



## SOMMARIO

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | PREMESSA .....  | 3  |
| 2     | DESCRIZIONE DELLE OPERE .....   | 4  |
| 3     | NORMATIVA .....   | 7  |
| 4     | UNITA' DI MISURA.....   | 8  |
| 5     | MATERIALI.....  | 9  |
| 5.1   | CALCESTRUZZI.....   | 9  |
| 5.1.1 | Calcestruzzo per opere di sottofondazione.....  | 9  |
| 5.1.2 | Calcestruzzo per opere contro terra .....   | 9  |
| 5.2   | ACCIAI .....  | 10 |
| 5.2.1 | Acciaio per armatura lenta per opere di fondazione e sottostrutture .....                   | 10 |
| 6     | CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E PARAMETRI GEOTECNICI .....                                    | 11 |
| 7     | ZONIZZAZIONE E CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....  | 16 |
| 7.1   | IDENTIFICAZIONE DELLA LOCALITÀ E DEI PARAMETRI SISMICI GENERALI .....                       | 17 |
| 7.2   | PARAMETRI SISMICI DI PERICOLOSITÀ DI BASE.....  | 18 |
| 7.3   | CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....   | 21 |
| 7.4   | CONDIZIONI TOPOGRAFICHE .....   | 21 |
| 7.5   | FATTORI DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA E TOPOGRAFICA .....                                 | 22 |
| 7.6   | FATTORE DI COMPORTAMENTO .....  | 22 |
| 7.7   | SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO PER LO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA.....            | 23 |
| 7.8   | SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO PER LO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA.....            | 26 |
| 8     | ANALISI DEI CARICHI .....   | 27 |
| 8.1   | PESO PROPRIO DELLE STRUTTURE IN CEMENTO ARMATO .....  | 27 |
| 8.2   | PESO DEL TERRENO A TERGO DEL MURO .....   | 27 |
| 8.3   | CARICHI ACCIDENTALI A TERGO DEL MURO .....  | 27 |
| 8.4   | SPINTA DEI TERRENI A TERGO DELL'OPERA DI SOSTEGNO.....                                      | 27 |
| 8.5   | SPINTA DEI SOVRACCARICHI A TERGO DELL'OPERA DI SOSTEGNO.....                                | 28 |
| 8.6   | AZIONE SISMICA.....   | 28 |
| 8.6.1 | Spinta dinamica dei terreni .....   | 28 |
| 8.6.2 | Azione inerziale delle masse .....  | 28 |
| 9     | COMBINAZIONI DI CARICO.....   | 29 |
| 9.1   | Combinazioni di carico allo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni quasi- permanenti..... | 29 |
| 9.2   | Combinazioni di carico allo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni frequenti.....         | 29 |
| 9.3   | Combinazioni di carico allo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni caratteristiche .....  | 29 |
| 9.4   | Combinazioni di carico allo Stato Limite Ultimo statiche .....                              | 30 |
| 9.5   | Combinazione di carico sismiche.....  | 30 |
| 10    | MURO OS4 – H <sub>MAX</sub> = 3,50 M .....  | 31 |
| 10.1  | Condizioni ordinarie.....   | 31 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 10.1.1 | Dati di input.....   | 31 |
| 10.1.2 | Verifiche allo Stato Limite di limitazione delle tensioni..... | 34 |
| 10.1.3 | Verifiche allo Stato Limite di fessurazione .....              | 38 |
| 10.1.4 | Verifiche allo Stato Limite Ultimo – STR.....                  | 41 |
| 10.1.5 | Verifiche geotecniche .....                                    | 45 |

## 1 PREMESSA

La presente relazione riporta il dimensionamento e le verifiche strutturali e geotecniche dell'opera di sostegno **OS4** in cemento armato nell'ambito del Progetto Definitivo "S.S.78 "Sarnano - Amandola" - lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in T.S. e potenziamento delle intersezioni - 1° stralcio".



Nelle immagini che seguono si riporta la pianta, il profilo e le sezioni trasversali tipo relativamente al muro OS4.

Figura – Pianta muro OS4

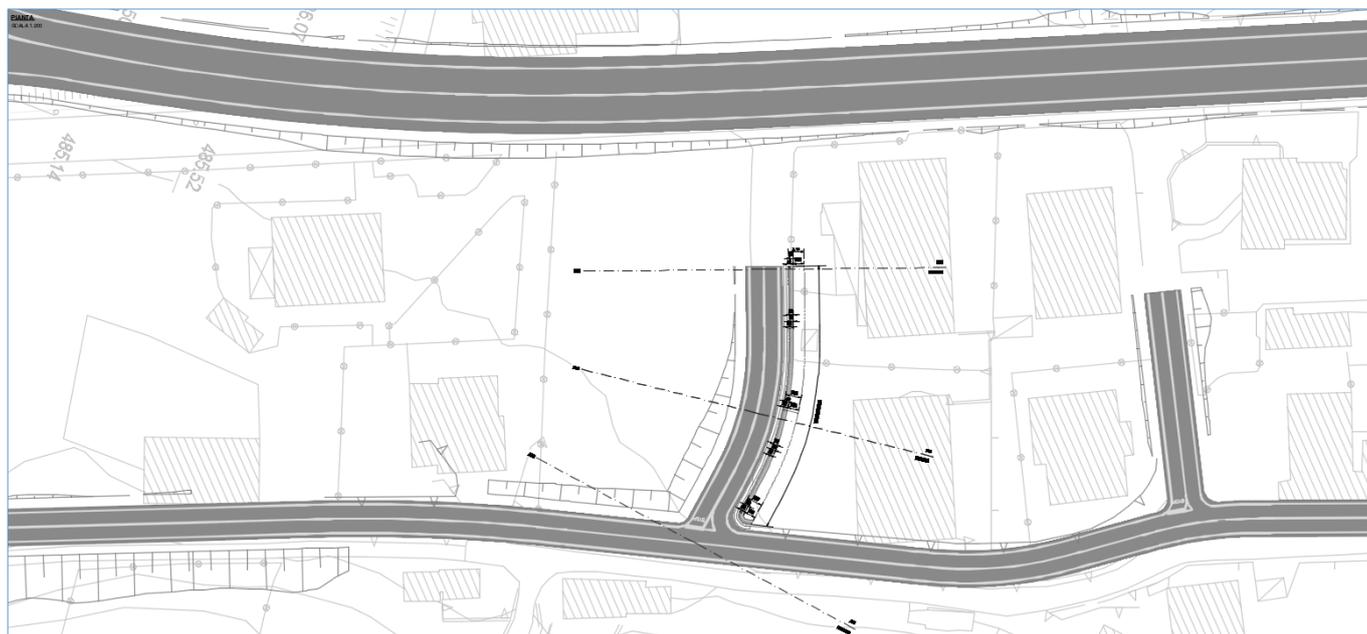


Figura – Pianta muro OS4 – Dettaglio concio 1

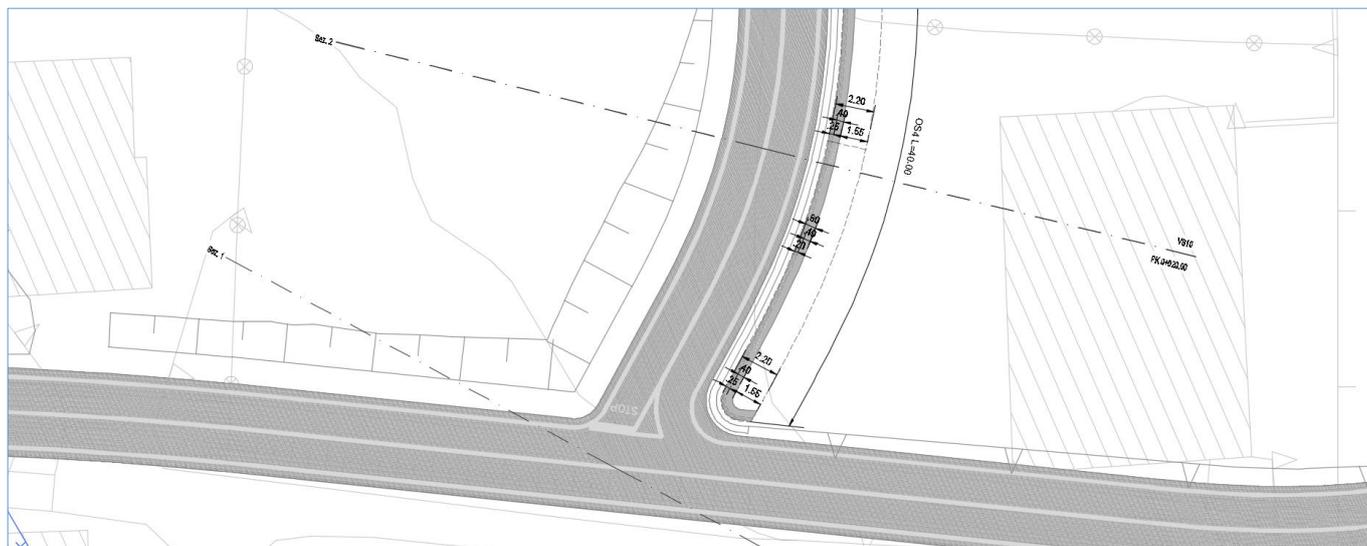


Figura – Pianta muro OS4 – Dettaglio concio 2

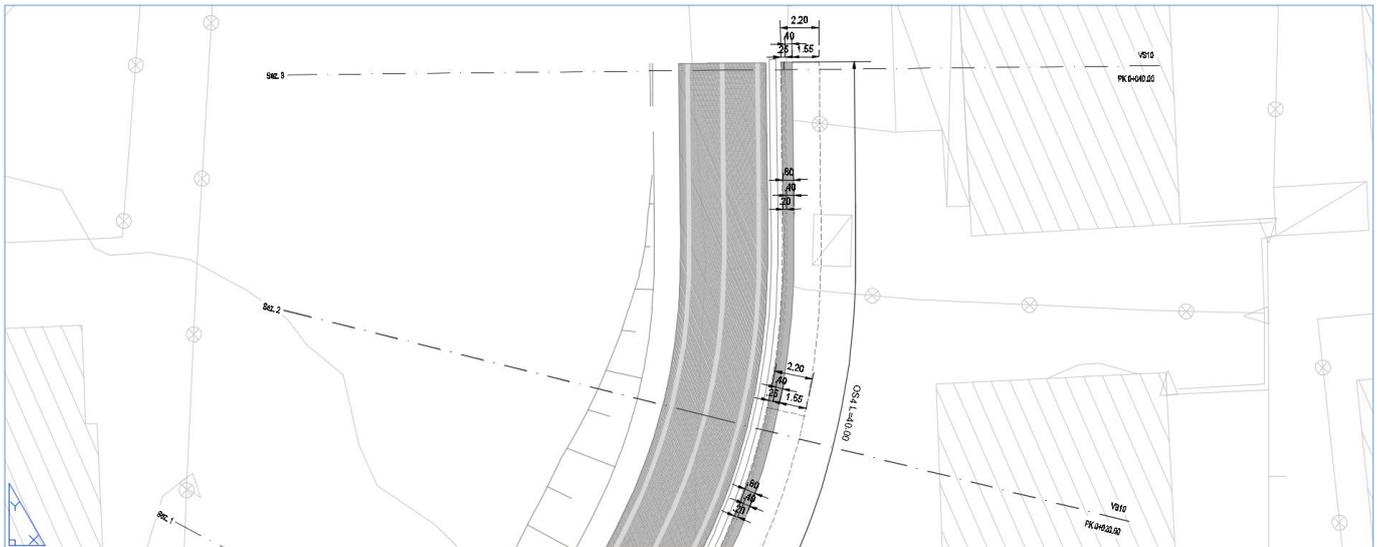
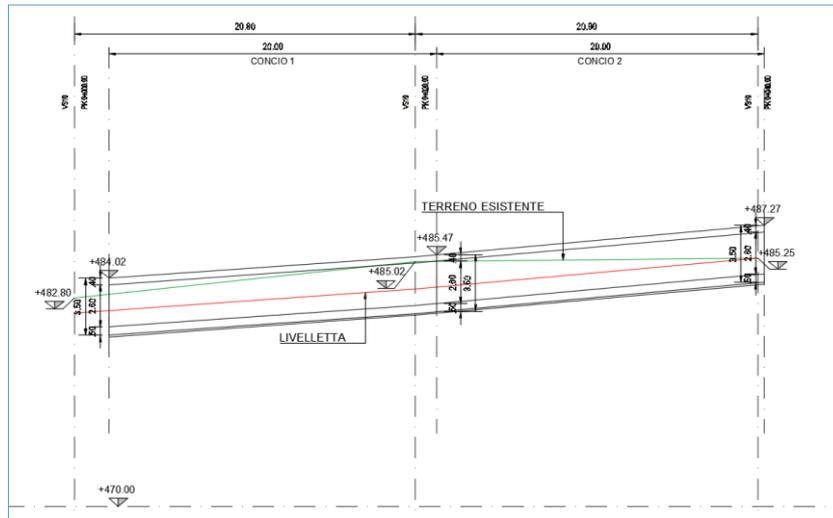
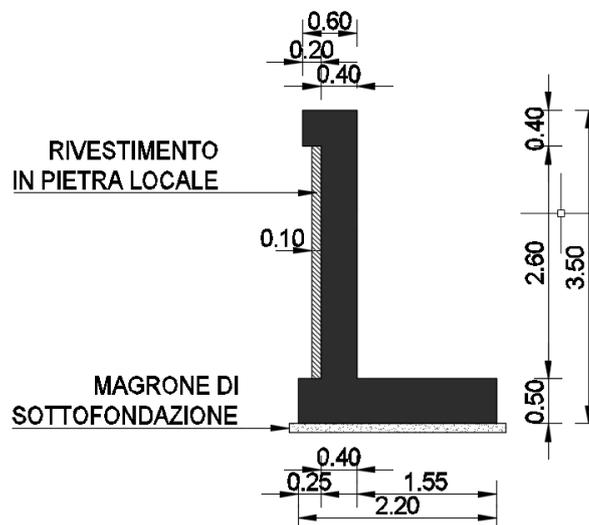


Figura – Profilo muro OS4



Si riporta di seguito il dettaglio della sezione trasversale del muro a mensola OS4 realizzato in cemento armato gettato in opera e rivestito in pietra locale, relativamente ai conci 1 e 2:

Figura – Muro OS4 – Sezione trasversale



### 3 **NORMATIVA**

Nella redazione dei calcoli statici ci si è attenuti alle prescrizioni della Normativa vigente; in particolare:

- Decreto Ministeriale 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni"
- Circolare Min. 21/01/2019, n°7 C.S.LL.PP "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018"
- UNI EN 1991-2 (Eurocodice 1 – Parte 2) → Azioni sulle strutture – Carichi da traffico sui ponti
- UNI EN 1992-1 (Eurocodice 2 – Parte 1) → Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Regole generali
- UNI EN 1992-2 (Eurocodice 2 – Parte 2) → Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Ponti
- UNI EN 1998-2 (Eurocodice 8 – Parte 2) → Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Ponti
- UNI EN 206-1:2006 → Calcestruzzo – Specificazione, prestazione e conformità
- UNI 11104 → Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1
- CNR-DT 207/2008 → "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni".

## 4 UNITA' DI MISURA

Nei calcoli è stato fatto uso delle seguenti unità di misura:

- per i carichi:  $\text{kN/m}^2$ ,  $\text{kN/m}$ ,  $\text{kN}$
- per i momenti:  $\text{kNm}$
- per i tagli e sforzi normali:  $\text{kN}$
- per le tensioni:  $\text{N/mm}^2$
- per le accelerazioni:  $\text{m/sec}^2$

## 5 MATERIALI

### 5.1 CALCESTRUZZI

#### 5.1.1 CALCESTRUZZO PER OPERE DI SOTTOFONDAZIONE

Per le opere di sottofondazione si prevede un calcestruzzo con classe di resistenza C12/15 con le seguenti caratteristiche meccaniche:

| CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI CALCESTRUZZI - D.M. 17.01.2018 |                  |           |                      |
|---|------------------|-----------|----------------------|
| Classe di resistenza del calcestruzzo                         |                  | C12/15    |                      |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione               | R <sub>ck</sub>  | 15,00     | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione           | f <sub>ck</sub>  | 12,45     | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| Resistenza cilindrica media a compressione a 28 gg            | f <sub>cm</sub>  | 20,45     | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| Resistenza di calcolo a compressione                          | f <sub>cd</sub>  | 7,06      | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| Resistenza media a trazione                                   | f <sub>ctm</sub> | 1,61      | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| Resistenza caratteristica a trazione                          | f <sub>ctk</sub> | 1,13      | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| Resistenza di calcolo a trazione                              | f <sub>ctd</sub> | 0,75      | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| Modulo elastico istantaneo                                    | E <sub>c</sub>   | 22.076,01 | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| Modulo elastico medio   | E <sub>cm</sub>  | 25.978,94 | [N/mm <sup>2</sup> ] |

#### 5.1.2 CALCESTRUZZO PER OPERE CONTRO TERRA

Per le opere contro terra si prevede un calcestruzzo con classe di resistenza C35/45 con le seguenti caratteristiche meccaniche:

| CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI CALCESTRUZZI - D.M. 17.01.2018 |                  |           |                      |
|---|------------------|-----------|----------------------|
| Classe di resistenza del calcestruzzo                         |                  | C35/45    |                      |
| Resistenza caratteristica cubica a compressione               | R <sub>ck</sub>  | 45,00     | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione           | f <sub>ck</sub>  | 37,35     | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| Resistenza cilindrica media a compressione a 28 gg            | f <sub>cm</sub>  | 45,35     | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| Resistenza di calcolo a compressione                          | f <sub>cd</sub>  | 21,17     | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| Resistenza media a trazione                                   | f <sub>ctm</sub> | 3,35      | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| Resistenza caratteristica a trazione                          | f <sub>ctk</sub> | 2,35      | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| Resistenza di calcolo a trazione                              | f <sub>ctd</sub> | 1,56      | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| Modulo elastico istantaneo                                    | E <sub>c</sub>   | 38.236,76 | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| Modulo elastico medio   | E <sub>cm</sub>  | 33.877,87 | [N/mm <sup>2</sup> ] |

- Classe di esposizione: XC4/XA3
- Classe di consistenza: S4
- Rapporto minimo acqua / cemento: 0,45
- Contenuto minimo di cemento: 400 kg/mc
- Diametro massimo degli inerti: 20 mm
- Copriferro netto minimo: 55 mm

## 5.2 ACCIAI

### 5.2.1 ACCIAIO PER ARMATURA LENTA PER OPERE DI FONDAZIONE E SOTTOSTRUTTURE

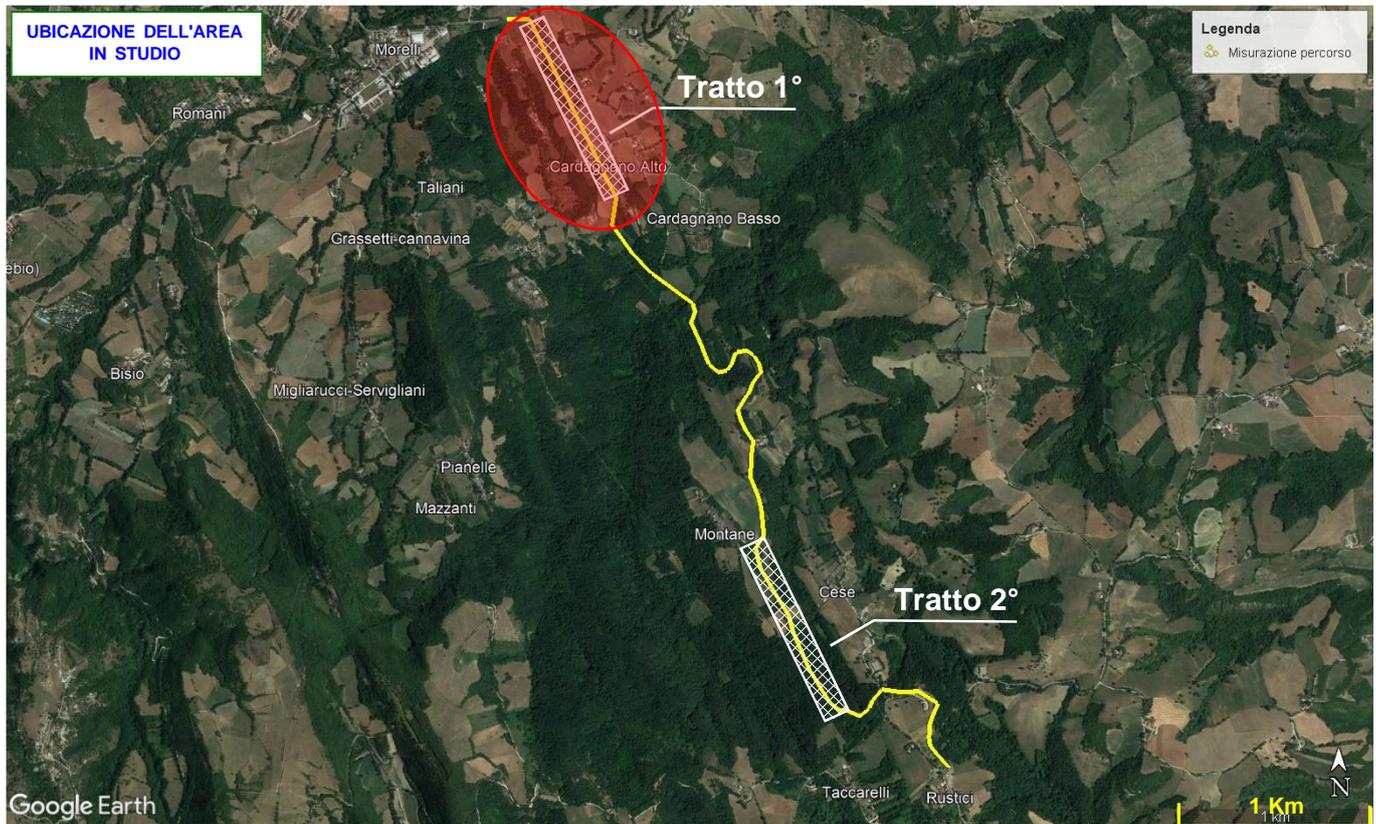
Per le armature lente delle opere di fondazione e delle elevazioni delle sottostrutture esistenti è stato previsto un acciaio del tipo **B450C**, con le seguenti caratteristiche meccaniche:

- $f_{t,k}$  = 540,00 N/mm<sup>2</sup> (tensione caratteristica di rottura)
- $f_{y,k}$  = 450,00 N/mm<sup>2</sup> (tensione caratteristica di snervamento)
- $f_{y,d}$  = 391,30 N/mm<sup>2</sup> (resistenza di calcolo -  $\gamma_s=1,15$ )
- $E_s$  = 210.000,00 N/mm<sup>2</sup> (modulo elastico istantaneo)

## 6 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E PARAMETRI GEOTECNICI

Nella Figura seguente è riportata l'ubicazione dei due tratti della strada in progetto, tratta da Google Earth; la presente relazione e la caratterizzazione geologica richiamata di seguito si riferisce al Tratto 1° evidenziato.

Figura – Ubicazione dell'area in studio – TRATTO 1°



La formazione geologica della LAGA, come descritto nella Relazione Geologica, si presenta nell'area in esame con due facies distinte soprattutto in relazione all'età di deposizione, cioè antecedente e successiva al ciclo evaporitico, denominate quindi pre-evaporitica e post-evaporitica:

- LAG1: successione pre-evaporitica
- LAG2: successione post-evaporitica

In ciascuna di esse poi vengono operate ancora suddivisioni in relazione alla facies litologica predominante come LAG1d per la facies predominante pelitica e LAG1c per quella predominante arenacea.

Tutte le formazioni geologiche presenti nell'area in studio, comprese le coperture quaternarie, sono state identificate con le seguenti sigle, adottate dal CARG:

- MUSa1 – Frane in evoluzione catalogate dall'IFFI
- MUSb2 – Depositi eluvio-colluviali
- MTIbn – Depositi alluvionali terrazzati
- LAG1c – Formazione della Laga membro arenaceo pre-evaporitico
- LAG2c – Formazione della Laga membro arenaceo post-evaporitico

L'individuazione delle unità litotecniche, con differente comportamento meccanico, viene effettuata sulla scorta dei risultati di tutte le prove ed analisi geotecniche in situ ed in laboratorio adottando una nomenclatura semplificata, la cui corrispondenza con quella geologica è sintetizzata nella Tabella seguente.

Tabella – Corrispondenza tra unità geologiche e litotecniche

| UNITÀA' GEOLOGICA  | MUSa1 | MUSb2                      | MTIbn                | LAG1c                    |                            |                    | LAG2c                    |                            |                    |
|--------------------|-------|----------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------|
| LITOLOGIA          | Frana | Depositi eluvio-colluviali | Terrazzi alluvionali | Fascia alterata sabbiosa | Fascia alterata alternanza | Formazione integra | Fascia alterata sabbiosa | Fascia alterata alternanza | Formazione integra |
| UNITA' LITOTECNICA | Fr    | Dt                         | At                   | A1                       | A2                         | A3                 | B1                       | B2                         | B3                 |

Figura – Inquadramento geologico



**Depositi Continentali Quaternari**

Sistema del Musone (Olocene)

- MUSa1  Frane in evoluzione
- MUSb2  Depositi eluvio-colluviali

Sistema di Matelica (Pleistocene Superiore)

- MTIbn  Depositi alluvionali terrazzati: ghiaia, sabbia e limo

**Successione Umbro-Marchigiano-Romagnola (Successione Miocenica)**

- LAG2c  Formazione della Laga Membro post-evaporitico - Litofacies arenacea (Messiniano)
- LAG1d  Formazione della Laga Membro pre-evaporitico - Litofacies arenaceo-pelittica (Messiniano)
- LAG1c  Formazione della Laga Membro pre-evaporitico - Litofacies arenacea (Messiniano)

Vengono qui di seguito sintetizzate le caratteristiche litologiche peculiari di ciascuna delle unità litotecniche sopra definite.

- **UNITÀ LITOTECNICA FR**

Nel 2° Tratto sono state segnalate dall'IFFI (Inventario dei Fenomeni franosi in Italia – ISPRA) N° 3 eventi franosi, di cui una per scivolamento rotazionale/traslato, una per colamento lento ed un'area con franosità diffusa. Quella che ha un impatto più incisivo sul tracciato della strada in progetto è la frana per scivolamento rotazionale/traslato, le cui caratteristiche di spessore e di composizione litologica sono state definite dalle indagini geognostiche appositamente effettuate e riportate sia nella carta geologica che nei profili geologici. Dal Sondaggio S.10i, attrezzato con inclinometro, si ricava uno spessore massimo del materiale in frana pari a circa m 8,0.

- **UNITÀ LITOTECNICA DT**

Si rinvencono come terreni di copertura in gran parte dell'area in studio e rappresentano il prodotto dell'alterazione ed erosione operata dagli agenti meteorici sulla parte superficiale delle formazioni del substrato; risultano formati detriti vari, da sabbie e ghiaie con matrice limosa variabile; hanno spessore variabile sino ad un massimo stimato in circa m 10,0; si rinvencono solo in corrispondenza del 1° Tratto, ove ricoprono in parte l'unità litotecnica At (depositi terrazzati alluvionali).

- **UNITÀ LITOTECNICA AT**

Questa unità è presente solo nell'area del 1° Tratto verso l'abitato di Sarnano, ricoperta, nell'area in studio, dai depositi dell'unità litotecnica Dt (depositi eluvio-colluviali). E' costituita da ghiaie sabbie a granulometria medio-grossolana, con matrice limosa variabile. Viene intercettata dal tracciato della strada in progetto (tratto AP01) solo nel tratto tra le Sezioni N° 8 ÷ 21 essendo successivamente ricoperta dai terreni di copertura eluviali.

- **UNITÀ LITOTECNICA A1**

Rappresenta la parte più superficiale alterata e degradata della formazione LAG1c; è formata da sabbie gialle e nocciola (fascia di alterazione), sabbie a tratti addensate, localmente con cenni di stratificazione; tali sabbie sono state riscontrate nei Sondaggi S.6 ed S.7 con spessori massimi di circa 8 m; nella maggior parte dei casi si presentano come sabbie giallo grigiastre, a granulometria medio-grossolana, leggermente addensate, con livelli ossidati e frustoli vegetali; a tratti si notano segni di stratificazione ossidata.

- **UNITÀ LITOTECNICA A2**

Questa unità rappresenta ancora la fascia di alterazione della formazione, costituita da arenarie giallastre alterate, in alternanza con marne giallo-rossastre, con intercalati spessi strati di sabbia gialla a granulometria da medio-fina a grossolana, addensata, localmente con cenni di stratificazione; questa fascia di alterazione della formazione sottostante; è stata riscontrata nei sondaggi S.4 ed S.10i; viene descritta come arenaria a grana fina poco cementata.

- **UNITÀ LITOTECNICA A3**

È data dalla formazione più integra, formata da arenarie tenere giallo-grigie o giallastre alternate con marne grigie fratturate a tratti litoidi; in quasi tutti i sondaggi la formazione è stata rinvenuta con stratificazione molto inclinata (40°).

- **UNITÀ LITOTECNICA B1**

Analogamente all'unità A1 essa è data da sabbie gialle (fascia di alterazione) a tratti consistenti, localmente con cenni di stratificazione; sono state riscontrate nei Sondaggi S.1, S.3, S.8 ed S.9 con spessori massimi di circa 8 ÷ 9 m; nella maggior parte dei casi si presentano come sabbie addensate di colore beige o marrone scuro, consistenti o mediamente consistenti, con elementi di arenarie e locali cenni di stratificazione.

- **UNITÀ LITOTECNICA B2**

Costituisce ancora la fascia di alterazione meno spinta della precedente, formata da arenarie giallastre alterate, con alternanze di marne giallo-rossastre, con intercalati strati di sabbia gialla localmente con cenni di stratificazione; è stata riscontrata nei sondaggi S.1, S.3, S.8 ed S.9 e viene descritta come formazione molto alterata di colore giallastro, poco consistente.

- **UNITÀ LITOTECNICA B3**

Costituisce la formazione più integra, data da arenarie e marne, in alternanza irregolare; le arenarie di colore giallo-rossastre si alternano a marne a tratti litoidi; in quasi tutti i sondaggi la formazione è stata rinvenuta con stratificazione molto inclinata ( $45^{\circ}$ ÷ $60^{\circ}$ ).

Figura – Inquadramento geologico e ubicazione dell'opera OS4

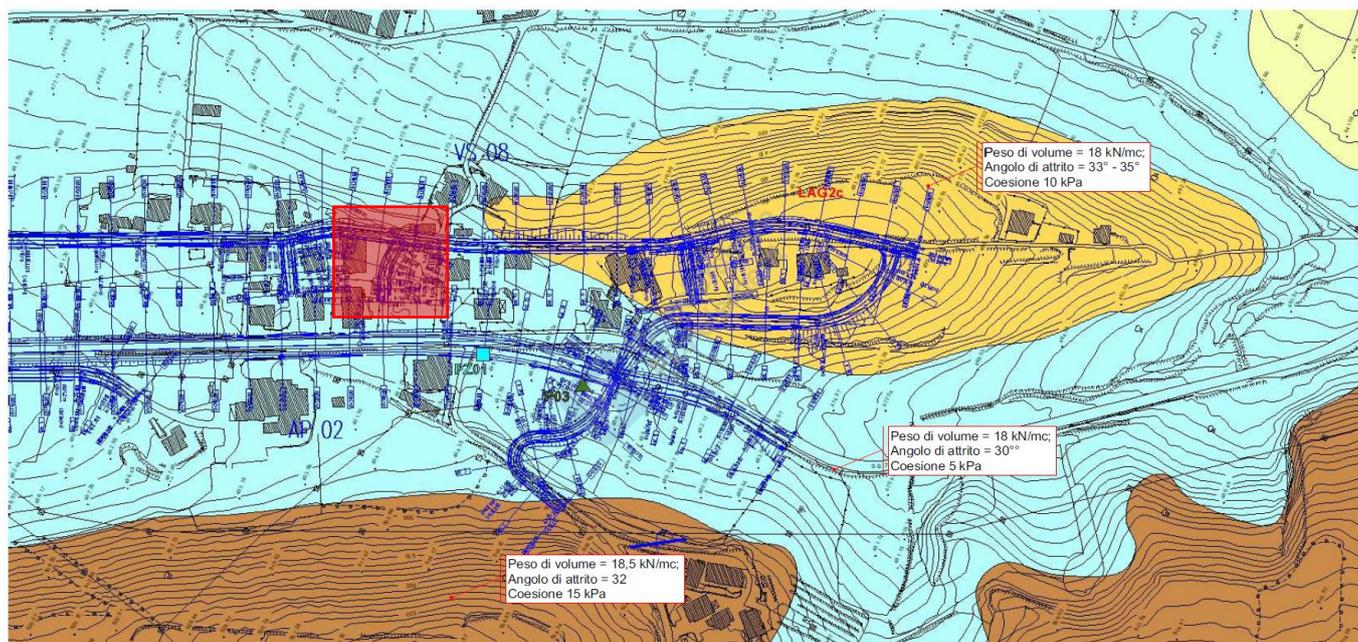
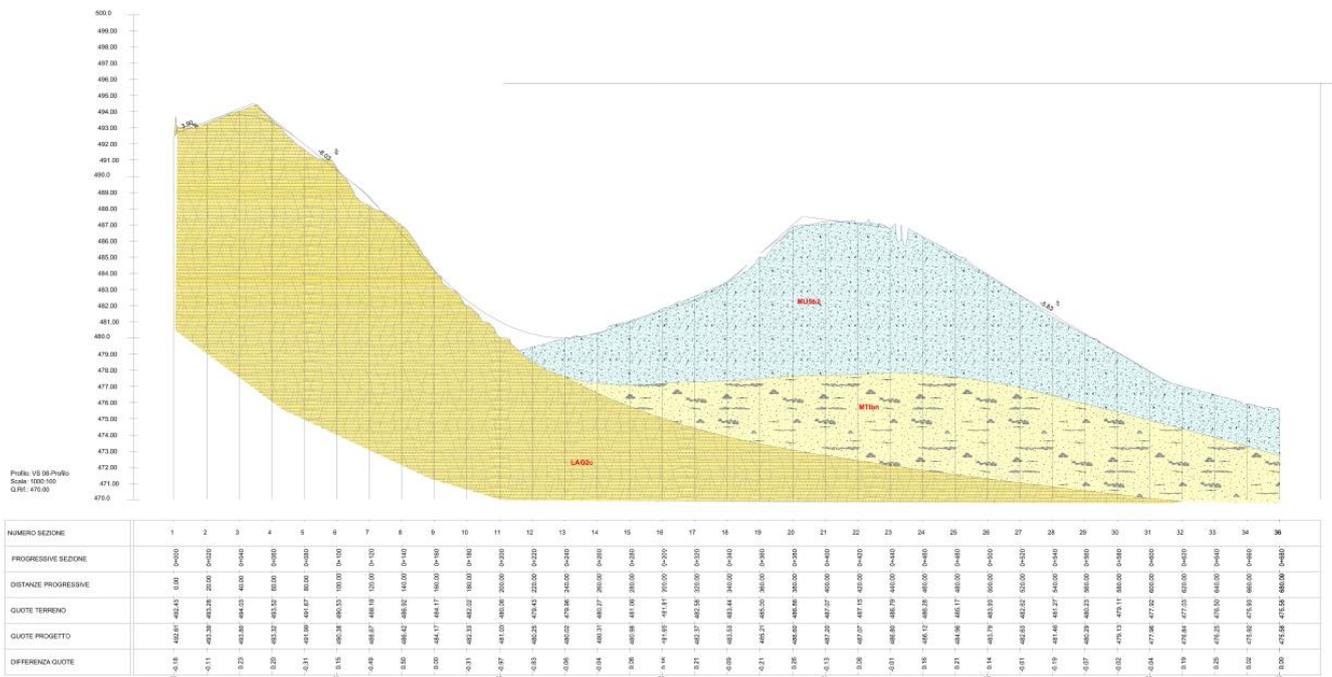


Figura – Profilo geologico (unità geologica di interesse MUSb2)



Sulla base di quanto riportato nella Relazione Geologica e nella Relazione Geotecnica allegate al presente Progetto Definitivo, considerando la formazione geologica MUSb2 nel sito di interesse costituita da depositi eluvio-colluviali, si definiscono i parametri geotecnici caratteristici con riferimento all'unità litotecniche Dt richiamata di seguito:

• **UNITÀ LITOTECNICA DT**

È costituita dai depositi eluvio-colluviali e dalle coperture detritiche, generalmente incoerenti o con poca coesione laddove è presente la matrice limosa; in base ai dati disponibili ed alle considerazioni su esposte si ritiene di poter affidare i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

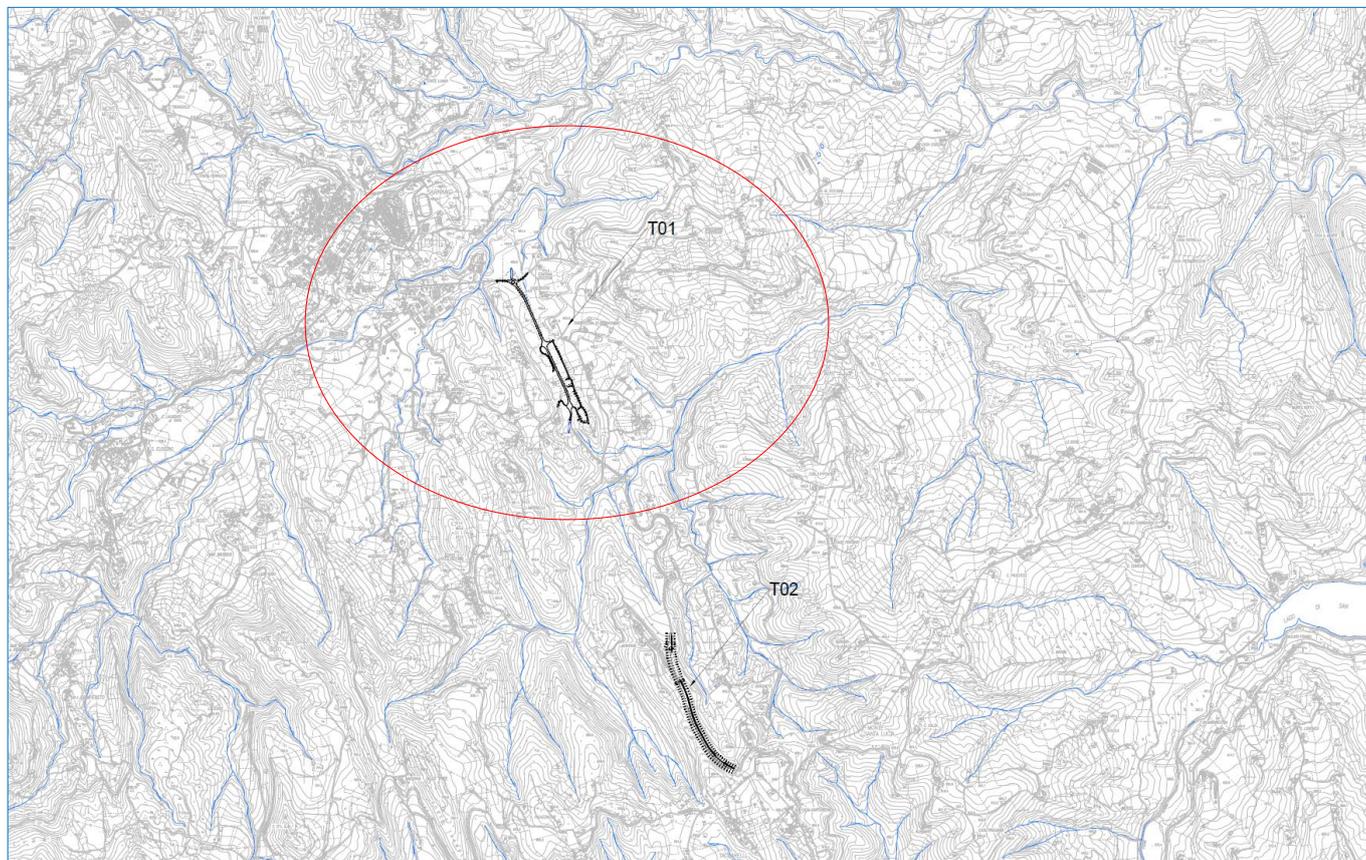
| UNITA' LITOTECNICA | PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI |       |                                    |     |                               |      |                                  |     |                                |     |                 |
|--------------------|-------------------------------------|-------|------------------------------------|-----|-------------------------------|------|----------------------------------|-----|--------------------------------|-----|-----------------|
|                    | Peso di volume                      |       | Parametri taglio (sforzi efficaci) |     |                               |      | Parametri taglio (sforzi totali) |     |                                |     | Modulo Elastico |
|                    | $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )       |       | Coesione C' (kPa)                  |     | Angolo di attrito $\phi'$ (°) |      | Coesione Cu (kPa)                |     | Angolo di attrito $\phi_u$ (°) |     | E (Mpa)         |
| Dt                 | Max                                 | Min   | Max                                | Min | Max                           | Min  | Max                              | Min | Max                            | Min | 8,0             |
| Dt                 | 18,00                               | 18,50 | 10,0                               | 0,0 | 30,0                          | 28,0 |                                  |     |                                |     |                 |

Per il terreno di fondazione e per il terreno a tergo del muro sono stati considerati i seguenti parametri geotecnici:

- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma_t = 18,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito interno  $\rightarrow \phi = 30^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c' = 5,00 \text{ kN/m}^2$

## 7 ZONIZZAZIONE E CARATTERIZZAZIONE SISMICA

L'area oggetto del presente intervento ricade all'interno del territorio del Comune di Sarnano in Provincia di Macerata.



## 7.1 IDENTIFICAZIONE DELLA LOCALITÀ E DEI PARAMETRI SISMICI GENERALI

L'opera è individuata dalle seguenti coordinate geografiche:

- Latitudine: 43,0247
- Longitudine: 13,1506

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

---

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

---

Elaborazioni

Tabella parametri

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

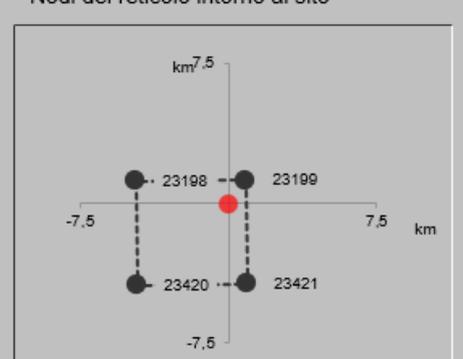
Interpolazione

superficie rigata



La "Ricerca per comune" utilizza le ... coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che ... all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

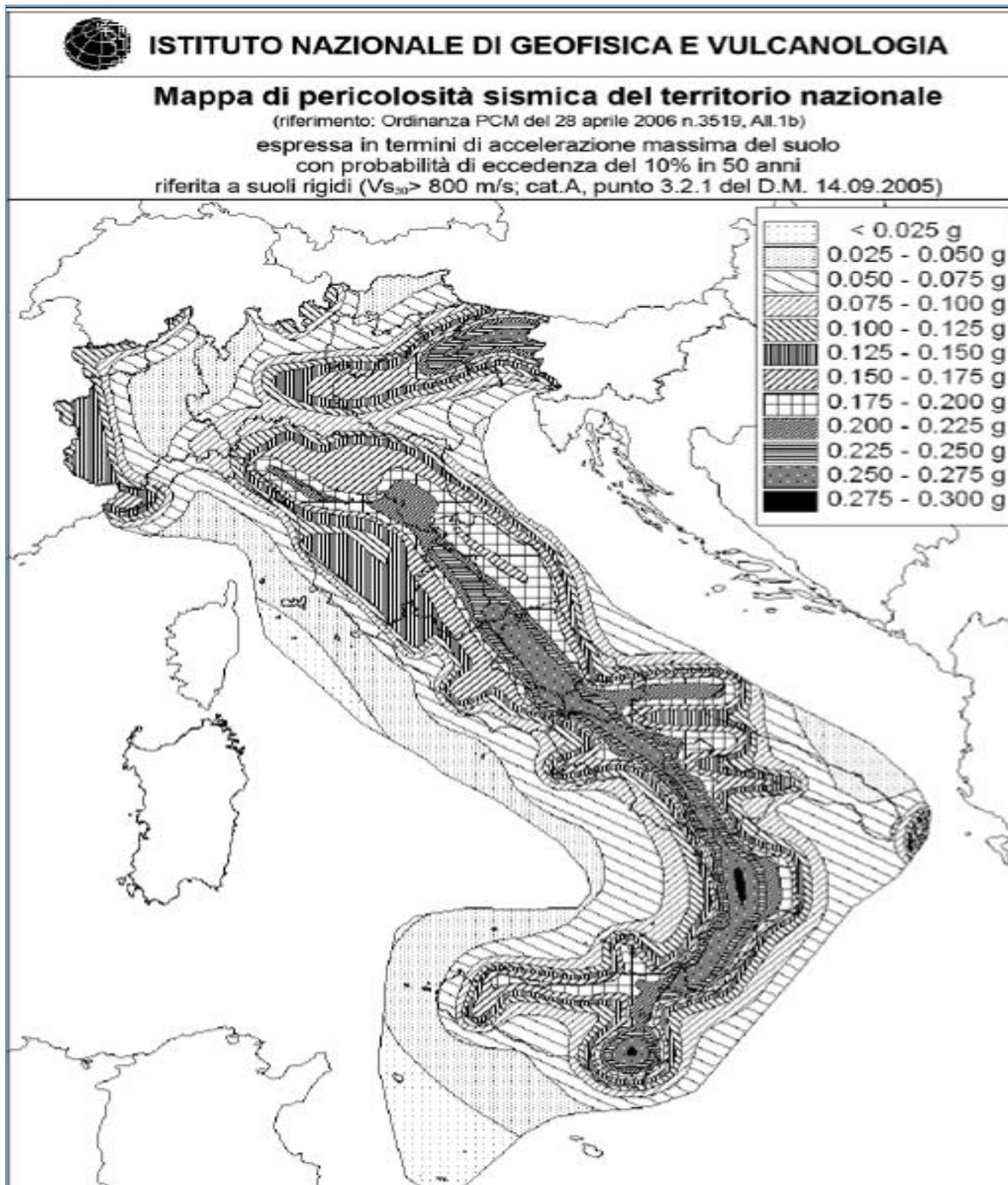
Nodi del reticolo intorno al sito



INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

## 7.2 PARAMETRI SISMICI DI PERICOLOSITÀ DI BASE

I parametri sismici della pericolosità di base del sito sono ricavati partendo dai dati della "Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale" aggiornata dal gruppo di lavoro dell'I.N.G.V. adottata con l'Ordinanza n. 3519 del 28/04/2006 del Presidente del Consiglio dei Ministri (la figura seguente rappresenta la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale).



Per dedurre secondo le NTC 2018 i parametri sismici di base dei vari siti dalla pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale, sono stati considerati per ogni zona di sbarramento i seguenti parametri:

- "Classe d'uso dell'edificio" IV (cui corrisponde un coefficiente d'uso  $C_U$  pari a 2,00);

|                    |   |
|--------------------|---|
| <i>Classe I:</i>   | Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.   |
| <i>Classe II:</i>  | 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.   |
| <i>Classe III:</i> | 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.   |
| <i>Classe IV:</i>  | 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. |

- $V_N$ : "vita nominale di progetto" (numero di anni in cui è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali ) pari a **50 anni**, valore definito dalla committenza, concorde con quanto definito nelle NTC 2018 per costruzioni esistenti con livelli di prestazioni ordinarie;
- $V_R$ : "periodo di riferimento" per l'azione sismica =  $V_N \cdot C_U = 100$  anni
- $P_{VR}$ : "probabilità di superamento" funzione dello stato limite considerato necessario al calcolo del tempo di ritorno  $T_R$ , come dalla seguente tabella tratta dalle NTC 2018:

**Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato**

| Stati Limite              |     | $P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$ |
|---------------------------|-----|--|
| Stati limite di esercizio | SLO | 81%  |
|                           | SLD | 63%  |
| Stati limite ultimi       | SLV | 10%  |
|                           | SLC | 5%   |

- $T_R$ : "tempo di ritorno" relativo ad ogni stato limite, funzione del periodo di riferimento e della probabilità di superamento secondo la seguente relazione tratta dalle NTC 2018:

## FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE {

|                       |                                  |
|-----------------------|----------------------------------|
| SLO - $P_{VR} = 81\%$ | <input type="text" value="60"/>  |
| SLD - $P_{VR} = 63\%$ | <input type="text" value="101"/> |

Stati limite ultimi - SLU {

|                       |                                   |
|-----------------------|-----------------------------------|
| SLV - $P_{VR} = 10\%$ | <input type="text" value="949"/>  |
| SLC - $P_{VR} = 5\%$  | <input type="text" value="1950"/> |

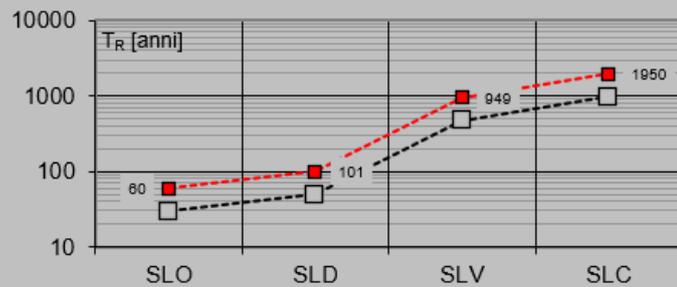
Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

---■--- Strategia scelta

INTRO

FASE 1

**FASE 2**

FASE 3

Questi ultimi parametri sono costanti per tutte le aree esaminate, in quanto dipendono solo dal tipo di opera e dalle relative prestazioni attese. Con questi dati sono poi stati calcolati, per ogni sito esaminato, i parametri di pericolosità sismica di base riferiti a sito rigido orizzontale che permettono di ottenere i coefficienti di risposta sismica locale:

- $a_g$  (o PGA: accelerazione orizzontale massima al sito) [g/10]
- $F_0$  (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) [n.p.]
- $T_c^*$  (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) [s]

Essi sono stati stimati per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascun stato limite da applicare per il sito in esame. I valori che seguono relativi alla pericolosità di base sono comuni a tutti i calcoli dei vari coefficienti sismici di risposta sismica locale

- Classe: IV
- Vita nominale : 50 anni

**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno**

| SLATO LIMITE | $T_R$ [anni] | $a_g$ [g] | $F_0$ [-] | $T_c^*$ [s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|-------------|
| SLO          | 60           | 0,093     | 2,424     | 0,289       |
| SLD          | 101          | 0,116     | 2,421     | 0,299       |
| SLV          | 949          | 0,269     | 2,475     | 0,340       |
| SLC          | 1950         | 0,339     | 2,494     | 0,351       |

### 7.3 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Sulla base di quanto riportato nelle NTC del 17.01.2018, ai fini della definizione della azione sismica di progetto si definiscono le seguenti categorie del suolo di fondazione:

| <b>CATEGORIE DI SOTTOSUOLO CHE PERMETTONO L'UTILIZZO DELL'APPROCCIO SEMPLIFICATO</b> |  |
|--|--|
| <b>Categoria</b>   | <b>Descrizione</b>   |
| <b>A</b>   | Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti, con spessore massimo pari a 3 m.   |
| <b>B</b>   | Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente VS,eq compresi tra 360 m/s e 800 m/s.  |
| <b>C</b>   | Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente VS,eq compresi tra 180 m/s e 360 m/s.       |
| <b>D</b>   | Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente VS,eq compresi tra 100 m/s e 180 m/s. |
| <b>E</b>   | Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente VS,eq riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.  |

Come da relazione geotecnica si è considerato un **suolo tipo B** per tutte le opere.

### 7.4 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Per quanto concerne le caratteristiche delle superficie topografica, il suolo presenta forti pendenze sul lato di monte e più pianeggiante sul lato di valle.

Le opere in esame ricadono in categoria **T1** come definita nella seguente tabella tratta dalle NTC 2018.

**Tab. 3.2.III – Categorie topografiche**

| <b>Categoria</b> | <b>Caratteristiche della superficie topografica</b>   |
|------------------|---|
| T1               | Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$                      |
| T2               | Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$  |
| T3               | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ |
| T4               | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$                  |

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

## 7.5 FATTORI DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA E TOPOGRAFICA

Questi coefficienti sono necessari alla valutazione dell'accelerazione orizzontale massima attesa al sito ( $a_{max}$ ), dei coefficienti sismici orizzontale e verticale ( $k_h$ ,  $k_v$ ) e dello spettro di risposta elastico in accelerazione per l'azione sismica calcolata con metodi pseudostatici.

### Amplificazione stratigrafica

Sulla base di quanto riportato nelle NTC del 17.01.2018, il coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$  ed il coefficiente  $C_c$  possono essere calcolati secondo le formule della seguente tabella.

**Tab. 3.2.IV – Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$**

| Categoria sottosuolo | $S_s$   | $C_c$                        |
|----------------------|---|------------------------------|
| A                    | 1,00  | 1,00                         |
| B                    | $1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$ | $1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$ |
| C                    | $1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$ | $1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$ |
| D                    | $0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$ | $1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$ |
| E                    | $1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$ | $1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$ |

$S_s$  e  $C_c$  possono essere calcolati, in funzione dei valori di  $F_o$  e  $T_C^*$  relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.IV, nelle quali  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  è l'accelerazione di gravità e  $T_C^*$  è espresso in secondi.

Per l'area in esame corrispondono valori del coefficiente  $C_c$  e di  $S_s$  di amplificazione stratigrafica variabili per ogni Stato Limite.

### Amplificazione topografica

Alla categoria T1 precedentemente definita per la zona studiata corrisponde un coefficiente di amplificazione topografica  $S_T=1,00$ . La tabella che segue è tratta dalle NTC 2018 e mostra la relazione tra categorie topografiche e relativo coefficiente

**Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$**

| Categoria topografica | Ubicazione dell'opera o dell'intervento   | $S_T$ |
|-----------------------|---|-------|
| T1                    | -   | 1,0   |
| T2                    | In corrispondenza della sommità del pendio  | 1,2   |
| T3                    | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30° | 1,2   |
| T4                    | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°       | 1,4   |

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o del rilievo, dalla sommità o dalla cresta, dove  $S_T$  assume il valore massimo riportato nella Tab. 3.2.V, fino alla base, dove  $S_T$  assume valore unitario.

## 7.6 FATTORE DI COMPORTAMENTO

A favore di sicurezza il calcolo e le verifiche sono stati effettuati in campo elastico.

Il fattore di comportamento è stato pertanto posto pari a  $q = 1,00$ .

## 7.7 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO PER LO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA

Di seguito è riportato lo spettro di risposta elastico per lo Stato Limite SLV

### FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

**Stato Limite**  
Stato Limite considerato SLV [info](#)

**Risposta sismica locale**  
 Categoria di sottosuolo B [info](#)       $S_S =$  1,134       $C_C =$  1,365 [info](#)  
 Categoria topografica T1 [info](#)       $h/H =$  0,000       $S_T =$  1,000 [info](#)  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

**Compon. orizzontale**  
 Spettro di progetto elastico (SLE)      Smorzamento  $\xi$  (%) 5       $\eta =$  1,000 [info](#)  
 Spettro di progetto inelastico (SLU)      Fattore  $q_o$  1      Regol. in altezza sì [info](#)

**Compon. verticale**  
 Spettro di progetto      Fattore  $q$  1       $\eta =$  1,000 [info](#)

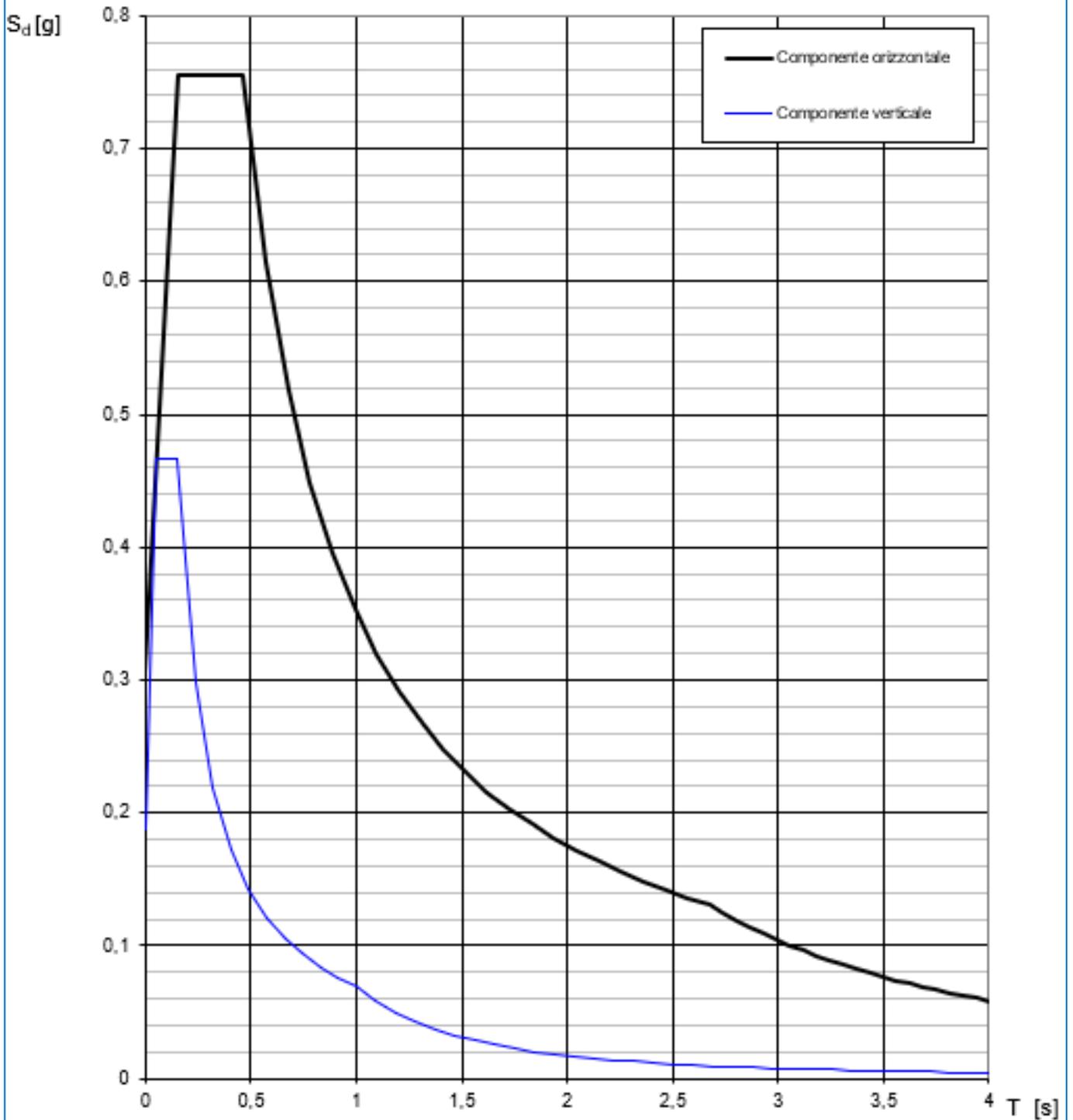
**Elaborazioni**  
 Grafici spettri di risposta [▶▶▶](#)  
 Parametri e punti spettri di risposta [▶▶▶](#)

**Spettri di risposta**

— Spettro di progetto - componente orizzontale  
— Spettro di progetto - componente verticale  
— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato li SLV**



## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato \$LV\$

### Parametri indipendenti

| STATO LIMITE | SLV     |
|--------------|---------|
| $a_g$        | 0,269 g |
| $F_o$        | 2,475   |
| $T_c$        | 0,340 s |
| $S_s$        | 1,134   |
| $C_c$        | 1,365   |
| $S_T$        | 1,000   |
| $q$          | 1,000   |

### Parametri dipendenti

|        |         |
|--------|---------|
| $S$    | 1,134   |
| $\eta$ | 1,000   |
| $T_B$  | 0,155 s |
| $T_C$  | 0,464 s |
| $T_D$  | 2,677 s |

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_c}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_c \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_c(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

|         | T [s] | Se [g] |
|---------|-------|--------|
|         | 0,000 | 0,305  |
| $T_B$ ← | 0,155 | 0,755  |
| $T_C$ ← | 0,464 | 0,755  |
|         | 0,570 | 0,615  |
|         | 0,675 | 0,519  |
|         | 0,780 | 0,449  |
|         | 0,886 | 0,396  |
|         | 0,991 | 0,354  |
|         | 1,096 | 0,320  |
|         | 1,202 | 0,292  |
|         | 1,307 | 0,268  |
|         | 1,412 | 0,248  |
|         | 1,518 | 0,231  |
|         | 1,623 | 0,216  |
|         | 1,728 | 0,203  |
|         | 1,834 | 0,191  |
|         | 1,939 | 0,181  |
|         | 2,045 | 0,171  |
|         | 2,150 | 0,163  |
|         | 2,255 | 0,155  |
|         | 2,361 | 0,148  |
|         | 2,466 | 0,142  |
|         | 2,571 | 0,136  |
| $T_D$ ← | 2,677 | 0,131  |
|         | 2,740 | 0,125  |
|         | 2,803 | 0,119  |
|         | 2,866 | 0,114  |
|         | 2,929 | 0,109  |
|         | 2,992 | 0,105  |
|         | 3,055 | 0,101  |
|         | 3,118 | 0,097  |
|         | 3,181 | 0,093  |
|         | 3,244 | 0,089  |
|         | 3,307 | 0,086  |
|         | 3,370 | 0,083  |
|         | 3,433 | 0,080  |
|         | 3,496 | 0,077  |
|         | 3,559 | 0,074  |
|         | 3,622 | 0,072  |
|         | 3,685 | 0,069  |
|         | 3,748 | 0,067  |
|         | 3,811 | 0,065  |
|         | 3,874 | 0,063  |
|         | 3,937 | 0,061  |
|         | 4,000 | 0,059  |

## 7.8 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO PER LO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA

Secondo quanto previsto dal D.M. 17.01.2018 - §7.11.6.2.1, i coefficienti sismici orizzontale e verticale per i muri di sostegno vengono determinati mediante le seguenti relazioni:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g}$$
$$k_v = \pm 0,50 \cdot k_h$$

dove:

- $\beta_m$  → coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito
- $a_{max}$  → accelerazione orizzontale massima attesa al sito
- $g$  → accelerazione di gravità

Il coefficiente  $\beta_m$  viene assunto pari a 0,38 per le verifiche allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita.

Nel caso in esame risulterà dunque:

- $k_h = 0,38 \cdot 0,305 = \mathbf{0,1159}$
- $k_v = \pm 0,50 \cdot 0,1159 = \pm \mathbf{0,058}$

## 8 ANALISI DEI CARICHI

### 8.1 PESO PROPRIO DELLE STRUTTURE IN CEMENTO ARMATO

Il peso per unità di volume delle strutture in cemento armato è assunto pari a  $\gamma_{ca} = 25,00 \text{ kN/m}^3$ .

### 8.2 PESO DEL TERRENO A TERGO DEL MURO

Il peso del terreno a tergo del muro è stato assunto pari  $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$ .

### 8.3 CARICHI ACCIDENTALI A TERGO DEL MURO

Il sovraccarico accidentale a tergo del muro si assume costituito da un carico uniformemente distribuito forfettario pari a  $10,00 \text{ kN/m}^2$ .

### 8.4 SPINTA DEI TERRENI A TERGO DELL'OPERA DI SOSTEGNO

La spinta del terreno sul paramento frontale del muro è stata calcolata mediante la seguente relazione:

$$S_t = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot k \cdot H^2$$

dove:

- $\gamma$  è il peso per unità di volume del terreno
- $k$  è il coefficiente di spinta del terreno
- $H$  è l'altezza complessiva dello strato di terreno

Il valore del coefficiente di spinta attiva del terreno viene determinato mediante la formulazione analitica di Coulomb:

$$k_a = \frac{\text{sen}^2(\beta + \varphi)}{\text{sen}^2 \beta \cdot \text{sen}(\beta - \delta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\varphi + \delta) \cdot \text{sen}(\varphi - \varepsilon)}{\text{sen}(\beta - \delta) \cdot \text{sen}(\beta + \varepsilon)}} \right]}$$

con:

- $\varphi$  = angolo di attrito interno
- $\beta$  = inclinazione del paramento di monte rispetto all'orizzontale  $\beta = 0^\circ$
- $\delta$  = angolo di attrito terra - muro
- $\varepsilon$  = inclinazione del terreno di monte rispetto all'orizzontale

Il punto di applicazione della spinta è posto a 1/3 dell'altezza del singolo strato di terreno.

## 8.5 SPINTA DEI SOVRACCARICHI A TERGO DELL'OPERA DI SOSTEGNO

La spinta attiva dovuta ai sovraccarichi viene valutata mediante la seguente relazione:

$$S_q = q \cdot k \cdot H$$

dove:

- $q$  è l'entità del sovraccarico agente

Sono stati considerati i seguenti sovraccarichi agenti:

- sovraccarichi accidentali  $\rightarrow q = 10,00 \text{ kN/m}^2$

Il valore del coefficiente di spinta attiva del terreno viene determinato mediante la formulazione analitica di Coulomb:

$$k_a = \frac{\text{sen}^2(\beta + \varphi)}{\text{sen}^2 \beta \cdot \text{sen}(\beta - \delta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\varphi + \delta) \cdot \text{sen}(\varphi - \varepsilon)}{\text{sen}(\beta - \delta) \cdot \text{sen}(\beta + \varepsilon)}} \right]}$$

con:

- $\varphi$  = angolo di attrito interno
- $\beta$  = inclinazione del paramento di monte rispetto all'orizzontale  $\beta = 0^\circ$
- $\delta$  = angolo di attrito terra - muro
- $\varepsilon$  = inclinazione del terreno di monte rispetto all'orizzontale

Il punto di applicazione della spinta è posto a 1/2 dell'altezza del singolo strato di terreno.

## 8.6 AZIONE SISMICA

### 8.6.1 SPINTA DINAMICA DEI TERRENI

Le sollecitazioni agenti sulla struttura, indotte dalla spinta dei terreni in fase sismica, vengono determinate attraverso un'analisi pseudo-statica (metodo di Mononobe - Okabe), secondo quanto riportato nel DM 17.01.2018 "Nuove norme tecniche per le costruzioni", paragrafo 7.11.6.

### 8.6.2 AZIONE INERZIALE DELLE MASSE

Le azioni inerziali, orizzontali e verticali, dovute alle accelerazioni subite in fase sismica dalle masse degli elementi strutturali e del terreno vengono valutate moltiplicando il peso degli elementi strutturali per i coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$ .

## 9 COMBINAZIONI DI CARICO

### 9.1 Combinazioni di carico allo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni quasi- permanenti

Per le combinazioni di carico statiche relative alla struttura in oggetto si è fatto riferimento a quanto riportato nel capitolo nel D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni", par. 2.5.3.

Sulla base di ciò sono state individuate le combinazioni di carico statiche quasi permanenti allo Stato Limite di Esercizio, ottenute tramite la relazione generale:

$$F_d = \sum G_{kj} + \sum (\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$$

dove:

- $G_{kj}$  rappresenta il valore caratteristico della j-esima azione permanente
- $Q_{ki}$  rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile
- $\psi_{2i}$  rappresentano i coefficienti di combinazione per tener conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i loro valori quasi permanenti

### 9.2 Combinazioni di carico allo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni frequenti

Per le combinazioni di carico statiche relative alla struttura in oggetto si è fatto riferimento a quanto riportato nel capitolo nel D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni", par. 2.5.3.

Sulla base di ciò sono state individuate le combinazioni di carico statiche frequenti allo Stato Limite di Esercizio, ottenute tramite la relazione generale:

$$F_d = \sum G_{kj} + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum (\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$$

dove:

- $G_{kj}$  rappresenta il valore caratteristico della j-esima azione permanente
- $Q_{k1}$  rappresenta il valore caratteristico dell'azione variabile di base in ogni combinazione
- $Q_{ki}$  rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile
- $\psi_{1i}$  rappresentano i coefficienti di combinazione per tener conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i loro valori frequenti

### 9.3 Combinazioni di carico allo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni caratteristiche

Per le combinazioni di carico statiche relative alla struttura in oggetto si è fatto riferimento a quanto riportato nel capitolo nel D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni", par. 2.5.3.

Sulla base di ciò sono state individuate le combinazioni di carico statiche caratteristiche allo Stato Limite di Esercizio, ottenute tramite la relazione generale:

$$F_d = \sum G_{kj} + Q_{k1} + \sum (\psi_{0i} \cdot Q_{ki})$$

dove:

- $G_{kj}$  rappresenta il valore caratteristico della j-esima azione permanente
- $Q_{k1}$  rappresenta il valore caratteristico dell'azione variabile di base in ogni combinazione
- $Q_{ki}$  rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile

- $\Psi_{0i}$  rappresentano i coefficienti di combinazione per tener conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i loro valori caratteristici

## 9.4 Combinazioni di carico allo Stato Limite Ultimo statiche

Per le combinazioni di carico statiche relative alla struttura in oggetto si è fatto riferimento a quanto riportato nel capitolo nel D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni", par. 2.5.3.

Sulla base di ciò sono state individuate le combinazioni di carico statiche allo Stato Limite Ultimo, ottenute tramite la relazione generale:

$$F_d = \sum_{j=1}^m (\gamma_{Gj} \cdot G_{kj}) + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\Psi_{0i} \cdot \gamma_{Qi} \cdot Q_{ki})$$

dove:

- $\gamma_G$  e  $\gamma_Q$  rappresentano i coefficienti parziali di amplificazione dei carichi
- $G_{kj}$  rappresenta il valore caratteristico della j-esima azione permanente
- $Q_{k1}$  rappresenta il valore caratteristico dell'azione variabile di base in ogni combinazione
- $Q_{ki}$  rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile
- $\Psi_{0i}$  rappresentano i coefficienti di combinazione per tener conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i loro valori caratteristici

## 9.5 Combinazione di carico sismiche

In fase sismica è stata ipotizzata un'unica combinazione di carico allo Stato Limite di Salvaguardia ottenuta tramite la relazione generale:

$$F_d = E + \sum G_{kj} + \sum (\Psi_{2i} \cdot Q_{ki})$$

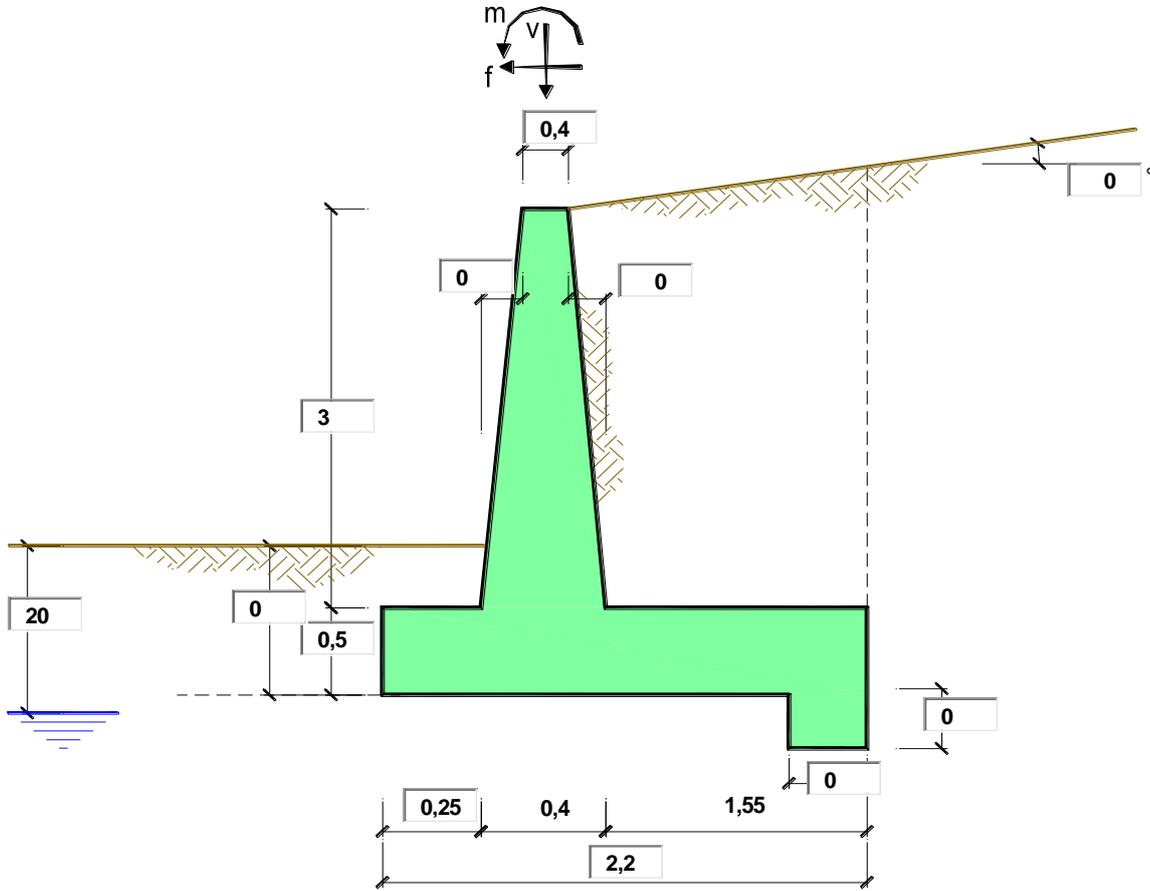
dove:

- E rappresenta il carico sismico
- $G_{kj}$  rappresenta il valore caratteristico della j-esima azione permanente
- $Q_{ki}$  rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile
- $\Psi_{2i}$  rappresentano i coefficienti di combinazione per tener conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i loro valori quasi permanenti

10 MURO OS4 -  $H_{MAX} = 3,50$  M

10.1 Condizioni ordinarie

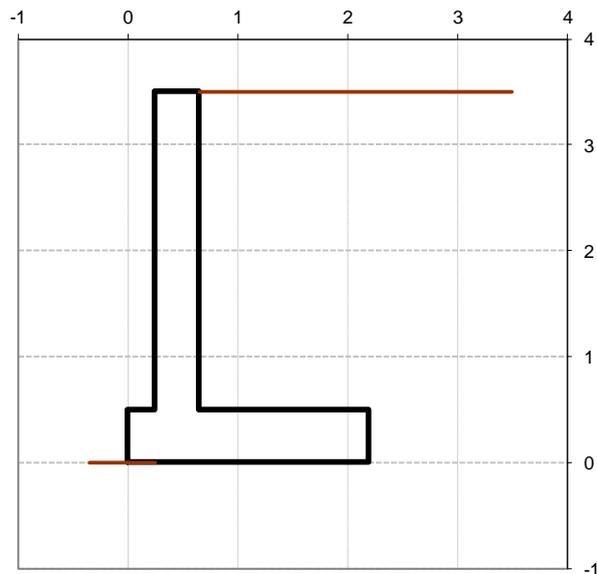
10.1.1 DATI DI INPUT



OPERA Esempio

Combinazioni coefficienti parziali di verifica

|       |             |         |                       |                                  |
|-------|-------------|---------|-----------------------|----------------------------------|
| SLU   | Approccio 1 | comb. 1 | A1+M1+R1<br>EQU+M2    | <input type="radio"/>            |
|       |             | comb. 2 | A2+M2+R2<br>EQU+M2    | <input type="radio"/>            |
|       | Approccio 2 |         | A1+M1+R3<br>EQU+M2    | <input checked="" type="radio"/> |
|       | SLE (DM88)  |         |                       | <input type="radio"/>            |
| altro |             |         | <input type="radio"/> |                                  |



Peso Specifico del Calcestruzzo  $\gamma_{cls} = 25,00$  (kN/m3)

| Carichi    | Effetto     | Coeff. Parziale | EQU  | A1 (STR) | A2 (GEO) | SLE  | altro |
|------------|-------------|-----------------|------|----------|----------|------|-------|
| Permanenti | favorevole  | $\gamma_G$      | 0,90 | 1,00     | 1,00     | 1,00 | 1,00  |
|            | sfavorevole |                 | 1,10 | 1,30     | 1,00     | 1,00 | 1,35  |
| Variabili  | favorevole  | $\gamma_Q$      | 0,00 | 0,00     | 0,00     | 0,00 | 0,00  |
|            | sfavorevole |                 | 1,50 | 1,50     | 1,30     | 1,00 | 1,50  |

| Parametro              | Coeff. Parziale | M1               | M2   | SLE  | altro |      |
|------------------------|-----------------|------------------|------|------|-------|------|
| angolo d'attrito       | $\tan \phi'_k$  | $\gamma_{\phi'}$ | 1,00 | 1,25 | 1,00  | 1,00 |
| coesione               | $c'_k$          | $\gamma_c$       | 1,00 | 1,25 | 1,00  | 1,00 |
| resistenza non drenata | $c_{uk}$        | $\gamma_{cu}$    | 1,00 | 1,40 | 1,00  | 1,00 |
| peso unità di volume   | $\gamma$        | $\gamma_r$       | 1,00 | 1,00 | 1,00  | 1,00 |

| Verifica                     | Coeff. Parziale | R1   | R2   | R3   | SLE  | altro |
|------------------------------|-----------------|------|------|------|------|-------|
| Capacità portante fondazione | $\gamma_R$      | 1,00 | 1,00 | 1,40 | 2,00 | 1,40  |
| Scorrimento                  |                 | 1,00 | 1,00 | 1,10 | 1,30 | 1,10  |
| Ribaltamento                 |                 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,50 | 1,15  |

|                         |  | valori caratteristici  |            | valori di progetto |       |       |
|-------------------------|--|--|------------|--------------------|-------|-------|
|                         |  | SLE  |            | STR/GEO            | EQU   |       |
| <b>Dati Geotecnici</b>  |  |  |            |                    |       |       |
| Dati Terrapieno         | Angolo di attrito del terrapieno                       | (°)  | $\phi'$    | 30,00              | 30,00 | 24,79 |
|                         | Peso Unità di Volume del terrapieno                    | (kN/m <sup>3</sup> )   | $\gamma'$  | 18,00              | 18,00 | 18,00 |
|                         | Angolo di attrito terreno-superficie ideale            | (°)  | $\delta$   | 20,00              | 20,00 | 16,53 |
| Dati Terreno Fondazione | Condizioni   | <input checked="" type="radio"/> drenate <input type="radio"/> Non Drenate |            |                    |       |       |
|                         | Coesione Terreno di Fondazione                         | (kPa)  | $c1'$      | 5,00               | 5,00  | 4,00  |
|                         | Angolo di attrito del Terreno di Fondazione            | (°)  | $\phi1'$   | 30,00              | 30,00 | 24,79 |
|                         | Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione         | (kN/m <sup>3</sup> )   | $\gamma1$  | 18,00              | 18,00 | 18,00 |
|                         | Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione     | (kN/m <sup>3</sup> )   | $\gamma d$ | 18,00              | 18,00 | 18,00 |
|                         | Profondità "Significativa" (n.b.: consigliata H = 2*B) | (m)  | Hs         | 4,40               |       |       |
|                         | Modulo di deformazione                                 | (kN/m <sup>2</sup> )   | E          | 8000               |       |       |

| Dati Sismici | Accelerazione sismica                                | $a_g/g$  | 0,269      | (-) |
|--------------|--|--|------------|-----|
|              | Coefficiente Amplificazione Stratigrafico            | $S_s$  | 1,134      | (-) |
|              | Coefficiente Amplificazione Topografico              | $S_T$  | 1          | (-) |
|              | Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima | $\beta_s$  | 0,38       | (-) |
|              | Coefficiente sismico orizzontale                     | kh   | 0,11591748 | (-) |
|              | Coefficiente sismico verticale                       | kv   | 0,0580     | (-) |
|              | Muro libero di traslare o ruotare                    | <input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no |            |     |

|                        |  | SLE  | STR/GEO | EQU   |       |
|------------------------|--|------|---------|-------|-------|
| Coefficienti di Spinta | Coeff. di Spinta Attiva Statico          | ka   | 0,297   | 0,297 | 0,364 |
|                        | Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma +  | kas+ | 0,373   | 0,373 | 0,449 |
|                        | Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma -  | kas- | 0,384   | 0,384 | 0,462 |
|                        | Coeff. Di Spinta Passiva                 | kp   | 3,000   | 3,000 | 2,444 |
|                        | Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma + | kps+ | 2,804   | 2,804 | 2,265 |
|                        | Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma - | kps- | 2,778   | 2,778 | 2,241 |

| <b>Carichi Agenti</b> |   |  |                      | <b>valori caratteristici</b>   |       | <b>valori di progetto</b> |            |
|-----------------------|---|--|----------------------|--------------------------------|-------|---------------------------|------------|
|                       |   |  |                      | <b>SLE - sisma</b>             |       | <b>STR/GEO</b>            | <b>EQU</b> |
| Carichi permanenti    | Sovraccarico permanente                                       | <input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no | (kN/m <sup>2</sup> ) | qp                             | 0,00  | 0,00                      | 0,00       |
|                       | Sovraccarico su zattera di monte                              |  |                      |                                |       |                           |            |
|                       | Forza Orizzontale in Testa permanente                         |  | (kN/m)               | fp                             | 0,00  | 0,00                      | 0,00       |
|                       | Forza Verticale in Testa permanente                           |  | (kN/m)               | vp                             | 0,00  | 0,00                      | 0,00       |
|                       | Momento in Testa permanente                                   |  | (kNm/m)              | mp                             | 0,00  | 0,00                      | 0,00       |
| Condizioni Statiche   | Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche               |  | (kN/m <sup>2</sup> ) | q                              | 10,00 | 15,00                     | 15,00      |
|                       | Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni statiche |  | (kN/m)               | f                              | 0,00  | 0,00                      | 0,00       |
|                       | Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni statiche   |  | (kN/m)               | v                              | 0,00  | 0,00                      | 0,00       |
|                       | Momento in Testa accidentale in condizioni statiche           |  | (kNm/m)              | m                              | 0,00  | 0,00                      | 0,00       |
|                       | Coefficienti di combinazione                                  | condizione frequente Ψ1                                      | 0,75                 | condizione quasi permanente Ψ2 | 0,00  |                           |            |
| Condizioni Sismiche   | Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche               |  | (kN/m <sup>2</sup> ) | qs                             | 0,00  |                           |            |
|                       | Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni sismiche |  | (kN/m)               | fs                             | 0,00  |                           |            |
|                       | Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni sismiche   |  | (kN/m)               | vs                             | 0,00  |                           |            |
|                       | Momento in Testa accidentale in condizioni sismiche           |  | (kNm/m)              | ms                             | 0,00  |                           |            |

**CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI**

**Calcestruzzo**

|  |                                     |       |  |
|--|-------------------------------------|-------|--|
| classe cls                                     | <input type="text" value="C35/45"/> |       |  |
| Rck  | 45                                  | (MPa) |  |
| fck  | 35                                  | (MPa) |  |
| fc <sub>m</sub>                                | 43                                  | (MPa) |  |
| E <sub>c</sub>                                 | 34077                               | (MPa) |  |
| α <sub>cc</sub>                                | 0,85                                |       |  |
| γ <sub>C</sub>                                 | 1,50                                |       |  |
| $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_C$ | 19,83                               | (MPa) |  |
| $f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3}$            | 3,21                                | (MPa) |  |

**Tensioni limite (tensioni ammissibili)**

condizioni statiche

|                |     |     |
|----------------|-----|-----|
| σ <sub>c</sub> | 11  | Mpa |
| σ <sub>t</sub> | 260 | Mpa |

condizioni sismiche

|                |     |     |
|----------------|-----|-----|
| σ <sub>c</sub> | 11  | Mpa |
| σ <sub>t</sub> | 260 | Mpa |

**Valore limite di apertura delle fessure**

|                  |                                 |     |    |
|------------------|---------------------------------|-----|----|
| Frequente        | <input type="text" value="w2"/> | 0,3 | mm |
| Quasi Permanente | <input type="text" value="w1"/> | 0,2 | mm |

**Acciaio**

|  |                                    |        |       |
|--|------------------------------------|--------|-------|
| tipo di acciaio                                    | <input type="text" value="B450C"/> |        |       |
| f <sub>yk</sub>                                    | =                                  | 450    | (MPa) |
| γ <sub>S</sub>                                     | =                                  | 1,15   |       |
| f <sub>yd</sub> = f <sub>yk</sub> / γ <sub>S</sub> | =                                  | 391,30 | (MPa) |
| E <sub>s</sub>                                     | =                                  | 210000 | (MPa) |
| ε <sub>ys</sub>                                    | =                                  | 0,19%  |       |

coefficiente omogeneizzazione acciaio n = 15

**Copriferro** (distanza asse armatura-bordo)

c = 6,00 (cm)

**Copriferro minimo di normativa** (ricoprimento armatura)

c<sub>min</sub> = 4,00 (cm)

**Interfero tra I e II strato**

i<sub>I-II</sub> = 4,00 (cm)

## 10.1.2 VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI LIMITAZIONE DELLE TENSIONI

### VERIFICHE TENSIONE

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

##### Reazione del terreno

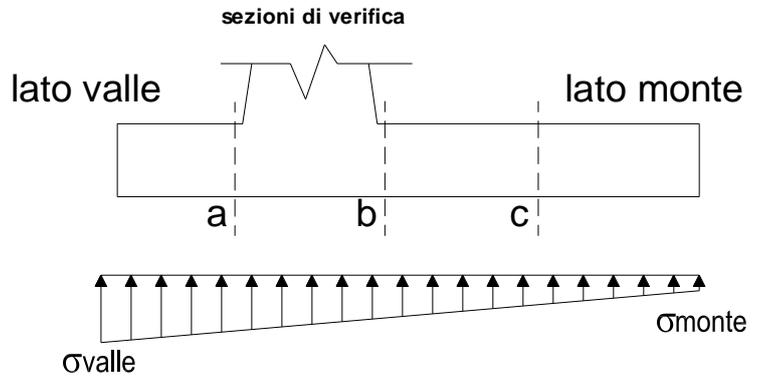
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 2,20 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 0,81 \quad (m^3)$$

| caso    | N<br>[kN] | M<br>[kNm] | $\sigma_{valle}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_{monte}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
|---------|-----------|------------|--|--|
| statico | 155,97    | 31,06      | 109,39                                   | 32,40                                    |
|         | 171,47    | 26,02      | 110,20                                   | 45,69                                    |
| sisma+  | 164,28    | 50,37      | 137,11                                   | 12,23                                    |
|         | 164,28    | 50,37      | 137,11                                   | 12,23                                    |
| sisma-  | 146,66    | 48,64      | 126,96                                   | 6,37                                     |
|         | 146,66    | 48,64      | 126,96                                   | 6,37                                     |

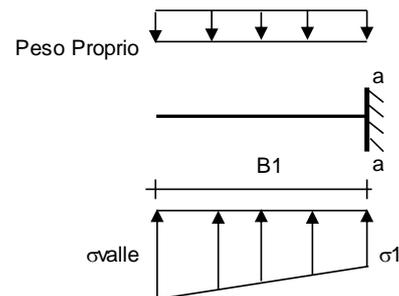


#### Mensola Lato Valle

$$\text{Peso Proprio.} \quad PP = 12,50 \quad (kN/m)$$

$$Ma = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

| caso    | $\sigma_{valle}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_1$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | Ma<br>[kNm] |
|---------|--|------------------------------------|-------------|
| statico | 109,39                                   | 100,64                             | 2,94        |
|         | 110,20                                   | 102,86                             | 2,98        |
| sisma+  | 137,11                                   | 122,92                             | 3,72        |
|         | 137,11                                   | 122,92                             | 3,72        |
| sisma-  | 126,96                                   | 113,25                             | 3,46        |
|         | 126,96                                   | 113,25                             | 3,46        |



#### Mensola Lato Monte

$$PP = 12,50 \quad (kN/m^2) \quad \text{peso proprio soletta fondazione}$$

$$PD = 0,00 \quad (kN/m) \quad \text{peso proprio dente}$$

$$pm = 54,00 \quad (kN/m^2) \quad \text{Nmin N max stat N max sism}$$

$$pvb = 54,00 \quad (kN/m^2)$$

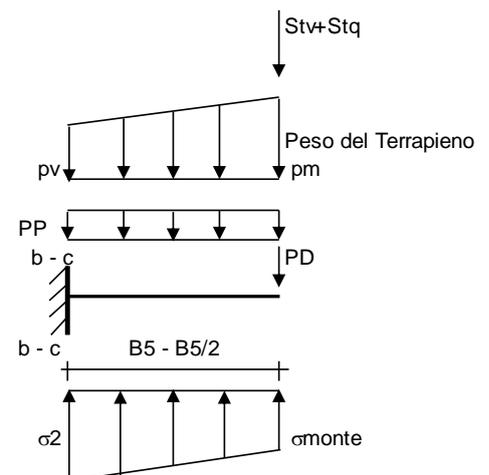
$$pvc = 54,00 \quad (kN/m^2)$$

$$Mb = (\sigma_{monte} - (pvb + PP)) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (pm - pvb) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 +$$

$$-(Stv + Sqv) \cdot B^2 - PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B^2 - Bd^2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2/2) + Msp + Sp \cdot H2/2$$

$$Mc = (\sigma_{monte} - (pvc + PP)) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B5/2)^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B5/2)^2 / 6 - (pm - pvc) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B5/2)^2 / 3 +$$

$$-(Stv + Sqv) \cdot (B5/2) - PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B5/2 - Bd/2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2/2) + Msp + Sp \cdot H2/2$$



| caso    | $\sigma_{monte}$     | $\sigma_{2b}$        | $M_b$  | $\sigma_{2c}$        | $M_c$  |
|---------|----------------------|----------------------|--------|----------------------|--------|
|         | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kNm]  | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kNm]  |
| statico | 32,40                | 86,65                | -42,14 | 59,52                | -18,97 |
|         | 45,69                | 91,14                | -41,71 | 68,41                | -18,43 |
| sisma+  | 12,23                | 100,22               | -57,68 | 56,22                | -24,59 |
|         | 12,23                | 100,22               | -57,68 | 56,22                | -24,59 |
| sisma-  | 6,37                 | 91,33                | -54,73 | 48,85                | -23,22 |
|         | 6,37                 | 91,33                | -54,73 | 48,85                | -23,22 |

**CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO**

**Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo**

$$M_{t \text{ stat}} = \frac{1}{2} K_{a \text{ orizz.}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/3$$

$$M_{t \text{ sism}} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (K_{a \text{ orizz.}} \cdot (1 \pm kv) - K_{a \text{ orizz.}}) \cdot h^2 \cdot h/2 \quad \text{o} \cdot h/3$$

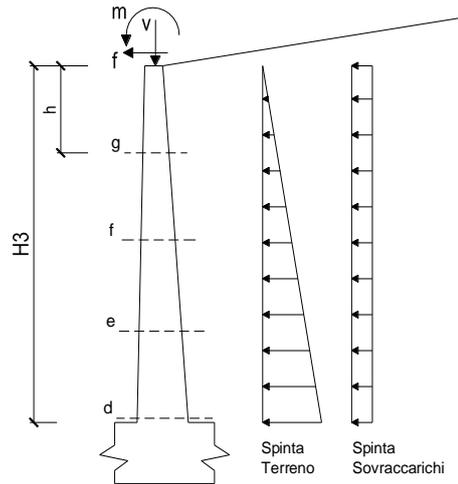
$$M_q = \frac{1}{2} K_{a \text{ orizz.}} \cdot q \cdot h^2$$

$$M_{\text{ext}} = m + f \cdot h$$

$$M_{\text{inerzia}} = \sum P m_i \cdot b_i \cdot kh \quad (\text{solo con sisma})$$

$$N_{\text{ext}} = v$$

$$N_{\text{pp+inerzia}} = \sum P m_i \cdot (1 \pm kv)$$



**condizione statica**

| sezione | h    | Mt      | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]          | [kN/m]           |
| d-d     | 3,00 | 22,63   | 12,57   | 0,00             | 35,20            | 0,00             | 30,00           | 30,00            |
| e-e     | 2,25 | 9,55    | 7,07    | 0,00             | 16,62            | 0,00             | 22,50           | 22,50            |
| f-f     | 1,50 | 2,83    | 3,14    | 0,00             | 5,97             | 0,00             | 15,00           | 15,00            |
| g-g     | 0,75 | 0,35    | 0,79    | 0,00             | 1,14             | 0,00             | 7,50            | 7,50             |

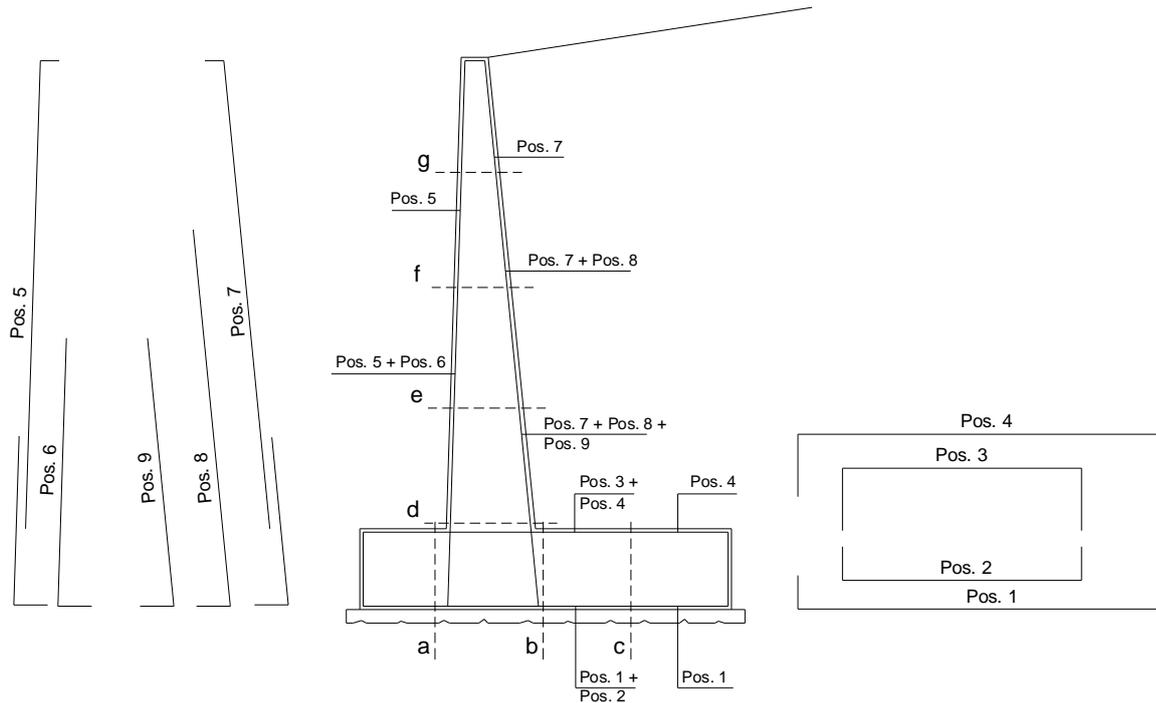
**condizione sismica +**

| sezione | h    | Mt stat | Mt sism | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>inerzia</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp+inerzia</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|---------|------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]              | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]                  | [kN/m]           |
| d-d     | 3,00 | 22,63   | 7,91    | 0,00    | 0,00             | 5,22                 | 35,76            | 0,00             | 31,74                   | 31,74            |
| e-e     | 2,25 | 9,55    | 3,34    | 0,00    | 0,00             | 2,93                 | 15,82            | 0,00             | 23,80                   | 23,80            |
| f-f     | 1,50 | 2,83    | 0,99    | 0,00    | 0,00             | 1,30                 | 5,12             | 0,00             | 15,87                   | 15,87            |
| g-g     | 0,75 | 0,35    | 0,12    | 0,00    | 0,00             | 0,33                 | 0,80             | 0,00             | 7,93                    | 7,93             |

**condizione sismica -**

| sezione | h    | Mt stat | Mt sism | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>inerzia</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp+inerzia</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|---------|------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]              | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]                  | [kN/m]           |
| d-d     | 3,00 | 22,63   | 5,24    | 0,00    | 0,00             | 5,22                 | 33,08            | 0,00             | 28,26                   | 28,26            |
| e-e     | 2,25 | 9,55    | 2,21    | 0,00    | 0,00             | 2,93                 | 14,69            | 0,00             | 21,20                   | 21,20            |
| f-f     | 1,50 | 2,83    | 0,65    | 0,00    | 0,00             | 1,30                 | 4,79             | 0,00             | 14,13                   | 14,13            |
| g-g     | 0,75 | 0,35    | 0,08    | 0,00    | 0,00             | 0,33                 | 0,76             | 0,00             | 7,07                    | 7,07             |

**SCHEMA DELLE ARMATURE**

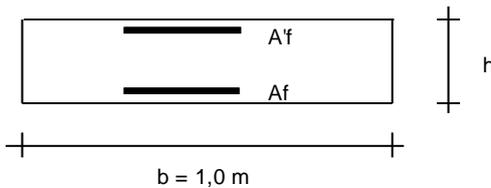


**ARMATURE**

| pos | n°/ml | φ  | II strato                | pos | n°/ml | φ  | II strato                |
|-----|-------|----|--------------------------|-----|-------|----|--------------------------|
| 1   | 5,0   | 16 | <input type="checkbox"/> | 5   | 5,0   | 16 | <input type="checkbox"/> |
| 2   | 0,0   | 0  | <input type="checkbox"/> | 6   | 0,0   | 0  | <input type="checkbox"/> |
| 3   | 0,0   | 0  | <input type="checkbox"/> | 7   | 5,0   | 16 | <input type="checkbox"/> |
| 4   | 5,0   | 16 | <input type="checkbox"/> | 8   | 0,0   | 0  | <input type="checkbox"/> |
|     |       |    |                          | 9   | 0,0   | 0  | <input type="checkbox"/> |

Calcola

**VERIFICHE**



- a-a pos 1-2-3-4
- b-b pos 1-2-3-4
- c-c pos 1-4
- d-d pos 5-6-7-8-9
- e-e pos 5-6-7-8-9
- f-f pos 5-7-8
- g-g pos 5-7

**Condizione Statica**

| Sez.  | M      | N     | h    | A <sub>f</sub>     | A <sub>f</sub> '   | σ <sub>c</sub>       | σ <sub>f</sub>       |
|-------|--------|-------|------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| (-)   | (kNm)  | (kN)  | (m)  | (cm <sup>2</sup> ) | (cm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) |
| a - a | 2,98   | 0,00  | 0,50 | 10,05              | 10,05              | 0,14                 | 7,31                 |
| b - b | -42,14 | 0,00  | 0,50 | 10,05              | 10,05              | 1,93                 | 103,51               |
| c - c | -18,97 | 0,00  | 0,50 | 10,05              | 10,05              | 0,87                 | 46,61                |
| d - d | 35,20  | 30,00 | 0,40 | 10,05              | 10,05              | 2,48                 | 98,28                |
| e - e | 16,62  | 22,50 | 0,40 | 10,05              | 10,05              | 1,17                 | 42,31                |
| f - f | 5,97   | 15,00 | 0,40 | 10,05              | 10,05              | 0,41                 | 11,94                |
| g - g | 1,14   | 7,50  | 0,40 | 10,05              | 10,05              | 0,07                 | 0,61                 |

**Condizione Sismica**

| Sez.  | M      | N     | h    | A <sub>f</sub>     | A' <sub>f</sub>    | σ <sub>c</sub>       | σ <sub>f</sub>       |
|-------|--------|-------|------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| (-)   | (kNm)  | (kN)  | (m)  | (cm <sup>2</sup> ) | (cm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) |
| a - a | 3,72   | 0,00  | 0,50 | 10,05              | 10,05              | 0,17                 | 9,15                 |
| b - b | -57,68 | 0,00  | 0,50 | 10,05              | 10,05              | 2,65                 | 141,67               |
| c - c | -24,59 | 0,00  | 0,50 | 10,05              | 10,05              | 1,13                 | 60,41                |
| d - d | 35,76  | 28,26 | 0,40 | 10,05              | 10,05              | 2,52                 | 100,93               |
| e - e | 15,82  | 21,20 | 0,40 | 10,05              | 10,05              | 1,11                 | 40,39                |
| f - f | 5,12   | 14,13 | 0,40 | 10,05              | 10,05              | 0,35                 | 9,67                 |
| g - g | 0,80   | 7,07  | 0,40 | 10,05              | 10,05              | 0,05                 | 0,14                 |

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

### 10.1.3 VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI FESSURAZIONE

#### VERIFICA A FESSURAZIONE

##### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

###### Reazione del terreno

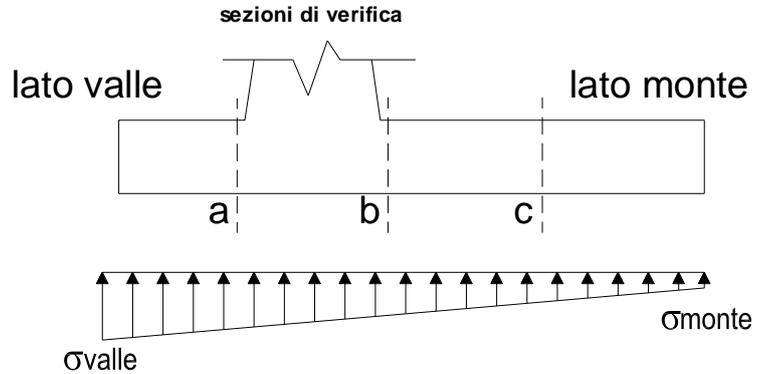
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 2,20 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 0,81 \quad (m^3)$$

| caso  | N<br>[kN] | M<br>[kNm] | $\sigma_{valle}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_{monte}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
|-------|-----------|------------|--|--|
| Freq. | 155,08    | 25,80      | 102,47                                   | 38,51                                    |
|       | 166,71    | 22,02      | 103,07                                   | 48,48                                    |
| Q.P.  | 152,41    | 15,90      | 88,99                                    | 49,57                                    |
|       | 152,41    | 15,90      | 88,99                                    | 49,57                                    |

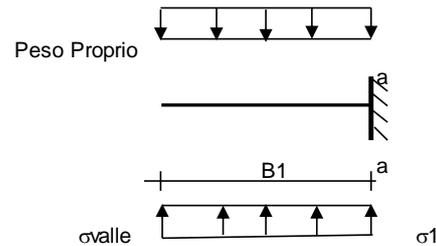


##### Mensola Lato Valle

$$\text{Peso Proprio.} \quad PP = 12,50 \quad (kN/m)$$

$$Ma = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

| caso  | $\sigma_{valle}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_1$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | Ma<br>[kNm] |
|-------|--|------------------------------------|-------------|
| Freq. | 102,47                                   | 95,20                              | 2,74        |
|       | 103,07                                   | 96,87                              | 2,77        |
| Q.P.  | 88,99                                    | 84,51                              | 2,34        |
|       | 88,99                                    | 84,51                              | 2,34        |



##### Mensola Lato Monte

$$PP = 12,50 \quad (kN/m^2) \quad \text{peso proprio soletta fondazione}$$

$$PD = 0,00 \quad (kN/m) \quad \text{peso proprio dente}$$

|     | Nmin  | N max Freq | N max QP |                      |
|-----|-------|------------|----------|----------------------|
| pm  | 54,00 | 61,50      | 54,00    | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| pvb | 54,00 | 61,50      | 54,00    | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| pvc | 54,00 | 61,50      | 54,00    | (kN/m <sup>2</sup> ) |

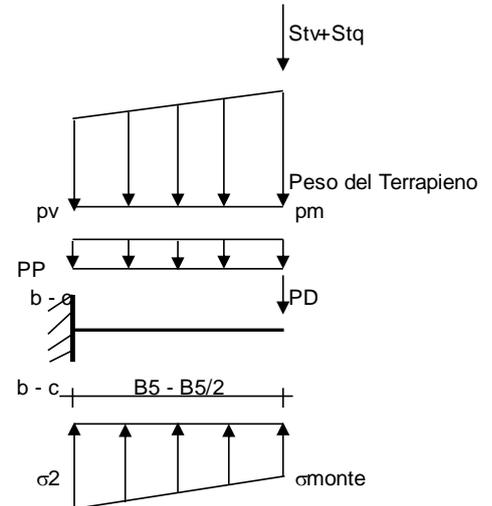
$$Mb = (\sigma_{monte} - (pvb + PP)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{2b} - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (pm - pvb) \cdot B^2 / 3 +$$

$$-(Stv + Sqv) \cdot B^2 - PD \cdot (B^2 - Bd / 2) + Msp + Sp \cdot H^2 / 2$$

$$Mc = (\sigma_{monte} - (pvc + PP)) \cdot (B5/2)^2 / 2 + (\sigma_{2c} - \sigma_{monte}) \cdot (B5/2)^2 / 6 - (pm - pvc) \cdot (B5/2)^2 / 3 +$$

$$-(Stv + Sqv) \cdot (B5/2) - PD \cdot (B5/2 - Bd/2) + Msp + Sp \cdot H^2 / 2$$

| caso  | $\sigma_{monte}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_{2b}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | Mb<br>[kNm] | $\sigma_{2c}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | Mc<br>[kNm] |
|-------|--|---------------------------------------|-------------|---------------------------------------|-------------|
| Freq. | 38,51                                    | 83,57                                 | -37,09      | 61,04                                 | -16,91      |
|       | 48,48                                    | 86,94                                 | -36,77      | 67,71                                 | -16,50      |
| Q.P.  | 49,57                                    | 77,34                                 | -26,60      | 63,45                                 | -12,38      |
|       | 49,57                                    | 77,34                                 | -26,60      | 63,45                                 | -12,38      |



**CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO**

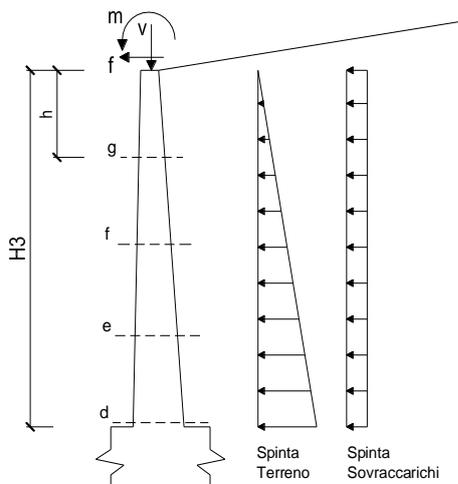
**Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo**

$$M_t = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot h/3$$

$$M_q = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot q \cdot h^2$$

$$M_{ext} = m + f \cdot h$$

$$N_{ext} = v$$



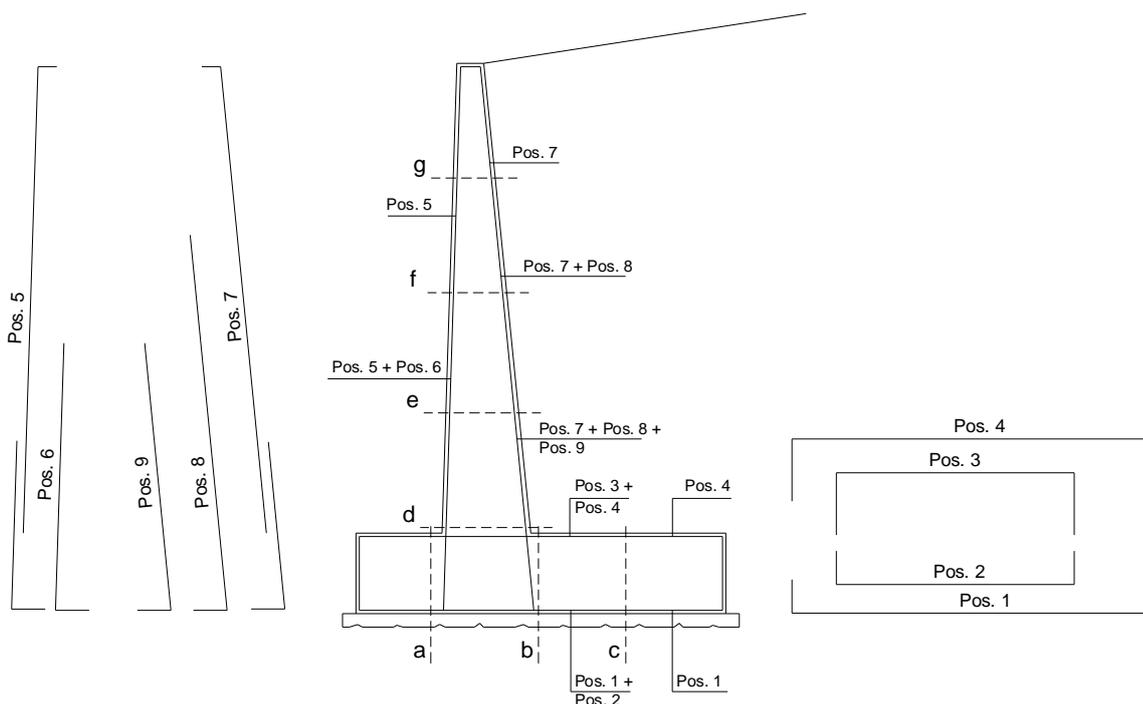
**condizione Frequente**

| sezione | h<br>[m] | Mt<br>[kNm/m] | Mq<br>[kNm/m] | M <sub>ext</sub><br>[kNm/m] | M <sub>tot</sub><br>[kNm/m] | N <sub>ext</sub><br>[kN/m] | N <sub>pp</sub><br>[kN/m] | N <sub>tot</sub><br>[kN/m] |
|---------|----------|---------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| d-d     | 3,00     | 22,63         | 9,43          | 0,00                        | 32,06                       | 0,00                       | 30,00                     | 30,00                      |
| e-e     | 2,25     | 9,55          | 5,30          | 0,00                        | 14,85                       | 0,00                       | 22,50                     | 22,50                      |
| f-f     | 1,50     | 2,83          | 2,36          | 0,00                        | 5,19                        | 0,00                       | 15,00                     | 15,00                      |
| g-g     | 0,75     | 0,35          | 0,59          | 0,00                        | 0,94                        | 0,00                       | 7,50                      | 7,50                       |

**condizione Quasi Permanente**

| sezione | h<br>[m] | Mt<br>[kNm/m] | Mq<br>[kNm/m] | M <sub>ext</sub><br>[kNm/m] | M <sub>tot</sub><br>[kNm/m] | N <sub>ext</sub><br>[kN/m] | N <sub>pp</sub><br>[kN/m] | N <sub>tot</sub><br>[kN/m] |
|---------|----------|---------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| d-d     | 3,00     | 22,63         | 0,00          | 0,00                        | 22,63                       | 0,00                       | 30,00                     | 30,00                      |
| e-e     | 2,25     | 9,55          | 0,00          | 0,00                        | 9,55                        | 0,00                       | 22,50                     | 22,50                      |
| f-f     | 1,50     | 2,83          | 0,00          | 0,00                        | 2,83                        | 0,00                       | 15,00                     | 15,00                      |
| g-g     | 0,75     | 0,35          | 0,00          | 0,00                        | 0,35                        | 0,00                       | 7,50                      | 7,50                       |

**SCHEMA DELLE ARMATURE**

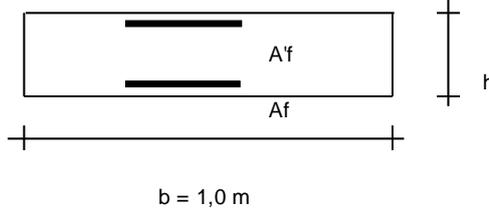


**ARMATURE**

| pos | n°/ml | φ  | II strato                | pos | n°/ml | φ  | II strato                |
|-----|-------|----|--------------------------|-----|-------|----|--------------------------|
| 1   | 5,0   | 16 | <input type="checkbox"/> | 5   | 5,0   | 16 | <input type="checkbox"/> |
| 2   | 0,0   | 0  | <input type="checkbox"/> | 6   | 0,0   | 0  | <input type="checkbox"/> |
| 3   | 0,0   | 0  | <input type="checkbox"/> | 7   | 5,0   | 16 | <input type="checkbox"/> |
| 4   | 5,0   | 16 | <input type="checkbox"/> | 8   | 0,0   | 0  | <input type="checkbox"/> |
|     |       |    |                          | 9   | 0,0   | 0  | <input type="checkbox"/> |

Calcola

**VERIFICHE**



- a-a pos 1-2-3-4
- b-b pos 1-2-3-4
- c-c pos 1-4
- d-d pos 5-6-7-8-9
- e-e pos 5-6-7-8-9
- f-f pos 5-7-8
- g-g pos 5-7

**condizione Frequente**

| Sez.  | M      | N     | h    | Af                 | A'f                | σc                   | σf                   | wk    | w <sub>amm</sub> |
|-------|--------|-------|------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|-------|------------------|
| (-)   | (kNm)  | (kN)  | (m)  | (cm <sup>2</sup> ) | (cm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (mm)  | (mm)             |
| a - a | 2,77   | 0,00  | 0,50 | 10,05              | 10,05              | 0,13                 | 6,79                 | 0,010 | 0,300            |
| b - b | -37,09 | 0,00  | 0,50 | 10,05              | 10,05              | 1,70                 | 91,12                | 0,141 | 0,300            |
| c - c | -16,91 | 0,00  | 0,50 | 10,05              | 10,05              | 0,78                 | 41,53                | 0,064 | 0,300            |
| d - d | 32,06  | 30,00 | 0,40 | 10,05              | 10,05              | 2,26                 | 88,18                | 0,114 | 0,300            |
| e - e | 14,85  | 22,50 | 0,40 | 10,05              | 10,05              | 1,04                 | 36,66                | 0,047 | 0,300            |
| f - f | 5,19   | 15,00 | 0,40 | 10,05              | 10,05              | 0,36                 | 9,48                 | 0,012 | 0,300            |
| g - g | 0,94   | 7,50  | 0,40 | 10,05              | 10,05              | 0,06                 | 0,27                 | 0,000 | 0,300            |

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

**condizione Quasi Permanente**

| Sez.  | M      | N     | h    | Af                 | A'f                | σc                   | σf                   | wk    | w <sub>amm</sub> |
|-------|--------|-------|------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|-------|------------------|
| (-)   | (kNm)  | (kN)  | (m)  | (cm <sup>2</sup> ) | (cm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (mm)  | (mm)             |
| a - a | 2,34   | 0,00  | 0,50 | 10,05              | 10,05              | 0,11                 | 5,76                 | 0,009 | 0,200            |
| b - b | -26,60 | 0,00  | 0,50 | 10,05              | 10,05              | 1,22                 | 65,33                | 0,101 | 0,200            |
| c - c | -12,38 | 0,00  | 0,50 | 10,05              | 10,05              | 0,57                 | 30,42                | 0,047 | 0,200            |
| d - d | 22,63  | 30,00 | 0,40 | 10,05              | 10,05              | 1,59                 | 57,93                | 0,074 | 0,200            |
| e - e | 9,55   | 22,50 | 0,40 | 10,05              | 10,05              | 0,66                 | 19,77                | 0,025 | 0,200            |
| f - f | 2,83   | 15,00 | 0,40 | 10,05              | 10,05              | 0,18                 | 2,51                 | 0,003 | 0,200            |
| g - g | 0,35   | 7,50  | 0,40 | 10,05              | 10,05              | 0,00                 | -                    | -     | 0,200            |

sez. compressa

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

### 10.1.4 VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO – STR

#### Verifica allo Stato Limite Ultimo

##### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

###### Reazione del terreno

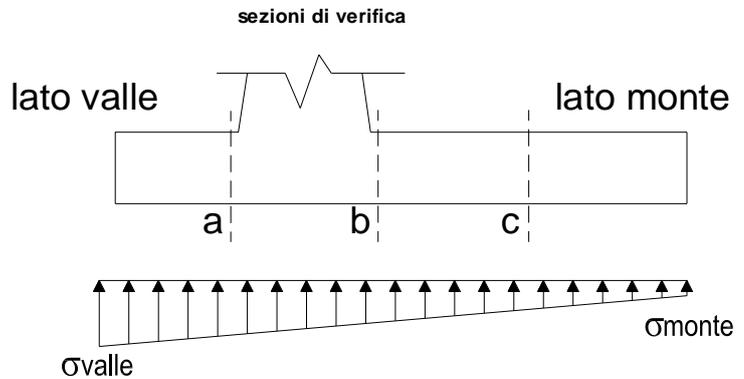
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 2,20 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 0,81 \quad (m^3)$$

| caso    | N      | M     | $\sigma_{valle}$     | $\sigma_{monte}$     |
|---------|--------|-------|----------------------|----------------------|
|         | [kN]   | [kNm] | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ] |
| statico | 161,11 | 42,78 | 126,26               | 20,20                |
|         | 184,36 | 35,22 | 127,46               | 40,14                |
| sisma+  | 164,28 | 50,37 | 137,11               | 12,23                |
|         | 164,28 | 50,37 | 137,11               | 12,23                |
| sisma-  | 146,66 | 48,64 | 126,96               | 6,37                 |
|         | 146,66 | 48,64 | 126,96               | 6,37                 |



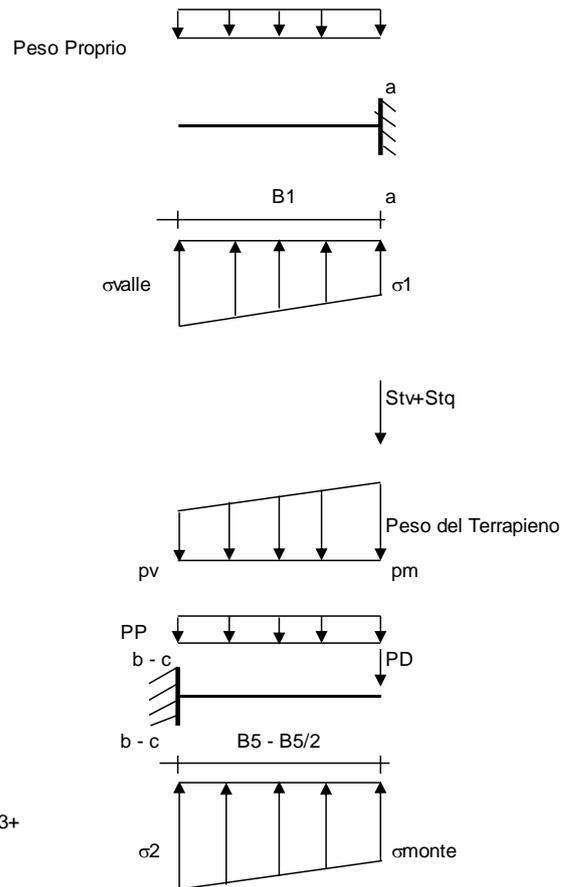
###### Mensola Lato Valle

$$\text{Peso Proprio.} \quad PP = 12,50 \quad (kN/m)$$

$$Ma = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

$$Va = \sigma_1 \cdot B + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B / 2 - PP \cdot B \cdot (1 \pm kv)$$

| caso    | $\sigma_{valle}$     | $\sigma_1$           | Ma    | Va    |
|---------|----------------------|----------------------|-------|-------|
|         | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kNm] | [kN]  |
| statico | 126,26               | 114,21               | 3,43  | 26,93 |
|         | 127,46               | 117,54               | 3,49  | 27,50 |
| sisma+  | 137,11               | 122,92               | 3,72  | 34,52 |
|         | 137,11               | 122,92               | 3,75  | 34,52 |
| sisma-  | 126,96               | 113,25               | 3,46  | 31,86 |
|         | 126,96               | 113,25               | 3,43  | 31,86 |



###### Mensola Lato Monte

$$PP = 12,50 \quad (kN/m^2) \quad \text{peso proprio soletta fondazione}$$

$$PD = 0,00 \quad (kN/m) \quad \text{peso proprio dente}$$

|     | Nmin  | N max stat | N max sism |                      |
|-----|-------|------------|------------|----------------------|
| pm  | 54,00 | 69,00      | 54,00      | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| pvb | 54,00 | 69,00      | 54,00      | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| pvc | 54,00 | 69,00      | 54,00      | (kN/m <sup>2</sup> ) |

$$Mb = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP)) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{2b} - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 + (Stv + Sqv) \cdot B^2 - PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B^2 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2 / 2) + Msp + Sp \cdot H2 / 2$$

$$Mc = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP)) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B5 / 2)^2 / 2 + (\sigma_{2c} - \sigma_{monte}) \cdot (B5 / 2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B5 / 2)^2 / 3 + (Stv + Sqv) \cdot (B5 / 2) - PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B5 / 2 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2 / 2) + Msp + Sp \cdot H2 / 2$$

$$Vb = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP)) \cdot (1 \pm kv) \cdot B + (\sigma_{2b} - \sigma_{monte}) \cdot B / 2 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B / 2 - (Stv + Sqv) - PD \cdot (1 \pm kv)$$

$$Vc = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP)) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B5 / 2) + (\sigma_{2c} - \sigma_{monte}) \cdot (B5 / 2) / 2 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B5 / 2) / 2 - (Stv + Sqv) - PD \cdot (1 \pm kv)$$

| caso    | σmonte               | σ2b                  | Mb     | Vb     | σ2c                  | Mc     | Vc     |
|---------|----------------------|----------------------|--------|--------|----------------------|--------|--------|
|         | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kNm]  | [kN]   | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kNm]  | [kN]   |
| statico | 20,20                | 94,93                | -56,56 | -33,76 | 57,56                | -25,60 | -41,32 |
|         | 40,14                | 101,66               | -55,92 | -36,34 | 70,90                | -24,77 | -40,05 |
| sisma+  | 12,23                | 100,22               | -57,68 | -36,80 | 56,22                | -24,59 | -42,89 |
|         | 12,23                | 100,22               | -57,68 | -36,80 | 56,22                | -24,59 | -42,89 |
| sisma-  | 6,37                 | 91,33                | -54,73 | -35,03 | 48,85                | -23,22 | -40,80 |
|         | 6,37                 | 91,33                | -54,73 | -35,03 | 48,85                | -23,22 | -40,80 |

**CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO**

**Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo**

$$M_{t \text{ stat}} = \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/3$$

$$M_{t \text{ sism}} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (K_{a_{orizz}} \cdot (1 \pm kv) - K_{a_{orizz}}) \cdot h^2 \cdot h/2 \quad \text{o} \quad h/3$$

$$M_q = \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot q \cdot h^2$$

$$M_{ext} = m + f \cdot h$$

$$M_{inerzia} = \sum P m_i \cdot b_i \cdot kh$$

$$N_{ext} = v$$

$$N_{pp+inerzia} = \sum P m_i \cdot (1 \pm kv)$$

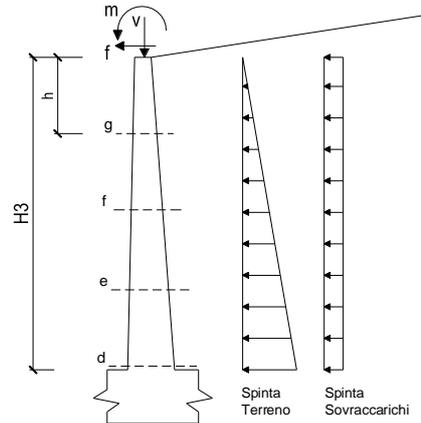
$$V_{t \text{ stat}} = \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2$$

$$V_{t \text{ sism}} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (K_{a_{orizz}} \cdot (1 \pm kv) - K_{a_{orizz}}) \cdot h^2$$

$$V_q = K_{a_{orizz}} \cdot q \cdot h$$

$$V_{ext} = f$$

$$V_{inerzia} = \sum P m_i \cdot kh$$



**condizione statica**

| sezione | h    | Mt      | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]          | [kN/m]           |
| d-d     | 3,00 | 29,42   | 18,86   | 0,00             | 48,28            | 0,00             | 30,00           | 30,00            |
| e-e     | 2,25 | 12,41   | 10,61   | 0,00             | 23,02            | 0,00             | 22,50           | 22,50            |
| f-f     | 1,50 | 3,68    | 4,71    | 0,00             | 8,39             | 0,00             | 15,00           | 15,00            |
| g-g     | 0,75 | 0,46    | 1,18    | 0,00             | 1,64             | 0,00             | 7,50            | 7,50             |

| sezione | h    | Vt     | Vq     | V <sub>ext</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|--------|--------|------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m]           | [kN/m]           |
| d-d     | 3,00 | 29,42  | 12,57  | 0,00             | 41,99            |
| e-e     | 2,25 | 16,55  | 9,43   | 0,00             | 25,98            |
| f-f     | 1,50 | 7,35   | 6,29   | 0,00             | 13,64            |
| g-g     | 0,75 | 1,84   | 3,14   | 0,00             | 4,98             |

**condizione sismica +**

| sezione | h    | M <sub>t stat</sub> | M <sub>t sism</sub> | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>inerzia</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp+inerzia</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------------------|---------------------|---------|------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m]             | [kNm/m]             | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]              | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]                  | [kN/m]           |
| d-d     | 3,00 | 22,63               | 7,91                | 0,00    | 0,00             | 5,22                 | 35,76            | 0,00             | 31,74                   | 31,74            |
| e-e     | 2,25 | 9,55                | 3,34                | 0,00    | 0,00             | 2,93                 | 15,82            | 0,00             | 23,80                   | 23,80            |
| f-f     | 1,50 | 2,83                | 0,99                | 0,00    | 0,00             | 1,30                 | 5,12             | 0,00             | 15,87                   | 15,87            |
| g-g     | 0,75 | 0,35                | 0,12                | 0,00    | 0,00             | 0,33                 | 0,80             | 0,00             | 7,93                    | 7,93             |

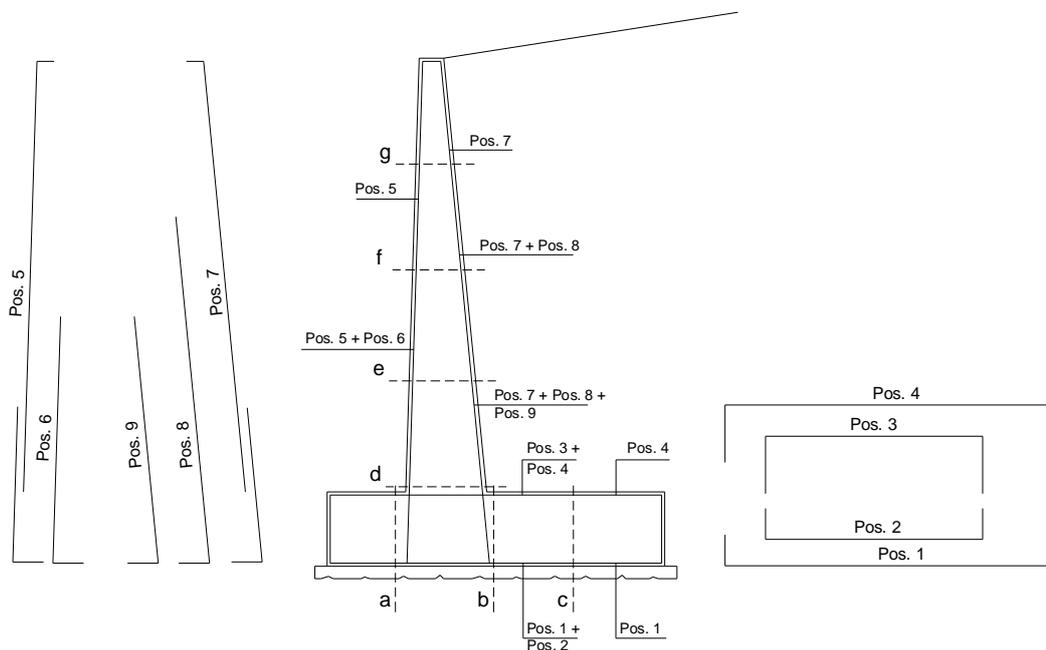
| sezione | h    | V <sub>t stat</sub> | V <sub>t sism</sub> | Vq     | V <sub>ext</sub> | V <sub>inerzia</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------------------|---------------------|--------|------------------|----------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m]              | [kN/m]              | [kN/m] | [kN/m]           | [kN/m]               | [kN/m]           |
| d-d     | 3,00 | 22,63               | 7,91                | 0,00   | 0,00             | 3,48                 | 34,02            |
| e-e     | 2,25 | 12,73               | 4,45                | 0,00   | 0,00             | 2,61                 | 19,79            |
| f-f     | 1,50 | 5,66                | 1,98                | 0,00   | 0,00             | 1,74                 | 9,37             |
| g-g     | 0,75 | 1,41                | 0,49                | 0,00   | 0,00             | 0,87                 | 2,78             |

**condizione sismica -**

| sezione | h    | M <sub>t stat</sub> | M <sub>t sism</sub> | M <sub>q</sub> | M <sub>ext</sub> | M <sub>inerzia</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp+inerzia</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------------------|---------------------|----------------|------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m]             | [kNm/m]             | [kNm/m]        | [kNm/m]          | [kNm/m]              | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]                  | [kN/m]           |
| d-d     | 3,00 | 22,63               | 5,24                | 0,00           | 0,00             | 5,22                 | 33,08            | 0,00             | 28,26                   | 28,26            |
| e-e     | 2,25 | 9,55                | 2,21                | 0,00           | 0,00             | 2,93                 | 14,69            | 0,00             | 21,20                   | 21,20            |
| f-f     | 1,50 | 2,83                | 0,65                | 0,00           | 0,00             | 1,30                 | 4,79             | 0,00             | 14,13                   | 14,13            |
| g-g     | 0,75 | 0,35                | 0,08                | 0,00           | 0,00             | 0,33                 | 0,76             | 0,00             | 7,07                    | 7,07             |

| sezione | h    | V <sub>t stat</sub> | V <sub>t sism</sub> | V <sub>q</sub> | V <sub>ext</sub> | V <sub>inerzia</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------------------|---------------------|----------------|------------------|----------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m]              | [kN/m]              | [kN/m]         | [kN/m]           | [kN/m]               | [kN/m]           |
| d-d     | 3,00 | 22,63               | 5,24                | 0,00           | 0,00             | 3,48                 | 31,34            |
| e-e     | 2,25 | 12,73               | 2,94                | 0,00           | 0,00             | 2,61                 | 18,28            |
| f-f     | 1,50 | 5,66                | 1,31                | 0,00           | 0,00             | 1,74                 | 8,71             |
| g-g     | 0,75 | 1,41                | 0,33                | 0,00           | 0,00             | 0,87                 | 2,61             |

**SCHEMA DELLE ARMATURE**

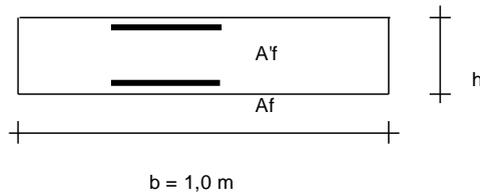


**ARMATURE**

| pos | n°/ml | φ  | II strato                | pos | n°/ml | φ  | II strato                |
|-----|-------|----|--------------------------|-----|-------|----|--------------------------|
| 1   | 5,0   | 16 | <input type="checkbox"/> | 5   | 5,0   | 16 | <input type="checkbox"/> |
| 2   | 0,0   | 0  | <input type="checkbox"/> | 6   | 0,0   | 0  | <input type="checkbox"/> |
| 3   | 0,0   | 0  | <input type="checkbox"/> | 7   | 5,0   | 16 | <input type="checkbox"/> |
| 4   | 5,0   | 16 | <input type="checkbox"/> | 8   | 0,0   | 0  | <input type="checkbox"/> |
|     |       |    |                          | 9   | 0,0   | 0  | <input type="checkbox"/> |

Calcola

**VERIFICHE**



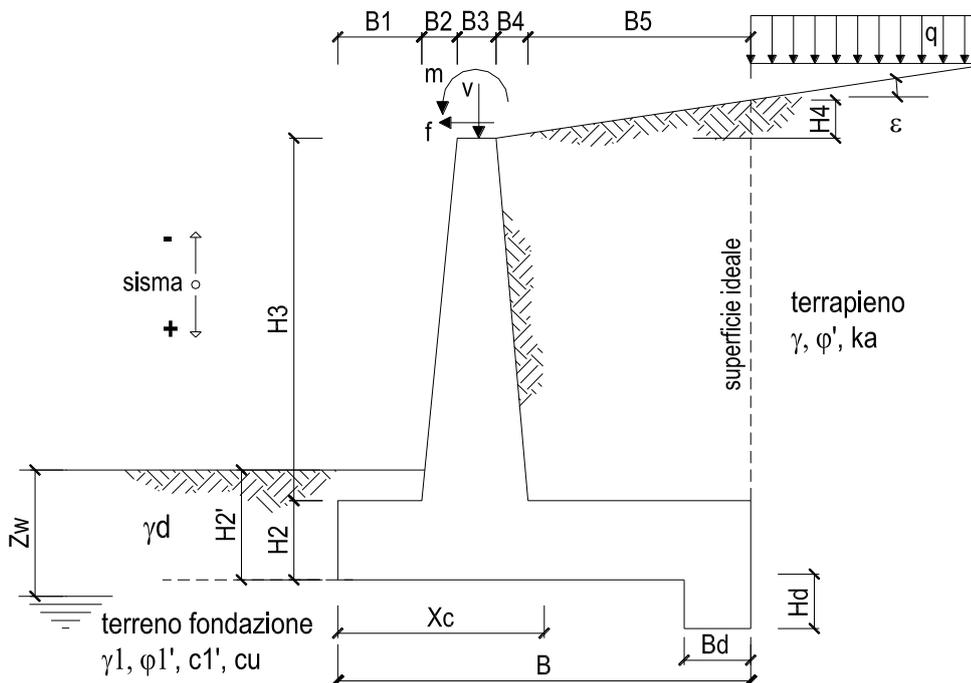
|     |               |
|-----|---------------|
| a-a | pos 1-2-3-4   |
| b-b | pos 1-2-3-4   |
| c-c | pos 1-4       |
| d-d | pos 5-6-7-8-9 |
| e-e | pos 5-6-7-8-9 |
| f-f | pos 5-7-8     |
| g-g | pos 5-7       |

| Sez.  | M      | N     | h    | Af                 | A'f                | Mu     |
|-------|--------|-------|------|--------------------|--------------------|--------|
| (-)   | (kNm)  | (kN)  | (m)  | (cm <sup>2</sup> ) | (cm <sup>2</sup> ) | (kNm)  |
| a - a | 3,75   | 0,00  | 0,50 | 10,05              | 10,05              | 175,06 |
| b - b | -57,68 | 0,00  | 0,50 | 10,05              | 10,05              | 175,06 |
| c - c | -25,60 | 0,00  | 0,50 | 10,05              | 10,05              | 175,06 |
| d - d | 48,28  | 30,00 | 0,40 | 10,05              | 10,05              | 140,18 |
| e - e | 23,02  | 22,50 | 0,40 | 10,05              | 10,05              | 139,06 |
| f - f | 8,39   | 15,00 | 0,40 | 10,05              | 10,05              | 137,95 |
| g - g | 1,64   | 7,50  | 0,40 | 10,05              | 10,05              | 136,83 |

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

| Sez.  | V <sub>Ed</sub> | h    | V <sub>rd</sub> |   |
|-------|-----------------|------|-----------------|---|
| (-)   | (kN)            | (m)  | (kN)            |   |
| a - a | 34,52           | 0,50 | 197,36          | <b>Armatura a taglio non necessaria</b> |
| b - b | 36,80           | 0,50 | 197,36          | <b>Armatura a taglio non necessaria</b> |
| c - c | 42,89           | 0,50 | 197,36          | <b>Armatura a taglio non necessaria</b> |
| d - d | 41,99           | 0,40 | 169,18          | <b>Armatura a taglio non necessaria</b> |
| e - e | 25,98           | 0,40 | 168,23          | <b>Armatura a taglio non necessaria</b> |
| f - f | 13,64           | 0,40 | 167,27          | <b>Armatura a taglio non necessaria</b> |
| g - g | 4,98            | 0,40 | 166,31          | <b>Armatura a taglio non necessaria</b> |

10.1.5 VERIFICHE GEOTECNICHE



**OPERA** Esempio

**DATI DI PROGETTO:**

**Geometria del Muro**

|                            |      |      |     |
|----------------------------|------|------|-----|
| Elevazione                 | H3 = | 3,00 | (m) |
| Aggetto Valle              | B2 = | 0,00 | (m) |
| Spessore del Muro in Testa | B3 = | 0,40 | (m) |
| Aggetto monte              | B4 = | 0,00 | (m) |

**Geometria della Fondazione**

|                      |      |      |     |
|----------------------|------|------|-----|
| Larghezza Fondazione | B =  | 2,20 | (m) |
| Spessore Fondazione  | H2 = | 0,50 | (m) |
| Suola Lato Valle     | B1 = | 0,25 | (m) |
| Suola Lato Monte     | B5 = | 1,55 | (m) |
| Altezza dente        | Hd = | 0,00 | (m) |
| Larghezza dente      | Bd = | 0,00 | (m) |
| Mezzeria Sezione     | Xc = | 1,10 | (m) |

|                                 |                  |       |                      |
|---------------------------------|------------------|-------|----------------------|
| Peso Specifico del Calcestruzzo | $\gamma_{cls}$ = | 25,00 | (kN/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|------------------|-------|----------------------|

**FORZE VERTICALI**

|   |   | SLE    | STR/GEO | EQU   |
|---|---|--------|---------|-------|
| <b>- Peso del Muro (Pm)</b>   |   |        |         |       |
| Pm1 =   | $(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$          | (kN/m) | 0,00    | 0,00  |
| Pm2 =   | $(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$            | (kN/m) | 30,00   | 27,00 |
| Pm3 =   | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$          | (kN/m) | 0,00    | 0,00  |
| Pm4 =   | $(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$             | (kN/m) | 27,50   | 24,75 |
| Pm5 =   | $(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$            | (kN/m) | 0,00    | 0,00  |
| Pm =  | $Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5$                 | (kN/m) | 57,50   | 51,75 |
| <b>- Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt)</b> |   |        |         |       |
| Pt1 =   | $(B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$                  | (kN/m) | 83,70   | 75,33 |
| Pt2 =   | $(0,5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$ | (kN/m) | 0,00    | 0,00  |
| Pt3 =   | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma)/2$                | (kN/m) | 0,00    | 0,00  |
| Sovr =  | $qp \cdot (B4 + B5)$                          | (kN/m) | 0,00    | 0,00  |
| Pt =  | $Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr$                      | (kN/m) | 83,70   | 75,33 |
| <b>- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro</b>            |   |        |         |       |
| Sovr acc. Stat  | $q \cdot (B4 + B5)$                           | (kN/m) | 15,5    | 23,25 |
| Sovr acc. Sism  | $qs \cdot (B4 + B5)$                          | (kN/m) | 0       |       |

**MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO**

|  |   | SLE     | STR/GEO | EQU      |
|--|---|---------|---------|----------|
| <b>- Muro (Mm)</b>   |   |         |         |          |
| Mm1 =  | $Pm1 \cdot (B1 + 2/3 \cdot B2)$                   | (kNm/m) | 0,00    | 0,00     |
| Mm2 =  | $Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0,5 \cdot B3)$              | (kNm/m) | 13,50   | 12,15    |
| Mm3 =  | $Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 \cdot B4)$         | (kNm/m) | 0,00    | 0,00     |
| Mm4 =  | $Pm4 \cdot (B/2)$                                 | (kNm/m) | 30,25   | 27,23    |
| Mm5 =  | $Pm5 \cdot (B - Bd/2)$                            | (kNm/m) | 0,00    | 0,00     |
| Mm =   | $Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5$                     | (kNm/m) | 43,75   | 39,38    |
| <b>- Terrapieno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro</b> |   |         |         |          |
| Mt1 =  | $Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 \cdot B5)$    | (kNm/m) | 119,27  | 107,35   |
| Mt2 =  | $Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot (B4 + B5))$  | (kNm/m) | 0,00    | 0,00     |
| Mt3 =  | $Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4)$         | (kNm/m) | 0,00    | 0,00     |
| Msovr =  | $Sovr \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4 + B5))$ | (kNm/m) | 0,00    | 0,00     |
| Mt =   | $Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr$                         | (kNm/m) | 119,27  | 107,35   |
| <b>- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro</b> |   |         |         |          |
| Sovr acc. Stat   | $q \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4 + B5))$    | (kNm/m) | 22,0875 | 33,13125 |
| Sovr acc. Sism   | $qs \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4 + B5))$   | (kNm/m) | 0       |          |

**INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO**

|  |                                    |         |  |      |
|--|------------------------------------|---------|--|------|
| <b>- Inerzia orizzontale e verticale del muro (Ps)</b>                         |                                    |         |  |      |
| Ps h =   | $Pm \cdot kh$                      | (kN/m)  |  | 6,67 |
| Ps v =   | $Pm \cdot kv$                      | (kN/m)  |  | 3,33 |
| <b>- Inerzia orizzontale e verticale del terrapieno a tergo del muro (Pts)</b> |                                    |         |  |      |
| Ptsh =   | $Pt \cdot kh$                      | (kN/m)  |  | 9,70 |
| Ptsv =   | $Pt \cdot kv$                      | (kN/m)  |  | 4,85 |
| <b>- Incremento orizzontale di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs h)</b> |                                    |         |  |      |
| MPs1 h =   | $kh \cdot Pm1 \cdot (H2 + H3/3)$   | (kNm/m) |  | 0,00 |
| MPs2 h =   | $kh \cdot Pm2 \cdot (H2 + H3/2)$   | (kNm/m) |  | 6,96 |
| MPs3 h =   | $kh \cdot Pm3 \cdot (H2 + H3/3)$   | (kNm/m) |  | 0,00 |
| MPs4 h =   | $kh \cdot Pm4 \cdot (H2/2)$        | (kNm/m) |  | 0,80 |
| MPs5 h =   | $-kh \cdot Pm5 \cdot (Hd/2)$       | (kNm/m) |  | 0,00 |
| MPs h =  | $MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$ | (kNm/m) |  | 7,75 |

- Incremento verticale di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs v)

|         |                           |         |      |
|---------|---------------------------|---------|------|
| MPs1 v= | $kv^*Pm1*(B1+2/3*B2)$     | (kNm/m) | 0,00 |
| MPs2 v= | $kv^*Pm2*(B1+B2+B3/2)$    | (kNm/m) | 0,78 |
| MPs3 v= | $kv^*Pm3*(B1+B2+B3+B4/3)$ | (kNm/m) | 0,00 |
| MPs4 v= | $kv^*Pm4*(B/2)$           | (kNm/m) | 1,75 |
| MPs5 v= | $kv^*Pm5*(B-Bd/2)$        | (kNm/m) | 0,00 |
| MPs v=  | MPs1+MPs2+MPs3+MPs4+MPs5  | (kNm/m) | 2,54 |

- Incremento orizzontale di momento dovuto all'inerzia del terrapieno (MPts h)

|          |                           |         |       |
|----------|---------------------------|---------|-------|
| MPts1 h= | $kh*Pt1*(H2 + H3/2)$      | (kNm/m) | 19,40 |
| MPts2 h= | $kh*Pt2*(H2 + H3 + H4/3)$ | (kNm/m) | 0,00  |
| MPts3 h= | $kh*Pt3*(H2+H3*2/3)$      | (kNm/m) | 0,00  |
| MPts h=  | MPts1 + MPts2 + MPts3     | (kNm/m) | 19,40 |

- Incremento verticale di momento dovuto all'inerzia del terrapieno (MPts v)

|          |   |         |      |
|----------|---|---------|------|
| MPts1 v= | $kv^*Pt1*((H2 + H3/2) - (B - B5/2)*0.5)$      | (kNm/m) | 6,91 |
| MPts2 v= | $kv^*Pt2*((H2 + H3 + H4/3) - (B - B5/3)*0.5)$ | (kNm/m) | 0,00 |
| MPts3 v= | $kv^*Pt3*((H2+H3*2/3)-(B1+B2+B3+2/3*B4)*0.5)$ | (kNm/m) | 0,00 |
| MPts v=  | MPts1 + MPts2 + MPts3                         | (kNm/m) | 6,91 |

## CONDIZIONE STATICA

### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione statica

|           |                                 | SLE    | STR/GEO | EQU   |       |
|-----------|---------------------------------|--------|---------|-------|-------|
| St =      | $0,5*\gamma*(H2+H3+H4+Hd)^2*ka$ | (kN/m) | 32,78   | 42,61 | 44,11 |
| Sq perm = | $q*(H2+H3+H4+Hd)*ka$            | (kN/m) | 0,00    | 0,00  | 0,00  |
| Sq acc =  | $q*(H2+H3+H4+Hd)*ka$            | (kN/m) | 10,41   | 15,61 | 19,10 |

- Componente orizzontale condizione statica

|            |                     |        |       |       |       |
|------------|---------------------|--------|-------|-------|-------|
| Sth =      | $St*cos\delta$      | (kN/m) | 30,80 | 40,04 | 42,29 |
| Sqh perm = | $Sq perm*cos\delta$ | (kN/m) | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| Sqh acc =  | $Sq acc*cos\delta$  | (kN/m) | 9,78  | 14,67 | 18,31 |

- Componente verticale condizione statica

|            |                     |        |       |       |       |
|------------|---------------------|--------|-------|-------|-------|
| Stv =      | $St*sen\delta$      | (kN/m) | 11,21 | 14,57 | 12,55 |
| Sqv perm = | $Sq perm*sen\delta$ | (kN/m) | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| Sqv acc =  | $Sq acc*sen\delta$  | (kN/m) | 3,56  | 5,34  | 5,43  |

- Spinta passiva sul dente

|      |  |        |      |      |      |
|------|--|--------|------|------|------|
| Sp = | $1/2*g1^*Hd2^*1/2*\gamma1^*Hd^2*kp+(2*c1^*kp^{0.5}+\gamma1^*kp^*H2)^*Hd$ | (kN/m) | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
|------|--|--------|------|------|------|

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

|             |   | SLE     | STR/GEO | EQU   |       |
|-------------|---|---------|---------|-------|-------|
| MSt1 =      | $Sth*((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$                                    | (kNm/m) | 35,94   | 46,72 | 49,34 |
| MSt2 =      | $Stv*B$   | (kNm/m) | 24,66   | 32,06 | 27,61 |
| MSq1 perm = | $Sqh perm*((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$                               | (kNm/m) | 0,00    | 0,00  | 0,00  |
| MSq1 acc =  | $Sqh acc*((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$                                | (kNm/m) | 17,11   | 25,67 | 32,04 |
| MSq2 perm = | $Sqv perm*B$  | (kNm/m) | 0,00    | 0,00  | 0,00  |
| MSq2 acc =  | $Sqv acc*B$   | (kNm/m) | 7,83    | 11,74 | 11,95 |
| MSp =       | $\gamma1^*Hd^3*kp/3+(2*c1^*kp^{0.5}+\gamma1^*kp^*H2)^*Hd^2/2$ | (kNm/m) | 0,00    | 0,00  | 0,00  |

### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

|          |                           |         |      |      |      |
|----------|---------------------------|---------|------|------|------|
| Mfext1 = | $mp + m$                  | (kNm/m) | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mfext2 = | $(fp + f)*(H3 + H2)$      | (kNm/m) | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mfext3 = | $(vp+v)*(B1 + B2 + B3/2)$ | (kNm/m) | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (STR/GEO)

|                                       |   |   |             |                 |
|---------------------------------------|---|---|-------------|-----------------|
| Risultante forze verticali (N)        |   |   |             |                 |
| N                                     | = | $P_m + P_t + v + St_v + Sq_v \text{ perm} + Sq_v \text{ acc}$ | 161,11      | (kN/m)          |
| Risultante forze orizzontali (T)      |   |   |             |                 |
| T                                     | = | $St_h + Sq_h + f$   | 54,71       | (kN/m)          |
| Coefficiente di attrito alla base (f) |   |   |             |                 |
| f                                     | = | $tg\phi_1'$   | 0,58        | (-)             |
| <b>Fs scorr.</b>                      |   | <b><math>(N \cdot f + Sp) / T</math></b>                      | <b>1,70</b> | <b>&gt; 1,1</b> |

### VERIFICA AL RIBALTAMENTO (EQU)

|                            |   |  |             |               |
|----------------------------|---|--|-------------|---------------|
| Momento stabilizzante (Ms) |   |  |             |               |
| Ms                         | = | $M_m + M_t + M_{fext3}$                            | 146,72      | ( kNm/m )     |
| Momento ribaltante (Mr)    |   |  |             |               |
| Mr                         | = | $M_{St} + M_{Sq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp}$ | 41,82       | ( kNm/m )     |
| <b>Fs ribaltamento</b>     |   | <b>Ms / Mr</b>                                     | <b>3,51</b> | <b>&gt; 1</b> |

### VERIFICA CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE (STR/GEO)

|  |   |   |        |        |           |
|--|---|---|--------|--------|-----------|
| Risultante forze verticali (N)                         |   |   | Nmin   | Nmax   |           |
| N  | = | $P_m + P_t + v + St_v + Sq_v (+ \text{Sovr acc})$ | 161,11 | 184,36 | (kN/m)    |
| Risultante forze orizzontali (T)                       |   |   |        |        |           |
| T  | = | $St_h + Sq_h + f - Sp$                            | 54,71  | 54,71  | (kN/m)    |
| Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM) |   |   |        |        |           |
| MM   | = | $\sum M$  | 134,45 | 167,58 | ( kNm/m ) |
| Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)    |   |   |        |        |           |
| M  | = | $X_c \cdot N - MM$                                | 42,78  | 35,22  | ( kNm/m ) |

**Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)**

Fondazione Nastriorme

$$q_{lim} = c'N_c \cdot i_c + q_0 \cdot N_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma$$

|                                      |                                      |       |      |                      |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-------|------|----------------------|
| c1'                                  | coesione terreno di fondaz.          | 5,00  |      | (kPa)                |
| φ1'                                  | angolo di attrito terreno di fondaz. | 30,00 |      | (°)                  |
| γ1                                   | peso unità di volume terreno fondaz. | 18,00 |      | (kN/m <sup>3</sup> ) |
| q <sub>0</sub> = γd * H <sup>2</sup> | sovraccarico stabilizzante           | 0,00  |      | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| e = M / N                            | eccentricità                         | 0,27  | 0,19 | (m)                  |
| B* = B - 2e                          | larghezza equivalente                | 1,67  | 1,82 | (m)                  |

I valori di N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub> e N<sub>γ</sub> sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

|  |                   |       |  |     |
|--|-------------------|-------|--|-----|
| N <sub>q</sub> = tg <sup>2</sup> (45 + φ/2) * e <sup>(π * tg(φ))</sup> | (1 in cond. nd)   | 18,40 |  | (-) |
| N <sub>c</sub> = (N <sub>q</sub> - 1) / tg(φ)                          | (2+π in cond. nd) | 30,14 |  | (-) |
| N <sub>γ</sub> = 2 * (N <sub>q</sub> + 1) * tg(φ)                      | (0 in cond. nd)   | 22,40 |  | (-) |

I valori di i<sub>c</sub>, i<sub>q</sub> e i<sub>γ</sub> sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

|  |                 |      |      |     |
|--|-----------------|------|------|-----|
| i <sub>q</sub> = (1 - T / (N + B * c' * cotg(φ))) <sup>m</sup>                 | (1 in cond. nd) | 0,47 | 0,53 | (-) |
| i <sub>c</sub> = i <sub>q</sub> - (1 - i <sub>q</sub> ) / (N <sub>q</sub> - 1) |                 | 0,44 | 0,44 | (-) |
| i <sub>γ</sub> = (1 - T / (N + B * c' * cotg(φ))) <sup>m+1</sup>               |                 | 0,33 | 0,33 | (-) |

(fondazione nastriorme m = 2)

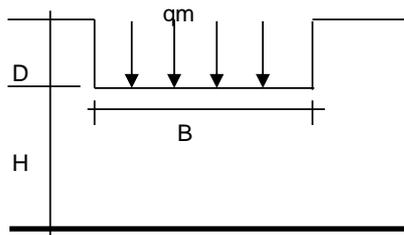
|                  |                          |        |        |                      |
|------------------|--------------------------|--------|--------|----------------------|
| q <sub>lim</sub> | (carico limite unitario) | 176,62 | 177,71 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|------------------|--------------------------|--------|--------|----------------------|

**FS carico limite**

$$F = q_{lim} \cdot B^* / N$$

|                  |             |   |            |
|------------------|-------------|---|------------|
| N <sub>min</sub> | <b>1,83</b> | > | <b>1,4</b> |
| N <sub>max</sub> | <b>1,75</b> | > |            |

**CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE**



$$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B^* / E \quad (\text{Christian e Carrier, 1976})$$

|       |        |         |
|-------|--------|---------|
| N     | 155,08 | (kN/m)  |
| M     | 25,80  | (kNm/m) |
| e=M/N | 0,17   | (m)     |
| B*    | 1,87   | (m)     |

Profondità Piano di Posa della Fondazione

|         |      |     |
|---------|------|-----|
| D =     | 0,00 | (m) |
| D/B* =  | 0,00 | (m) |
| Hs/B* = | 2,36 | (m) |

Carico unitario medio (qm)

$$q_m = N / (B - 2 \cdot e) = N / B^* = 86,28 \quad (\text{kN/mq})$$

Coefficiente di forma μ<sub>0</sub> = f(D/B)

$$\mu_0 = 0,965 \quad (-)$$

Coefficiente di profondità μ<sub>1</sub> = f(H/B)

$$\mu_1 = 0,74 \quad (-)$$

Cedimento della fondazione

$$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B^* / E = 14,30 \quad (\text{mm})$$

## CONDIZIONE SISMICA +

### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

|   |   | SLE    | STR/GEO | EQU   |       |
|---|---|--------|---------|-------|-------|
| - Spinta condizione sismica +                 |   |        |         |       |       |
| Sst1 stat =                                   | $0,5 \cdot \gamma^* (H2+H3+H4+Hd)^{2 \cdot ka}$   | (kN/m) | 32,78   | 32,78 | 40,10 |
| Sst1 sism =                                   | $0,5 \cdot \gamma^* (1+kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^{2 \cdot kas^+} - Sst1 \text{ stat}$   | (kN/m) | 10,77   | 10,77 | 12,33 |
| Ssq1 perm =                                   | $qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$  | (kN/m) | 0,00    | 0,00  | 0,00  |
| Ssq1 acc =                                    | $qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$  | (kN/m) | 0,00    | 0,00  | 0,00  |
| - Componente orizzontale condizione sismica + |   |        |         |       |       |
| Sst1h stat =                                  | $Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta$   | (kN/m) | 30,80   | 30,80 | 38,44 |
| Sst1h sism =                                  | $Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$   | (kN/m) | 10,12   | 10,12 | 11,82 |
| Ssq1h perm =                                  | $Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta$   | (kN/m) | 0,00    | 0,00  | 0,00  |
| Ssq1h acc =                                   | $Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta$  | (kN/m) | 0,00    | 0,00  | 0,00  |
| - Componente verticale condizione sismica +   |   |        |         |       |       |
| Sst1v stat =                                  | $Sst1 \text{ stat} \cdot \sin \delta$   | (kN/m) | 11,21   | 11,21 | 11,41 |
| Sst1v sism =                                  | $Sst1 \text{ sism} \cdot \sin \delta$   | (kN/m) | 3,68    | 3,68  | 3,51  |
| Ssq1v perm =                                  | $Ssq1 \text{ perm} \cdot \sin \delta$   | (kN/m) | 0,00    | 0,00  | 0,00  |
| Ssq1v acc =                                   | $Ssq1 \text{ acc} \cdot \sin \delta$  | (kN/m) | 0,00    | 0,00  | 0,00  |
| - Spinta passiva sul dente                    |   |        |         |       |       |
| Sp =  | $\frac{1}{2} \cdot \gamma_1' \cdot (1+kv) \cdot Hd^2 \cdot kps^+ + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot (1+kv) \cdot kps^+ \cdot H2') \cdot Hd$ | (kN/m) | 0,00    | 0,00  | 0,00  |

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

|                        |   | SLE     | STR/GEO | EQU   |       |
|------------------------|---|---------|---------|-------|-------|
| - Condizione sismica + |   |         |         |       |       |
| MSst1 stat =           | $Sst1h \text{ stat} \cdot ((H2+H3+H4+hd)/3-hd)$   | (kNm/m) | 35,94   | 35,94 | 44,85 |
| MSst1 sism =           | $Sst1h \text{ sism} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$   | (kNm/m) | 11,81   | 11,81 | 13,79 |
| MSst2 stat =           | $Sst1v \text{ stat} \cdot B$  | (kNm/m) | 24,66   | 24,66 | 25,10 |
| MSst2 sism =           | $Sst1v \text{ sism} \cdot B$  | (kNm/m) | 8,11    | 8,11  | 7,72  |
| MSsq1 =                | $Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$  | (kNm/m) | 0,00    | 0,00  | 0,00  |
| MSsq2 =                | $Ssq1v \cdot B$   | (kNm/m) | 0,00    | 0,00  | 0,00  |
| MSp =                  | $\gamma_1' \cdot Hd^3 \cdot kps^+ / 3 + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot kps^+ \cdot H2') \cdot Hd^2 / 2$ | (kNm/m) | 0,00    | 0,00  | 0,00  |

### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

|          |                                  |         |  |      |
|----------|----------------------------------|---------|--|------|
| Mfext1 = | $mp+ms$                          | (kNm/m) |  | 0,00 |
| Mfext2 = | $(fp+fs) \cdot (H3 + H2)$        | (kNm/m) |  | 0,00 |
| Mfext3 = | $(vp+vs) \cdot (B1 + B2 + B3/2)$ | (kNm/m) |  | 0,00 |

## VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

|                                       |   |  |             |             |            |
|---------------------------------------|---|--|-------------|-------------|------------|
| Risultante forze verticali (N)        |   |  |             |             |            |
| N =                                   | $Pm + Pt + vp + vs + Sst1v + Ssq1v + Ps v + Ptsv$ |  | 164,28      | (kN/m)      |            |
| Risultante forze orizzontali (T)      |   |  |             |             |            |
| T =                                   | $Sst1h + Ssq1h + fp + fs + Ps h + Ptsh$           |  | 57,29       | (kN/m)      |            |
| Coefficiente di attrito alla base (f) |   |  |             |             |            |
| f =                                   | $tg \phi_1'$                                      |  | 0,58        | (-)         |            |
| <b>Fs =</b>                           | <b>(N*f + Sp) / T</b>                             |  | <b>1,66</b> | <b>&gt;</b> | <b>1,1</b> |

### VERIFICA AL RIBALTAMENTO

|                            |                                      |             |             |          |
|----------------------------|--------------------------------------|-------------|-------------|----------|
| Momento stabilizzante (Ms) |                                      |             |             |          |
| Ms =                       | Mm + Mt + Mfext3                     | 163,02      | ( kNm/m )   |          |
| Momento ribaltante (Mr)    |                                      |             |             |          |
| Mr =                       | MSst+MSsq+Mfext1+Mfext2+MSp+MPs+Mpts | 43,54       | ( kNm/m )   |          |
| <b>Fr =</b>                | <b>Ms / Mr</b>                       | <b>3,74</b> | <b>&gt;</b> | <b>1</b> |

### VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

|  |   |        |        |           |
|--|---|--------|--------|-----------|
| Risultante forze verticali (N)                         |   | Nmin   | Nmax   |           |
| N =  | Pm+ Pt + vp + vs + Sst1v+ Ssq1v+ Ps v + Ptsv + (Sovr acc) | 164,28 | 164,28 | (kN/m)    |
| Risultante forze orizzontali (T)                       |   |        |        |           |
| T =  | Sst1h + Ssq1h + fp + fs +Ps h + Ptsh - Sp                 | 57,29  |        | (kN/m)    |
| Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM) |   |        |        |           |
| MM =   | ΣM  | 130,34 | 130,34 | ( kNm/m ) |
| Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)    |   |        |        |           |
| M =  | Xc*N - MM   | 50,37  | 50,37  | ( kNm/m ) |

### Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'N_c \cdot i_c + q_0 \cdot N_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma$$

|                                    |                                      |       |      |                      |
|------------------------------------|--------------------------------------|-------|------|----------------------|
| c'                                 | coesione terreno di fondaz.          | 5,00  |      | (kN/mq)              |
| φI'                                | angolo di attrito terreno di fondaz. | 30,00 |      | (°)                  |
| γ <sub>1</sub>                     | peso unità di volume terreno fondaz. | 18,00 |      | (kN/m <sup>3</sup> ) |
| q <sub>0</sub> = γd'H <sup>2</sup> | sovraccarico stabilizzante           | 0,00  |      | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| e = M / N                          | eccentricità                         | 0,31  | 0,31 | (m)                  |
| B* = B - 2e                        | larghezza equivalente                | 1,59  | 1,59 | (m)                  |

I valori di N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub> e N<sub>γ</sub> sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

|  |                   |       |  |     |
|--|-------------------|-------|--|-----|
| N <sub>q</sub> = tg <sup>2</sup> (45 + φ'/2) * e <sup>(π * tg(φ'))</sup> | (1 in cond. nd)   | 18,40 |  | (-) |
| N <sub>c</sub> = (N <sub>q</sub> - 1) / tg(φ')                           | (2+π in cond. nd) | 30,14 |  | (-) |
| N <sub>γ</sub> = 2 * (N <sub>q</sub> + 1) * tg(φ')                       | (0 in cond. nd)   | 22,40 |  | (-) |

I valori di i<sub>c</sub>, i<sub>q</sub> e i<sub>γ</sub> sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

|  |                 |      |      |     |
|--|-----------------|------|------|-----|
| i <sub>q</sub> = (1 - T / (N + B * c' * cotg(φ'))) <sup>m</sup>                | (1 in cond. nd) | 0,46 | 0,46 | (-) |
| i <sub>c</sub> = i <sub>q</sub> - (1 - i <sub>q</sub> ) / (N <sub>q</sub> - 1) |                 | 0,43 | 0,43 | (-) |
| i <sub>γ</sub> = (1 - T / (N + B * c' * cotg(φ'))) <sup>m+1</sup>              |                 | 0,31 | 0,31 | (-) |

(fondazione nastriforme m = 2)

|                  |                          |        |        |                      |
|------------------|--------------------------|--------|--------|----------------------|
| q <sub>lim</sub> | (carico limite unitario) | 164,42 | 164,42 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|------------------|--------------------------|--------|--------|----------------------|

|                         |                                     |      |             |             |            |
|-------------------------|-------------------------------------|------|-------------|-------------|------------|
| <b>FS carico limite</b> | <b>F = q<sub>lim</sub> * B* / N</b> | Nmin | <b>1,59</b> | <b>&gt;</b> | <b>1,4</b> |
|                         |                                     | Nmax | <b>1,59</b> | <b>&gt;</b> |            |

**CONDIZIONE SISMICA -**

**SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

|  |        | SLE   | STR/GEO | EQU   |
|--|--------|-------|---------|-------|
| - Spinta condizione sismica -  |        |       |         |       |
| Sst1 stat = $0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$  | (kN/m) | 32,78 | 32,78   | 40,10 |
| Sst1 sism = $0,5 \cdot \gamma \cdot (1-kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas^-$ - Sst1 stat  | (kN/m) | 7,13  | 7,13    | 7,87  |
| Ssq1 perm = $qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^-$   | (kN/m) | 0,00  | 0,00    | 0,00  |
| Ssq1 acc = $qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^-$  | (kN/m) | 0,00  | 0,00    | 0,00  |
| - Componente orizzontale condizione sismica -  |        |       |         |       |
| Sst1h stat = Sst1 stat * cos δ   | (kN/m) | 30,80 | 30,80   | 38,44 |
| Sst1h sism = Sst1 sism * cos δ   | (kN/m) | 6,70  | 6,70    | 7,54  |
| Ssq1h perm = Ssq1 perm * cos δ   | (kN/m) | 0,00  | 0,00    | 0,00  |
| Ssq1h acc = Ssq1 acc * cos δ   | (kN/m) | 0,00  | 0,00    | 0,00  |
| - Componente verticale condizione sismica -  |        |       |         |       |
| Sst1v stat = Sst1 stat * sen δ   | (kN/m) | 11,21 | 11,21   | 11,41 |
| Sst1v sism = Sst1 sism * sen δ   | (kN/m) | 2,44  | 2,44    | 2,24  |
| Ssq1v perm = Ssq1 perm * sen δ   | (kN/m) | 0,00  | 0,00    | 0,00  |
| Ssq1v acc = Ssq1 acc * sen δ   | (kN/m) | 0,00  | 0,00    | 0,00  |
| - Spinta passiva sul dente   |        |       |         |       |
| $Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot (1-kv) \cdot Hd^2 \cdot kps^- + (2 \cdot c_1 \cdot kps^{-0.5} + \gamma_1 \cdot (1-kv) \cdot kps^- \cdot H2) \cdot Hd$ | (kN/m) | 0,00  | 0,00    | 0,00  |

**MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

|   |           | SLE   | STR/GEO | EQU   |
|---|-----------|-------|---------|-------|
| - Condizione sismica -  |           |       |         |       |
| MSst1 stat = Sst1h stat * ((H2+H3+H4+hd)/3-hd)  | ( kNm/m ) | 35,94 | 35,94   | 44,85 |
| MSst1 sism = Sst1h sism * ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)  | ( kNm/m ) | 7,81  | 7,81    | 8,80  |
| MSst2 stat = Sst1v stat * B   | ( kNm/m ) | 24,66 | 24,66   | 25,10 |
| MSst2 sism = Sst1v sism * B   | ( kNm/m ) | 5,36  | 5,36    | 4,92  |
| MSsq1 = Ssq1h * ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)  | ( kNm/m ) | 0,00  | 0,00    | 0,00  |
| MSsq2 = Ssq1v * B   | ( kNm/m ) | 0,00  | 0,00    | 0,00  |
| MSp = $\gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kps^+ / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1 \cdot kps^{+} \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2$ | ( kNm/m ) | 0,00  | 0,00    | 0,00  |

**MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE**

|                                  |           |  |      |  |
|----------------------------------|-----------|--|------|--|
| Mfext1 = mp+ms                   | ( kNm/m ) |  | 0,00 |  |
| Mfext2 = (fp+fs)*(H3 + H2)       | ( kNm/m ) |  | 0,00 |  |
| Mfext3 = (vp+vs)*(B1 +B2 + B3/2) | ( kNm/m ) |  | 0,00 |  |

**VERIFICA ALLO SCORRIMENTO**

|  |  |             |             |            |
|--|--|-------------|-------------|------------|
| Risultante forze verticali (N)                     |  |             |             |            |
| N = Pm+ Pt + vp + vs + Sst1v + Ssq1v + Ps v + Ptsv |  | 146,66      | (kN/m)      |            |
| Risultante forze orizzontali (T)                   |  |             |             |            |
| T = Sst1h + Ssq1h + fp + fs +Ps h + Ptsh           |  | 53,87       | (kN/m)      |            |
| Coefficiente di attrito alla base (f)              |  |             |             |            |
| f = tgφ1'  |  | 0,58        | (-)         |            |
| <b>Fs = (N*f + Sp) / T</b>                         |  | <b>1,57</b> | <b>&gt;</b> | <b>1,1</b> |

**VERIFICA AL RIBALTAMENTO**

|                            |                                      |             |             |          |
|----------------------------|--------------------------------------|-------------|-------------|----------|
| Momento stabilizzante (Ms) |                                      |             |             |          |
| Ms =                       | Mm + Mt + Mfext3                     | 163,02      | ( kNm/m )   |          |
| Momento ribaltante (Mr)    |                                      |             |             |          |
| Mr =                       | MSst+MSsq+Mfext1+Mfext2+MSp+MPs+Mpts | 60,24       | ( kNm/m )   |          |
| <b>Fr =</b>                | <b>Ms / Mr</b>                       | <b>2,71</b> | <b>&gt;</b> | <b>1</b> |

**VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE**

|  |  |        |        |           |
|--|--|--------|--------|-----------|
| Risultante forze verticali (N)                         |  | Nmin   | Nmax   |           |
| N =  | Pm+ Pt + vp + vs + Sst1v+ Ssq1v+ Ps v + Ptsv | 146,66 | 146,66 | (kN/m)    |
| Risultante forze orizzontali (T)                       |  |        |        |           |
| T =  | Sst1h + Ssq1h + fp + fs +Ps h + Ptsh - Sp    | 53,87  |        | (kN/m)    |
| Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM) |  |        |        |           |
| MM =   | ΣM   | 112,70 | 112,70 | ( kNm/m ) |
| Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)    |  |        |        |           |
| M =  | Xc*N - MM                                    | 48,64  | 48,64  | ( kNm/m ) |

**Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)**

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'N_c \cdot i_c + q_0 \cdot N_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma$$

|                                    |                                      |       |      |                      |
|------------------------------------|--------------------------------------|-------|------|----------------------|
| c'1'                               | coesione terreno di fondaz.          | 5,00  |      | (kN/mq)              |
| φI'                                | angolo di attrito terreno di fondaz. | 30,00 |      | (°)                  |
| γ1                                 | peso unità di volume terreno fondaz. | 18,00 |      | (kN/m <sup>3</sup> ) |
| q <sub>0</sub> = γd'H <sup>2</sup> | sovraccarico stabilizzante           | 0,00  |      | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| e = M / N                          | eccentricità                         | 0,33  | 0,33 | (m)                  |
| B* = B - 2e                        | larghezza equivalente                | 1,54  | 1,54 | (m)                  |

I valori di Nc, Nq e Ng sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

|  |                   |       |  |     |
|--|-------------------|-------|--|-----|
| Nq = tg <sup>2</sup> (45 + φ/2) * e <sup>(π*tg(φ))</sup> | (1 in cond. nd)   | 18,40 |  | (-) |
| Nc = (Nq - 1)/tg(φ)                                      | (2+π in cond. nd) | 30,14 |  | (-) |
| Nγ = 2*(Nq + 1)*tg(φ)                                    | (0 in cond. nd)   | 22,40 |  | (-) |

I valori di ic, iq e iγ sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

|   |                 |      |      |     |
|---|-----------------|------|------|-----|
| iq = (1 - T/(N + B*c'cotgφ)) <sup>m</sup>   | (1 in cond. nd) | 0,44 | 0,44 | (-) |
| ic = iq - (1 - iq)/(Nq - 1)                 |                 | 0,41 | 0,41 | (-) |
| iγ = (1 - T/(N + B*c'cotgφ)) <sup>m+1</sup> |                 | 0,29 | 0,29 | (-) |

(fondazione nastriforme m = 2)

|                  |                          |        |        |                      |
|------------------|--------------------------|--------|--------|----------------------|
| q <sub>lim</sub> | (carico limite unitario) | 151,87 | 151,87 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|------------------|--------------------------|--------|--------|----------------------|

|                         |                                  |      |             |             |            |     |
|-------------------------|----------------------------------|------|-------------|-------------|------------|-----|
| <b>FS carico limite</b> | <b>F = q<sub>lim</sub>*B*/ N</b> | Nmin | <b>1,59</b> | <b>&gt;</b> | <b>1,4</b> |     |
|                         |                                  | Nmax | <b>1,59</b> | <b>&gt;</b> |            | ↕ ↕ |