3.069 |
| 2 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -34,39 | 0,00 | -110,57 | 0,00 | 3.215 |
| 3 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -32,13 | 0,00 | -110,57 | 0,00 | 3.441 |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -29,38 | 0,00 | -110,57 | 0,00 | 3.763 |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -26,26 | 0,00 | -110,57 | 0,00 | 4.210 |

### *Verifiche a taglio*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° (o Is) | indice sezione |
| Y | ordinata sezione espressa in [m] |
| B | larghezza sezione espresso in [m] |
| H | altezza sezione espressa in [m] |
| $A_{sw}$ | area ferri a taglio espresso in [mq] |
| cotgθ | inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo |
| $V_{Rcd}$ | resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kN] |
| $V_{Rsd}$ | resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kN] |
| $V_{Rd}$ | resistenza di progetto a taglio espresso in [kN]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio ($A_{sw}$>0.0) $V_{Rd}$=min($V_{Rcd}$, $V_{Rsd}$). |
| T | taglio agente espressa in [kN] |
| FS | fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente) |

**Paramento**

| n° | B | H | $A_{sw}$ | cotθ | $V_{Rcd}$ | $V_{Rsd}$ | $V_{Rd}$ | T | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | |
| 21 | 1,00 | 0,30 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 159,52 | 24,55 | 6.496 |

## Fondazione

| n° | B | H | $A_{sw}$ | cotθ | $V_{Rcd}$ | $V_{Rsd}$ | $V_{Rd}$ | T | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 164,96 | -29,56 | 5.581 |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 164,96 | -32,68 | 5.048 |
| 6 | 1,00 | 0,40 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 164,96 | -34,58 | 4.770 |
| 7 | 1,00 | 0,40 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 164,96 | -35,28 | 4.676 |

## *Verifica delle tensioni*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| Y | ordinata sezione, espressa in [m] |
| B | larghezza sezione, espresso in [m] |
| H | altezza sezione, espressa in [m] |
| Afi | area ferri inferiori, espresso in [mq] |
| Afs | area ferri superiori, espressa in [mq] |
| M | momento agente, espressa in [kNm] |
| N | sforzo normale agente, espressa in [kN] |
| σc | tensione di compressione nel cls, espressa in [N/mmq] |
| σfi | tensione nei ferri inferiori, espressa in [N/mmq] |
| σfs | tensione nei ferri superiori, espressa in [N/mmq] |

## Combinazioni SLER

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 19,920 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 360,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 21 | 1,00 | 0,30 | 0,000770 | 0,000770 | 16,77 | 21,00 | 2,300 (26) | 84,510 (26) | 6,579 (26) |

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14,940 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 360,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 1 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -9,18 | 0,00 | 0,714 (29) | 2,652 (29) | 37,803 (29) |
| 2 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -9,55 | 0,00 | 0,743 (29) | 2,759 (29) | 39,326 (29) |
| 3 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -9,57 | 0,00 | 0,745 (29) | 2,766 (29) | 39,423 (29) |

## Combinazioni SLEF

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 33,200 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 21 | 1,00 | 0,30 | 0,000770 | 0,000770 | 14,52 | 21,00 | 1,988 (27) | 71,323 (27) | 6,094 (27) |

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 24,900 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 1 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -7,88 | 0,00 | 0,613 (30) | 2,277 (30) | 32,457 (30) |
| 2 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -8,27 | 0,00 | 0,644 (30) | 2,390 (30) | 34,063 (30) |
| 3 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -8,35 | 0,00 | 0,649 (30) | 2,411 (30) | 34,364 (30) |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -8,14 | 0,00 | 0,634 (30) | 2,353 (30) | 33,534 (30) |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -7,71 | 0,00 | 0,600 (30) | 2,228 (30) | 31,753 (30) |

## Combinazioni SLEQ

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14,940 [N/mmq]

Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 21 | 1,00 | 0,30 | 0,000770 | 0,000770 | 10,43 | 21,14 | 1,418 (32) | 47,239 (32) | 5,201 (32) |

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 11,205 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 1 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -7,69 | 0,00 | 0,598 (33) | 2,221 (33) | 31,658 (33) |
| 2 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -7,89 | 0,00 | 0,614 (33) | 2,279 (33) | 32,482 (33) |
| 3 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -7,83 | 0,00 | 0,609 (33) | 2,262 (33) | 32,237 (33) |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -7,55 | 0,00 | 0,587 (33) | 2,180 (33) | 31,071 (33) |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -7,08 | 0,00 | 0,551 (33) | 2,044 (33) | 29,137 (33) |

## *Verifica a fessurazione*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| Y | ordinata sezione espressa in [m] |
| B | larghezza sezione espresso in [m] |
| H | altezza sezione espressa in [m] |
| Af | area ferri zona tesa espresso in [mq] |
| Aeff | area efficace espressa in [mq] |
| M | momento agente espressa in [kNm] |
| Mpf | momento di formazione/apertura fessure espressa in [kNm] |
| ε | deformazione espresso in % |
| Sm | spaziatura tra le fessure espressa in [mm] |
| w | apertura delle fessure espressa in [mm] |

### Combinazioni SLEF

Paramento

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.30

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 21 | 1,00 | 0,30 | 0,000770 | 0,078171 | 14,52 | 51,67 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |

Fondazione

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.30

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 1 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | -7,57 | -74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |
| 2 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | -7,77 | -74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |
| 3 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | -7,72 | -74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | -7,44 | -74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | -6,98 | -74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |

### Combinazioni SLEQ

Paramento

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.20

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 21 | 1,00 | 0,30 | 0,000770 | 0,078171 | 9,58 | 51,67 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (28) |

Fondazione

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.20

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 1 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | -4,94 | -74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (28) |
| 2 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | -5,33 | -74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (28) |
| 3 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | -5,48 | -74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (28) |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | -5,42 | -74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (28) |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | -5,18 | -74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (28) |

## 10.8. Sezione tipo 8 - H < 2.00m (sottoscarpa)

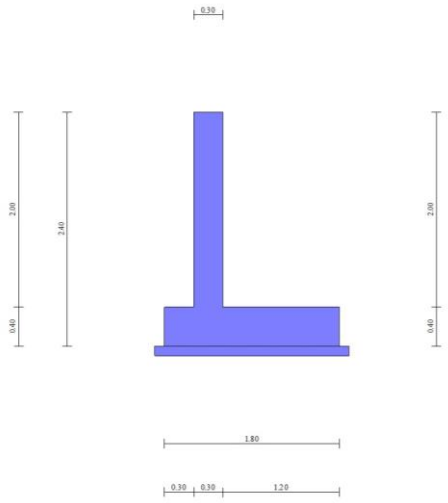



*Figura 10.8 – Geometria sezione di calcolo*

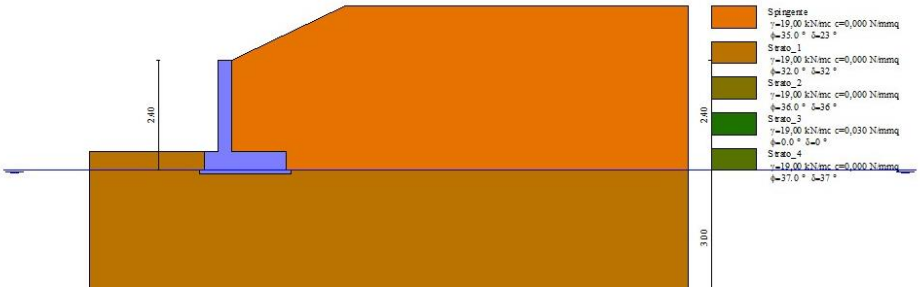



*Figura 10.9 – Andamento rilevato a tergo muro*

### *10.8.1. Carichi*

Condizioni di carico

Simbologia adottata
Carichi verticali positivi verso il basso.
Carichi orizzontali positivi verso sinistra.
Momento positivo senso antiorario.

| | |
|---|---|
| X | Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m] |
| $F_x$ | Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kN] |
| $F_y$ | Componente verticale del carico concentrato espressa in [kN] |
| M | Momento espresso in [kNm] |
| $X_i$ | Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m] |
| $X_f$ | Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m] |
| $Q_i$ | Intensità del carico per $x=X_i$ espressa in [kN] |
| $Q_f$ | Intensità del carico per $x=X_f$ espressa in [kN] |

Condizione n° 1 (Variabile) - VARIABILE
Coeff. di combinazione $\Psi_0=0.75$ - $\Psi_1=0.75$ - $\Psi_2=0.20$

*Carichi sul terreno*

| n° | Tipo | X | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[m]* | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* |
| 1 | Distribuito | | | | | 6,30 | 10,00 | 20,0000 | 20,0000 |
| 2 | Distribuito | | | | | 3,80 | 6,30 | 5,0000 | 5,0000 |

Condizione n° 2 (Urto) - ECCEZIONALE

Condizione n° 3 (Condizione 3) - VARIABILE
Coeff. di combinazione $\Psi_0$=1.00 - $\Psi_1$=1.00 - $\Psi_2$=1.00

Condizione n° 4 (Condizione 4) - VARIABILE
Coeff. di combinazione $\Psi_0$=1.00 - $\Psi_1$=1.00 - $\Psi_2$=1.00

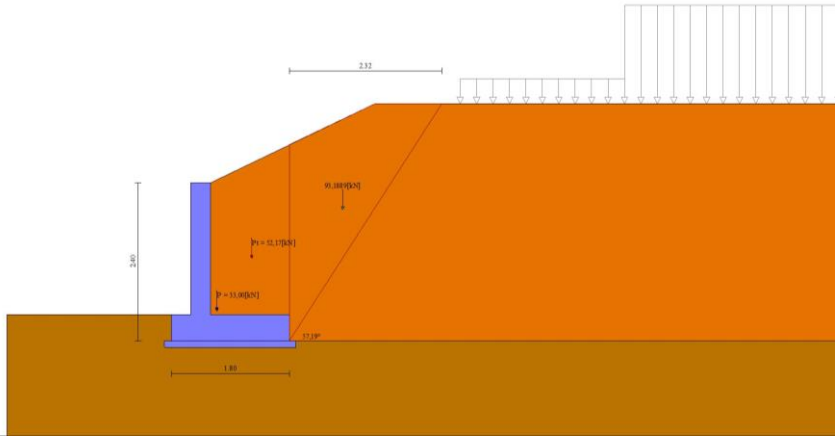


*Figura 10.10 – Carichi a tergo muro. Si noti che sono posizionati all'esterno del cuneo di spinta.*

### 10.8.2. Verifiche geotecniche

*Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| Cmb | Indice/Tipo combinazione |
| S | Sisma (H: componente orizzontale, V: componente verticale) |
| $FS_{SCO}$ | Coeff. di sicurezza allo scorrimento |
| $FS_{RIB}$ | Coeff. di sicurezza al ribaltamento |
| $FS_{QLIM}$ | Coeff. di sicurezza a carico limite |
| $FS_{STAB}$ | Coeff. di sicurezza a stabilità globale |
| $FS_{HYD}$ | Coeff. di sicurezza a sifonamento |
| $FS_{UPL}$ | Coeff. di sicurezza a sollevamento |

| Cmb | Sismica | $FS_{SCO}$ | $FS_{RIB}$ | $FS_{QLIM}$ | $FS_{STAB}$ | $FS_{HYD}$ | $FS_{UPL}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 - STR (A1-M1-R3) | | 1.917 | | 2.950 | | | |
| 2 - STR (A1-M1-R3) | H + V | 2.071 | | 3.250 | | | |
| 3 - STR (A1-M1-R3) | H - V | 2.062 | | 3.332 | | | |
| 4 - STR (A1-M1-R3) | | 2.412 | | 2.962 | | | |
| 5 - STR (A1-M1-R3) | | 2.220 | | 2.983 | | | |
| 6 - STR (A1-M1-R3) | | 2.109 | | 2.982 | | | |
| 7 - GEO (A2-M2-R2) | | | | | 1.302 | | |
| 8 - GEO (A2-M2-R2) | H + V | | | | 1.548 | | |
| 9 - GEO (A2-M2-R2) | H - V | | | | 1.541 | | |
| 10 - EQU (A1-M1-R3) | | | 3.324 | | | | |
| 11 - EQU (A1-M1-R3) | H + V | | 3.260 | | | | |
| 12 - EQU (A1-M1-R3) | H - V | | 3.101 | | | | |
| 13 - ECC | | 2.412 | 4.097 | 3.851 | 1.630 | | |
| 19 - HYD | | | | | | 100.000 | |
| 20 - UPL | | | | | | | 100.000 |

## Cedimenti

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| Ic | Indice combinazione |
| X, Y | Punto di calcolo del cedimento, espressa in [m] |
| w | Cedimento, espressa in [m] |
| dw | Cedimento differenziale, espressa in [m] |

| Ic | X; Y | w | dw |
|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[m]* |
| 14 | -0,60; -2,40 | 0,01078 | 0,00092 |
| 14 | 0,30; -2,40 | 0,01344 | 0,00358 |
| 14 | 1,20; -2,40 | 0,00986 | 0,00000 |

### 10.8.3. Verifiche strutturali

## Sollecitazioni

Elementi calcolati a trave
Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | Indice della sezione |
| X | Posizione della sezione, espresso in [m] |
| N | Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione. |
| T | Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle |
| M | Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte) |

La posizione delle sezioni di verifica fanno riferimento al sistema di riferimento globale la cui origine è nello spigolo in alto a destra del paramento.

### *Paramento*

| n° | X | $N_{min}$ | $N_{max}$ | $T_{min}$ | $T_{max}$ | $M_{min}$ | $M_{max}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[kNm]* |
| 21 | -2,00 | 14,78 | 19,50 | 12,84 | 16,69 | 8,57 | 11,14 |

### *Fondazione*

| n° | X | $N_{min}$ | $N_{max}$ | $T_{min}$ | $T_{max}$ | $M_{min}$ | $M_{max}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[kNm]* |
| 4 | -0,30 | 0,00 | 0,00 | 15,78 | 20,52 | 2,40 | 3,11 |
| 5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -21,85 | -4,73 | -18,06 | -5,94 |

## Verifiche strutturali

### *Verifiche a flessione*

Elementi calcolati a trave
Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| B | larghezza sezione espresso in [m] |
| H | altezza sezione espressa in [m] |
| Afi | area ferri inferiori espresso in [mq] |
| Afs | area ferri superiori espressa in [mq] |
| M | momento agente espressa in [kNm] |
| N | sforzo normale agente espressa in [kN] |
| Mrd | momento resistente espresso in [kNm] |
| Nrd | sforzo normale resistente espresso in [kN] |
| FS | fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente) |

**Paramento**

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | Mrd | Nrd | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[mq]* | *[mq]* | *[kNm]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[kN]* | |
| 21 | 1,00 | 0,30 | 0,000565 | 0,000565 | 11,14 | 15,00 | 52,07 | 15,00 | 4.675 |

**Fondazione**

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | Mrd | Nrd | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[mq]* | *[mq]* | *[kNm]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[kN]* | |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | 3,11 | 0,00 | 94,58 | 0,00 | 30.373 |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -18,06 | 0,00 | -94,58 | 0,00 | 5.238 |

### *Verifiche a taglio*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° (o Is) | indice sezione |
| Y | ordinata sezione espressa in [m] |
| B | larghezza sezione espresso in [m] |
| H | altezza sezione espressa in [m] |
| $A_{sw}$ | area ferri a taglio espresso in [mq] |
| cotgθ | inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo |
| $V_{Rcd}$ | resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kN] |
| $V_{Rsd}$ | resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kN] |
| $V_{Rd}$ | resistenza di progetto a taglio espresso in [kN]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio ($A_{sw}$>0.0) $V_{Rd}$=min($V_{Rcd}$, $V_{Rsd}$). |
| T | taglio agente espressa in [kN] |
| FS | fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente) |

**Paramento**

| n° | B | H | $A_{sw}$ | cotθ | $V_{Rcd}$ | $V_{Rsd}$ | $V_{Rd}$ | T | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[mq]* | | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | |
| 21 | 1,00 | 0,30 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 143,11 | 16,69 | 8.572 |

**Fondazione**

| n° | B | H | $A_{sw}$ | cotθ | $V_{Rcd}$ | $V_{Rsd}$ | $V_{Rd}$ | T | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 164,96 | -20,52 | 8.040 |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 164,96 | -21,85 | 7.550 |

## *Verifica delle tensioni*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| Y | ordinata sezione, espressa in [m] |
| B | larghezza sezione, espresso in [m] |
| H | altezza sezione, espressa in [m] |
| Afi | area ferri inferiori, espresso in [mq] |
| Afs | area ferri superiori, espressa in [mq] |
| M | momento agente, espressa in [kNm] |
| N | sforzo normale agente, espressa in [kN] |
| σc | tensione di compressione nel cls, espressa in [N/mmq] |
| σfi | tensione nei ferri inferiori, espressa in [N/mmq] |
| σfs | tensione nei ferri superiori, espressa in [N/mmq] |

### Combinazioni SLER

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 19,920 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 360,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 21 | 1,00 | 0,30 | 0,000565 | 0,000565 | 8,57 | 15,00 | 1,319 (14) | 53,415 (14) | 2,989 (14) |

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14,940 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 360,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | 2,40 | 0,00 | 0,186 (14) | 9,863 (14) | 0,692 (14) |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -5,94 | 0,00 | 0,462 (14) | 1,717 (14) | 24,472 (14) |

### Combinazioni SLEF

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 33,200 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 21 | 1,00 | 0,30 | 0,000565 | 0,000565 | 8,57 | 15,00 | 1,319 (15) | 53,415 (15) | 2,989 (15) |

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 24,900 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | 2,40 | 0,00 | 0,186 (15) | 9,863 (15) | 0,692 (15) |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -5,94 | 0,00 | 0,462 (15) | 1,717 (15) | 24,472 (15) |

### Combinazioni SLEQ

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14,940 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 21 | 1,00 | 0,30 | 0,000565 | 0,000565 | 9,46 | 15,14 | 1,461 (17) | 60,295 (17) | 3,046 (17) |

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 11,205 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | 2,63 | 0,00 | 0,204 (17) | 10,816 (17) | 0,759 (17) |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -8,01 | 0,00 | 0,623 (18) | 2,313 (18) | 32,968 (18) |

## *Verifica a fessurazione*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| Y | ordinata sezione espressa in [m] |
| B | larghezza sezione espresso in [m] |
| H | altezza sezione espressa in [m] |
| Af | area ferri zona tesa espresso in [mq] |
| Aeff | area efficace espressa in [mq] |
| M | momento agente espressa in [kNm] |
| Mpf | momento di formazione/apertura fessure espressa in [kNm] |
| ε | deformazione espresso in % |
| Sm | spaziatura tra le fessure espressa in [mm] |
| w | apertura delle fessure espressa in [mm] |

### Combinazioni SLEF

Paramento

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.30

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 21 | 1,00 | 0,30 | 0,000565 | 0,080717 | 8,57 | 50,34 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (15) |

Fondazione

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.30

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | 2,40 | 74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (15) |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | -5,94 | -74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (15) |

### Combinazioni SLEQ

Paramento

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.20

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 21 | 1,00 | 0,30 | 0,000565 | 0,080717 | 8,57 | 50,34 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (16) |

Fondazione

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.20

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | 2,40 | 74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (16) |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | -5,94 | -74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (16) |

## 10.9. Sezione tipo 9 - H < 1.50m

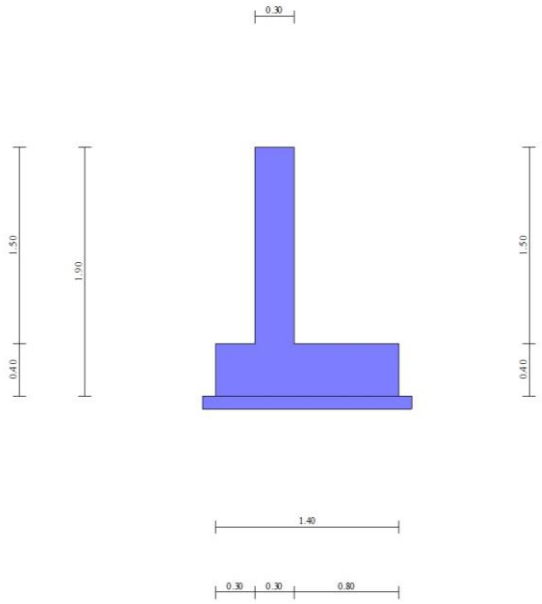



*Figura 10.11 – Geometria sezione di calcolo*

### *10.9.1. Carichi*

Condizioni di carico

Simbologia adottata
Carichi verticali positivi verso il basso.
Carichi orizzontali positivi verso sinistra.
Momento positivo senso antiorario.

| | |
|---|---|
| X | Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m] |
| $F_x$ | Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kN] |
| $F_y$ | Componente verticale del carico concentrato espressa in [kN] |
| M | Momento espresso in [kNm] |
| $X_i$ | Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m] |
| $X_f$ | Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m] |
| $Q_i$ | Intensità del carico per $x=X_i$ espressa in [kN] |
| $Q_f$ | Intensità del carico per $x=X_f$ espressa in [kN] |

Condizione n° 1 (Variabile_1) - VARIABILE
Coeff. di combinazione $\Psi_0$=0.75 - $\Psi_1$=0.75 - $\Psi_2$=0.20
Indice di raggruppamento 1

*Carichi sul terreno*

| n° | Tipo | X | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[m]* | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* |
| 1 | Distribuito | | | | | 0,00 | 8,00 | 20,0000 | 20,0000 |

Condizione n° 2 (Variabile_2) - VARIABILE
Coeff. di combinazione $\Psi_0$=0.75 - $\Psi_1$=0.75 - $\Psi_2$=0.00
Indice di raggruppamento 2

*Carichi sul terreno*

| n° | Tipo | X | Fx | Fy | M | Xi | Xf | Qi | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[m]* | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* |
| 1 | Distribuito | | | | | 0,80 | 8,00 | 20,0000 | 20,0000 |

## 10.9.2. Verifiche geotecniche

### *Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| Cmb | Indice/Tipo combinazione |
| S | Sisma (H: componente orizzontale, V: componente verticale) |
| $FS_{SCO}$ | Coeff. di sicurezza allo scorrimento |
| $FS_{RIB}$ | Coeff. di sicurezza al ribaltamento |
| $FS_{QLIM}$ | Coeff. di sicurezza a carico limite |
| $FS_{STAB}$ | Coeff. di sicurezza a stabilità globale |
| $FS_{HYD}$ | Coeff. di sicurezza a sifonamento |
| $FS_{UPL}$ | Coeff. di sicurezza a sollevamento |

| Cmb | Sismica | $FS_{SCO}$ | $FS_{RIB}$ | $FS_{QLIM}$ | $FS_{STAB}$ | $FS_{HYD}$ | $FS_{UPL}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 - STR (A1-M1-R3) | | 2.244 | | 2.956 | | | |
| 2 - STR (A1-M1-R3) | | 1.586 | | 2.756 | | | |
| 3 - STR (A1-M1-R3) | H + V | 3.010 | | 5.384 | | | |
| 4 - STR (A1-M1-R3) | H + V | 3.350 | | 6.183 | | | |
| 5 - STR (A1-M1-R3) | H - V | 2.993 | | 5.526 | | | |
| 6 - STR (A1-M1-R3) | H - V | 3.330 | | 6.347 | | | |
| 7 - STR (A1-M1-R3) | | 2.639 | | 2.879 | | | |
| 8 - STR (A1-M1-R3) | | 2.432 | | 2.928 | | | |
| 9 - STR (A1-M1-R3) | | 2.452 | | 2.924 | | | |
| 10 - STR (A1-M1-R3) | | 1.981 | | 2.950 | | | |
| 11 - STR (A1-M1-R3) | | 1.774 | | 2.886 | | | |
| 12 - STR (A1-M1-R3) | | 1.794 | | 2.895 | | | |
| 13 - GEO (A2-M2-R2) | | | | | 1.269 | | |
| 14 - GEO (A2-M2-R2) | | | | | 1.278 | | |
| 15 - GEO (A2-M2-R2) | H + V | | | | 1.900 | | |
| 16 - GEO (A2-M2-R2) | H + V | | | | 2.037 | | |
| 17 - GEO (A2-M2-R2) | H - V | | | | 1.890 | | |
| 18 - GEO (A2-M2-R2) | H - V | | | | 2.026 | | |
| 19 - EQU (A1-M1-R3) | | | 4.078 | | | | |
| 20 - EQU (A1-M1-R3) | | | 2.781 | | | | |
| 21 - EQU (A1-M1-R3) | H + V | | 5.188 | | | | |
| 22 - EQU (A1-M1-R3) | H + V | | 5.940 | | | | |
| 23 - EQU (A1-M1-R3) | H - V | | 4.734 | | | | |
| 24 - EQU (A1-M1-R3) | H - V | | 5.347 | | | | |
| 35 - HYD | | | | | | 100.000 | |
| 36 - UPL | | | | | | | 100.000 |
| 37 - HYD | | | | | | 100.000 | |
| 38 - UPL | | | | | | | 100.000 |

### Cedimenti

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| Ic | Indice combinazione |
| X, Y | Punto di calcolo del cedimento, espressa in [m] |
| w | Cedimento, espressa in [m] |
| dw | Cedimento differenziale, espressa in [m] |

| Ic | X; Y | w | dw |
|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[m]* |
| 25 | -0,60; -1,90 | 0,00838 | 0,00000 |
| 25 | 0,10; -1,90 | 0,01082 | 0,00244 |
| 25 | 0,80; -1,90 | 0,00853 | 0,00015 |

## 10.9.3. Verifiche strutturali

### Sollecitazioni

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | Indice della sezione |
| X | Posizione della sezione, espresso in [m] |
| N | Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione. |
| T | Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle |
| M | Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte) |

La posizione delle sezioni di verifica fanno riferimento al sistema di riferimento globale la cui origine è nello spigolo in alto a destra del paramento.

### *Paramento*

| n° | X | $N_{min}$ | $N_{max}$ | $T_{min}$ | $T_{max}$ | $M_{min}$ | $M_{max}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kN]* | *[kNm]* | *[kNm]* |
| 16 | -1,50 | 11,08 | 14,63 | 4,80 | 16,34 | 2,40 | 10,70 |

### *Fondazione*

| n° | X | $N_{min}$ | $N_{max}$ | $T_{min}$ | $T_{max}$ | $M_{min}$ | $M_{max}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | [m] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kNm] | [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | -0,30 | 0,00 | 0,00 | 6,94 | 16,21 | 1,03 | 2,51 |
| 5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -15,25 | 0,10 | -6,42 | 0,32 |

## Verifiche strutturali

### *Verifiche a flessione*

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| B | larghezza sezione espresso in [m] |
| H | altezza sezione espressa in [m] |
| Afi | area ferri inferiori espresso in [mq] |
| Afs | area ferri superiori espressa in [mq] |
| M | momento agente espressa in [kNm] |
| N | sforzo normale agente espressa in [kN] |
| Mrd | momento resistente espresso in [kNm] |
| Nrd | sforzo normale resistente espresso in [kN] |
| FS | fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente) |

**Paramento**

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | Mrd | Nrd | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [kNm] | [kN] | |
| 16 | 1,00 | 0,30 | 0,000565 | 0,000565 | 10,70 | 11,25 | 51,63 | 11,25 | 4.827 |

**Fondazione**

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | Mrd | Nrd | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [kNm] | [kN] | |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | 2,51 | 0,00 | 94,58 | 0,00 | 37.619 |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -6,42 | 0,00 | -94,58 | 0,00 | 14.722 |

### *Verifiche a taglio*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° (o Is) | indice sezione |
| Y | ordinata sezione espressa in [m] |
| B | larghezza sezione espresso in [m] |
| H | altezza sezione espressa in [m] |
| $A_{sw}$ | area ferri a taglio espresso in [mq] |
| cotgθ | inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo |
| $V_{Rcd}$ | resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kN] |
| $V_{Rsd}$ | resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kN] |
| $V_{Rd}$ | resistenza di progetto a taglio espresso in [kN]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio ($A_{sw}$>0.0) $V_{Rd}$=min($V_{Rcd}$, $V_{Rsd}$). |
| T | taglio agente espressa in [kN] |
| FS | fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente) |

**Paramento**

| n° | B | H | $A_{sw}$ | cotθ | $V_{Rcd}$ | $V_{Rsd}$ | $V_{Rd}$ | T | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | |
| 16 | 1,00 | 0,30 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 142,64 | 16,34 | 8.731 |

**Fondazione**

| n° | B | H | $A_{sw}$ | cotθ | $V_{Rcd}$ | $V_{Rsd}$ | $V_{Rd}$ | T | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 164,96 | -16,21 | 10.178 |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000000 | -- | 0,00 | 0,00 | 164,96 | -15,25 | 10.816 |

### *Verifica delle tensioni*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| Y | ordinata sezione, espressa in [m] |
| B | larghezza sezione, espresso in [m] |
| H | altezza sezione, espressa in [m] |
| Afi | area ferri inferiori, espresso in [mq] |
| Afs | area ferri superiori, espressa in [mq] |
| M | momento agente, espressa in [kNm] |
| N | sforzo normale agente, espressa in [kN] |
| σc | tensione di compressione nel cls, espressa in [N/mmq] |
| σfi | tensione nei ferri inferiori, espressa in [N/mmq] |
| σfs | tensione nei ferri superiori, espressa in [N/mmq] |

**Combinazioni SLER**

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 19,920 [N/mmq]

Tensione massima di trazione dell'acciaio 360,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 16 | 1,00 | 0,30 | 0,000565 | 0,000565 | 7,45 | 11,25 | 1,152 (25) | 48,081 (25) | 2,278 (25) |

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14,940 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 360,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | 1,80 | 0,00 | 0,140 (28) | 7,404 (28) | 0,519 (28) |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -2,20 | 0,00 | 0,171 (28) | 0,634 (28) | 9,041 (28) |

**Combinazioni SLEF**

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 33,200 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 16 | 1,00 | 0,30 | 0,000565 | 0,000565 | 6,19 | 11,25 | 0,952 (26) | 38,198 (26) | 2,233 (26) |

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 24,900 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | 1,61 | 0,00 | 0,125 (29) | 6,610 (29) | 0,464 (29) |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -1,57 | 0,00 | 0,122 (29) | 0,453 (29) | 6,456 (29) |

**Combinazioni SLEQ**

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14,940 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 16 | 1,00 | 0,30 | 0,000565 | 0,000565 | 3,72 | 11,35 | 0,557 (31) | 18,893 (31) | 2,103 (31) |

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 11,205 [N/mmq]
Tensione massima di trazione dell'acciaio 450,000 [N/mmq]

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | σc | σfi | σfs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kN] | [N/mmq] | [N/mmq] | [N/mmq] |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | 1,30 | 0,00 | 0,102 (31) | 5,373 (31) | 0,377 (31) |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,000770 | -0,83 | 0,00 | 0,064 (32) | 1,298 (30) | 3,406 (32) |

## *Verifica a fessurazione*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| Y | ordinata sezione espressa in [m] |
| B | larghezza sezione espresso in [m] |
| H | altezza sezione espressa in [m] |
| Af | area ferri zona tesa espresso in [mq] |
| Aeff | area efficace espressa in [mq] |
| M | momento agente espressa in [kNm] |
| Mpf | momento di formazione/apertura fessure espressa in [kNm] |
| ε | deformazione espresso in % |
| Sm | spaziatura tra le fessure espressa in [mm] |
| w | apertura delle fessure espressa in [mm] |

**Combinazioni SLEF**

Paramento

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.30

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 16 | 1,00 | 0,30 | 0,000565 | 0,080841 | 6,19 | 50,15 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (26) |

Fondazione

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.30

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | 1,57 | 74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (26) |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | -1,44 | -74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (26) |

**Combinazioni SLEQ**

Paramento

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.20

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 16 | 1,00 | 0,30 | 0,000565 | 0,080841 | 3,41 | 50,15 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |

Fondazione

Apertura limite fessure $w_{lim}$=0.20

| n° | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [m] | [mq] | [mq] | [kNm] | [kNm] | [%] | [mm] | [mm] |
| 4 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | 1,17 | 74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |
| 5 | 1,00 | 0,40 | 0,000770 | 0,108083 | -0,15 | -74,26 | 0,000000 | 0,00 | 0,000 (27) |

## 10.10. Verifiche strutturali condizione di urto

A seguire si riportano le verifiche locali del paramento in condizione di urto. Le armature conseguenti sono quindi le **minime** che possono essere previste per le varie sezioni analizzate (non sono necessariamente pari alle armature effettivamente predisposte).

### *10.10.1. Altezza paramento H = 1.00m*

**Azioni**

**Carico da urto**

| | | | |
|---|---|---|---|
| F = | 100,00 | kN | forza da urto |
| $H_c$ = | 1,00 | m | altezza di applicazione del carico da pavimentazione |
| b = | 2,00 | m | larghezza di applicazione del carico (si considera il carico da urto distribuito su 3 montanti) |

**Caratteristiche terreno spingente**

| | | | |
|---|---|---|---|
| γ = | 19,00 | kN/m³ | peso specifico terreno spingente |
| ϕ = | 35 | ° | angolo d'attrito terreno spingente |
| γ = | 1,00 | | M1 coeff. parziale di sicurezza |
| ϕ,calc = | 35 | ° | angolo d'attrito di calcolo terreno spingente |
| ka = | 0,27 | | coefficiente di spinta attiva |

**Geometria muro**

| | | | |
|---|---|---|---|
| H = | 1,00 | m | altezza paramento del muro |
| $t_{sup}$ = | 0,30 | m | spessore testa muro |
| $t_{inf}$ = | 0,30 | m | spessore base muro |
| $B_{sup}$ = | 2,00 | m | larghezza di diffusione urto a testa muro |

| | | | |
|---|---|---|---|
| $B_{inf}$ = | 3,00 | m | larghezza di diffusione urto a spiccato fondazione (si considera la diffusione a 45° **solo su un lato**) |

**Spinta delle terre**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $S_{p,base}$ = | 7,72 | kN | spinta delle terre totale su elevazione (carico agente su $B_{inf}$) |
| $h_{sp,base}$ = | 0,33 | m | altezza applicazione spinta da estradosso fondazione |

**Spinta del sovraccarico variabile**

| | | | |
|---|---|---|---|
| q = | 20,00 | kN/mq | sovraccarico variabile in combinazione di urto |
| $\psi 2$ = | 0,20 | | coeff. di combinazione quasi permanente |
| $S_q$ = | 3,25 | kN | spinta del sovraccarico totale su elevazione (carico agente su $B_{inf}$) |
| $H_q$ = | 0,50 | m | altezza applicazione spinta da estradosso fondazione |

**Testa muro (solo carico da urto)**

| AZIONI GLOBALI | | | AZIONI A METRO LINEARE | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $M_{Ed,G}$ = | 100,00 | kNm | $M_{Ed}$ = | 50,00 | kNm/m |
| $V_{Ed,G}$ = | 100,00 | kN | $V_{Ed}$ = | 50,00 | kN/m |

**Base muro (carico da urto + spinta delle terre + spinta sovraccarico)**

| AZIONI GLOBALI | | | AZIONI A METRO LINEARE | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $M_{Ed,G}$ = | 204,20 | kNm | $M_{Ed}$ = | 68,07 | kNm/m |
| $V_{Ed,G}$ = | 110,98 | kN | $V_{Ed}$ = | 36,99 | kN/m |

## Testa muro

*Caratteristiche meccaniche dei materiali*

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Calcestruzzo | C32/40 | $R_{ck}$ = | 40 | N/mm² | $f_{ck}$ = | 32 | N/mm² |
| $\gamma_c$ = | 1,00 | $\alpha_{cc}$ = | 0,85 | | $f_{cd}$ = | 27,20 | N/mm² |
| | | $E_c$ = | 33346 | N/mm² | $f_{ctm}$ = | 3,02 | N/mm² |
| Acciaio | B450C | $E_s$ = | 200000 | N/mm² | $f_{yk}$ = | 450 | N/mm² |
| $\gamma_s$ = | 1,00 | $\varepsilon'_{se}$ | 2,25 | | $f_{yd}$ = | 450,0 | N/mm² |

*Caratteristiche geometriche della sezione*

| | | |
|---|---|---|
| B = | 1000 | mm base |
| H = | 300 | mm altezza |
| c = | 65 | mm coprifer. |

$N_{Ed}$ positivo di compressione
$M_{Ed}$ positivo se tende le fibre inferiori della sezione
y distanza dell'armatura dal lembo superiore

| n. | ø(mm) | $A_s$ (mm²) | y (mm) |
|---|---|---|---|
| 5 | 12 | 565 | 65 |
| | | - | 235 |
| 5 | 14 | 770 | 235 |
| | | - | |
| | Σ | 1335 | mm² |

*Verifiche agli Stati Limite Ultimi*

*Flessione*

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ | $M_{Ed}$ | $V_{Ed}$ | $M_{Rd}$ | $M_{Rd}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|

| | | [kN] | [kNm] | [kN] | [kNm] | $M_{Ed}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| URTO | testa muro | | 50,00 | 50,00 | 85,47 | **1,71** |

*Taglio*

$\phi_{staffe}$ = mm  $\alpha$ = ° inclinazione staffa
$n_b$ = n° braccia  s = mm passo

| Combinazione | posizione | $V_{Rd,0}$ [kN] | $V_{Rd,s}$ [kN] | $V_{Rd,c}$ [kN] | $V_{Rd}$ [kN] | $V_{Rd}/V_{Ed}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| URTO | testa muro | 177,97 | | | 177,97 | **3,56** |

**Base muro**

*Caratteristiche meccaniche dei materiali*

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Calcestruzzo | C32/40 | $R_{ck}$ = | 40 | N/mm² | $f_{ck}$ = | 32 | N/mm² |
| $\gamma_c$ = | 1,00 | $\alpha_{cc}$ = | 0,85 | | $f_{cd}$ = | 27,20 | N/mm² |
| | | $E_c$ = | 33346 | N/mm² | $f_{ctm}$ = | 3,02 | N/mm² |
| Acciaio | B450C | $E_s$ = | 200000 | N/mm² | $f_{yk}$ = | 450 | N/mm² |
| $\gamma_s$ = | 1,00 | $\varepsilon'_{se}$ | 2,25 | | $f_{yd}$ = | 450,0 | N/mm² |

*Caratteristiche geometriche della sezione*

B = 1000 mm base
H = 300 mm altezza
c = 65 mm coprifer.
$N_{Ed}$ positivo di compressione
$M_{Ed}$ positivo se tende le fibre inferiori della sezione
y distanza dell'armatura dal lembo superiore

| n. | ø(mm) | $A_s$ (mm²) | y (mm) |
|---|---|---|---|
| 5 | 12 | 565 | 65 |
| | | - | 235 |
| 5 | 14 | 770 | 235 |
| | | - | |
| | Σ | 1335 | mm² |

*Verifiche agli Stati Limite Ultimi*

*Flessione*

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $V_{Ed}$ [kN] | $M_{Rd}$ [kNm] | $M_{Rd}/M_{Ed}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| URTO | testa muro | | 68,07 | 36,99 | 85,47 | **1,26** |

*Taglio*

$\phi_{staffe}$ = mm  $\alpha$ = ° inclinazione staffa
$n_b$ = n° braccia  s = mm passo

| Combinazione | posizione | $V_{Rd,0}$ [kN] | $V_{Rd,s}$ [kN] | $V_{Rd,c}$ [kN] | $V_{Rd}$ [kN] | $V_{Rd}/V_{Ed}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| URTO | testa muro | 177,97 | | | 177,97 | **4,81** |

### *10.10.2. Altezza paramento H = 2.00m*

**Azioni**

**Carico da urto**

F = 100,00 kN  forza da urto
$H_c$ = 1,00 m  altezza di applicazione del carico da pavimentazione

| | | | |
|---|---|---|---|
| b = | 2,00 | m | larghezza di applicazione del carico (si considera il carico da urto distribuito su 3 montanti) |

**Caratteristiche terreno spingente**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\gamma$ = | 19,00 | kN/m³ | peso specifico terreno spingente |
| $\phi$ = | 35 | ° | angolo d'attrito terreno spingente |
| $\gamma$ = | 1,00 | | M1 coeff. parziale di sicurezza |
| $\phi$,calc = | 35 | ° | angolo d'attrito di calcolo terreno spingente |
| ka = | 0,27 | | coefficiente di spinta attiva |

**Geometria muro**

| | | | |
|---|---|---|---|
| H = | 2,00 | m | altezza paramento del muro |
| $t_{sup}$ = | 0,30 | m | spessore testa muro |
| $t_{inf}$ = | 0,30 | m | spessore base muro |
| $B_{sup}$ = | 2,00 | m | larghezza di diffusione urto a testa muro |
| $B_{inf}$ = | 4,00 | m | larghezza di diffusione urto a spiccato fondazione (si considera la diffusione a 45° **solo su un lato**) |

**Spinta delle terre**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $S_{p,base}$ = | 41,19 | kN | spinta delle terre totale su elevazione (carico agente su $B_{inf}$) |
| $h_{sp,base}$ = | 0,67 | m | altezza applicazione spinta da estradosso fondazione |

**Spinta del sovraccarico variabile**

| | | | |
|---|---|---|---|
| q = | 20,00 | kN/mq | sovraccarico variabile in combinazione di urto |
| $\psi$2 = | 0,20 | | coeff. di combinazione quasi permanente |
| $S_q$ = | 8,67 | kN | spinta del sovraccarico totale su elevazione (carico agente su $B_{inf}$) |
| $H_q$ = | 1,00 | m | altezza applicazione spinta da estradosso fondazione |

**Testa muro (solo carico da urto)**

| AZIONI GLOBALI | | | AZIONI A METRO LINEARE | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $M_{Ed,G}$ = | 100,00 | kNm | $M_{Ed}$ = | 50,00 | kNm/m |
| $V_{Ed,G}$ = | 100,00 | kN | $V_{Ed}$ = | 50,00 | kN/m |

**Base muro (carico da urto + spinta delle terre + spinta sovraccarico)**

| AZIONI GLOBALI | | | AZIONI A METRO LINEARE | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $M_{Ed,G}$ = | 336,13 | kNm | $M_{Ed}$ = | 84,03 | kNm/m |
| $V_{Ed,G}$ = | 149,86 | kN | $V_{Ed}$ = | 37,47 | kN/m |

## Testa muro

*Caratteristiche meccaniche dei materiali*

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Calcestruzzo | C32/40 | | $R_{ck}$ = | 40 | N/mm² | $f_{ck}$ = | 32 | N/mm² |
| | $\gamma_c$ = | 1,00 | $\alpha_{cc}$ = | 0,85 | | $f_{cd}$ = | 27,20 | N/mm² |
| | | | $E_c$ = | 33346 | N/mm² | $f_{ctm}$ = | 3,02 | N/mm² |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Acciaio | B450C | $E_s$ = | 200000 | N/mm² | $f_{yk}$ = | 450 | N/mm² |
| $\gamma_s$ = | 1,00 | $\varepsilon'_{se}$ | 2,25 | | $f_{yd}$ = | 450,0 | N/mm² |

*Caratteristiche geometriche della sezione*

B = 1000 mm base
H = 300 mm altezza
c = 65 mm coprifer.
$N_{Ed}$ positivo di compressione
$M_{Ed}$ positivo se tende le fibre inferiori della sezione
y distanza dell'armatura dal lembo superiore

| n. | ø(mm) | $A_s$ (mm²) | y (mm) |
|---|---|---|---|
| 5 | 12 | 565 | 65 |
| | | - | 235 |
| 5 | 14 | 770 | 235 |
| | | - | |
| | Σ | 1335 | mm² |

*Verifiche agli Stati Limite Ultimi*

*Flessione*

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $V_{Ed}$ [kN] | $M_{Rd}$ [kNm] | $\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| URTO | testa muro | | 50,00 | 50,00 | 85,47 | **1,71** |

*Taglio*

$\phi_{staffe}$ = mm $\alpha$ = ° inclinazione staffa
$n_b$ = n° braccia s = mm passo

| Combinazione | posizione | $V_{Rd,0}$ [kN] | $V_{Rd,s}$ [kN] | $V_{Rd,c}$ [kN] | $V_{Rd}$ [kN] | $\frac{V_{Rd}}{V_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| URTO | testa muro | 177,97 | | | 177,97 | **3,56** |

## Base muro

*Caratteristiche meccaniche dei materiali*

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Calcestruzzo | C32/40 | $R_{ck}$ = | 40 | N/mm² | $f_{ck}$ = | 32 | N/mm² |
| $\gamma_c$ = | 1,00 | $\alpha_{cc}$ = | 0,85 | | $f_{cd}$ = | 27,20 | N/mm² |
| | | $E_c$ = | 33346 | N/mm² | $f_{ctm}$ = | 3,02 | N/mm² |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Acciaio | B450C | $E_s$ = | 200000 | N/mm² | $f_{yk}$ = | 450 | N/mm² |
| $\gamma_s$ = | 1,00 | $\varepsilon'_{se}$ | 2,25 | | $f_{yd}$ = | 450,0 | N/mm² |

*Caratteristiche geometriche della sezione*

B = 1000 mm base
H = 300 mm altezza
c = 65 mm coprifer.
$N_{Ed}$ positivo di compressione
$M_{Ed}$ positivo se tende le fibre inferiori della sezione
y distanza dell'armatura dal lembo superiore

| n. | ø(mm) | $A_s$ (mm²) | y (mm) |
|---|---|---|---|
| 5 | 12 | 565 | 65 |
| | | - | 235 |
| 5 | 14 | 770 | 235 |
| | | - | |
| | Σ | 1335 | mm² |

*Verifiche agli Stati Limite Ultimi*

*Flessione*

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $V_{Ed}$ [kN] | $M_{Rd}$ [kNm] | $\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| URTO | testa muro | | 84,03 | 37,47 | 85,47 | **1,02** |

*Taglio*

$\phi_{staffe}$ = mm $\alpha$ = ° inclinazione staffa

$n_b$ = n° braccia s = mm passo

| Combinazione | posizione | $V_{Rd,0}$ [kN] | $V_{Rd,s}$ [kN] | $V_{Rd,c}$ [kN] | $V_{Rd}$ [kN] | $\frac{V_{Rd}}{V_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| URTO | testa muro | 177,97 | | | 177,97 | **4,75** |

### *10.10.3. Altezza paramento H = 2.80m*

**Azioni**

**Carico da urto**

| | | | |
|---|---|---|---|
| F = | 100,00 | kN | forza da urto |
| $H_c$ = | 1,00 | m | altezza di applicazione del carico da pavimentazione |
| b = | 2,00 | m | larghezza di applicazione del carico (si considera il carico da urto distribuito su 3 montanti) |

**Caratteristiche terreno spingente**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\gamma$ = | 19,00 | kN/m³ | peso specifico terreno spingente |
| $\phi$ = | 35 | ° | angolo d'attrito terreno spingente |
| $\gamma$ = | 1,00 | | M1 coeff. parziale di sicurezza |
| $\phi$,calc = | 35 | ° | angolo d'attrito di calcolo terreno spingente |
| ka = | 0,27 | | coefficiente di spinta attiva |

**Geometria muro**

| | | | |
|---|---|---|---|
| H = | 2,80 | m | altezza paramento del muro |
| $t_{sup}$ = | 0,40 | m | spessore testa muro |
| $t_{inf}$ = | 0,40 | m | spessore base muro |
| $B_{sup}$ = | 2,00 | m | larghezza di diffusione urto a testa muro |
| $B_{inf}$ = | 4,80 | m | larghezza di diffusione urto a spiccato fondazione (si considera la diffusione a 45° **solo su un lato**) |

**Spinta delle terre**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $S_{p,base}$ = | 96,88 | kN | spinta delle terre totale su elevazione (carico agente su $B_{inf}$) |
| $h_{sp,base}$ = | 0,93 | m | altezza applicazione spinta da estradosso fondazione |

**Spinta del sovraccarico variabile**

| | | | |
|---|---|---|---|
| q = | 20,00 | kN/mq | sovraccarico variabile in combinazione di urto |
| $\psi$2 = | 0,20 | | coeff. di combinazione quasi permanente |
| $S_q$ = | 14,57 | kN | spinta del sovraccarico totale su elevazione (carico agente su $B_{inf}$) |
| $H_q$ = | 1,40 | m | altezza applicazione spinta da estradosso fondazione |

**Testa muro (solo carico da urto)**

AZIONI GLOBALI AZIONI A METRO LINEARE

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $M_{Ed,G}$ = | 100,00 | kNm | $M_{Ed}$ = | 50,00 | kNm/m |
| $V_{Ed,G}$ = | 100,00 | kN | $V_{Ed}$ = | 50,00 | kN/m |

**Base muro (carico da urto + spinta delle terre + spinta sovraccarico)**

| AZIONI GLOBALI | | | AZIONI A METRO LINEARE | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $M_{Ed,G}$ = | 490,82 | kNm | $M_{Ed}$ = | 102,25 | kNm/m |
| $V_{Ed,G}$ = | 211,45 | kN | $V_{Ed}$ = | 44,05 | kN/m |

## Testa muro

*Caratteristiche meccaniche dei materiali*

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Calcestruzzo | C32/40 | $R_{ck}$ = | 40 | N/mm² | $f_{ck}$ = | 32 | N/mm² |
| $\gamma_c$ = | 1,00 | $\alpha_{cc}$ = | 0,85 | | $f_{cd}$ = | 27,20 | N/mm² |
| | | $E_c$ = | 33346 | N/mm² | $f_{ctm}$ = | 3,02 | N/mm² |
| Acciaio | B450C | $E_s$ = | 200000 | N/mm² | $f_{yk}$ = | 450 | N/mm² |
| $\gamma_s$ = | 1,00 | $\varepsilon'_{se}$ | 2,25 | | $f_{yd}$ = | 450,0 | N/mm² |

*Caratteristiche geometriche della sezione*

| | | |
|---|---|---|
| B = | 1000 | mm base |
| H = | 400 | mm altezza |
| c = | 65 | mm coprifer. |

$N_{Ed}$ positivo di compressione
$M_{Ed}$ positivo se tende le fibre inferiori della sezione
y distanza dell'armatura dal lembo superiore

| n. | ø(mm) | $A_s$ (mm²) | y (mm) |
|---|---|---|---|
| 5 | 12 | 565 | 65 |
| | | - | 335 |
| 5 | 14 | 770 | 335 |
| | | - | |
| | Σ | 1335 | mm² |

*Verifiche agli Stati Limite Ultimi*

*Flessione*

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $V_{Ed}$ [kN] | $M_{Rd}$ [kNm] | $\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| URTO | testa muro | | 50,00 | 50,00 | 114,27 | **2,29** |

*Taglio*

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\phi_{staffe}$ = | mm | $\alpha$ = | ° inclinazione staffa |
| $n_b$ = | n° braccia | s = | mm passo |

| Combinazione | posizione | $V_{Rd,0}$ [kN] | $V_{Rd,s}$ [kN] | $V_{Rd,c}$ [kN] | $V_{Rd}$ [kN] | $\frac{V_{Rd}}{V_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| URTO | testa muro | 207,85 | | | 207,85 | **4,16** |

## Base muro

*Caratteristiche meccaniche dei materiali*

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Calcestruzzo | C32/40 | $R_{ck}$ = | 40 | N/mm² | $f_{ck}$ = | 32 | N/mm² |
| $\gamma_c$ = | 1,00 | $\alpha_{cc}$ = | 0,85 | | $f_{cd}$ = | 27,20 | N/mm² |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $E_c$ = | 33346 | N/mm² | $f_{ctm}$ = | 3,02 | N/mm² |
| Acciaio | B450C | $E_s$ = | 200000 | N/mm² | $f_{yk}$ = | 450 | N/mm² |
| $\gamma_s$ = | 1,00 | $\varepsilon'_{se}$ | 2,25 | | $f_{yd}$ = | 450,0 | N/mm² |

*Caratteristiche geometriche della sezione*

B = 1000 mm base
H = 400 mm altezza
c = 65 mm coprifer.

$N_{Ed}$ positivo di compressione
$M_{Ed}$ positivo se tende le fibre inferiori della sezione
y distanza dell'armatura dal lembo superiore

| n. | ø(mm) | $A_s$ (mm²) | y (mm) |
|---|---|---|---|
| 5 | 12 | 565 | 65 |
| | | - | 335 |
| 5 | 14 | 770 | 335 |
| | | - | |
| | Σ | 1335 | mm² |

*Verifiche agli Stati Limite Ultimi*

*Flessione*

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $V_{Ed}$ [kN] | $M_{Rd}$ [kNm] | $\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| URTO | testa muro | | 102,25 | 44,05 | 114,27 | **1,12** |

*Taglio*

$\phi_{staffe}$ = mm  $\alpha$ = ° inclinazione staffa
$n_b$ = n° braccia  s = mm passo

| Combinazione | posizione | $V_{Rd,0}$ [kN] | $V_{Rd,s}$ [kN] | $V_{Rd,c}$ [kN] | $V_{Rd}$ [kN] | $\frac{V_{Rd}}{V_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| URTO | testa muro | 207,85 | | | 207,85 | **4,72** |

### *10.10.4. Altezza paramento H = 4.00m*

**Azioni**

**Carico da urto**

F = 100,00 kN forza da urto
$H_c$ = 1,00 m altezza di applicazione del carico da pavimentazione
b = 2,00 m larghezza di applicazione del carico
(si considera il carico da urto distribuito su 3 montanti)

**Caratteristiche terreno spingente**

$\gamma$ = 19,00 kN/m³ peso specifico terreno spingente
$\phi$ = 35 ° angolo d'attrito terreno spingente
$\gamma$ = 1,00 M1 coeff. parziale di sicurezza
$\phi$,calc = 35 ° angolo d'attrito di calcolo terreno spingente
k0 = 0,43 coefficiente di spinta a riposo

**Geometria muro**

H = 4,00 m altezza paramento del muro
$t_{sup}$ = 0,50 m spessore testa muro
$t_{inf}$ = 0,50 m spessore base muro
$B_{sup}$ = 2,00 m larghezza di diffusione urto a testa muro

| | | | |
|---|---|---|---|
| $B_{inf}$ = | 6,00 | m | larghezza di diffusione urto a spiccato fondazione (si considera la diffusione a 45° **solo su un lato**) |

**Spinta delle terre**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $S_{p,base}$ = | 388,90 | kN | spinta delle terre totale su elevazione (carico agente su $B_{inf}$) |
| $h_{sp,base}$ = | 1,33 | m | altezza applicazione spinta da estradosso fondazione |

**Spinta del sovraccarico variabile**

| | | | |
|---|---|---|---|
| q = | 20,00 | kN/mq | sovraccarico variabile in combinazione di urto |
| $\psi 2$ = | 0,20 | | coeff. di combinazione quasi permanente |
| $S_q$ = | 40,94 | kN | spinta del sovraccarico totale su elevazione (carico agente su $B_{inf}$) |
| $H_q$ = | 2,00 | m | altezza applicazione spinta da estradosso fondazione |

**Testa muro (solo carico da urto)**

| AZIONI GLOBALI | | | AZIONI A METRO LINEARE | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $M_{Ed,G}$ = | 100,00 | kNm | $M_{Ed}$ = | 50,00 | kNm/m |
| $V_{Ed,G}$ = | 100,00 | kN | $V_{Ed}$ = | 50,00 | kN/m |

**Base muro (carico da urto + spinta delle terre + spinta sovraccarico)**

| AZIONI GLOBALI | | | AZIONI A METRO LINEARE | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $M_{Ed,G}$ = | 1100,40 | kNm | $M_{Ed}$ = | 183,40 | kNm/m |
| $V_{Ed,G}$ = | 529,83 | kN | $V_{Ed}$ = | 88,31 | kN/m |

## Testa muro

*Caratteristiche meccaniche dei materiali*

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Calcestruzzo | C32/40 | $R_{ck}$ = | 40 | N/mm² | $f_{ck}$ = | 32 | N/mm² |
| $\gamma_c$ = | 1,00 | $\alpha_{cc}$ = | 0,85 | | $f_{cd}$ = | 27,20 | N/mm² |
| | | $E_c$ = | 33346 | N/mm² | $f_{ctm}$ = | 3,02 | N/mm² |
| Acciaio | B450C | $E_s$ = | 200000 | N/mm² | $f_{yk}$ = | 450 | N/mm² |
| $\gamma_s$ = | 1,00 | $\varepsilon'_{se}$ | 2,25 | | $f_{yd}$ = | 450,0 | N/mm² |

*Caratteristiche geometriche della sezione*

| | | |
|---|---|---|
| B = | 1000 | mm base |
| H = | 500 | mm altezza |
| c = | 65 | mm coprifer. |

$N_{Ed}$ positivo di compressione
$M_{Ed}$ positivo se tende le fibre inferiori della sezione
y distanza dell'armatura dal lembo superiore

| n. | ø(mm) | $A_s$ (mm²) | y (mm) |
|---|---|---|---|
| 5 | 14 | 770 | 65 |
| | | - | 435 |
| 7,5 | 16 | 1508 | 435 |
| | | - | |
| | Σ | 2278 | mm² |

*Verifiche agli Stati Limite Ultimi*

*Flessione*

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $V_{Ed}$ [kN] | $M_{Rd}$ [kNm] | $\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| URTO | testa muro | | 50,00 | 50,00 | 280,62 | **5,61** |

*Taglio*

$\phi_{staffe}$ = mm $\alpha$ = ° inclinazione staffa
$n_b$ = n° braccia s = mm passo

| Combinazione | posizione | $V_{Rd,0}$ [kN] | $V_{Rd,s}$ [kN] | $V_{Rd,c}$ [kN] | $V_{Rd}$ [kN] | $\frac{V_{Rd}}{V_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| URTO | testa muro | 293,04 | | | 293,04 | **5,86** |

## Base muro

*Caratteristiche meccaniche dei materiali*

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Calcestruzzo | C32/40 | $R_{ck}$ = | 40 | N/mm² | $f_{ck}$ = | 32 | N/mm² |
| $\gamma_c$ = | 1,00 | $\alpha_{cc}$ = | 0,85 | | $f_{cd}$ = | 27,20 | N/mm² |
| | | $E_c$ = | 33346 | N/mm² | $f_{ctm}$ = | 3,02 | N/mm² |
| Acciaio | B450C | $E_s$ = | 200000 | N/mm² | $f_{yk}$ = | 450 | N/mm² |
| $\gamma_s$ = | 1,00 | $\varepsilon'_{se}$ | 2,25 | | $f_{yd}$ = | 450,0 | N/mm² |

*Caratteristiche geometriche della sezione*

B = 1000 mm base
H = 500 mm altezza
c = 65 mm coprifer.

$N_{Ed}$ positivo di compressione
$M_{Ed}$ positivo se tende le fibre inferiori della sezione
y distanza dell'armatura dal lembo superiore

| n. | ø(mm) | $A_s$ (mm²) | y (mm) |
|---|---|---|---|
| 5 | 14 | 770 | 65 |
| | | - | 435 |
| 7,5 | 16 | 1508 | 435 |
| | | - | |
| | Σ | 2278 | mm² |

*Verifiche agli Stati Limite Ultimi*

*Flessione*

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $V_{Ed}$ [kN] | $M_{Rd}$ [kNm] | $\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| URTO | testa muro | | 183,40 | 88,31 | 280,62 | **1,53** |

*Taglio*

$\phi_{staffe}$ = mm $\alpha$ = ° inclinazione staffa
$n_b$ = n° braccia s = mm passo

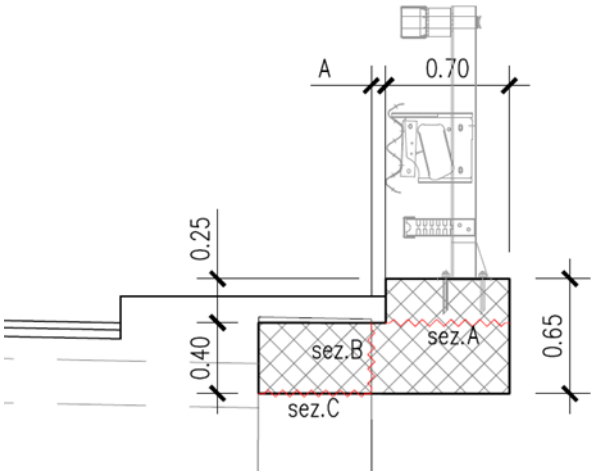
| Combinazione | posizione | $V_{Rd,0}$ [kN] | $V_{Rd,s}$ [kN] | $V_{Rd,c}$ [kN] | $V_{Rd}$ [kN] | $\frac{V_{Rd}}{V_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| URTO | testa muro | 293,04 | | | 293,04 | **3,32** |

## 11. CORDOLO PORTA BARRIERA DI COLLEGAMENTO MU03

Nel paragrafo che segue si riporta l'analisi del cordolo porta barriera che verrà realizzato al fine di collegare un muro attualmente esistente sullo svincolo che ospiterà la rotatoria di via Milano e il muro in progetto MU03.
Il cordolo richiederà la parziale demolizione del muro esistente, al quale verrà poi inghisato in testa mediante barre ϕ16 disposte con passo 20cm.
Si riporta l'analisi dei carichi, seguita dalla verifica delle sezioni del cordolo e dal calcolo inerente agli inghisaggi.

### 11.1. Analisi dei carichi

**Configurazione di calcolo**




**Geometria cordolo**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $H_{sup,cord}$ = | 0.25 | m | altezza sbordo cordolo |
| $H_{tot,cord}$ = | 0.65 | m | altezza totale cordolo |
| $H_{inf,cord}$ = | 0.40 | m | altezza parte inferiore cordolo |
| $H_{marc}$ = | 0.15 | m | altezza marciapiede |
| $t_{cord}$ = | 0.70 | m | spessore testa cordolo |
| $t_{m,esist}$ = | 0.60 | m | spessore muro esistente |
| $A_{max}$ = | 0.21 | m | dimensione massima variabile A |
| $A_{SLU}$ = | 0.21 | m | dimensione variabile A considerata a SLU |
| $A_U$ = | 0.00 | m | dimensione variabile A considerata con URTO (A media massima rilevata su una lunghezza di 2.00m) |
| $B_{sup}$ = | 2.00 | m | larghezza di diffusione urto a testa cordolo |
| $B_{inf,A}$ = | 2.25 | m | larghezza di diffusione urto sezioni di verifica A |
| $B_{inf,B}$ = | 2.80 | m | larghezza di diffusione urto sezioni di verifica B |
| $B_{inf,C}$ = | 3.30 | m | larghezza di diffusione urto sezioni di verifica C (si considera la diffsione a 45° solo su un lato) |

**Carico da urto**

| | | | |
|---|---|---|---|
| F = | 100.00 | kN | forza da urto |
| $H_c$ = | 1.00 | m | altezza di applicazione del carico da pavimentazione |
| $H_b$ = | 0.90 | m | altezza applicazione carico da base barriera |
| b = | 2.00 | m | larghezza di applicazione del carico (si considera il carico da urto distribuito su 3 montanti) |

**Peso permanenti**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $g_{bar}$ = | 1.00 | kN/m | peso barriera |
| $\gamma_{cls}$ = | 25.00 | kN/mc | peso calcestruzzo |
| $\gamma_{marc}$ = | 22.00 | kN/mc | peso marciaiede |

**Peso del sovraccarico variabile**

| | | | |
|---|---|---|---|
| q = | 20.00 | kN/mq | sovraccarico variabile (a favore di sicurezza) |
| $\psi 2$ = | 0.20 | | coeff. di combinazione quasi permanente |
| $q_u$ = | 4.00 | kN/mq | sovraccarico variabile in combinazione di urto |
| $q_{SLU}$ = | 4.20 | kN/m | carico lineare per combinazione SLU su A |
| $q_U$ = | 0.00 | kN/m | carico lineare per combinazione URTO su A |

***SOLLECITAZIONI CON URTO***

***Sezione A***

*AZIONI GLOBALI URTO*

| | | |
|---|---|---|
| $M_{Ed,G}$ = | 115.00 | kNm |
| $V_{Ed,G}$ = | 100.00 | kN |

*AZIONI A METRO LINEARE URTO*

| | | |
|---|---|---|
| $M_{Ed}$ = | 51.11 | kNm/m |
| $V_{Ed}$ = | 44.44 | kN/m |

***Sezione B***

*AZIONI GLOBALI URTO*

| | | |
|---|---|---|
| $M_{Ed,G}$ = | 135.00 | kNm |
| $T_{Ed,G}$ = | 100.00 | kN |

*AZIONI A METRO LINEARE URTO*

| | | |
|---|---|---|
| $M_{Ed}$ = | 48.21 | kNm/m |
| $T_{Ed}$ = | 35.71 | kN/m |

*AZIONI A METRO LINEARE VARIABILI*

| | | |
|---|---|---|
| $M_{Ed}$ = | 0.00 | kNm/m |
| $V_{Ed}$ = | 0.00 | kN/m |

*AZIONI A METRO LINEARE PERMANENTI*

| | | |
|---|---|---|
| $M_{Ed}$ = | 4.33 | kNm/m |
| $V_{Ed}$ = | 12.38 | kN/m |

***Sezione C***

*AZIONI GLOBALI URTO*

| | | |
|---|---|---|
| $M_{Ed,G}$ = | 155.00 | kNm |
| $V_{Ed,G}$ = | 100.00 | kN |

*AZIONI A METRO LINEARE URTO*

| | | |
|---|---|---|
| $M_{Ed}$ = | 46.97 | kNm/m |
| $V_{Ed}$ = | 30.30 | kN/m |

*AZIONI A METRO LINEARE VARIABILI*

| | | |
|---|---|---|
| $M_{Ed}$ = | 0.00 | kNm/m |
| $N_{Ed}$ = | 2.40 | kN/m |

*AZIONI A METRO LINEARE PERMANENTI*

| | | |
|---|---|---|
| $M_{Ed}$ = | 8.04 | kNm/m |
| $N_{Ed}$ = | 20.36 | kN/m |

*Coefficienti di sicurezza*

$\gamma_G$ = 1.00

$\gamma_U$ = 1.00

$\gamma_Q$ = 1.00

| Sezione | $N_{Ed}$ kN/m | $T_{Ed}$ kN/m | $V_{Ed}$ kN/m | $M_{Ed}$ kNm/m |
|---|---|---|---|---|
| **A** | 0.0 | 0.0 | 44.4 | 51.1 |
| **B** | 0.0 | 35.7 | 12.4 | 52.5 |
| **C** | 22.8 | 0.0 | 30.3 | 55.0 |

***SOLLECITAZIONI SLU***

***Sezione B***

*AZIONI A METRO LINEARE VARIABILI*

$M_{Ed}$ = 0.44 kNm/m

$V_{Ed}$ = 4.20 kN/m

*AZIONI A METRO LINEARE PERMANENTI*

$M_{Ed}$ = 7.22 kNm/m

$V_{Ed}$ = 15.17 kN/m

***Sezione C***

*AZIONI A METRO LINEARE VARIABILI*

$M_{Ed}$ = 1.70 kNm/m

$N_{Ed}$ = 16.20 kN/m

*AZIONI A METRO LINEARE PERMANENTI*

$M_{Ed}$ = 11.77 kNm/m

$N_{Ed}$ = 23.15 kN/m

*Coefficienti di sicurezza*

| | SLU | SLE |
|---|---|---|
| $\gamma_G$ = | 1.35 | 1.00 |
| $\gamma_Q$ = | 1.35 | 1.00 |

***SLU***

| Sezione | $N_{Ed}$ kN/m | $V_{Ed}$ kN/m | $M_{Ed}$ kNm/m |
|---|---|---|---|
| **B** | 0.0 | 26.1 | 10.3 |
| **C** | 53.1 | 0.0 | 18.2 |

***SLE***

| Sezione | $N_{Ed}$ kN/m | $V_{Ed}$ kN/m | $M_{Ed}$ kNm/m |
|---|---|---|---|
| **B** | 0.0 | 19.4 | 7.7 |
| **C** | 39.3 | 0.0 | 13.5 |

## 11.2. Verifica strutturale

Si riportano le verifiche strutturali delle sezioni A e B definite al paragrafo precedente mediante le sollecitazioni sopra riportate: le analisi sono riportate per metro lineare di sezione.

### *11.2.1. Verifica sezione A – combinazione eccezionale*

*Caratteristiche meccaniche dei materiali*

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Calcestruzzo | C32/40 | $R_{ck}$ = | 40 | N/mm² | $f_{ck}$ = | 32 | N/mm² |
| $\gamma_c$ = | 1.00 | $\alpha_{cc}$ = | 0.85 | | $f_{cd}$ = | 27.20 | N/mm² |
| | | $E_c$ = | 33346 | N/mm² | $f_{ctm}$ = | 3.02 | N/mm² |
| Acciaio | B450C | $E_s$ = | 200000 | N/mm² | $f_{yk}$ = | 450 | N/mm² |
| $\gamma_s$ = | 1.00 | $\varepsilon'_{se}$ | 2.25 | | $f_{yd}$ = | 450.0 | N/mm² |

*Caratteristiche geometriche della sezione*

B = 1000 mm base
H = 700 mm altezza
c = 61 mm coprifer.

$N_{Ed}$ positivo di compressione
$M_{Ed}$ positivo se tende le fibre inferiori della sezione
y distanza dell'armatura dal lembo superiore

| n. | ø(mm) | $A_s$ (mm²) | y (mm) |
|---|---|---|---|
| 5 | 14 | 770 | 61 |
| 5 | 14 | 770 | 639 |
| | | Σ 1539 | mm² |

*Verifiche agli Stati Limite Ultimi*

*Flessione*

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $V_{Ed}$ [kN] | $M_{Rd}$ [kNm] | $\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| URTO | A | | 51.11 | 44.44 | 210.11 | **4.11** |

*Taglio*

$\phi_{staffe}$ = mm  $\alpha$ = ° inclinazione staffa
$n_b$ = n° braccia  s = mm passo

| Combinazione | posizione | $V_{Rd,0}$ [kN] | $V_{Rd,s}$ [kN] | $V_{Rd,c}$ [kN] | $V_{Rd}$ [kN] | $\frac{V_{Rd}}{V_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| URTO | A | 281.23 | | | 281.23 | **6.33** |

### *11.2.2. Verifica sezione B – combinazione eccezionale*

*Caratteristiche meccaniche dei materiali*

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Calcestruzzo | C32/40 | $R_{ck}$ = | 40 | N/mm² | $f_{ck}$ = | 32 | N/mm² |
| $\gamma_c$ = | 1.00 | $\alpha_{cc}$ = | 0.85 | | $f_{cd}$ = | 27.20 | N/mm² |
| | | $E_c$ = | 33346 | N/mm² | $f_{ctm}$ = | 3.02 | N/mm² |
| Acciaio | B450C | $E_s$ = | 200000 | N/mm² | $f_{yk}$ = | 450 | N/mm² |
| $\gamma_s$ = | 1.00 | $\varepsilon'_{se}$ | 2.25 | | $f_{yd}$ = | 450.0 | N/mm² |

*Caratteristiche geometriche della sezione*

B = 1000 mm base
H = 400 mm altezza
c = 61 mm coprifer.

$N_{Ed}$ positivo di compressione
$M_{Ed}$ positivo se tende le fibre inferiori della sezione
y distanza dell'armatura dal lembo superiore

| n. | ø(mm) | $A_s$ (mm²) | y (mm) |
|---|---|---|---|
| 5 | 14 | 770 | 61 |
| 5 | 14 | 770 | 339 |
| | | - | |
| | Σ | 1539 | mm² |

*Verifiche agli Stati Limite Ultimi*

*Flessione*

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $V_{Ed}$ [kN] | $M_{Rd}$ [kNm] | $\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| URTO | B | -35.71 | 52.55 | 12.38 | 109.62 | **2.09** |

*Taglio*

$\phi_{staffe}$ = mm  α = ° inclinazione staffa
$n_b$ = n° braccia  s = mm passo

| Combinazione | posizione | $V_{Rd,0}$ [kN] | $V_{Rd,s}$ [kN] | $V_{Rd,c}$ [kN] | $V_{Rd}$ [kN] | $\frac{V_{Rd}}{V_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| URTO | B | 204.42 | | | 204.42 | **16.52** |

### 11.2.3. Verifica sezione B

*Caratteristiche meccaniche dei materiali*

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Calcestruzzo | C32/40 | $R_{ck}$ = | 40 | N/mm² | $f_{ck}$ = | 32 | N/mm² |
| $\gamma_c$ = | 1.50 | $\alpha_{cc}$ = | 0.85 | | $f_{cd}$ = | 18.13 | N/mm² |
| | | $E_c$ = | 33346 | N/mm² | $f_{ctm}$ = | 3.02 | N/mm² |
| Acciaio | B450C | $E_s$ = | 200000 | N/mm² | $f_{yk}$ = | 450 | N/mm² |
| $\gamma_s$ = | 1.15 | $\varepsilon'_{se}$ | 1.96 | | $f_{yd}$ = | 391.3 | N/mm² |

*Caratteristiche geometriche della sezione*

B = 1000 mm base
H = 400 mm altezza
c = 61 mm coprifer.

$N_{Ed}$ positivo di compressione
$M_{Ed}$ positivo se tende le fibre inferiori della sezione
y distanza dell'armatura dal lembo superiore

| n. | ø(mm) | $A_s$ (mm²) | y (mm) |
|---|---|---|---|
| 5 | 14 | 770 | 61 |
| 5 | 14 | 770 | 339 |
| | | - | |
| | Σ | 1539 | mm² |

*Verifiche agli Stati Limite Ultimi*

*Flessione*

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $V_{Ed}$ [kN] | $M_{Rd}$ [kNm] | $\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SLU | B | | 10.35 | 26.15 | 100.46 | **9.71** |

*Taglio*

$\phi_{staffe}$ = mm  α = ° inclinazione staffa
$n_b$ = n° braccia  s = mm passo

| Combinazione | posizione | $V_{Rd,0}$ | $V_{Rd,s}$ | $V_{Rd,c}$ | $V_{Rd}$ | $\frac{V_{Rd}}{}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|

| | | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | $V_{Ed}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SLU | B | 157.80 | | | 157.80 | **6.04** |

*Verifiche agli Stati Limite Esercizio - Tensioni in esercizio*

*Comb. caratteristica* $\sigma_c$ = 19.2 N/mm² $\sigma_s$ = 360.0 N/mm²

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $M_{Rd}$ [kNm] | $\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| SLE | B | | 7.66 | 85.44 | **11.15** |

*Comb. Quasi perm.* $\sigma_c$ = 14.4 N/mm² $\sigma_s$ = 360.0 N/mm²

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $M_{Rd}$ [kNm] | $\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| SLE | B | | 7.66 | 85.44 | **11.15** |

*Verifiche agli Stati Limite Esercizio - Fessurazione*

Condizioni ambientali aggressive armatura poco sensibile

$\alpha_e$ = 6.00 $\phi_{eq}$ = 14.00

$k_1$ = 0.8 $k_2$ = 0.5 $k_3$ = 3.4 $k_4$ = 0.425

*Comb. Frequente* $k_t$ = 0.6 $w_{lim}$ = 0.3 mm

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $\sigma_s$ [MPa] | x [mm] | $A_s$ [mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SLE | B | | 7.66 | 32 | 76 | 770 |
| Combinazione | $A_{c,eff}$ [mm²] | $\rho_{eff}$ | $\varepsilon_{sm}$ | $\Delta_{smax}$ [mm] | $w_d$ [mm] | Verifica |
| SLE | 108083 | 0.01 | 0.01% | 517.81 | 0.05 | **OK** |

*Comb. Quasi perm.* $k_t$ = 0.4 $w_{lim}$ = 0.2 mm

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $\sigma_s$ [MPa] | x [mm] | $A_s$ [mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SLE | B | | 7.66 | 32 | 76 | 770 |
| Combinazione | $A_{c,eff}$ [mm²] | $\rho_{eff}$ | $\varepsilon_{sm}$ | $\Delta_{smax}$ [mm] | $w_d$ [mm] | Verifica |
| SLE | 108083 | 0.01 | 0.01% | 517.81 | 0.05 | **OK** |

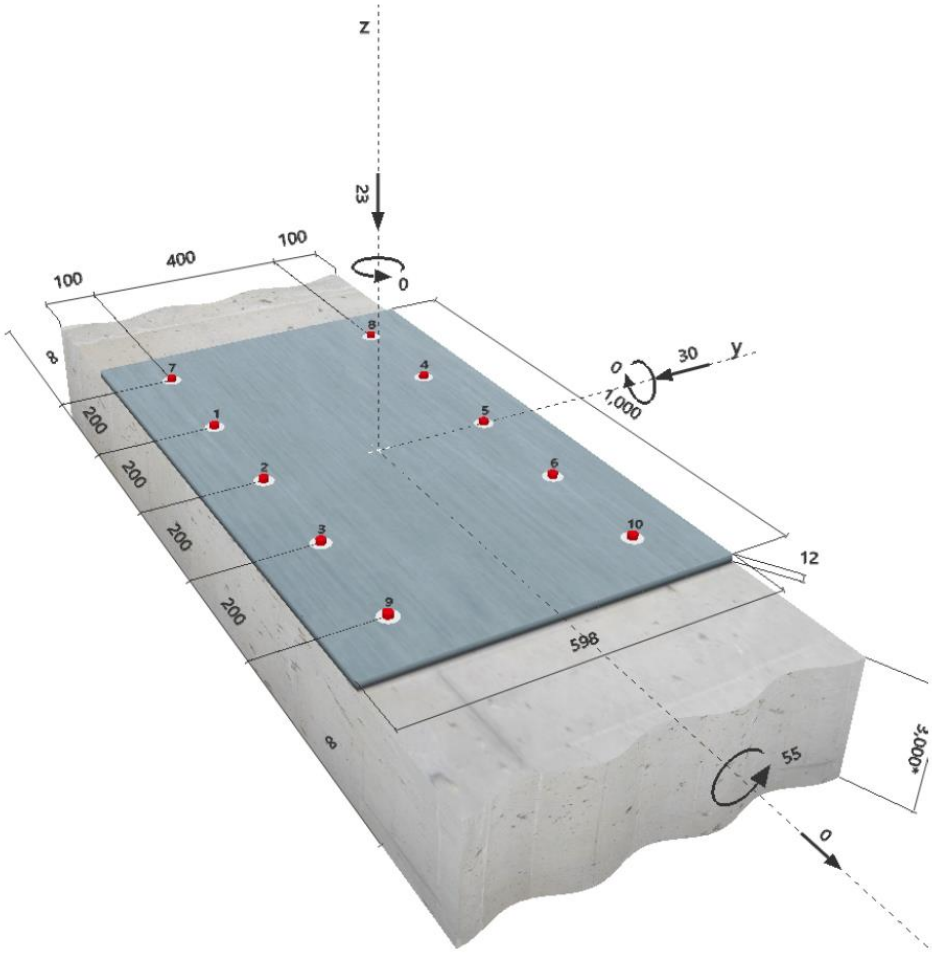
## 11.3. Verifica degli inghisaggi

Si riporta l'analisi degli inghisaggi alla struttura esistente per metro lineare: le sollecitazioni di verifica fanno riferimento alle più gravose calcolate al paragrafo precedente per la Sezione C.
L'analisi viene condotta attraverso il software di progettazione fornito dal produttore dell'ancorante: si rimanda alla Direzione Lavori la verifica della conformità della realizzazione con le ipotesi assunte in relazione.
Si noti che la piastra inserita nei calcoli costituisce unicamente un aspetto grafico e che non influisce ai fini delle analisi.

### 1 Dati da inserire

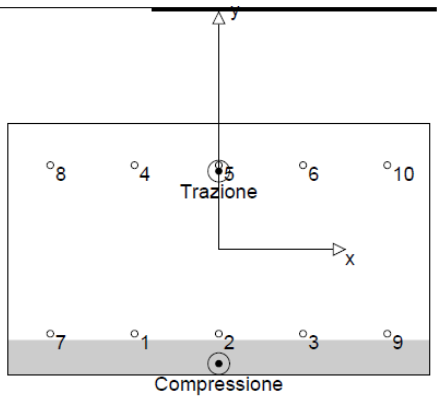
| | |
|---|---|
| **Tipo e dimensione dell'ancorante:** | **HIT-HY 200-A + Rebar 16mm** |
| **Set Dinamico o qualunque soluzione idonea per il riempimento degli spazi anulari** | |
| Profondità di posa effettiva: | $h_{ef,opti}$ = 284 mm ($h_{ef,limit}$ = 320 mm) |
| Materiale: | B500B |
| Certificazione No.: | ETA 11/0493 |
| Prova: | metodo di calcolo Valutazione ingegneristica SOFA BOND dopo la campagna di test ETAG BOND |
| Fissaggio distanziato: | $e_b$ = 0 mm (Senza distanziamento); t = 12 mm |
| Piastra d'ancoraggio: | $l_x$ x $l_y$ x t = 1000 mm x 598 mm x 12 mm; (Spessore della piastra raccomandato: non calcolato) |
| Profilo: | nessun profilo |
| Materiale base: | non fessurato calcestruzzo, C25/30, $f_c$ = 30.00 N/mm$^2$; h = 3000 mm, Temp. Breve/Lungo: 0/0 °C |
| Installazione: | Foro eseguito con perforatore, Condizioni di installazione: asciutto |
| Armatura: | nessuna armatura o interasse tra le armature >= 150 mm (qualunque Ø) o >= 100 mm (Ø <= 10 mm) |
| | senza armatura di bordo longitudinale |

**Geometria [mm] & Carichi [kN, kNm]**



## 2 Condizione di carico/Carichi risultanti sull'ancorante

Condizione di carico: Carichi di progetto




**Carichi sull'ancorante [kN]**
Trazione: (+ Trazione, - Compressione)

| Ancorante | Trazione | Taglio | Taglio in dir. x | Taglio in dir. y |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.756 | 3.000 | 0.000 | -3.000 |
| 2 | 0.756 | 3.000 | 0.000 | -3.000 |
| 3 | 0.756 | 3.000 | 0.000 | -3.000 |
| 4 | 20.589 | 3.000 | 0.000 | -3.000 |
| 5 | 20.589 | 3.000 | 0.000 | -3.000 |
| 6 | 20.589 | 3.000 | 0.000 | -3.000 |
| 7 | 0.756 | 3.000 | 0.000 | -3.000 |
| 8 | 20.589 | 3.000 | 0.000 | -3.000 |
| 9 | 0.756 | 3.000 | 0.000 | -3.000 |
| 10 | 20.589 | 3.000 | 0.000 | -3.000 |

Compressione max. nel calcestruzzo: 0.10 [‰]
Max. sforzo di compressione nel calcestruzzo: 3.10 [N/mm$^2$]
risultante delle forze di trazione nel (x/y)=(0/186): 106.726 [kN]
risultante delle forze di compressione (x/y)=(0/-271): 129.726 [kN]

## 3 Carico di trazione (EOTA TR 029, Sezione 5.2.2)

| | Carico [kN] | Resistenza [kN] | Utilizzo $\beta_N$ [%] | Stato |
|---|---|---|---|---|
| Rottura dell'acciaio* | 20.589 | 79.286 | 26 | OK |
| Rottura combinata conica del calcestruzzo e per sfilamento** | 106.726 | 254.699 | 42 | OK |
| Rottura conica del calcestruzzo** | 106.726 | 129.287 | 83 | OK |
| Fessurazione** | 106.726 | 317.947 | 34 | OK |

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

### 3.1 Rottura dell'acciaio

| $N_{Rk,s}$ [kN] | $\gamma_{M,s}$ | $N_{Rd,s}$ [kN] | $N_{Sd}$ [kN] |
|---|---|---|---|
| 111.000 | 1.400 | 79.286 | 20.589 |

### 3.2 Rottura combinata conica del calcestruzzo e per sfilamento

| $A_{p,N}$ [mm$^2$] | $A^0_{p,N}$ [mm$^2$] | $\tau_{Rk,ucr,25}$ [N/mm$^2$] | $s_{cr,Np}$ [mm] | $c_{cr,Np}$ [mm] | $c_{min}$ [mm] |
|---|---|---|---|---|---|
| 722863 | 163840 | 12.00 | 405 | 202 | 100 |

| $\psi_c$ | $\tau_{Rk,ucr}$ [N/mm$^2$] | k | $\psi^0_{g,Np}$ | $\psi_{g,Np}$ |
|---|---|---|---|---|
| 1.000 | 12.00 | 3.200 | 2.029 | 1.143 |

| $e_{c1,N}$ [mm] | $\psi_{ec1,Np}$ | $e_{c2,N}$ [mm] | $\psi_{ec2,Np}$ | $\psi_{s,Np}$ | $\psi_{re,Np}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1.000 | 186 | 0.521 | 0.848 | 1.000 |

| $N^0_{Rk,p}$ [kN] | $N_{Rk,p}$ [kN] | $\gamma_{M,p}$ | $N_{Rd,p}$ [kN] | $N_{Sd}$ [kN] |
|---|---|---|---|---|
| 171.305 | 382.049 | 1.500 | 254.699 | 106.726 |

### 3.3 Rottura conica del calcestruzzo

| $A_{c,N}$ [mm$^2$] | $A^0_{c,N}$ [mm$^2$] | $c_{cr,N}$ [mm] | $s_{cr,N}$ [mm] |
|---|---|---|---|
| 991200 | 725904 | 426 | 852 |

| $e_{c1,N}$ [mm] | $\psi_{ec1,N}$ | $e_{c2,N}$ [mm] | $\psi_{ec2,N}$ | $\psi_{s,N}$ | $\psi_{re,N}$ | $k_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1.000 | 186 | 0.696 | 0.770 | 1.000 | 10.100 |

| $N^0_{Rk,c}$ [kN] | $\gamma_{M,c}$ | $N_{Rd,c}$ [kN] | $N_{Sd}$ [kN] |
|---|---|---|---|
| 264.764 | 1.500 | 129.287 | 106.726 |

### 3.4 Fessurazione

| $A_{c,N}$ [mm$^2$] | $A^0_{c,N}$ [mm$^2$] | $c_{cr,sp}$ [mm] | $s_{cr,sp}$ [mm] | $\psi_{h,sp}$ |
|---|---|---|---|---|
| 820800 | 322624 | 284 | 568 | 1.454 |

| $e_{c1,N}$ [mm] | $\psi_{ec1,N}$ | $e_{c2,N}$ [mm] | $\psi_{ec2,N}$ | $\psi_{s,N}$ | $\psi_{re,N}$ | $k_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1.000 | 186 | 0.604 | 0.806 | 1.000 | 10.100 |

| $N^0_{Rk,c}$ [kN] | $\gamma_{M,sp}$ | $N_{Rd,sp}$ [kN] | $N_{Sd}$ [kN] |
|---|---|---|---|
| 264.764 | 1.500 | 317.947 | 106.726 |

## 4 Carico di taglio (EOTA TR 029, Sezione 5.2.3)

| | Carico [kN] | Resistenza [kN] | Utilizzo $\beta_V$ [%] | Stato |
|---|---|---|---|---|
| Rottura dell'acciaio (senza braccio di leva)* | 3.000 | 36.667 | 9 | OK |
| Rottura dell'acciaio (con braccio di leva)* | N/A | N/A | N/A | N/A |
| Rottura per pryout** | 30.000 | 371.372 | 9 | OK |
| Rottura del bordo del calcestruzzo in direzione y-** | 30.000 | 75.845 | 40 | OK |

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

### 4.1 Rottura dell'acciaio (senza braccio di leva)

| $V_{Rk,s}$ [kN] | $\gamma_{M,s}$ | $V_{Rd,s}$ [kN] | $V_{Sd}$ [kN] |
|---|---|---|---|
| 55.000 | 1.500 | 36.667 | 3.000 |

### 4.2 Rottura per pryout (cono del calcestruzzo)

| $A_{c,N}$ [mm$^2$] | $A^0_{c,N}$ [mm$^2$] | $c_{cr,N}$ [mm] | $s_{cr,N}$ [mm] | k-factor |
|---|---|---|---|---|
| 991200 | 725904 | 426 | 852 | 2.000 |

| $e_{c1,V}$ [mm] | $\psi_{ec1,N}$ | $e_{c2,V}$ [mm] | $\psi_{ec2,N}$ | $\psi_{s,N}$ | $\psi_{re,N}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1.000 | 0 | 1.000 | 0.770 | 1.000 |

| $N^0_{Rk,c}$ [kN] | $\gamma_{M,c,p}$ | $V_{Rd,c1}$ [kN] | $V_{Sd}$ [kN] |
|---|---|---|---|
| 264.764 | 1.500 | 371.372 | 30.000 |

### 4.3 Rottura del bordo del calcestruzzo in direzione y-

| $l_f$ [mm] | $d_{nom}$ [mm] | $k_1$ | $\alpha$ | $\beta$ |
|---|---|---|---|---|
| 284 | 16.0 | 2.400 | 0.169 | 0.069 |

| $c_1$ [mm] | $A_{c,V}$ [mm$^2$] | $A^0_{c,V}$ [mm$^2$] |
|---|---|---|
| 100 | 165000 | 45000 |

| $\psi_{s,V}$ | $\psi_{h,V}$ | $\psi_{\alpha,V}$ | $e_{c,V}$ [mm] | $\psi_{ec,V}$ | $\psi_{re,V}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0 | 1.000 | 1.000 |

| $V^0_{Rk,c}$ [kN] | $\gamma_{M,c}$ | $V_{Rd,c}$ [kN] | $V_{Sd}$ [kN] |
|---|---|---|---|
| 31.027 | 1.500 | 75.845 | 30.000 |

## 5 Carichi combinati di trazione e di taglio (EOTA TR 029, Sezione 5.2.4)

| $\beta_N$ | $\beta_V$ | $\alpha$ | Utilizzo $\beta_{N,V}$ [%] | Stato |
|---|---|---|---|---|
| 0.826 | 0.396 | 1.500 | 100 | OK |

$\beta_N^\alpha + \beta_V^\alpha \leq 1$

## 6 Spostamenti (ancorante più sollecitato)

Carichi a breve termine:

$N_{Sk}$ = 0.560 [kN]

$V_{Sk}$ = 4.444 [kN]

$\delta_N$ = 0.002 [mm]

$\delta_V$ = 0.178 [mm]

$\delta_{NV}$ = 0.178 [mm]

Carichi a lungo termine:

$N_{Sk}$ = 0.560 [kN]

$V_{Sk}$ = 4.444 [kN]

$\delta_N$ = 0.003 [mm]

$\delta_V$ = 0.267 [mm]

$\delta_{NV}$ = 0.267 [mm]

# L'ancoraggio risulta verificato!

## 8 Dati relativi all'installazione

Piastra d'ancoraggio, acciaio: -
Profilo: nessun profilo; 0 x 0 x 0 mm
Diametro del foro nella piastra: $d_f$ = 16 mm
Spessore della piastra (input): 12 mm
Spessore della piastra raccomandato: non calcolato
Pulizia: E' necessaria una pulizia accurata del foro (Premium cleaning)

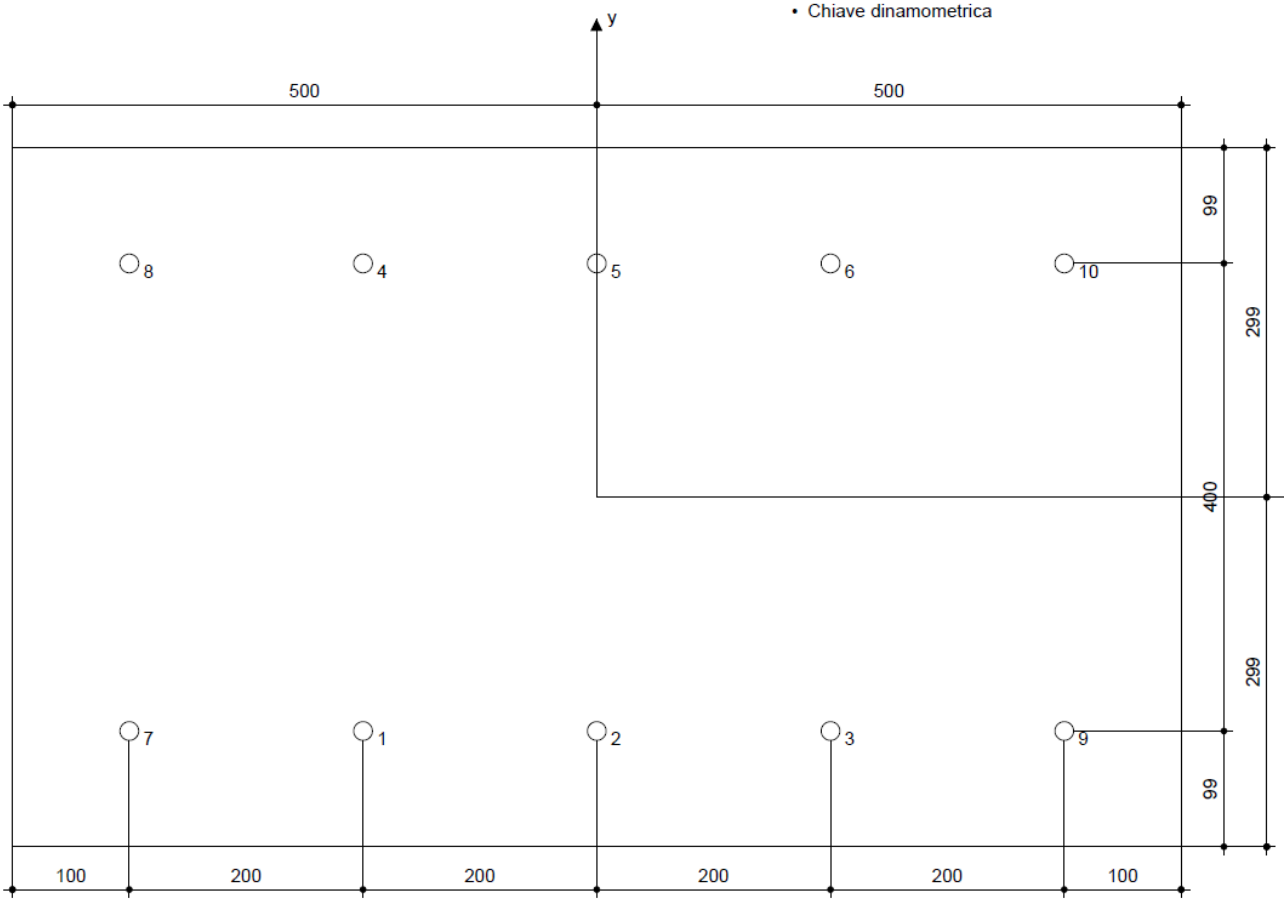
Tipo e dimensione dell'ancorante: HIT-HY 200-A + Rebar 16mm
Coppia di serraggio: 0.000 kNm
Diametro del foro nel materiale base: 20 mm
Profondità del foro nel materiale base: 284 mm
Spessore minimo del materiale base: 324 mm

### 8.1 Accessori richiesti

Perforazione
- Idoneo per rotopercussione
- Dimensione appropriata della punta del trapano

Pulizia
- Aria compressa con i relativi accessori necessari per soffiare a partire dal fondo del foro.
- Diametro appropriato dello scovolino

Posa
- Il dispenser include il portacartucce e il miscelatore
- Per installazioni profonde è necessario utilizzare l'ugello per iniezione
- Set Dinamico
- Chiave dinamometrica




**Coordinate dell'ancorante [mm]**

| Ancorante | x | y | $c_{-x}$ | $c_{+x}$ | $c_{-y}$ | $c_{+y}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -200 | -200 | - | - | 100 | 500 |
| 2 | 0 | -200 | - | - | 100 | 500 |
| 3 | 200 | -200 | - | - | 100 | 500 |
| 4 | -200 | 200 | - | - | 500 | 100 |
| 5 | 0 | 200 | - | - | 500 | 100 |

| Ancorante | x | y | $c_{-x}$ | $c_{+x}$ | $c_{-y}$ | $c_{+y}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 200 | 200 | - | - | 500 | 100 |
| 7 | -400 | -200 | - | - | 100 | 500 |
| 8 | -400 | 200 | - | - | 500 | 100 |
| 9 | 400 | -200 | - | - | 100 | 500 |
| 10 | 400 | 200 | - | - | 500 | 100 |

## 12. SCALA IN CEMENTO ARMATO

A seguire si riporta il dimensionamento della scala posta in adiacenza al muro numero 1.

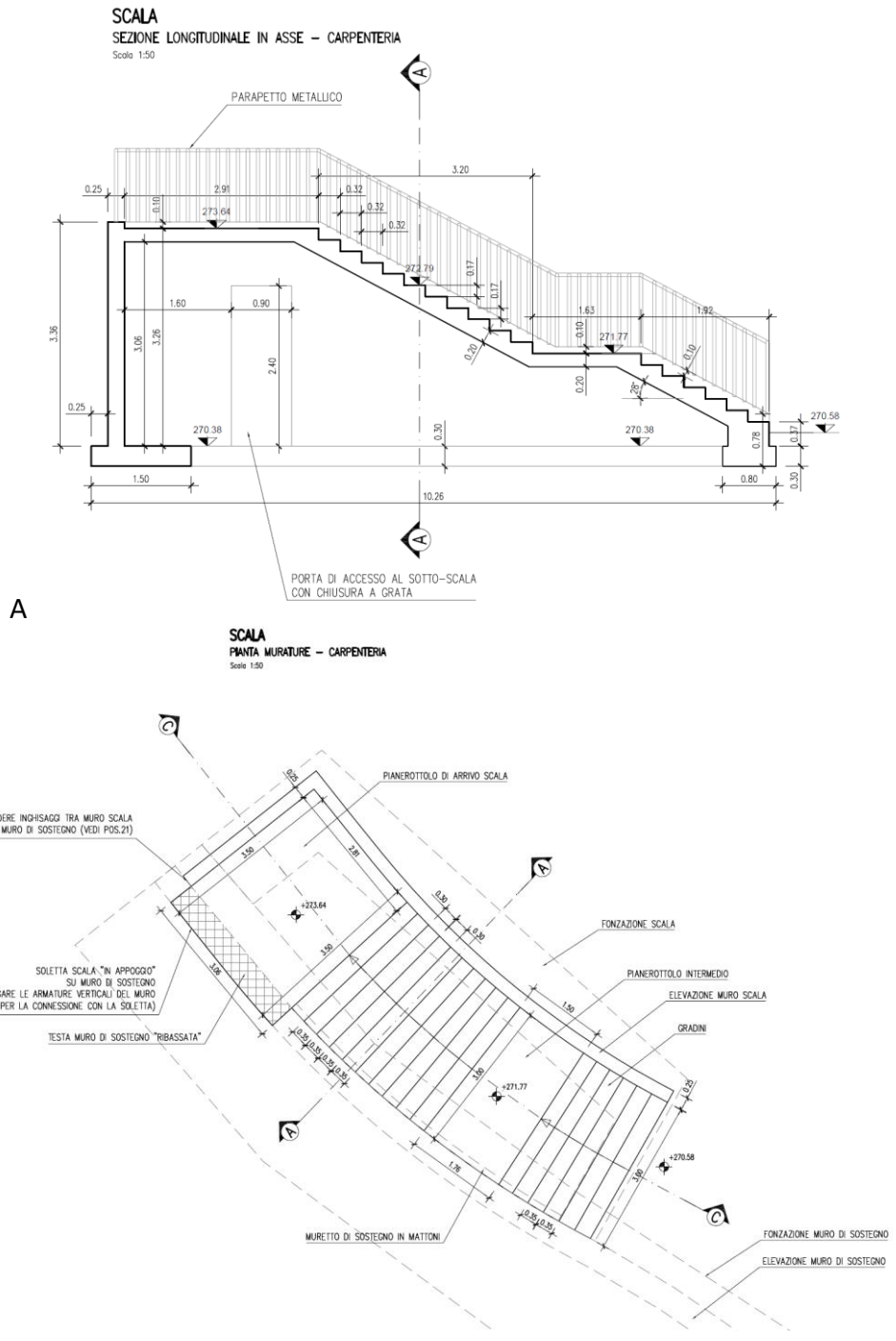



*Figura 12.1 – Sezione longitudinale e pianta scala*

Ipotesi di calcolo:

- Gradino calcolato ipotizzando uno schema statico di appoggio-appoggio;
- Verifiche in combinazione FREQUENTE e QUASI PERMANENTE eseguite con le sollecitazioni calcolate in combinazione RARA;
- Verifica a capacità portante della fondazione è implicitamente eseguita imponendo una pressione limite massima pari a 50 kN/mq (cautelativo);

## 12.1. Carichi e sollecitazioni

**Geometria scala**

| | | | |
|---|---|---|---|
| L = | 3,20 | m | luce di calcolo gradino in appoggio |
| Sp,sol = | 0,20 | m | spessore soletta |
| P = | 0,32 | m | pedata gradino (medio) |
| A = | 0,17 | m | alzata gradino |
| i = | 28,00 | ° | inclinazione rampe |
| Hmax = | 3,00 | m | altezza massima muro di supporto scala |
| Sp,muro = | 0,25 | m | spessore muro di supporto scala |

**Carichi scala**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\gamma$cls = | 25,00 | kN/mc | peso specifico cls |
| PP,s = | 5,66 | kN/mq | peso proprio soletta (proiezione orizzontale) |
| PP,g = | 2,13 | kN/mq | peso proprio gradini (proiezione orizzontale) |
| PP,m = | 18,75 | kN/m | peso proprio muro di supporto scala |
| Var = | 5,00 | kN/mq | sovraccarico variabile (proiezione orizzontale) |

**Sollecitazioni gradino**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\gamma$G1 = | 1,30 | | coeff. parziale carichi G1 |
| $\gamma$G2 = | 1,50 | | coeff. parziale carichi G2 |
| $\gamma$Q = | 1,50 | | coeff. parziale carichi Q |
| | | | |
| Qslu = | 18,05 | kN/mq | carico totale SLU |
| Mslu = | 23,10 | kNm/m | momento flettente SLU |
| Vslu = | 28,88 | kN/m | taglio SLU |
| | | | |
| Qrara = | 12,79 | kN/mq | carico totale comb. RARA |
| Mrara = | 16,37 | kNm/m | momento flettente comb. RARA |

**Sollecitazioni fondazione**

| | | | |
|---|---|---|---|
| F,slu = | 53,25 | kN/m | carico SLU a estradosso fondazione |
| Bf = | 1,50 | m | base fondazione continua |
| Hf = | 0,30 | m | altezza fondazione continua |
| Pf = | 11,25 | kN/m | peso fondazione continua |
| Ptot,slu = | 67,88 | kN/m | carico totale SLU a base fondazione |

| | | | |
|---|---|---|---|
| p,max = | 45,25 | kN/mq | pressione SLU sul piano di posa della fondazione |

Sollecitazioni su "mensole" fondazione

| | | | |
|---|---|---|---|
| L = | 0,90 | m | luce di calcolo "sbalzo" di fondazione |
| q = | 45,25 | kN/mq | pressione SLU sul piano di posa della fondazione |
| Mslu = | 18,33 | kNm/m | momento flettente SLU |
| Vslu = | 40,73 | kN/m | taglio SLU |
| Mrara = | 14,10 | kNm/m | momento flettente RARA (Mrara = Mslu/1.30) |

## 12.2. Verifiche strutturali gradino

*Caratteristiche meccaniche dei materiali*

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Calcestruzzo | C32/40 | $R_{ck}$ = | 40 | N/mm² | $f_{ck}$ = | 32 | N/mm² |
| $\gamma_c$ = | 1,5 | $\alpha_{cc}$ = | 0,85 | | $f_{cd}$ = | 18,13 | N/mm² |
| | | $E_c$ = | 33346 | N/mm² | $f_{ctm}$ = | 3,02 | N/mm² |
| Acciaio | B450C | $E_s$ = | 200000 | N/mm² | $f_{yk}$ = | 450 | N/mm² |
| $\gamma_s$ = | 1,15 | $\varepsilon'_{se}$ | 1,96 | | $f_{yd}$ = | 391,3 | N/mm² |

*Caratteristiche geometriche della sezione*

| | | |
|---|---|---|
| B = | 1000 | mm base |
| H = | 200 | mm altezza |
| c = | 45 | mm coprifer.asse barra |

$N_{Ed}$ positivo di compressione
$M_{Ed}$ positivo se tende le fibre inferiori della sezione
y distanza dell'armatura dal lembo superiore

| n. | ø(mm) | $A_s$ (mm²) | y (mm) |
|---|---|---|---|
| 5 | 12 | 565 | 45 |
| | | - | |
| | | - | |
| | | - | |
| | | - | |
| 5 | 12 | 565 | 155 |
| | | Σ 1131 | mm² |

*Verifiche agli Stati Limite Ultimi*

*Flessione* — Momento resistente ultimo $N_{Rd,lim}$ = 80% $A_c f_{cd} + A_{s,tot} f_{yd}$ = 3343,89 kN

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $V_{Ed}$ [kN] | $M_{Rd}$ [kNm] | $\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SLU | max | | 23,10 | 28,88 | 37,61 | **1,63** |

*Taglio*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\phi_{staffe}$ = | mm | $\alpha$ = | 90 | ° inclinazione staffa | |
| $n_b$ = | n° braccia | s = | 100 | mm passo | |

| Combinazione | posizione | $V_{Rd,0}$ [kN] | $V_{Rd,s}$ [kN] | $V_{Rd,c}$ [kN] | $V_{Rd}$ [kN] | $\frac{V_{Rd}}{V_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SLU | max | 86,80 | | | 86,80 | **3,01** |

*Verifiche agli Stati Limite Esercizio - Tensioni in esercizio*

*Comb. caratteristica* $\sigma_c$ = 19,2 N/mm² $\sigma_s$ = 360,0 N/mm²

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ | $M_{Ed}$ | $M_{Rd}$ | $\frac{M_{Rd}}{}$ |
|---|---|---|---|---|---|

| | | [kN] | [kNm] | [kNm] | $M_{Ed}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| RARA | campata | | 16,37 | 28,40 | **1,73** |

*Comb. Quasi perm.* $\sigma_c$ = 14,4 N/mm² $\sigma_s$ = 360,0 N/mm²

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $M_{Rd}$ [kNm] | $\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| RARA | campata | | 16,37 | 28,40 | **1,73** |

*Verifiche agli Stati Limite Esercizio - Fessurazione*

Condizioni ambientali aggressive armatura poco sensibile

$\alpha_e$ = 6,00 $\phi_{eq,M+}$ = 12,00 $\phi_{eq,M-}$ = 12,00

$k_1$ = 0,8 $k_2$ = 0,5 $k_3$ = 3,4 $k_4$ = 0,425

*Comb. Frequente* $k_t$ = 0,6 $w_{lim}$ = 0,3 mm

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $\sigma_s$ [MPa] | x [mm] | $A_s$ [mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| RARA | campata | | 16,37 | 206 | 44 | 565 |

| Combinazione | $A_{c,eff}$ [mm²] | $\rho_{eff}$ | $\varepsilon_{sm}$ | $\Delta_{smax}$ [mm] | $w_d$ [mm] | Verifica |
|---|---|---|---|---|---|---|
| RARA | 52099 | 0,01 | 0,06% | 320,55 | 0,20 | **OK** |

*Comb. Quasi perm.* $k_t$ = 0,4 $w_{lim}$ = 0,2 mm

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $\sigma_s$ [MPa] | x [mm] | $A_s$ [mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| RARA | campata | | 16,37 | 206 | 44 | 565 |

| Combinazione | $A_{c,eff}$ [mm²] | $\rho_{eff}$ | $\varepsilon_{sm}$ | $\Delta_{smax}$ [mm] | $w_d$ [mm] | Verifica |
|---|---|---|---|---|---|---|
| RARA | 52099 | 0,01 | 0,06% | 320,55 | 0,198 | **OK** |

## 12.3. Verifiche strutturali plinto

*Caratteristiche meccaniche dei materiali*

Calcestruzzo C25/30 $R_{ck}$ = 30 N/mm² $f_{ck}$ = 25 N/mm²

$\gamma_c$ = 1,5 $\alpha_{cc}$ = 0,85 $f_{cd}$ = 14,17 N/mm²

$E_c$ = 31476 N/mm² $f_{ctm}$ = 2,56 N/mm²

Acciaio B450C $E_s$ = 200000 N/mm² $f_{yk}$ = 450 N/mm²

$\gamma_s$ = 1,15 $\varepsilon'_{se}$ 1,96 $f_{yd}$ = 391,3 N/mm²

*Caratteristiche geometriche della sezione*

B = 1000 mm base
H = 300 mm altezza
c = 45 mm coprifer.asse barra

| n. | ø(mm) | $A_s$ (mm²) | y (mm) |
|---|---|---|---|
| 5 | 12 | 565 | 45 |
| | | - | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | - | |
| $N_{Ed}$ positivo di compressione | | | - | |
| $M_{Ed}$ positivo se tende le fibre inferiori della sezione | | | - | |
| y distanza dell'armatura dal lembo superiore | 5 | 12 | 565 | 255 |
| | | Σ | 1131 | mm² |

*Verifiche agli Stati Limite Ultimi*

*Flessione* — Momento resistente ultimo — $N_{Rd,lim}$ = 80% $A_c f_{cd} + A_{s,tot} f_{yd}$ = 3842,55 kN

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $V_{Ed}$ [kN] | $M_{Rd}$ [kNm] | $\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SLU | max | | 18,33 | 40,73 | 59,02 | **3,22** |

*Taglio*

$\phi_{staffe}$ = mm — $\alpha$ = 90 ° inclinazione staffa

$n_b$ = n° braccia — s = 100 mm passo

| Combinazione | posizione | $V_{Rd,0}$ [kN] | $V_{Rd,s}$ [kN] | $V_{Rd,c}$ [kN] | $V_{Rd}$ [kN] | $\frac{V_{Rd}}{V_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SLU | max | 115,55 | | | 115,55 | **2,84** |

*Verifiche agli Stati Limite Esercizio - Tensioni in esercizio*

*Comb. caratteristica* — $\sigma_c$ = 15,0 N/mm² — $\sigma_s$ = 360,0 N/mm²

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $M_{Rd}$ [kNm] | $\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| RARA | campata | | 14,10 | 47,26 | **3,35** |

*Comb. Quasi perm.* — $\sigma_c$ = 11,3 N/mm² — $\sigma_s$ = 360,0 N/mm²

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $M_{Rd}$ [kNm] | $\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| RARA | campata | | 14,10 | 47,26 | **3,35** |

*Verifiche agli Stati Limite Esercizio - Fessurazione*

Condizioni ambientali ordinarie — armatura poco sensibile

$\alpha_e$ = 6,35 — $\phi_{eq,M+}$ = 12,00 — $\phi_{eq,M-}$ = 12,00

$k_1$ = 0,8 — $k_2$ = 0,5 — $k_3$ = 3,4 — $k_4$ = 0,425

*Comb. Frequente* — $k_t$ = 0,6 — $w_{lim}$ = 0,4 mm

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $\sigma_s$ [MPa] | x [mm] | $A_s$ [mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| RARA | campata | | 14,10 | 106 | 56 | 565 |

| Combinazione | $A_{c,eff}$ [mm²] | $\rho_{eff}$ | $\varepsilon_{sm}$ | $\Delta_{smax}$ [mm] | $w_d$ [mm] | Verifica |
|---|---|---|---|---|---|---|
| RARA | 81212 | 0,01 | 0,03% | 425,57 | 0,14 | **OK** |

*Comb. Quasi perm.* — $k_t$ = 0,4 — $w_{lim}$ = 0,3 mm

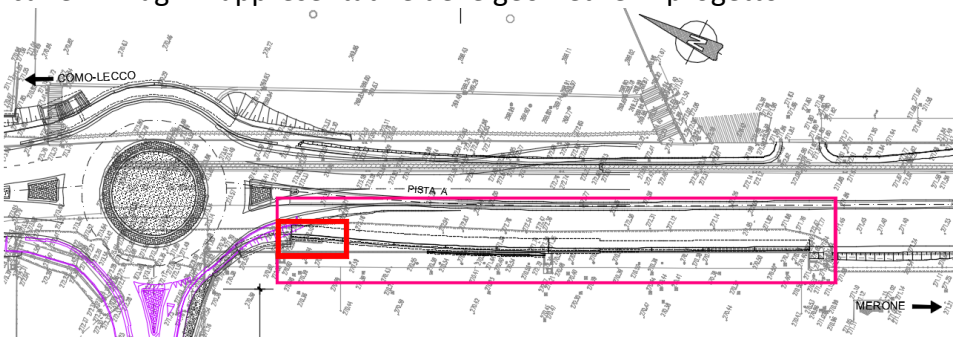
| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ | $M_{Ed}$ | $\sigma_s$ | x | $A_s$ |
|---|---|---|---|---|---|---|

| | | [kN] | [kNm] | [MPa] | [mm] | [mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| RARA | campata | | 14,10 | 106 | 56 | 565 |

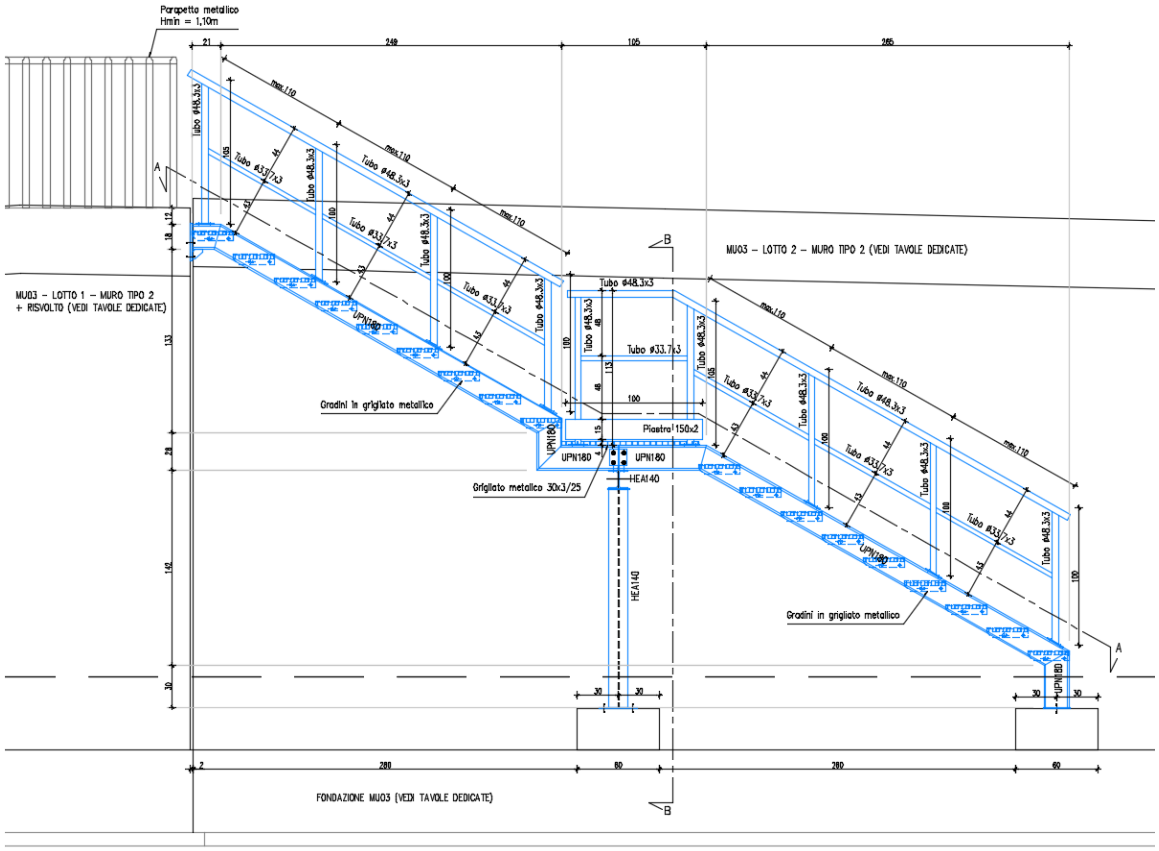
| Combinazione | $A_{c,eff}$ [mm²] | $\rho_{eff}$ | $\varepsilon_{sm}$ | $\Delta_{smax}$ [mm] | $w_d$ [mm] | Verifica |
|---|---|---|---|---|---|---|
| RARA | 81212 | 0,01 | 0,03% | 425,57 | 0,136 | **OK** |

## 13. SCALA METALLICA

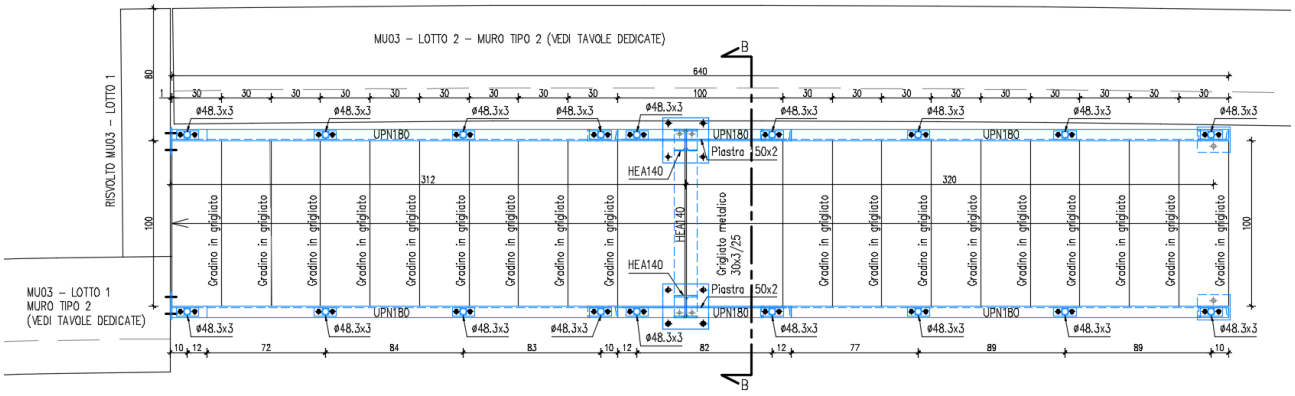
In progetto è prevista la realizzazione di una nuova scala metallica di servizio ubicata lateralmente al muro MU03 , che collega il piano stradale al corridoio per manutenzione.
La struttura, che copre un dislivello di circa 3.50m, presenta una larghezza interna pari a 1.00m ed è composta da due rampe, separate da un pianerottolo lungo 1.00m. I cosciali laterali, giuntati nella zona centrale, sono costituiti da UPN180, e fungono da appoggio per i gradini e il pianerottolo in grigliato.
I parapetti sono principalmente realizzati attraverso montanti tubolari ϕ48.3x3mm, disposti ad interasse massimo di 110cm, collegati superiormente e nella zona centrale da profili tubolari longitudinali.
La scala si collega al paramento verticale del muro in c.a., e alla sua fondazione, mediante piastre e tasselli chimici; un telaio realizzato con putrelle HEA140 fornisce infine l'appoggio centrale alla struttura.
Si riportano alcune immagini rappresentative delle geometrie in progetto.



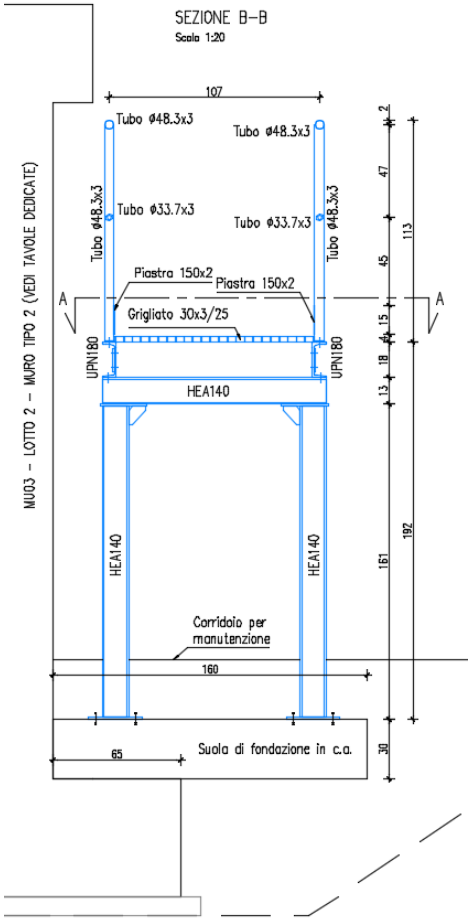

*Stralcio planimetria con ubicazione della scala*




*Prospetto longitudinale carpenteria metallica*



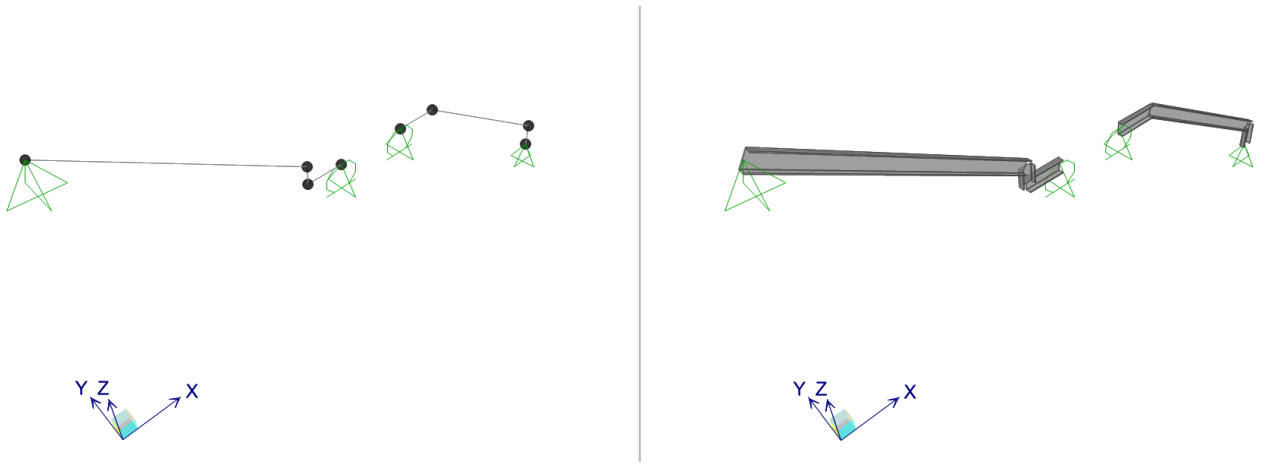

*Sezione A-A della carpenteria metallica*




*Sezione B-B trasversale carpenteria metallica*

Al fine di portare a termine le calcolazioni necessarie a dimensionamenti e verifiche degli elementi strutturali, si è optato per linea di analisi che ha previsto:

- la verifica manuale, mediante fogli Excel adeguatamente compilati ed autovalidati, dei profili costituenti i parapetti e della suola di fondazione in c.a.;
- la realizzazione di un modello piano ad Elementi Finiti, attraverso il software SAP2000, rappresentativo dei cosciali UPN;
- l'analisi del fissaggio della scala metallica (inghisaggi con resina), mediante il software di verifica fornito dal produttore dei dispositivi




*Modello FEM 3D dei cosciali - unifilare ed estruso*

## 13.1. Analisi dei carichi e coefficienti di carico

***CARICHI***

Nelle diverse analisi si è tenuto conto dei pesi propri degli elementi, calcolati mediante la valutazione delle sezioni strutturali e dei pesi specifici dei materiali.
$\gamma$ calcestruzzo = 25,00 kN/mc
$\gamma$ acciaio = 78,50 kN/mc

Per quanto riguarda le azioni variabili agenti sulle scale, nonostante costituiscano una struttura accessoria di servizio, sono stati considerati i carichi di seguito.

| | |
|---|---|
| qk = 2,00kN/mq | Azione gravitazionale |
| Hk = 1,00kN/m | Azione orizzontale sui parapetti |

***COEFFICIENTI DI CARICO***

$\gamma_{G1}$ = 1.35 Coefficiente perziale azioni permanenti
$\gamma_{G2}$ = 1.50 Coefficiente perziale azioni permanenti portati
$\gamma_{Q}$ = 1.50 Coefficiente perziale azioni variabili

## 13.2. I parapetti

***I CORRIMANO***

Si riporta la verifica dei corrimano composti da profili tubolari tondi $\phi$48.3x3mm.
Si considera agente sul profilo la spinta orizzontale pari al carico variabile di 1,00kN/m, adeguatamente coefficientata con $\gamma_Q$ =1.5, e valutata per l'interasse massimo di disposizione dei montanti.

Si esegue la verifica a flessione e compressione assiale dell'asta, controllando inoltre che l'instabilità non sià una potenziale causa di collasso.
Le massime sollecitazioni agenti sulla trave valgono:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $N_{Ed}$ = | 0.00 | kN | azione assiale di progetto (>0 se di trazione) |
| $M_{y,Ed}$ = | 0.23 | kNm | momento flettente attorno all'asse y-y di progetto |
| $M_{z,Ed}$ = | 0.00 | kNm | momento flettente attorno all'asse z-z di progetto |
| $V_{y,Ed}$ = | 1.65 | kN | azione tagliante di progetto lungo l'asse y |
| $V_{z,Ed}$ = | | kN | azione tagliante di progetto lungo l'asse z |

Le sollecitazioni risultanti sono quindi:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $N_{Ed}$ = | 0.00 | kN | |
| $M_{Ed}$ = | 0.23 | kNm | |
| $V_{Ed}$ = | 1.65 | kN | |
| $\Delta M_{Ed}$ = | 0.00 | kNm | momento flettente aggiuntivo per sezioni di classe 4 |
| $e_N$ = | 0 | mm | eccentricità del baricentro della sezione efficace |

La sezione oggetto delle verifiche è costituito da un tubo tondo 48.3x2.9 dalle seguenti caratteristiche:

*Caratteristiche geometriche della sezione*

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A = | 414 | mm² | $A_v$ = | 263 | mm² | $A_{eff}$ = | 414 | mm² |
| d = | 48.3 | mm | t = | 2.9 | mm | classe = | 1 | |
| $W_{pl}$ = | 5985 | mm³ | $W_{el}$ = | 4431 | mm³ | $W_{eff}$ = | 4431 | mm³ |
| $L_0$ = | 1100 | mm | I = | 107002 | mm4 | i = | 16 | mm |

*Caratteristiche del materiale*

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $f_y$ = | 235 | MPa | E = | 210000 | MPa | G = | 80769 | MPa |
| $\gamma_{M0}$ = | 1.05 | | $\gamma_{M1}$ = | 1.10 | | | | |

Resistenze caratteristiche e di progetto:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $N_{Rk}$ = | $A \bullet f_y$ = | 97.20 | kN | | |
| $N_{Rd}$ = | $A \bullet f_y / \gamma_{M0}$ = | 92.57 | kN | | |
| $M_{Rk}$ = | $W \bullet f_y$ = | 1.41 | kNm | | |
| $M_{Rd}$ = | $W \bullet f_y / \gamma_{M0}$ = | 1.34 | kNm | | |
| $V_{pl,Rd}$ = | $A_v \bullet (f_y/\sqrt{3}) / \gamma_{M0}$ = | 34.03 | kN | > | $V_{Ed}$ |

*Verifica di resistenza per flessione e compressione*

$0{,}50\ V_{pl,Rd}$ = 17.01 kN > $V_{Ed}$

l'effetto dell'azione tagliante può essere trascurato nella valutazione del momento resistente della sezione

$N_{Ed}/N_{Rd}+(M_{Ed}+\Delta M_{Ed})/M_{Rd}$ = 0.17 < 1

*Verifica di instabilità per flessione e compressione*

$N_{Ed}/(\chi N_{Rk}/\gamma_{M1})+k_{yy}(M_{Ed}+\Delta M_{Ed})/(M_{Rk}/\gamma_{M1})$ = 0.18 < 1

dove:

| | | |
|---|---|---|
| W = | [mm³] | 5985 |
| $\chi$ = | $1/[\phi+(\phi^2-\underline{\lambda}^2)^{0,5}]$= | 0.71 |
| $\phi$ = | $0{,}50 \bullet [1+\alpha \bullet (\underline{\lambda}-0{,}2)+\underline{\lambda}^2]$= | 0.89 |
| $\alpha$ = | | 0.49 |
| curva = | | c |
| $\underline{\lambda}$ = | $\lambda/\lambda_1\ [\beta]^{0,5}$ = | 0.73 |
| $\lambda_i$ = | $L_{0,i}/i_i$ = | 68.39 |
| $\lambda_{1i}$ = | $93{,}9\ \varepsilon$ | 93.90 |
| $\varepsilon$ = | $(235/f_y)^{0,5}$ = | 1.00 |
| $k_{yy}$ = | | 1.00 |
| $\psi_i$ = | coeff. di variazione M flettente | 1.00 |

***I MONTANTI***

Si riporta la verifica dei montanti composti da profili tubolari tondi $\phi$48.3x3mm., considerando su di essi agente, oltre al peso proprio, la reazione dei corrimano di testa, comprensiva di peso e spinta orizzontale.

$l_{max}$ = 1.10m Interasse massimo di disposizione dei montanti

L = 1.10m Luce di calcolo del montante

Si esegue la verifica a flessione e compressione assiale dell'asta, controllando inoltre che l'instabilità non sià una potenziale causa di collasso.
Le massime sollecitazioni agenti sulla trave valgono:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $N_{Ed}$ = | -0.14 | kN | azione assiale di progetto (>0 se di trazione) |
| $M_{y,Ed}$ = | 1.82 | kNm | momento flettente attorno all'asse y-y di progetto |
| $M_{z,Ed}$ = | 0.00 | kNm | momento flettente attorno all'asse z-z di progetto |
| $V_{y,Ed}$ = | 1.65 | kN | azione tagliante di progetto lungo l'asse y |
| $V_{z,Ed}$ = | | kN | azione tagliante di progetto lungo l'asse z |

Le sollecitazioni risultanti sono quindi:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $N_{Ed}$ = | -0.14 | kN | |
| $M_{Ed}$ = | 1.82 | kNm | |
| $V_{Ed}$ = | 1.65 | kN | |
| $\Delta M_{Ed}$ = | 0.00 | kNm | momento flettente aggiuntivo per sezioni di classe 4 |
| $e_N$ = | 0 | mm | eccentricità del baricentro della sezione efficace |

La sezione oggetto delle verifiche è costituito da un tubo tondo 48.3x2.9 dalle seguenti caratteristiche:

*Caratteristiche geometriche della sezione*

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A = | 414 | mm² | $A_v$ = | 263 | mm² | $A_{eff}$ = | 414 | mm² |
| d = | 48.3 | mm | t = | 2.9 | mm | classe = | 1 | |
| $W_{pl}$ = | 5985 | mm³ | $W_{el}$ = | 4431 | mm³ | $W_{eff}$ = | 4431 | mm³ |
| $L_0$ = | 2200 | mm | I = | 107002 | mm4 | i = | 16 | mm |

*Caratteristiche del materiale*

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $f_y$ = | 355 | MPa | E = | 210000 | MPa | G = | 80769 | MPa |
| $\gamma_{M0}$ = | 1.05 | | $\gamma_{M1}$ = | 1.10 | | | | |

Resistenze caratteristiche e di progetto:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $N_{Rk}$ = | $A \bullet f_y$ = | 146.84 | kN | | |
| $N_{Rd}$ = | $A \bullet f_y / \gamma_{M0}$ = | 139.84 | kN | | |
| $M_{Rk}$ = | $W \bullet f_y$ = | 2.12 | kNm | | |
| $M_{Rd}$ = | $W \bullet f_y / \gamma_{M0}$ = | 2.02 | kNm | | |
| $V_{pl,Rd}$ = | $A_v \bullet (f_y/\sqrt{3}) / \gamma_{M0}$ = | 51.40 | kN | > | $V_{Ed}$ |

*Verifica di resistenza per flessione e compressione*

$0{,}50\ V_{pl,Rd}$ = 25.70 kN > $V_{Ed}$

l'effetto dell'azione tagliante può essere trascurato nella valutazione del momento resistente della sezione

$N_{Ed}/N_{Rd}+(M_{Ed}+\Delta M_{Ed})/M_{Rd}$ = 0.90 < 1

*Verifica di instabilità per flessione e compressione*

$N_{Ed}/(\chi N_{Rk}/\gamma_{M1})+k_{yy}(M_{Ed}+\Delta M_{Ed})/(M_{Rk}/\gamma_{M1})$ = 0.95 < 1

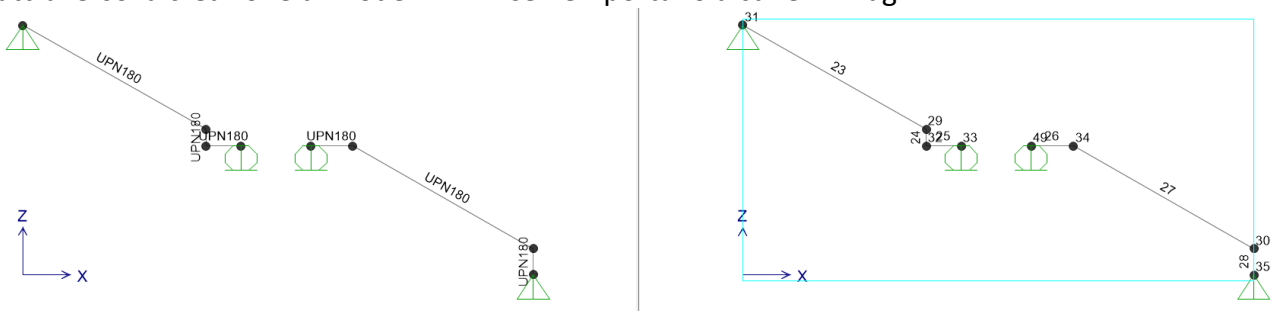
dove:

| | | |
|---|---|---|
| W = | [mm³] | 5985 |
| $\chi$ = | $1/[\phi+(\phi^2-\underline{\lambda}^2)^{0,5}]$= | 0.24 |
| $\phi$ = | $0{,}50 \bullet [1+\alpha \bullet (\underline{\lambda}-0{,}2)+\underline{\lambda}^2]$= | 2.49 |
| $\alpha$ = | | 0.49 |

| | | |
|---|---|---|
| curva = | | c |
| $\underline{\lambda}$ = | $\lambda/\lambda_1\ [\beta]^{0,5}$ = | 1.79 |
| $\lambda_i$ = | $L_{0,i}/i_i$ = | 136.78 |
| $\lambda_{1i}$ = | 93,9 ε | 76.40 |
| ε = | $(235/f_y)^{0,5}$ = | 0.81 |
| $k_{yy}$ = | | 1.00 |
| | coeff. di variazione | |
| $\psi_i$ = | M flettente | 1.00 |

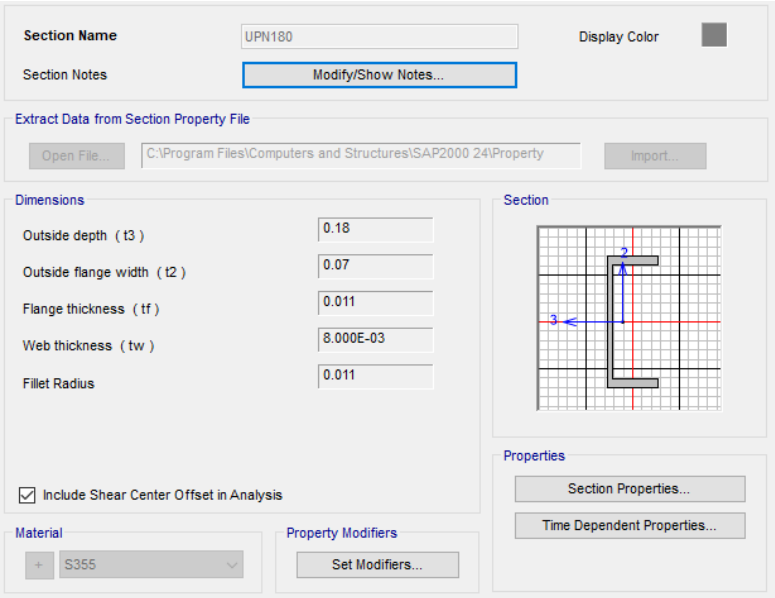
## 13.3. I cosciali UPN180

Come anticipato i dimensionamenti relativi ai cosciali laterali in UPN180 sono stati condotti attraverso la creazione di modelli FEM: se ne riportano alcune immagini.




*IL COSCIALE: Modello FEM unifilare 3D con indicazione di vincoli e sezioni e nomenclatura di FRAME e JOINT*

Ai fini della modellazione, gli elementi sono stati ricreati tramite FRAME di adeguate caratteristiche geometrico – meccaniche.




*Definizione della sezione del cosciale*

Come si può notare dalle immagini tutti i vincoli sono di semplice appoggio in estremità alle travi: gradini, pianerottolo, parapetti e sovraccarico sono computati nel modello come pesi calcolati esternamente. Si è tenuto conto del vincolo irrigidente offerto dalle finiture trasversali della scala, in sede di verifica dei profili.

***CARICHI***

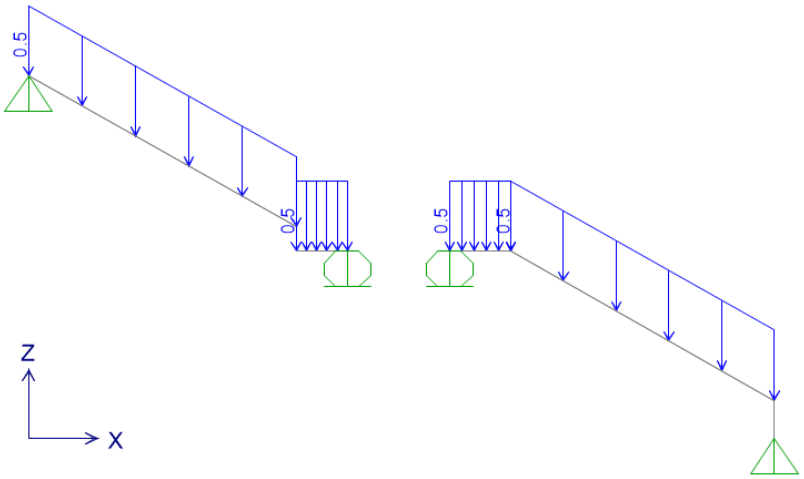
Si riportano le azioni applicate al modello, con l'indicazione del nome ad esse assegnato.
Il peso proprio dei profili è tenuto in conto automaticamente dal software di modellazione.
Per il peso dei gradini e del grigliato è stato computato un carico cautelativamente pari a 50kg/mq.
Tutti i carichi permanenti sono stati adeguatamente amplificati di una percentuale variabile, pari al 10/20%, per tenere conto del peso di bulloneria e piastrame vario.

***CALCOLO AZIONI***

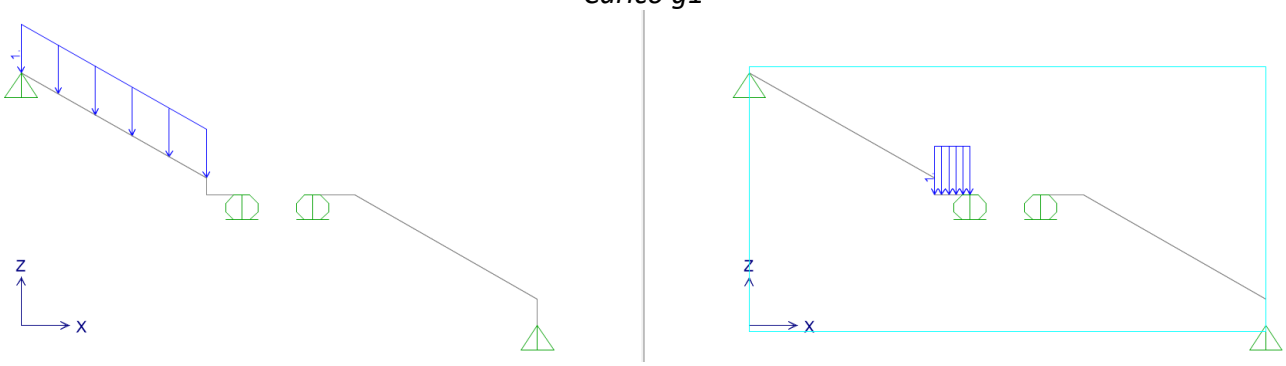
| | | | |
|---|---|---|---|
| $g_{1,scalini}$ = | 0.60 | kN/mq | *Peso dei gradini a mq, amplificato per tener conto di piastre e bulloneria* |
| $g_{1,grigliato}$ = | 0.60 | kN/mq | *Peso del grigliato amplificato per tener conto di piastre e bulloneria* |
| $g_{1,parapetto}$ = | 0.12 | kN/m | *Peso del corrimano a metro amplificato per tenr conto dei riempimenti* |
| **q =** | 2.00 | kN/mq | *Carico variabile distribuito* |

***CARICHI SU MODELLO***

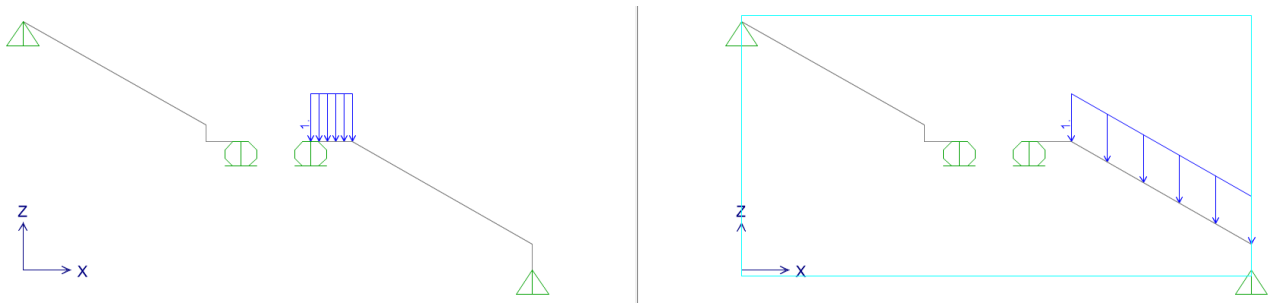
| | | | |
|---|---|---|---|
| L = | 1.00 | m | larghezza scala utile |
| | *DA CALCOLO* | ***APPLICATI*** | |
| Coefficiente = | 0.5 | | |
| $g_{1,g}$ = | 0.42 | ***0.50*** | ***kN/m*** |
| $g_{1,s}$ = | 0.42 | ***0.50*** | ***kN/m*** |
| ***q =*** | 1.00 | ***1.00*** | ***kN/m*** |




*Carico g1*




*Carichi q1 – q2*




*Carichi q3 – q4*

## ***COMBINAZIONI DI CARICO***

Si riporta la definizione delle combinazioni di carico inserite nel modello strutturale.
Oltre a quelle riportate sono state considerate comode combinazioni inviluppo.

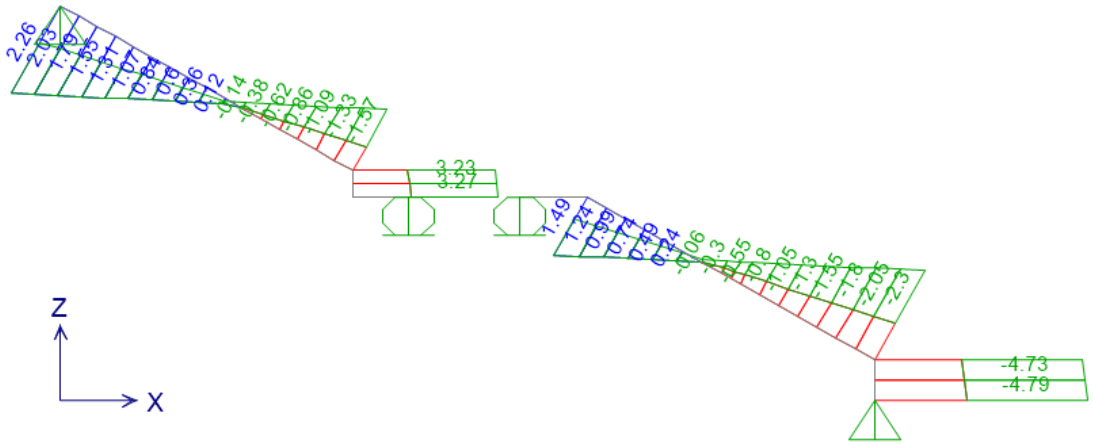
| TABLE: Combination Definitions | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **ComboName** | **ComboType** | **AutoDesign** | **CaseType** | **CaseName** | **ScaleFactor** |
| Text | Text | Yes/No | Text | Text | Unitless |
| SLU1 | Linear Add | No | Linear Static | DEAD | 1.35 |
| SLU1 | | | Linear Static | g1 | 1.5 |
| SLU1 | | | Linear Static | q1 | 1.5 |
| SLU2 | Linear Add | No | Linear Static | DEAD | 1.35 |
| SLU2 | | | Linear Static | g1 | 1.5 |
| SLU2 | | | Linear Static | q2 | 1.5 |
| SLU3 | Linear Add | No | Linear Static | DEAD | 1.35 |
| SLU3 | | | Linear Static | g1 | 1.5 |
| SLU3 | | | Linear Static | q3 | 1.5 |
| SLU4 | Linear Add | No | Linear Static | DEAD | 1.35 |
| SLU4 | | | Linear Static | g1 | 1.5 |
| SLU4 | | | Linear Static | q4 | 1.5 |
| SLU5 | Linear Add | No | Linear Static | DEAD | 1.35 |
| SLU5 | | | Linear Static | g1 | 1.5 |
| SLU5 | | | Linear Static | q1 | 1.5 |
| SLU5 | | | Linear Static | q2 | 1.5 |
| SLU5 | | | Linear Static | q3 | 1.5 |
| SLU5 | | | Linear Static | q4 | 1.5 |
| SLU6 | Linear Add | No | Linear Static | DEAD | 1.35 |
| SLU6 | | | Linear Static | g1 | 1.5 |
| SLE1 | Linear Add | No | Linear Static | DEAD | 1 |
| SLE1 | | | Linear Static | g1 | 1 |
| SLE1 | | | Linear Static | q1 | 1 |
| SLE2 | Linear Add | No | Linear Static | DEAD | 1 |
| SLE2 | | | Linear Static | g1 | 1 |
| SLE2 | | | Linear Static | q2 | 1 |
| SLE3 | Linear Add | No | Linear Static | DEAD | 1 |
| SLE3 | | | Linear Static | g1 | 1 |
| SLE3 | | | Linear Static | q3 | 1 |
| SLE4 | Linear Add | No | Linear Static | DEAD | 1 |
| SLE4 | | | Linear Static | g1 | 1 |
| SLE4 | | | Linear Static | q4 | 1 |
| SLE5 | Linear Add | No | Linear Static | DEAD | 1 |
| SLE5 | | | Linear Static | g1 | 1 |
| SLE5 | | | Linear Static | q1 | 1 |
| SLE5 | | | Linear Static | q2 | 1 |
| SLE5 | | | Linear Static | q3 | 1 |
| SLE5 | | | Linear Static | q4 | 1 |
| SLE6 | Linear Add | No | Linear Static | DEAD | 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| SLE6 | Linear Static | g1 | 1 |

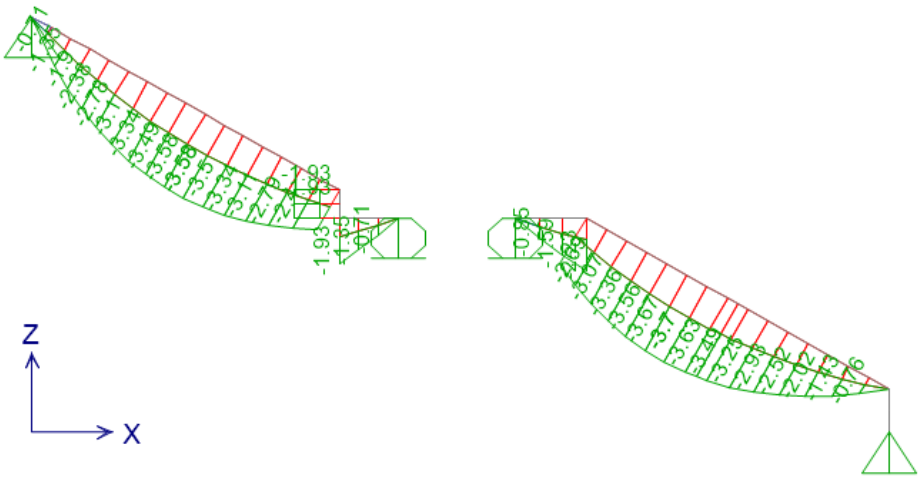
***SOLLECITAZIONI RISULTANTI***

Si riportano le immagini con le sollecitazioni risultanti dagli inviluppi a SLU e a SLE.

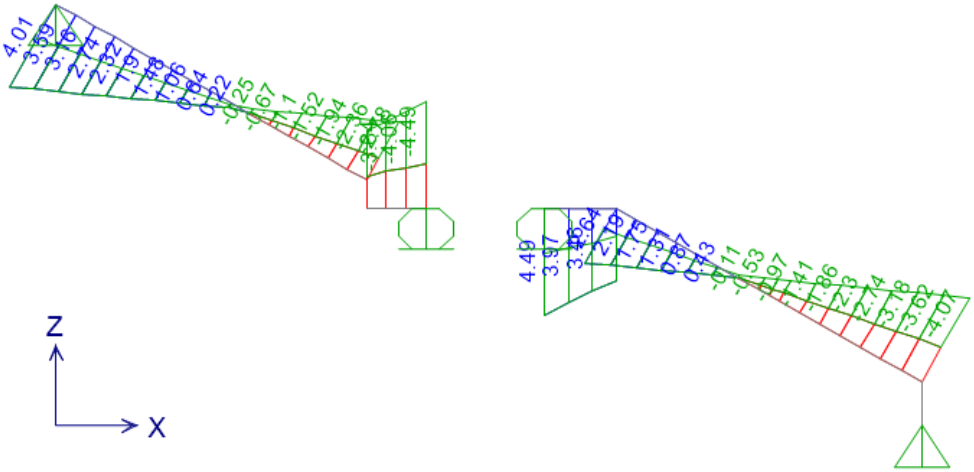
*SOLLECITAZIONI A SLU*




*Azione assiale N - ENV_SLU*

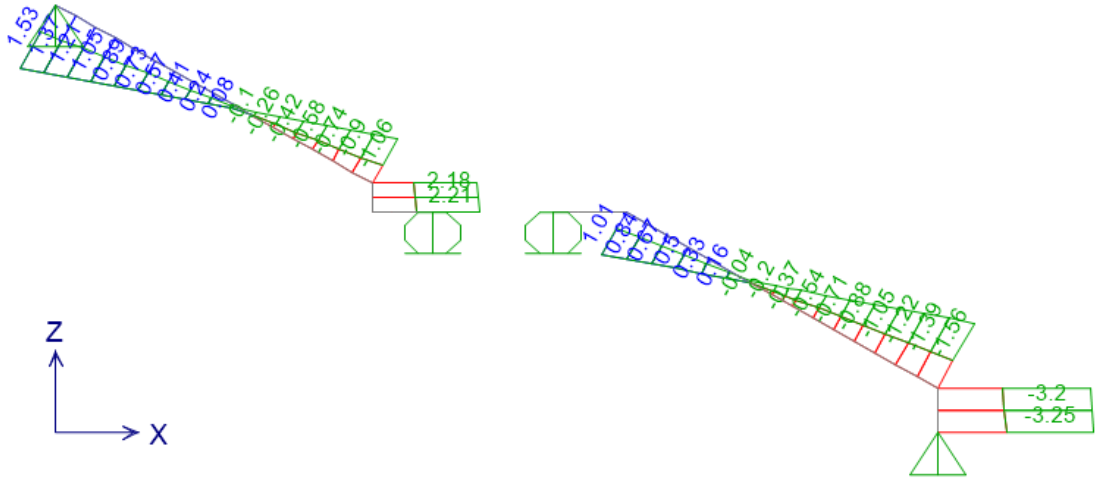



*Azione flettente M33 - ENV_SLU*

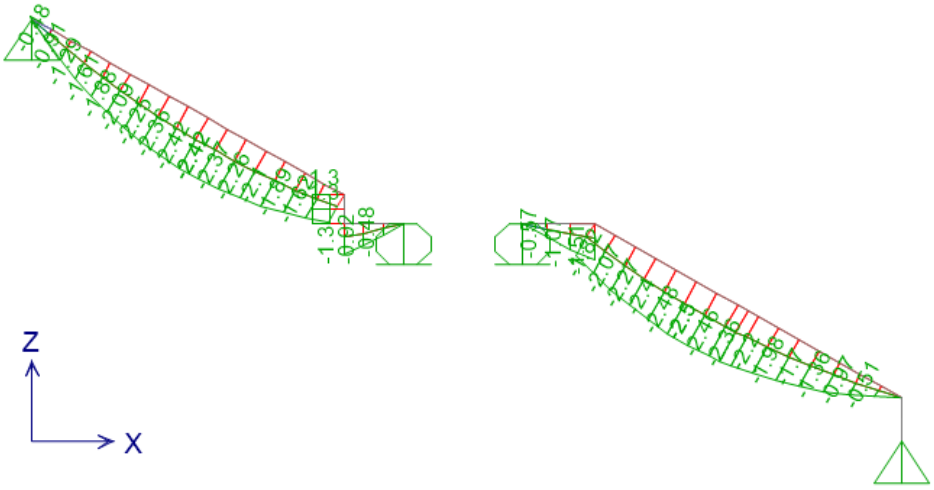



*Azione tagliante V22 - ENV_SLU*

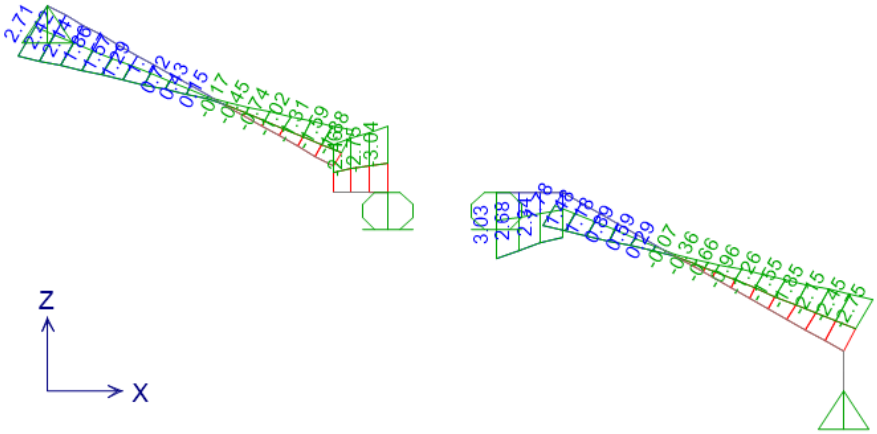
*SOLLECITAZIONI A SLE*




*Azione assiale N - ENV_SLE*



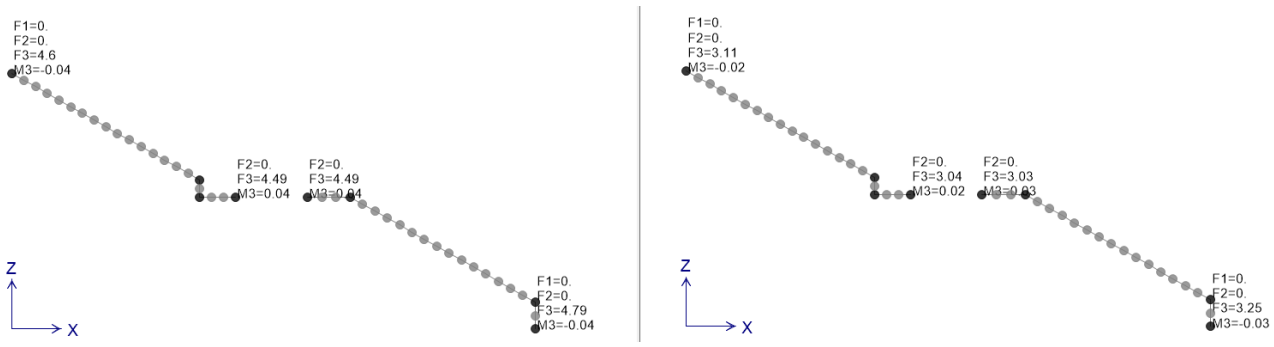

*Azione flettente M33 - ENV_SLE*




*Azione tagliante V22 - ENV_SLE*

*REAZIONI*

Si riportano le massime reazioni a inviluppo SLU e SLE.



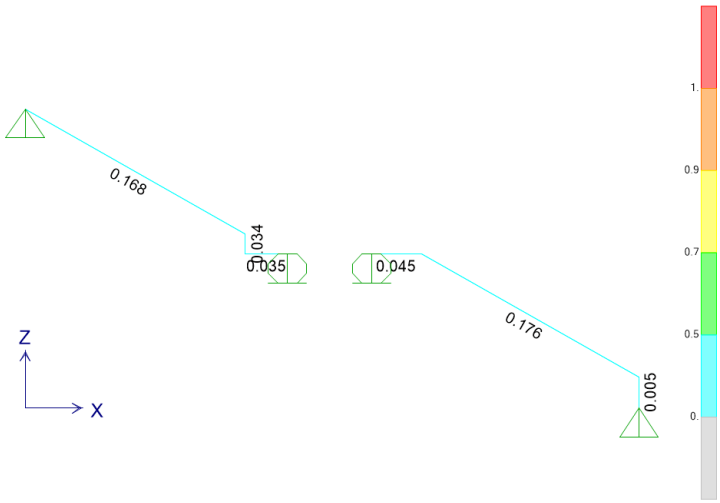

## ***VERIFICHE***

Le verifiche a SLU e a SLE (deflessione) sono state portate a termine direttamente dal software di modellazione, una volta impostati gli adeguati parametri di analisi.

| | Item | Value |
|---|---|---|
| 1 | Design Code | Italian NTC 2018 |
| 2 | Method Used for Buckling in P-M-M | Method Both |
| 3 | Multi-Response Case Design | Envelopes - All |
| 4 | Framing Type | Non Dissipative |
| 5 | Behavior Factor, q0 | 1. |
| 6 | System Overstrength Factor, Omega | 1. |
| 7 | Consider P-Delta Done? | No |
| 8 | Consider Torsion? | No |
| 9 | GammaM0 | 1.05 |
| 10 | GammaM1 | 1.05 |
| 11 | GammaM2 | 1.25 |
| 12 | Ignore Seismic Code? | Yes |
| 13 | Ignore Special Seismic Load? | Yes |
| 14 | Is Doubler Plate Plug-Welded? | No |
| 15 | Consider Deflection? | Yes |
| 16 | DL Limit, L/ | 250. |
| 17 | Super DL+LL Limit, L/ | 250. |
| 18 | Live Load Limit, L/ | 250. |
| 19 | Total Limit, L/ | 200. |
| 20 | Total--Camber Limit, L/ | 200. |
| 21 | Pattern Live Load Factor | 0. |
| 22 | Demand/Capacity Ratio Limit | 1. |

*Parametri di verifica*

Si riporta una schermata con i coefficienti di sicurezza ottenuti per gli elementi in oggetto: fattori inferiori all'unità definiscono verificate le sezioni di analisi.

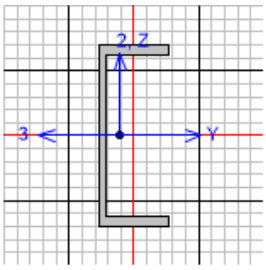



*Coefficienti di verifica*

Come si può notare anche dalla colorazione delle aste le sezioni risultano verificate.

***VERIFICA A SLU NELLA SEZIONE MAGGIORMENTE SOLLECITATA***

Come anticipato, è stato considerato, in sede di verifica, il contributo irrigidente, in direzione trasversale, offerto dalla struttura dei gradini e del grigliato.



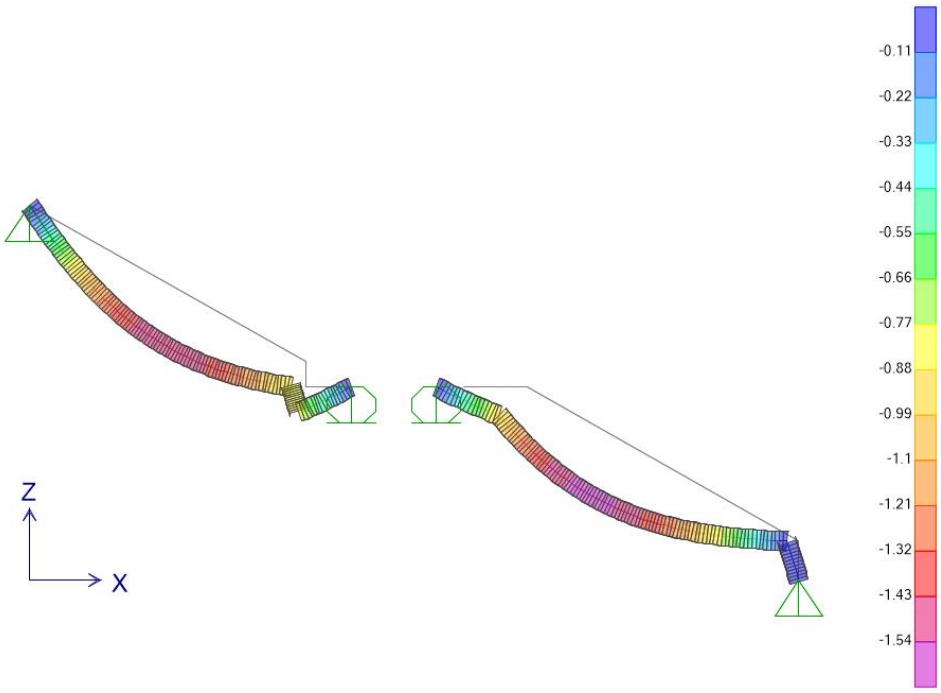

Units KN, m, C

```
Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK    (Flexural Details for Combo and Station)
Units  :  KN, m, C

Frame :  27       X Mid:  6.01      Combo:  SLU5            Design Type:  Brace
Length:  2.964    Y Mid:  0.        Shape:  UPN180          Frame Type:  Non Dissipative
Loc   :  2.964    Z Mid:  1.1       Class:  Class 1         Rolled : Yes

Interaction=Method Both             MultiResponse=Envelopes - All         P-Delta Done? No
Consider Torsion? No

GammaM0=1.05      GammaM1=1.05      GammaM2=1.25
An/Ag=1.          RLLF=1.           PLLF=0.           D/C Lim=1.          Prin. Axis Angle = 0. deg

Aeff=0.003        Av,2=0.001        Av,3=0.002        eNy=0.              eNz=0.
A=0.003           Iy=1.353E-05      iy=0.07           Wel,y=1.503E-04     Weff,y=1.503E-04
It=8.908E-08      Iz=1.137E-06      iz=0.02           Wel,z=2.238E-05     Weff,z=2.238E-05
Iw=6.402E-09      Iyz=0.            h=0.18            Wpl,y=1.836E-04
E=210000000.      fy=355000.        fu=510000.        Wpl,z=4.804E-05
```

```
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS
    Location              Ned       My,Ed       Mz,Ed       V2,Ed       V3,Ed         TEd
    2.964              -2.301  -6.049E-14      -0.033       4.067          0.       0.146

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO    (Governing Equation NTC Eq C4.2.38)
    D/C Ratio:     0.176 = 0.012 + 0.162 + 0.002    <           1.          OK
                       = NEd/(Chi_z NRk/GammaM1) + kzy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi_LT My,Rk/GammaM1)
                           + kzz (Mz,Ed+NEd eNz)/(Mz,Rk/GammaM1)        (NTC Eq C4.2.38)

BASIC FACTORS
    Buckling Mode    K Factor    L Factor       Lcr/i
    Y-Y                    1.          1.      42.615
    Y-Y Braced             1.          1.      42.615
    Z-Z                    1.          1.     147.005
    Z-Z Braced             1.          1.     147.005
    LTB                    1.          1.     147.005

AXIAL FORCE DESIGN
                          NEd       Nc,Rd       Nt,Rd
                        Force    Capacity    Capacity
    Axial              -2.301     945.314     945.314

                       Npl,Rd       Nu,Rd       Ncr,T      Ncr,TF       An/Ag
                      945.314    1026.691    1236.462    1091.742          1.

                Curve    Alpha         Ncr   LambdaBar         Phi         Chi       Nb,Rd
    Y-Y             c     0.49       3191.       0.558       0.743        0.81     765.847
    Y-Y Braced      c     0.49       3191.       0.558       0.743        0.81     765.847
    Z-Z             c     0.49     268.157       1.924       2.773        0.21     198.168
    Z-Z Braced      c     0.49     268.157       1.924       2.773        0.21     198.168
    Torsional TF    c     0.49    1091.742       0.954       1.139       0.567     536.328

MOMENT DESIGN
                          MEd    MEd,span       Mm,Ed      Meq,Ed
                       Moment      Moment      Moment      Moment
    Y-Y                    0.      -3.696      -2.745       3.569
    Z-Z                -0.033      -0.033      -0.033      -0.033

                       Mc,Rd       Mv,Rd       Mn,Rd       Mb,Rd
                    Capacity    Capacity    Capacity    Capacity
    Y-Y                62.074      62.074      62.074      22.785
    Z-Z                16.242      16.242      16.242

                     Section      Flange         Web     Epsilon       Alpha         Psi
    Compactness      Class 1     Class 1     Class 1       0.814       0.503      -0.995

                Curve AlphaLT LambdaBarLT       PhiLT       ChiLT          Iw         Mcr
    LTB             d    0.76       1.223       1.637       0.367   6.402E-09      43.571

    Factors       kw      Psi          C2          C3
                   1.    1.132       0.459       0.525
                   za      zs          zg          zz          zj
                 0.09      0.        0.09          0.          0.

    Factors  Cmy         Cmz        CmLT         kyy         kyz         kzy         kzz
           0.981          1.       0.981       0.982       0.606       0.998       1.009
```

***SPOSTAMENTI MASSIMI RISCONTRATI NEL MODELLO***

Le verifiche a freccia sono puntualmente eseguite dal software; si riporta comunque un'immagine con gli spostamenti massimi rilevati nel modello.




*Deformazione massima COSCIALE*

Come si può vedere, le traslazioni riscontrate in combinazione caratteristica sono dell'ordine massimo del millimetro, pari approssimativamente a l/2500: si ritiene che il valore sia più che accettabile per una struttura di tale entità.

## 13.4. La fondazione

Si riporta la verifica della suola di fondazione alla base della scala: si premettono i carichi, seguiti dalle analisi necessarie.

### *ANALISI DEI CARICHI*

#### *REAZIONI PER COLONNA HEA140 IN FONDAZIONE*

***Fondazione centrale***

| | | | |
|---|---|---|---|
| $R_{SLU,SAP2000}$ = | 9.00 | kN | Reazione totale centrale a SLU |
| $R_{SLE,SAP2000}$ = | 6.00 | kN | Reazione totale centrale a SLE |
| $p_{HEA140}$ = | 24.7 | kg/m | |
| $L_{HEA140}$ = | 2.3 | m | |
| $P_{HEA140}$ = | 0.57 | kN | |
| ***$R_{SLU}$ =*** | ***9.77*** | ***kN*** | |
| ***$R_{SLE}$ =*** | ***6.57*** | ***kN*** | |

***Fondazione laterale***

| | | |
|---|---|---|
| $R_{SLU,SAP2000}$ = | 4.80 | kN |
| $R_{SLE,SAP2000}$ = | 3.20 | kN |
| ***$R_{SLU}$ =*** | ***4.80*** | ***kN*** |
| ***$R_{SLE}$ =*** | ***3.20*** | ***kN*** |

#### *CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI PER MENSOLA DI FONDAZIONE*

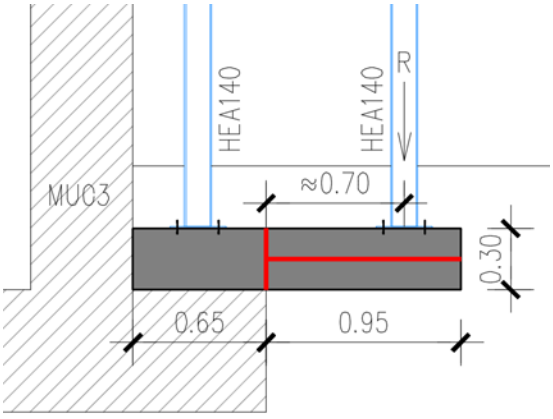
Si considera la suola di fondazione alla base degli HEA140.

*Caratteristiche geometriche sezione*

| | | |
|---|---|---|
| H = | 0.3 | m |
| B = | 0.6 | m |

Lo schema di calcolo considerato per la verifica della sezione prevede cautelativamente una mensola con incastro nella prima sezione di appoggio sulla fondazione del muro MU03

| | | | |
|---|---|---|---|
| $L_{sbalzo}$ = | 1.0 | m | Lunghezza sbalzo suola |




| | | | |
|---|---|---|---|
| *$R_{SLU}$ =* | *9.00* | *kN* | *Reazione massima colonna scala a SLU* |
| *$R_{SLE}$ =* | *6.00* | *kN* | *Reazione massima colonna scala a SLE* |

| | | | |
|---|---|---|---|
| $L_R$ = | 0.70 | m | Lunghezza braccio di applicazione R |
| $h_r$ = | 0.35 | m | Altezza ricoprimento su suola |
| $\gamma_r$ = | 22.00 | kN/mc | Peso specifico ricoprimento corridoio manutenzione (a favore di sicurezza) |
| $p_{dr}$ = | 7.70 | kN/mq | Peso distribuito ricoprimento |
| *$p_r$ =* | *4.62* | *kN/m* | *Peso ricoprimento su suola* |
| $\gamma_{cls}$ = | 25.00 | kN/mc | Peso specifico calcestruzzo |
| *$p_s$ =* | *4.50* | *kN/m* | *Peso suola a metro* |

*Coefficienti di sicurezza*

| | | |
|---|---|---|
| $\gamma_{G1}$ = | 1.35 | Coefficiente parziale azioni permanenti |
| $\gamma_{G2}$ = | 1.50 | Coefficiente parziale azioni permanenti portati |
| $\gamma_Q$ = | 1.50 | Coefficiente parziale azioni variabili |

*Sollecitazioni in incastro*

| | *SLU* | *SLE* | |
|---|---|---|---|
| *$M_{Ed}$ =* | *12.46* | *8.76* | *kNm* |
| *$V_{Ed}$ =* | *21.31* | *15.12* | *kN* |

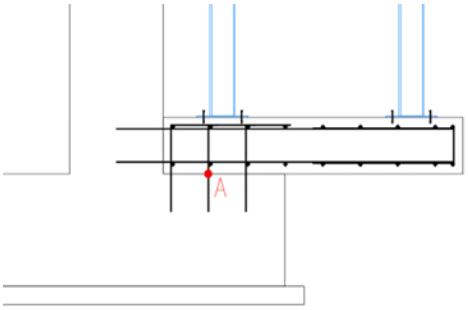
Lo schema di calcolo considerato per il dimensionamento degli inghisaggi prevede la ripartizione delle sollecitazioni come segue:

il taglio è affidato alle barre fissate all'elevazione del muro

il momento è affidato alle barre fissate alla fondazione del muro

A favore di sicurezza vengono trascurati tutti i contributi di carico benefici offerti dalle azioni superiori allo sbalzo di valle della fondazione del muro

Si calcola il momento nel punto A al fine di calcolare gli inghisaggi in fondazione




| | *SLU* | |
|---|---|---|
| *$M_{Ed}$ =* | *20.98* | *kNm* |

## VERIFICA DELLA SEZIONE

*Caratteristiche meccaniche dei materiali*

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Calcestruzzo | C25/30 | $R_{ck}$ = | 30 | N/mm² | $f_{ck}$ = | 25 | N/mm² |
| $\gamma_c$ = | 1.50 | $\alpha_{cc}$ = | 0.85 | | $f_{cd}$ = | 14.17 | N/mm² |
| | | $E_c$ = | 31476 | N/mm² | $f_{ctm}$ = | 2.56 | N/mm² |
| Acciaio | B450C | $E_s$ = | 200000 | N/mm² | $f_{yk}$ = | 450 | N/mm² |
| $\gamma_s$ = | 1.15 | $\varepsilon'_{se}$ | 1.96 | | $f_{yd}$ = | 391.3 | N/mm² |

*Caratteristiche geometriche della sezione*

B = 600 mm base
H = 300 mm altezza
c = 58 mm coprifer.

$N_{Ed}$ positivo di compressione
$M_{Ed}$ positivo se tende le fibre inferiori della sezione
y distanza dell'armatura dal lembo superiore

| n. | ø(mm) | $A_s$ (mm²) | y (mm) |
|---|---|---|---|
| 4 | 12 | 452 | 58 |
| 4 | 12 | 452 | 242 |
| | Σ | 905 | mm² |

*Verifiche agli Stati Limite Ultimi*

*Flessione*

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $V_{Ed}$ [kN] | $M_{Rd}$ [kNm] | $\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SLU | inc | | 12.46 | 21.31 | 42.84 | **3.44** |

*Taglio*

| Combinazione | posizione | $V_{Rd,0}$ [kN] | $V_{Rd,s}$ [kN] | $V_{Rd,c}$ [kN] | $V_{Rd}$ [kN] | $\frac{V_{Rd}}{V_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SLU | inc | 67.03 | | | 67.03 | **3.14** |

*Verifiche agli Stati Limite Esercizio - Tensioni in esercizio*

*Comb. caratteristica* $\sigma_c$ = 15.0 N/mm² $\sigma_s$ = 360.0 N/mm²

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $M_{Rd}$ [kNm] | $\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| SLE | inc | | 8.76 | 35.49 | **4.05** |

*Comb. Quasi perm.* $\sigma_c$ = 11.3 N/mm² $\sigma_s$ = 360.0 N/mm²

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $M_{Rd}$ [kNm] | $\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| SLE | inc | | 8.76 | 35.49 | **4.05** |

*Verifiche agli Stati Limite Esercizio - Fessurazione*

Condizioni ambientali ordinarie armatura poco sensibile

$\alpha_e$ = 6.35 $\phi_{eq}$ = 12.00
$k_1$ = 0.8 $k_2$ = 0.5 $k_3$ = 3.4 $k_4$ = 0.425

*Comb. Frequente* $k_t$ = 0.6 $w_{lim}$ = 0.4 mm

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $\sigma_s$ [MPa] | x [mm] | $A_s$ [mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SLE | inc | | 8.76 | 88 | 63 | 452 |

| Combinazione | $A_{c,eff}$ [mm²] | $\rho_{eff}$ | $\varepsilon_{sm}$ | $\Delta_{smax}$ [mm] | $w_d$ [mm] | Verifica |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SLE | 47439 | 0.01 | 0.03% | 390.72 | 0.10 | **OK** |

*Comb. Quasi perm.* $k_t$ = 0.4 $w_{lim}$ = 0.3 mm

| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $\sigma_s$ [MPa] | x [mm] | $A_s$ [mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SLE | inc | | 8.76 | 88 | 63 | 452 |
| Combinazione | $A_{c,eff}$ [mm²] | $\rho_{eff}$ | $\varepsilon_{sm}$ | $\Delta_{smax}$ [mm] | $w_d$ [mm] | Verifica |
| SLE | 47439 | 0.01 | 0.03% | 390.72 | 0.10 | **OK** |

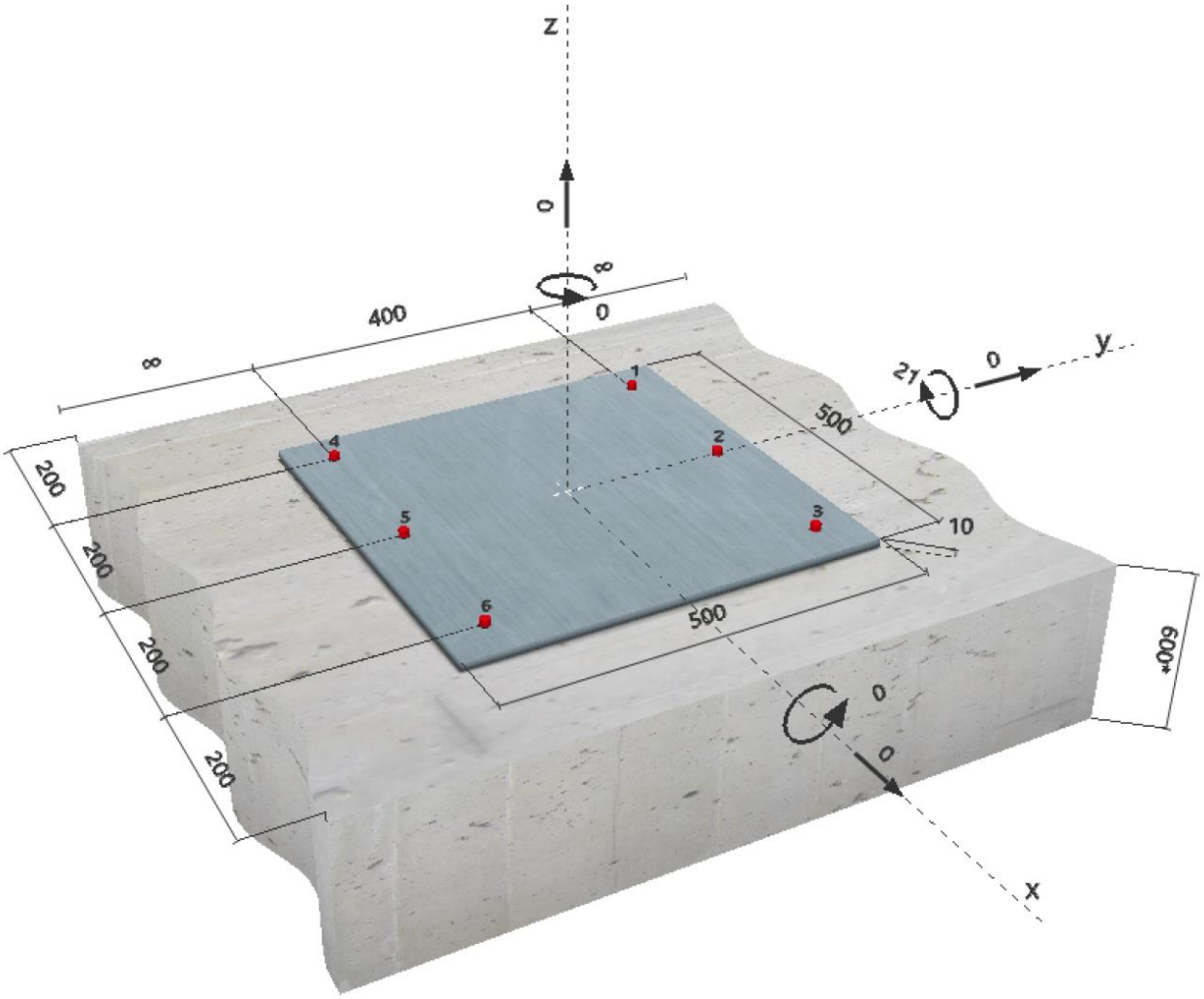
## ***VERIFICA DELL'INGHISAGGIO IN FONDAZIONE***

Si riporta l'analisi degli inghisaggi della struttura alla fondazione: le sollecitazioni di verifica fanno riferimento a quelle calcolate al paragrafo precedente per la Sezione A.
L'analisi viene condotta attraverso il software di progettazione fornito dal produttore dell'ancorante: si rimanda alla Direzione Lavori la verifica della conformità della realizzazione con le ipotesi assunte in relazione.
Si noti che la piastra inserita nei calcoli costituisce unicamente un aspetto grafico e che non influisce ai fini delle analisi.

### 1 Dati da inserire

| | |
|---|---|
| **Tipo e dimensione dell'ancorante:** | **HIT-HY 200-A + Rebar 12mm** |
| Profondità di posa effettiva: | $h_{ef,opti}$ = 121 mm ($h_{ef,limit}$ = 240 mm) |
| Materiale: | B500B |
| Certificazione No.: | ETA 11/0493 |
| Prova: | metodo di calcolo ETAG BOND (EOTA TR 029) |
| Fissaggio distanziato: | $e_b$ = 0 mm (Senza distanziamento); t = 10 mm |
| Piastra d'ancoraggio: | $l_x$ x $l_y$ x t = 500 mm x 500 mm x 10 mm; (Spessore della piastra raccomandato: non calcolato) |
| Profilo: | nessun profilo |
| Materiale base: | fessurato calcestruzzo, C25/30, $f_{cc}$ = 30.00 N/mm$^2$; h = 600 mm, Temp. Breve/Lungo: 0/0 °C |
| Installazione: | Foro eseguito con perforatore, Condizioni di installazione: asciutto |
| Armatura: | nessuna armatura o interasse tra le armature >= 150 mm (qualunque Ø) o >= 100 mm (Ø <= 10 mm) senza armatura di bordo longitudinale |

**Geometria [mm] & Carichi [kN, kNm]**



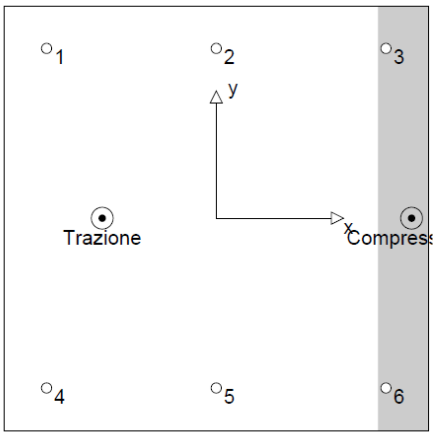

## 2 Condizione di carico/Carichi risultanti sull'ancorante

Condizione di carico: Carichi di progetto

**Carichi sull'ancorante [kN]**
Trazione: (+ Trazione, - Compressione)

| Ancorante | Trazione | Taglio | Taglio in dir. x | Taglio in dir. y |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 19.349 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2 | 9.446 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 4 | 19.349 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 5 | 9.446 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 6 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

Compressione max. nel calcestruzzo: 0.13 [‰]
Max. sforzo di compressione nel calcestruzzo: 3.89 [N/mm$^2$]
risultante delle forze di trazione nel (x/y)=(-134/0): 57.590 [kN]
risultante delle forze di compressione (x/y)=(230/0): 57.590 [kN]



## 3 Carico di trazione (EOTA TR 029, Sezione 5.2.2)

| | Carico [kN] | Resistenza [kN] | Utilizzo $\beta_N$ [%] | Stato |
|---|---|---|---|---|
| Rottura dell'acciaio* | 19.349 | 44.286 | 44 | OK |
| Rottura combinata conica del calcestruzzo e per sfilamento** | 57.590 | 57.758 | 100 | OK |
| Rottura conica del calcestruzzo** | 57.590 | 91.254 | 64 | OK |
| Fessurazione** | N/A | N/A | N/A | N/A |

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

### 3.1 Rottura dell'acciaio

| $N_{Rk,s}$ [kN] | $\gamma_{M,s}$ | $N_{Rd,s}$ [kN] | $N_{Sd}$ [kN] |
|---|---|---|---|
| 62.000 | 1.400 | 44.286 | 19.349 |

### 3.2 Rottura combinata conica del calcestruzzo e per sfilamento

| $A_{p,N}$ [mm$^2$] | $A^0_{p,N}$ [mm$^2$] | $\tau_{Rk,ucr,25}$ [N/mm$^2$] | $s_{cr,Np}$ [mm] | $c_{cr,Np}$ [mm] | $c_{min}$ [mm] |
|---|---|---|---|---|---|
| 305751 | 92160 | 12.00 | 304 | 152 | 200 |

| $\psi_c$ | $\tau_{Rk,cr}$ [N/mm$^2$] | k | $\psi^0_{g,Np}$ | $\psi_{g,Np}$ |
|---|---|---|---|---|
| 1.000 | 7.00 | 2.300 | 1.528 | 1.003 |

| $e_{c1,N}$ [mm] | $\psi_{ec1,Np}$ | $e_{c2,N}$ [mm] | $\psi_{ec2,Np}$ | $\psi_{s,Np}$ | $\psi_{re,Np}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 34 | 0.815 | 0 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

| $N^0_{Rk,p}$ [kN] | $N_{Rk,p}$ [kN] | $\gamma_{M,p}$ | $N_{Rd,p}$ [kN] | $N_{Sd}$ [kN] |
|---|---|---|---|---|
| 31.931 | 86.637 | 1.500 | 57.758 | 57.590 |

### 3.3 Rottura conica del calcestruzzo

| $A_{c,N}$ [mm$^2$] | $A^0_{c,N}$ [mm$^2$] | $c_{cr,N}$ [mm] | $s_{cr,N}$ [mm] |
|---|---|---|---|
| 408738 | 131769 | 182 | 363 |

| $e_{c1,N}$ [mm] | $\psi_{ec1,N}$ | $e_{c2,N}$ [mm] | $\psi_{ec2,N}$ | $\psi_{s,N}$ | $\psi_{re,N}$ | $k_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 34 | 0.841 | 0 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 7.200 |

| $N^0_{Rk,c}$ [kN] | $\gamma_{M,c}$ | $N_{Rd,c}$ [kN] | $N_{Sd}$ [kN] |
|---|---|---|---|
| 52.489 | 1.500 | 91.254 | 57.590 |

## 4 Carico di taglio (EOTA TR 029, Sezione 5.2.3)

| | Carico [kN] | Resistenza [kN] | Utilizzo $\beta_V$ [%] | Stato |
|---|---|---|---|---|
| Rottura dell'acciaio (senza braccio di leva)* | N/A | N/A | N/A | N/A |
| Rottura dell'acciaio (con braccio di leva)* | N/A | N/A | N/A | N/A |
| Rottura per pryout* | N/A | N/A | N/A | N/A |
| Rottura del bordo del calcestruzzo in direzione ** | N/A | N/A | N/A | N/A |

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

## 5 Spostamenti (ancorante più sollecitato)

Carichi a breve termine:

$N_{Sk}$ = 14.332 [kN]  $\delta_N$ = 0.346 [mm]

$V_{Sk}$ = 0.000 [kN]  $\delta_V$ = 0.000 [mm]

$\delta_{NV}$ = 0.346 [mm]

Carichi a lungo termine:

$N_{Sk}$ = 14.332 [kN]  $\delta_N$ = 0.503 [mm]

$V_{Sk}$ = 0.000 [kN]  $\delta_V$ = 0.000 [mm]

$\delta_{NV}$ = 0.503 [mm]

**L'ancoraggio risulta verificato!**

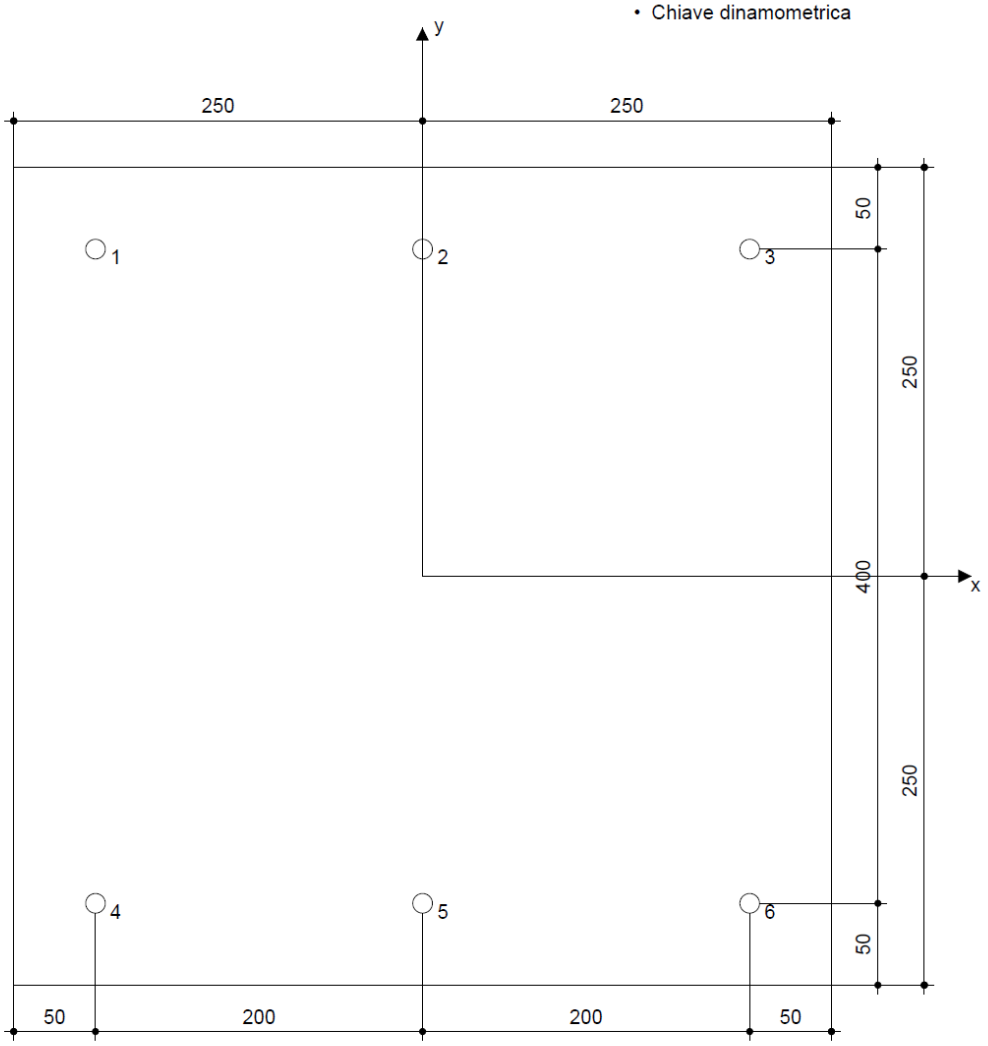
## 7 Dati relativi all'installazione

Piastra d'ancoraggio, acciaio: -
Profilo: nessun profilo; 0 x 0 x 0 mm
Diametro del foro nella piastra: $d_f$ = 12 mm
Spessore della piastra (input): 10 mm
Spessore della piastra raccomandato: non calcolato
Pulizia: E' necessaria una pulizia accurata del foro (Premium cleaning)

Tipo e dimensione dell'ancorante: HIT-HY 200-A + Rebar 12mm
Coppia di serraggio: 0.000 kNm
Diametro del foro nel materiale base: 16 mm
Profondità del foro nel materiale base: 121 mm
Spessore minimo del materiale base: 153 mm

### 7.1 Accessori richiesti

| Perforazione | Pulizia | Posa |
|---|---|---|
| • Idoneo per rotopercussione<br>• Dimensione appropriata della punta del trapano | • Aria compressa con i relativi accessori necessari per soffiare a partire dal fondo del foro.<br>• Diametro appropriato dello scovolino | • Il dispenser include il portacartucce e il miscelatore<br>• Per installazioni profonde è necessario utilizzare l'ugello per iniezione<br>• Chiave dinamometrica |




**Coordinate dell'ancorante [mm]**

| Ancorante | x | y | $c_{-x}$ | $c_{+x}$ | $c_{-y}$ | $c_{+y}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -200 | 200 | 200 | 600 | - | - |
| 2 | 0 | 200 | 400 | 400 | - | - |
| 3 | 200 | 200 | 600 | 200 | - | - |

| Ancorante | x | y | $c_{-x}$ | $c_{+x}$ | $c_{-y}$ | $c_{+y}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | -200 | -200 | 200 | 600 | - | - |
| 5 | 0 | -200 | 400 | 400 | - | - |
| 6 | 200 | -200 | 600 | 200 | - | - |

## 14. VALIDAZIONE DEL SOFTWARE DI CALCOLO

Preliminarmente all'esecuzione delle verifiche delle opere di sostegno di cui alla presente relazione di calcolo, si riporta, come richiesto dalla normativa vigente, la validazione dei modelli numerici utilizzati per le analisi. Nello specifico si calcolano manualmente alcune quantità caratteristiche di un'opera di sostegno con le seguenti caratteristiche:

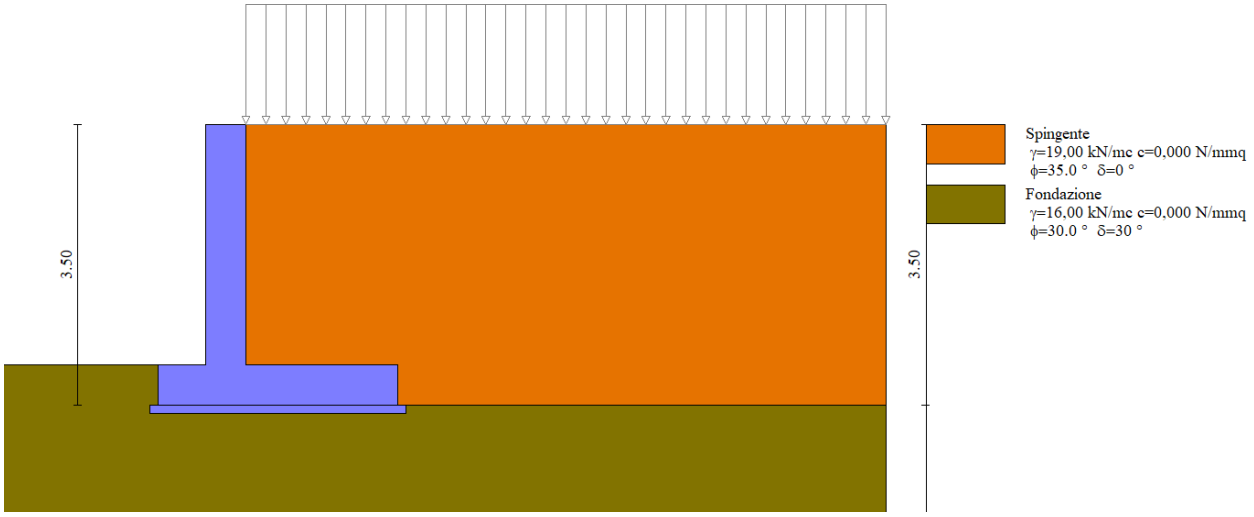
H = 3.00m altezza muro;
$\gamma$t = 19.00 kN/mc peso specifico terreno spingente;
$\phi$ = 35° angolo di attrito terreno spingente;
$\delta$ = 0° angolo di attrito terra-muro;
q = 20.00 kN/mq sovraccarico variabile a tergo del muro;

Calcoli:
ka = tg^2($\pi$/4-$\phi$/2) = 0.27 coeff. di spinta attiva
St = ½ $\gamma$t H^2 ka = 23.08 kN/m spinta delle terre totale sul paramento;
Sq = q H ka = 16.20 kN/m spinta del sovraccarico totale sul paramento;

Mt = St H/3 = 23.08 kNm/m momento flettente dovuto alla spinta delle terre a base paramento;
Vt = St = 23.08 kN/m taglio dovuto alla spinta delle terre a base paramento;
Mq = Sq H/2 = 24.30 kNm/m momento flettente dovuto alla spinta del sovraccarico a base paramento;
Vq = Sq = 16.20 kN/m taglio dovuto alla spinta del sovraccarico a base paramento;

Combinazione 01 (spinta delle terre x1.30 – spinta del sovraccarico x1.50)
Mslu = 66.45 kNm/m
Vslu = 54.30 kN/m
Nslu = 3.00m x 0.50m x 25 kN/mc x1.00 = 37.50 kN/m

Dal software di calcolo si ottiene:



Elenco Combinazioni

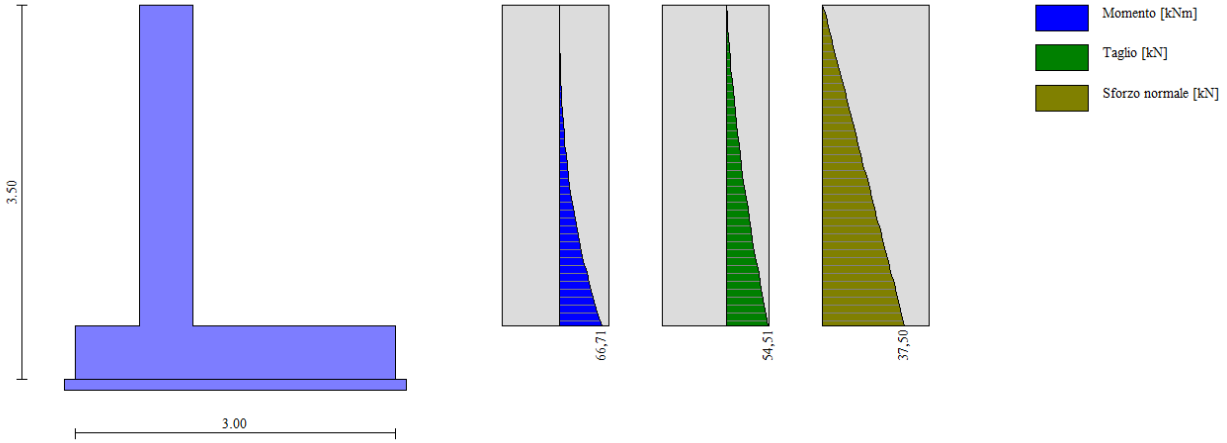
Combinazioni generate

| N° | Caso | Sisma | Peso muro/terrapieno |
|---|---|---|---|
| 1 | STR (A1-M1-R3) | Assente | FAV - FAV |
| 2 | STR (A1-M1-R3) | H + V | FAV - FAV |
| 3 | STR (A1-M1-R3) | H - V | SFAV - SFAV |
| 4 | STR (A1-M1-R3) | Assente | SFAV - SFAV |
| 5 | STR (A1-M1-R3) | Assente | FAV - SFAV |
| 6 | STR (A1-M1-R3) | Assente | SFAV - FAV |
| 7 | GEO (A2-M2-R2) | Assente | SFAV - SFAV |
| 8 | GEO (A2-M2-R2) | H + V | SFAV - SFAV |
| 9 | GEO (A2-M2-R2) | H - V | SFAV - SFAV |
| 10 | EQU (A1-M1-R3) | Assente | FAV - FAV |
| 11 | EQU (A1-M1-R3) | H + V | FAV - FAV |

Elimina combinazione | Elimina combinazioni uguali | Duplica combinazione

Condizioni della combinazione

| N° | Condizione | fav/sfav | Ψ | γ | C.P. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Peso proprio | FAV | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 2 | Spinta terreno | SFAV | 1,00 | 1,30 | 1,30 |
| 3 | Variabile (V) [D] | SFAV | 1,00 | 1,50 | 1,50 |

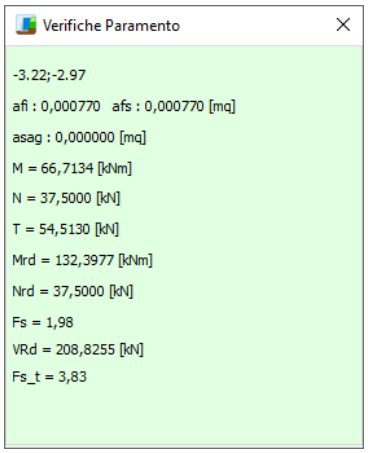



Come si vede dall'immagine sopra riportata (sollecitazioni combinazione 01) i valori calcolati corrispondono alle attese.

Relativamente alle verifiche strutturali, considerando la sezione di base paramento armata con 5ϕ14 su entrambi i lati e considerando il momento resistente "sostanzialmente elastico" si ottiene quanto segue:

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Caratteristiche meccaniche dei materiali* | | | | | | | |
| Calcestruzzo | C32/40 | $R_{ck}$ = | 40 | N/mm² | $f_{ck}$ = | 32 | N/mm² |
| $\gamma_c$ = | 1,5 | $\alpha_{cc}$ = | 0,85 | | $f_{cd}$ = | 18,13 | N/mm² |
| | | $E_c$ = | 33346 | N/mm² | $f_{ctm}$ = | 3,02 | N/mm² |
| | | | | | | | |
| Acciaio | B450C | $E_s$ = | 200000 | N/mm² | $f_{yk}$ = | 450 | N/mm² |
| $\gamma_s$ = | 1,15 | $\varepsilon'_{se}$ | 1,96 | | $f_{yd}$ = | 391,3 | N/mm² |
| | | | | | | | |
| *Caratteristiche geometriche della sezione* | | | | | | | |
| B = | 1000 | mm base | | n. | ø(mm) | $A_s$ (mm²) | y (mm) |
| H = | 500 | mm altezza | | 5 | 14 | 770 | 50 |
| c = | 50 | mm coprifer.asse barra | | | | - | |
| | | | | | | - | |
| $N_{Ed}$ positivo di compressione | | | | | | - | |
| $M_{Ed}$ positivo se tende le fibre inferiori della sezione | | | | | | - | |
| y distanza dell'armatura dal lembo superiore | | | | 5 | 14 | 770 | 450 |
| | | | | | Σ | 1539 | mm² |
| *Verifiche agli Stati Limite Ultimi* | | | | | | | |
| *Flessione* | Momento resistente | sostanzialm | | $N_{Rd,lim}$ = | 80% $A_c f_{cd} + A_{s,tot} f_{yd}$ = | | 7855,70 kN |
| Combinazione | posizione | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] | $V_{Ed}$ [kN] | $M_{Rd}$ [kNm] | $\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}$ | |
| Combo_01 | | 37,50 | 66,71 | 54,51 | 133,48 | 2,00 | |
| | | | | | | | |
| *Taglio* | | | | | | | |
| $\phi_{staffe}$ = | | mm | α = | 90 | ° inclinazione staffa | | |
| $n_b$ = | | n° braccia | s = | | mm passo | | |
| Combinazione | posizione | $V_{Rd,0}$ [kN] | $V_{Rd,s}$ [kN] | $V_{Rd,c}$ [kN] | $V_{Rd}$ [kN] | $\frac{V_{Rd}}{V_{Ed}}$ | |
| Combo_01 | | 196,77 | | | 196,77 | 3,61 | |

Dal software di calcolo, per la medesima sezione e per la medesima combinazione di carico si ottiene:




Come si può notare la corrispondenza tra quanto dedotto dal software e quanto atteso risulta essere ottima.

Visti i risultati ottenuti si conclude che i risultati ottenuti dal software di calcolo sono accettabili.