

AUTOSTRADA (A14) : BOLOGNA-BARI-TARANTO

TRATTO: BOLOGNA BORGO PANIGALE - BOLOGNA SAN LAZZARO

POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA

"PASSANTE DI BOLOGNA"

PROGETTO DEFINITIVO

TANGENZIALE NORD E SUD

CORPO STRADALE da pk 18+694 a pk 19+002


MURO DI SOSTEGNO MS021

Relazione di calcolo

| |
|---|
| <p>TANGENZIALE NORD E SUD</p> <p>CORPO STRADALE da pk 18+694 a pk 19+002</p> <p>MURO DI SOSTEGNO MS021</p> <p>Relazione di calcolo</p> |
|---|

| | | |
|--|--|---|
| <p>IL PROGETTISTA SPECIALISTICO</p> <p>Ing. Marco Pietro D'Angelantonio Ord. Ingg. Milano n.A20155</p> <p>RESPONSABILE GEOTECNICA ALL'APERTO</p> | <p>IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE</p> <p>Ing. Raffaele Rinaldesi Ord. Ingg. Macerata N. A1068</p> | <p>IL DIRETTORE TECNICO</p> <p>Ing. Andrea Tanzi Ord. Ingg. Parma N. 1154</p> <p>PROGETTAZIONE NUOVE OPERE AUTOSTRADALI</p> |
|--|--|---|

| CODICE IDENTIFICATIVO | | | | | | | | | | | ORDINATORE | |
|-----------------------|----------------------------------|------|------------------------|-----------|-------|---------------|-----------------------|------------|-------------|---------|------------|------------|
| RIFERIMENTO PROGETTO | | | RIFERIMENTO DIRETTORIO | | | | RIFERIMENTO ELABORATO | | | | | |
| Codice Commessa | Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto | Fase | Capitolo | Paragrafo | W B S | Parte d'opera | Tip. | Disciplina | Progressivo | Rev. | 001 | |
| 111465 | 0000 | PD | A 2 | C 1 | 9 | MS 0 2 1 | 0 0 0 0 0 | R | A P E | 0 6 9 8 | - 2 | SCALA - |

| | | | | | | | | |
|--|---|--|-------------------------|--|--|---|----------------|----------------|
|  <p>gruppo Atlantia</p> | PROJECT MANAGER: | | SUPPORTO SPECIALISTICO: | | | | REVISIONE | |
| | Ing. Raffaele Rinaldesi Ord. Ingg. Macerata N. A1068 | | | | | | n. | data |
| | REDATTO: | | VERIFICATO: | | | | 0 | DICEMBRE 2017 |
| | - | | - | | | | 1 | SETTEMBRE 2019 |
| | | | | | | 2 | SETTEMBRE 2020 | |

| | | |
|--|--|---|
| | <p>VISTO DEL COMMITTENTE</p>  <p>IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. Fabio Visintin</p> | <p>VISTO DEL CONCEDENTE</p>  <p>Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI</p> |
|--|--|---|

Sommario

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | PREMESSA | 3 |
| 1.1 | DESCRIZIONE SINTETICA DELL'OPERA | 3 |
| 1.2 | NORMATIVA DI RIFERIMENTO E CRITERI DI VERIFICA | 6 |
| 1.3 | CODICI DI CALCOLO | 6 |
| 2 | MATERIALI | 7 |
| 3 | INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO | 8 |
| 3.1 | LIVELLO DELLA FALDA | 9 |
| 4 | INQUADRAMENTO SISMICO | 10 |
| 4.1 | CLASSIFICAZIONE DELL'OPERA E VITA ATTESA | 10 |
| 4.2 | TEMPO DI RITORNO DELL'EVENTO SISMICO | 10 |
| 4.3 | ACCELERAZIONE MASSIMA SU SUOLO ROCCIOSO | 11 |
| 4.4 | PARAMETRI DI RISENTIMENTO IN SUPERFICIE | 12 |
| 4.4.1 | <i>Effetti stratigrafici</i> | 13 |
| 4.4.2 | <i>Effetti topografici</i> | 13 |
| 4.5 | ACCELERAZIONE MASSIMA AL SITO | 13 |
| 5 | ANALISI DELL'OPERA E CRITERI DI VERIFICA | 14 |
| 5.1 | CODICE DI CALCOLO | 14 |
| 5.1.1 | <i>Legame costitutivo</i> | 14 |
| 5.2 | ANALISI DELLA STRUTTURA | 14 |
| 5.3 | VERIFICHE STRUTTURALI | 15 |
| 5.4 | VERIFICA DELLA LUNGHEZZA DI IMMORSAMENTO DEI PALI | 15 |
| 5.5 | VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE | 15 |
| 5.5.1 | <i>Generalità</i> | 15 |
| 5.5.2 | <i>Azione stabilizzante dei pali di fondazione</i> | 16 |
| 5.5.3 | <i>Azione sismica</i> | 16 |
| 5.5.4 | <i>Verifica di stabilità</i> | 16 |
| 5.6 | VERIFICA DELLE DEFORMAZIONI IN ESERCIZIO | 17 |
| 6 | ANALISI DEI CARICHI | 18 |
| 6.1 | PESI PROPRI | 18 |
| 6.2 | SPINTA DELLA TERRA | 18 |
| 6.3 | SPINTA DELLA TERRA IN CONDIZIONI SISMICHE | 18 |
| 6.3.1 | <i>Azione sismica</i> | 18 |
| 6.3.2 | <i>Incremento del coefficiente di spinta attiva</i> | 19 |
| 6.3.3 | <i>Riduzione del coefficiente di spinta passiva</i> | 20 |
| 6.4 | AZIONE TRASMESSA DALLE BARRIERE FONOASSORBENTI | 21 |
| 6.5 | TRAFFICO VEICOLARE | 22 |
| 6.6 | COMBINAZIONI DI CARICO E COEFFICIENTI PARZIALI | 22 |
| 7 | ANALISI DELL'OPERA - DATI DI INPUT | 23 |
| 7.1 | MODELLAZIONE DEI "CONTRAFFORTI" | 23 |
| 7.2 | FASI ESECUTIVE | 23 |
| 7.3 | COEFFICIENTI DI SPINTA DELLA TERRA | 23 |
| 7.4 | AZIONE TRASMESSA DALLE BARRIERE FONOASSORBENTI | 25 |
| 7.5 | AZIONE SISMICA | 26 |
| 8 | TRATTO 1 - ANALISI DELL'OPERA - RISULTATI | 27 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 8.1 | FASI DI CALCOLO | 27 |
| 8.2 | SPOSTAMENTI | 30 |
| 8.3 | AZIONI INTERNE PALI DI FONDAZIONE | 32 |
| 8.4 | AZIONI INTERNE SPICCATO | 35 |
| 8.5 | SINTESI AZIONI INTERNE | 38 |
| 9 | TRATTO 1 - ANALISI DELL'OPERA - VERIFICHE | 39 |
| 9.1 | VERIFICA DELL'IMMORSAMENTO DEI PALI | 39 |
| 9.2 | VERIFICA STRUTTURALE DEI PALI | 39 |
| 9.3 | VERIFICA STRUTTURALE DEL SOPRALZO | 42 |
| 9.4 | VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE | 45 |
| 10 | TRATTO 2 - ANALISI DELL'OPERA - RISULTATI | 47 |
| 10.1 | FASI DI CALCOLO | 47 |
| 10.2 | SPOSTAMENTI | 50 |
| 10.3 | AZIONI INTERNE PALI DI FONDAZIONE | 52 |
| 10.4 | AZIONI INTERNE SPICCATO | 55 |
| 10.5 | SINTESI AZIONI INTERNE | 58 |
| 11 | TRATTO 2 - ANALISI DELL'OPERA - VERIFICHE | 59 |
| 11.1 | VERIFICA DELL'IMMORSAMENTO DEI PALI | 59 |
| 11.2 | VERIFICA STRUTTURALE DEI PALI | 59 |
| 11.3 | VERIFICA STRUTTURALE DEL SOPRALZO | 62 |
| 11.4 | VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE | 65 |

1 PREMESSA

La presente relazione documenta le verifiche geotecniche e strutturali del muro di sostegno MS021 da realizzarsi in carreggiata sud tra le progressive da pk.18+894 a pk.18+990 circa nell'ambito dei lavori di potenziamento in sede del sistema autostradale/tangenziale del nodo di Bologna.

1.1 DESCRIZIONE SINTETICA DELL'OPERA

L'opera può essere suddivisa in due tratti caratteristici in quanto in un tratto i pali di fondazione vengono realizzati direttamente dal p.c. locale (vedere anche sezione tipo di cui alla figura n.1.2) mentre in un secondo tratto i pali vengono eseguiti operando da un rilevato provvisorio (figura 1.1). Le caratteristiche geometriche dell'opera sono di seguito riassunte:

Vista la notevole altezza dell'opera, l'altezza della barriera fonica installata sulla sommità e le sfavorevoli condizioni stratigrafiche si rende necessario (al fine di contenere sforzi e deformazioni nell'ambito di valori accettabili) prevede la realizzazione di "contrafforti" costituiti da pali realizzati ortogonalmente all'allineamento del muro in ragione di **1 palo ogni 3**.

TRATTO 1 – Pali eseguiti da rilevato provvisorio

- Altezza massima del sopralzo: 2.70m (da trave testa pali)
- Altezza massima muro (predalle): 8.75m
- Tipologia pali di fondazione: trivellati a fango
- Lunghezza pali di fondazione: 34.00m
- Diametro pali di fondazione: 1'500mm
- Interasse pali di fondazione: 1'700mm
- Dimensione trave di testa dei pali: 170 x 120cm

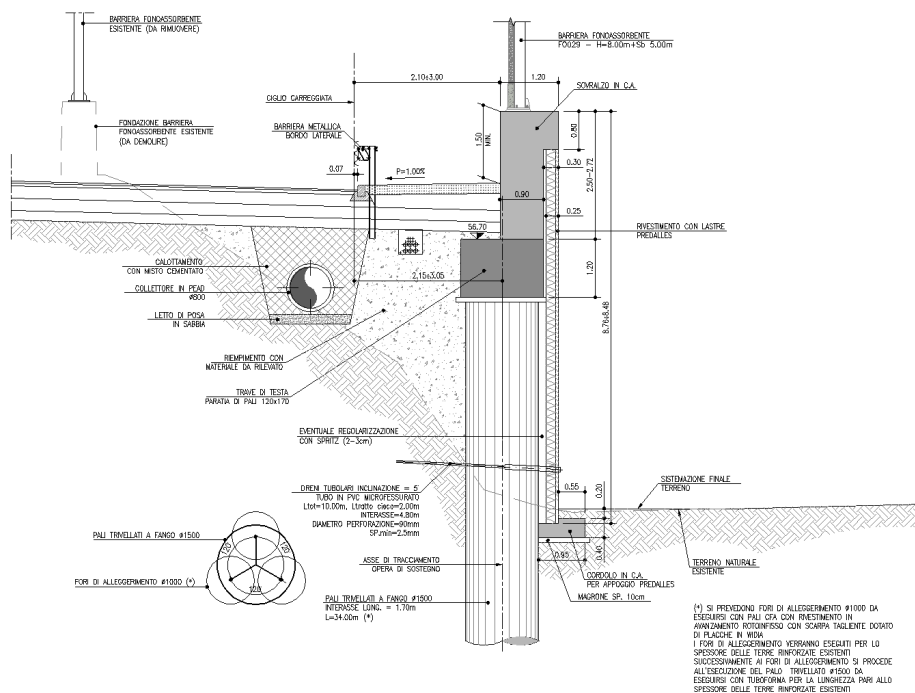


Figura 1-1. Sezione tipo opera di sostegno MS021 – Tratto 1

TRATTO 2 – Pali eseguiti da p.c. locale

- Altezza massima del sopralzo: 7.55m (da trave testa pali)
- Altezza massima muro (predalle): 8.50m
- Tipologia pali di fondazione: trivellati a fango bentonitico
- Lunghezza pali di fondazione: 30.00m
- Diametro pali di fondazione: 1'500mm
- Interasse pali di fondazione: 1'700mm
- Dimensione trave di testa dei pali: 170 x 120cm

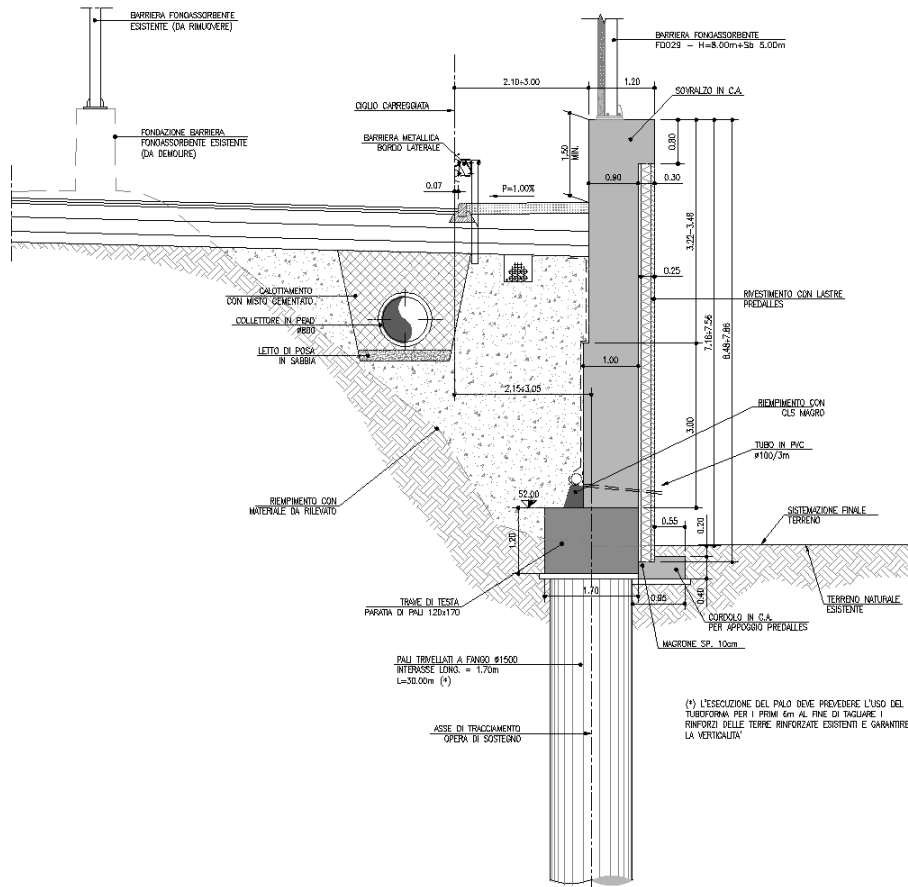


Figura 1-2. Sezione tipo opera di sostegno MS021 – Tratto 2

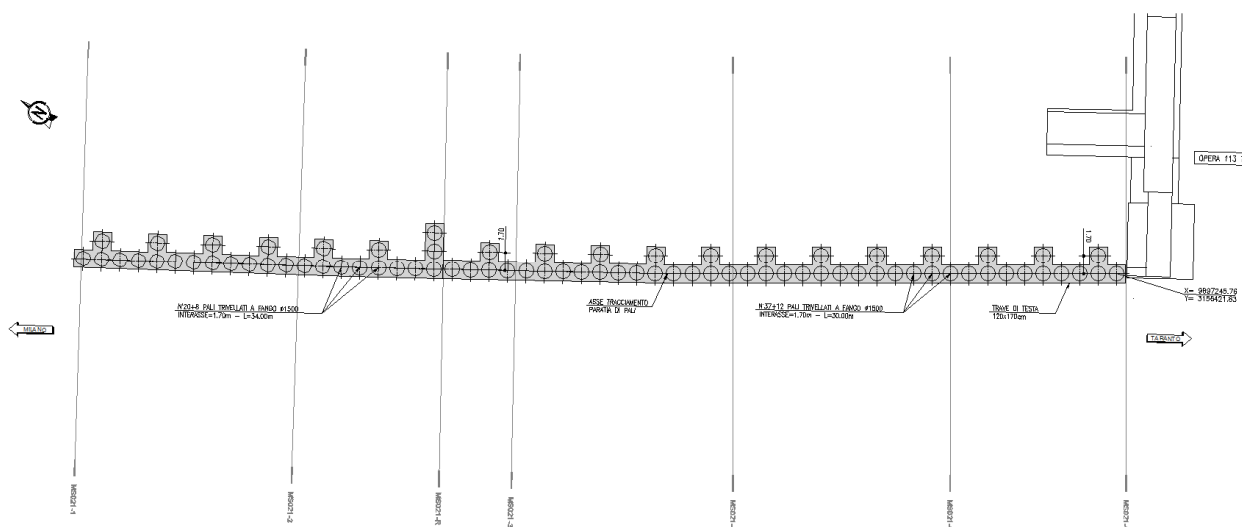


Figura 1-3. Pianta "contrafforti"

L'asse di tracciamento dell'opera coincide con l'asse dei pali di fondazione dista da un minimo di 2.15 ad un massimo di 3.05 dal ciglio di progetto della tangenziale.

Sulla sommità del muro è prevista l'installazione della barriera antifonica FO78 di tipo 7.

L'opera di sostegno viene realizzata per fasi in modo da garantire la copertura acustica rispetto all'ambiente circostante:

- FASE 1** – Si realizza un piano di lavoro provvisorio per l'esecuzione dei pali di fondazione del **tratto 1**. La scarpata è sostenuta mediante blocchi modulari in cls (1x1x1m) in modo da ridurre al minimo le occupazioni.
- FASE 2** – Si scapitozza la sommità dei pali del **tratto 1** e si realizza la trave di testa sulla quale si getta il soprizzo in c.a. fino alla quota di testa del cordolo.
- FASE 3** – Si rimuove il rilevato provvisorio e si realizza una pista di lavoro in corrispondenza del **tratto 2**.
- FASE 4** – Si scapitozza la sommità dei pali del **tratto 2** e si realizza la trave di testa sulla quale si getta il soprizzo in c.a. fino alla quota di testa del cordolo.
- FASE 5** – L'intero paramento viene rivestito con lastre prefabbricate fondate su un getto in c.a. Il terreno antistante l'opera viene sistemato e regolarizzato.

1.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO E CRITERI DI VERIFICA

Le analisi e le verifiche di seguito documentate sono state svolte nel rispetto della Normativa vigente di seguito richiamata:

- **Circolare 21 gennaio 2019**, n.7 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. Gazzetta Ufficiale del 11.02.2019 n. 5, supplemento ordinario n.35.
- **D.M. 17/01/2018** “Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” - GU n°8 del 17/2/2018

In accordo a quanto previsto dalle NTC le analisi e le verifiche di seguito documentate sono state svolte con riferimento alla teoria degli Stati Limite.

1.3 CODICI DI CALCOLO

Per le verifiche geotecniche e strutturali si è fatto ricorso ai seguenti codici di calcolo commerciali:

| | |
|--|-----------------------------|
| RC-SEC_2019.11.0 – <i>Geostru</i> | (verifiche sezioni in c.a.) |
| PRATIE-PLUS 20.0.5 - <i>Ceas</i> | (analisi muro su pali) |

2 MATERIALI

Le caratteristiche dei calcestruzzi sono definite in accordo con UNI-EN206-1 e CNR-UNI11104 mentre i copriferri sono definiti in base a NTC-2008 e EN1992-1-1.

MAGRONE DI SOTTOFONDO

- Classe di resistenza minima: C12/15
- Classe di esposizione: XC0

CALCESTRUZZO PER TRAVE TESTA PALI

- Classe di resistenza minima: C25/30
- Classe di esposizione: XC2
- Copriferro "nominale" ⁽¹⁾: 40mm

CALCESTRUZZO PER PALI DI FONDAZIONE (trivellati a fango)

- Classe di resistenza minima: C25/30
- Classe di esposizione: XC2
- Copriferro "nominale" ⁽¹⁾: 80mm

CALCESTRUZZO PER ELEVAZIONE E CORDOLI

- Classe di resistenza minima: C32/40
- Classe di esposizione: XF2
- Copriferro "nominale" ⁽¹⁾: 40mm

CALCESTRUZZO PER PREDALLES DI RIVESTIMENTO

- Classe di resistenza minima: C32/40
- Classe di esposizione: XF2
- Copriferro "nominale" ⁽¹⁾: 30mm

ACCIAIO PER ARMATURA LENTA

- Acciaio in barre: B450C
- Reti: B450A
- Sovrapposizione: 60 diametri

⁽¹⁾ – Copriferro *nominale di calcolo* secondo EN1992-1-1 comprensivo di $\Delta c_{dev} = 5\text{mm}$

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO

Rimandando per i dettagli agli specifici documenti progettuali si considera la seguente stratigrafia di riferimento (sondaggio **S49**):

| | |
|----------------------|---------------------|
| Da p.c. locale a 9m: | Formazione A |
| Da 9m a 16m: | Formazione B |
| Da 16m a 28m: | Formazione A |
| Oltre 28m: | Formazione B |

Nello specifico la formazione **A** è costituita prevalentemente da argille e limi debolmente sabbiosi a consistenza da soffice a media mentre la formazione **B** è costituita da materiale granulare (ghiaie e ghiaietto in matrice sabbiosa/limosa) molto addensato con frequenti condizioni di "rifiuto" delle prove SPT.

Per tali formazioni si considerano i parametri geotecnici caratteristici di cui al seguito:

Formazione A (fino a 3m dal p.c locale)

γ = peso di volume = 19kN/mc

c' = coesione efficace = 5kPa

ϕ'_k = angolo di attrito caratteristico = 28°

E' = modulo elastico operativo in carico vergine = 10MPa

E'_{ur} = modulo elastico operativo in scarico e ricarico = 20MPa

Formazione A (oltre 3m dal p.c locale)

γ = peso di volume = 19kN/mc

c' = coesione efficace = 0kPa

ϕ'_k = angolo di attrito caratteristico = 28°

E' = modulo elastico operativo in carico vergine = 10MPa

E'_{ur} = modulo elastico operativo in scarico e ricarico = 20MPa

Formazione B

γ = peso di volume = 20kN/mc

c' = coesione efficace = 0kPa

ϕ'_k = angolo di attrito caratteristico = 38°

E' = modulo elastico operativo = 50MPa

Per quanto concerne i parametri geotecnici del **rilevato stradale esistente e/o di nuova realizzazione** si considera, cautelativamente, quanto segue:

γ = peso di volume = 20kN/mc

c' = coesione efficace = 0kPa

ϕ' = angolo di attrito $\geq 35^\circ$

E' = modulo elastico operativo = 60MPa

3.1 LIVELLO DELLA FALDA

Il livello piezometrico di progetto è assunto a 2m dal p.c. locale

4 INQUADRAMENTO SISMICO

4.1 CLASSIFICAZIONE DELL'OPERA E VITA ATTESA

In accordo a quanto previsto dalle NTC, la tipologia di opere in progetto può essere definita con riferimento alla tabella n.4.1 di cui al seguito.

| Opera | Tipo | V_N |
|---|----------|-----------------------------|
| Parti d'opera provvisionali con $V_N \leq 2$ anni | 1 | ≤ 2 |
| Parti d'opera provvisionali con $2\text{anni} < V_N \leq 10$ anni | 1 | ≤ 10 |
| Opere ordinarie | 2 | ≥ 50 |
| Grandi opere | 3 | ≥ 100 |

Tabella n.4.1 – Tipo e vita nominale dell'opera (NTC – tabella 2.4.I)

In relazione alle conseguenze di una interruzione di funzionalità o collasso in caso di sisma l'opera in esame (cfr. tabella n.2.4.II – NTC) viene invece classificata in accordo a quanto riportato in tabella n.4.2.

| Classe d'uso | I | II | III | IV |
|--------------|-----|-----|-----|------------|
| C_U | 0.7 | 1.0 | 1.5 | 2.0 |

Tabella n.4.2 – Classi e coefficienti d'uso (NTC – tabella 2.4.II)

Nel caso specifico in studio si assume quanto segue:

$V_N =$ 50 anni

Classe d'uso IV

$C_U =$ 2.0

Il periodo di riferimento (V_R) dell'evento sismico viene pertanto definito (cfr. paragrafo n.2.4.3 – NTC) come prodotto tra la vita nominale (V_N) ed il coefficiente d'uso (C_U) ottenendo:

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \text{ anni} \times 2 = \mathbf{100 \text{ anni}}$$

4.2 TEMPO DI RITORNO DELL'EVENTO SISMICO

Fissato il periodo di riferimento V_R e stabilita la probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} (funzione dello stato limite considerato come indicato in tabella n.4.3), è possibile stimare il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R attraverso l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

| Stati limite di esercizio (P_{VR}) | Stati limite ultimi (P_{VR}) |
|---|---|
| SLO - Stato limite di operatività (81%) | SLV- Stato limite di salvaguardia (10%) |
| SLD - Stato limite di danno (63%) | SLD – Stato limite di prevenzione del collasso (5%) |

Tabella n.4.3 – Stati limite secondo le NTC e relative probabilità di superamento P_{VR}

Nel caso specifico in studio si fa riferimento allo stato limite SLV, cui corrisponde il seguente valore del tempo di ritorno dell'evento sismico:

$$T_R = 949 \text{ anni}$$

4.3 ACCELERAZIONE MASSIMA SU SUOLO ROCCIOSO

Il valore di accelerazione orizzontale massima nello specifico sito di interesse va determinato con riferimento ai valori puntuali già definiti per un'apposita griglia (10x10km) da uno studio dell'INGV e riassunti nelle tabelle di cui all'allegato B delle NTC cui si rimanda.

In particolare il valore al sito viene definito mediando (in funzione della distanza) l'entità dell'accelerazione caratteristica dei 4 nodi più prossimi al sito stesso come di seguito indicato (analogo procedimento può essere adottato per gli altri parametri sismici [F_0 e T^*_{Cj}):

$$a_g = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{a_{g,i}}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

Dove:

a_g = accelerazione massima suolo tipo A nel sito

$a_{g,i}$ = accelerazione massima suolo tipo A nell'i-esimo punto

d_i = distanza del sito da i-esimo punto

Qualora la pericolosità sismica su reticolo di riferimento (vedi Allegato B delle NTC DM 14 Gennaio 2008) non contempli il periodo di ritorno corrispondente al V_R e alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} fissate in progetto, il valore del generico parametro p (a_g , F_0 , T^*_c) ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione, a partire dai dati relativi ai T_R previsti nella pericolosità sismica, utilizzando l'espressione seguente:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \cdot \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

nella quale:

- p è il valore del parametro di interesse corrispondente al periodo di ritorno T_R desiderato;
- T_{R1} , T_{R2} sono i periodi di ritorno più prossimi a T_R per i quali si dispone dei valori p_1 e p_2 del generico parametro p .

I valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'ALLEGATO B delle NTC.

Nel caso specifico in studio si fa riferimento alle seguenti coordinate geografiche (WGS84):

latitudine: 44,49404

longitudine: 11,390321

In tabella n.4.4 è, invece, riportato il numero identificativo dei nodi considerati con relative coordinate geografiche e distanza rispetto al sito in esame.

| PUNTO | ID | LAT | LONG | DISTANZA (m) |
|-------|-------|---------|---------|--------------|
| 1 | 16731 | 44,5163 | 11,3875 | 2'384 |
| 2 | 16732 | 44,5175 | 11,4576 | 5'819 |
| 3 | 16954 | 44,4675 | 11,4593 | 6'199 |
| 4 | 16953 | 44,4663 | 11,3893 | 3'196 |

Tabella n.4.4 – Reticolo di riferimento – Coordinate

Ne derivano i parametri sismici (a_g , F_0 e T_c^*) di cui alla tabella n.4.5 relativi agli stati limite ed al tempo di ritorno considerati.

| STATI LIMITE | Classe d'uso IV ($V_R = 100$ anni) | | | |
|--------------|-------------------------------------|--------------|-----------|-------------|
| | T_R (anni) | a_g (g) | F_0 (-) | T_c^* (-) |
| SLD | 101 | 0.091 | 2.464 | 0.285 |
| SLV | 949 | 0.215 | 2.426 | 0.315 |

Tabella n.4.5 – Parametri sismici al sito – suolo tipo A affiorante

4.4 PARAMETRI DI RISENTIMENTO IN SUPERFICIE

Gli effetti di amplificazione locale dovuti alla stratigrafia ed alla conformazione topografica vengono messi in conto mediante i seguenti parametri:

Parametro S_S : Effetti stratigrafici

Parametro S_T : Effetti topografici

4.4.1 Effetti stratigrafici

Il parametro S_S che tiene conto degli effetti di amplificazione locale dovuti alla stratigrafia, viene calcolato in funzione della categoria di sottosuolo e della sismicità locale.

Nel caso specifico in studio si assume quanto segue (vedere anche relazione geotecnica):

Categoria di suolo tipo **B**

$$S_S = 1.4 - 0.4F_0 a_g \cong 1.20 \quad (\text{SLD})$$

$$S_S = 1.4 - 0.4F_0 a_g \cong 1.19 \quad (\text{SLV})$$

4.4.2 Effetti topografici

Per quanto concerne gli effetti topografici si fa riferimento alla tabella n.3.2.VI delle NTC. Nel caso specifico in studio (terreno pressoché pianeggiante) si assume:

Categoria pendio: T1

$$S_T = 1.0$$

4.5 ACCELERAZIONE MASSIMA AL SITO

L'accelerazione massima orizzontale al sito (a_{\max}) è calcolata come prodotto dell'accelerazione al substrato (a_g) e dei fattori di amplificazione (S_S ed S_T).

Si ottiene pertanto:

$$a_{\max} = a_g \times S = a_g \times S_T \times S_S$$

Da cui:

$$\text{SLD: } a_{\max} = a_g \times S_T \times S_S = 0.091 \times 1.00 \times 1.20 = 0.109$$

$$\text{SLV: } a_{\max} = a_g \times S_T \times S_S = 0.215 \times 1.00 \times 1.19 = 0.256$$

5 ANALISI DELL'OPERA E CRITERI DI VERIFICA

5.1 CODICE DI CALCOLO

L'analisi di interazione terreno-struttura è svolta con l'ausilio del codice di calcolo "PARATIE-PLUS 20" commercializzato da Harpaceas.

L'opera di sostegno viene modellata come opera "opera flessibile" in condizioni di simmetria piana nelle deformazioni (2D) considerando le seguenti ipotesi di tipo "generale".

- Stato piano nelle deformazioni (paratia di lunghezza infinita).
- Terreno modellato come un letto di molle con legame costitutivo elastico-perfettamente plastico con criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
- Struttura discretizzata in elementi perfettamente elastici.
- Solutore agli elementi finiti (FEM).
- Eventuali contrasti modellati per mezzo di molle di opportuna rigidità.
- Sovraccarichi a monte ed a valle della paratia trasformati in spinte sul paramento in accordo a quanto previsto dalla teoria elastica.
- Mobilitazione della spinta della terra funzione del livello di deformazione partendo da una condizione iniziale di spinta "a riposo" (k_0). I valori massimi e minimi della spinta vengono definiti in funzione dei coefficienti di spinta "passiva" (K_p) e "attiva" (K_a) rispettivamente.

5.1.1 Legame costitutivo

Per i dettagli si rimanda al manuale di teoria del codice di calcolo *PARATIE-PLUS*. Da un punto di vista generale la legge costitutiva del terreno viene definita da due sottoclassi di parametri: parametri di spinta (K_0 , K_a e K_p) e parametri di deformabilità.

Per quanto concerne i **parametri di spinta**, si rimanda al capitolo successivo. I **parametri di deformabilità** del terreno compaiono nella definizione della rigidità delle molle equivalenti. Per un letto di molle distribuite la rigidità di ciascuna di esse, k , è data da

$$k = E / L$$

ove E è un modulo di rigidità del terreno mentre L è una grandezza geometrica caratteristica diversa a valle e a monte della paratia perché diversa è la zona di terreno coinvolta dal movimento in zona attiva e passiva. Il parametro E può essere definito in funzione dello stato tensionale o assunto costante e tiene conto degli effetti dello scarico/ricarico mediante opportuni coefficienti moltiplicativi (da 3 a 10 nel caso delle argille e da 1.5 a 3.0 nel caso delle sabbie/ghiaie).

5.2 ANALISI DELLA STRUTTURA

In accordo al §6.2.4.1.3 (NTC) l'analisi di interazione terreno-struttura viene svolta con i valori caratteristici dei parametri geotecnici, amplificando l'effetto delle azioni con i coefficienti parziali del gruppo A1.

In accordo a §6.5.3.1.2 le verifiche vengono svolte considerando l'Approccio 1 che prevede le combinazioni STR e GEO e impone (vedere §2.6.1) che "[...] in tutti i casi, sia nei confronti del dimensionamento strutturale, sia per quello geotecnico, si deve utilizzare la combinazione più gravosa fra le due precedenti [...]".

Per quanto attiene la verifica strutturale si impone che non si possano formare cerniere plastiche (comportamento non dissipativo) ricorrendo ad un legame costitutivo del calcestruzzo di tipo elastico ("prima plasticizzazione").

Nello specifico il calcolo viene svolto in 6 differenti combinazioni:

- Nominale (tutti coefficienti parziali unitari)
- SLE-Rara
- SLU - A1-M1-R1 (R3 per i tiranti)
- SLU - A2-M2-R1
- SISMICA - STR
- SISMICA - GEO

Nella fase di realizzazione dell'opera si considera un sovrascavo pari a 50cm come previsto in NTC (§6.5.2.2).

5.3 VERIFICHE STRUTTURALI

La verifica strutturale dei pali di fondazione e del sovralzo viene svolta con riferimento alla teoria dello stato limite considerando le caratteristiche di resistenza dei materiali di Norma secondo le classi definite negli elaborati grafici di progetto.

Per quanto attiene la verifica delle sezioni in c.a. si impone che non si possano formare cerniere plastiche (**comportamento non dissipativo**) ricorrendo ad un legame costitutivo del calcestruzzo di tipo elastico ("prima plasticizzazione").

5.4 VERIFICA DELLA LUNGHEZZA DI IMMORSAMENTO DEI PALI

La lunghezza di immorsamento dei pali di fondazione viene definita sulla base del più restrittivo dei seguenti criteri:

- A. Garanzia nei riguardi della stabilità globale dell'opera.
- B. Immorsamento minimo al di sotto della quota di fondo scavo 5.0m
- C. Mobilitazione della spinta passiva non superiore all'90% della spinta potenzialmente mobilitabile in condizioni più gravose.

5.5 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

5.5.1 Generalità

Si fa ricorso ad un modello semplificato basato sulla nota teoria dell'equilibrio limite nell'ambito della quale i terreni sono stati caratterizzati mediante un legame costitutivo rigido-plastico con criterio di rottura di Mohr-Coulomb (analisi in termini di sforzi efficaci).

Tale approccio consente di svincolarsi da tutte le complesse problematiche legate all'analisi dello stato deformativo dell'ammasso e di definire un semplice fattore di sicurezza, convenzionalmente valutato come rapporto tra le forze di taglio potenzialmente mobilitabili lungo la superficie di rottura analizzata e le forze di taglio effettivamente mobilitate sotto l'azione delle forze agenti sull'ammasso (pesi propri, carichi esterni, ecc.). La letteratura tecnica documenta numerosi metodi per il calcolo del fattore di sicurezza; tra di essi si è optato per quello proposto da **Morghestern & Price per superfici di rottura di forma cilindrica**.

5.5.2 Azione stabilizzante dei pali di fondazione

Ai fini della stabilità globale i pali vengono considerati come elementi strutturali atti ad imporre che le potenziali superfici di rottura debbano passare al di sotto della base degli stessi.

5.5.3 Azione sismica

Si ricorre ad un approccio di tipo pseudo-statico che consiste nell'aggiungere ai carichi statici di progetto una forza rappresentativa della forza di inerzia prodotta dal passaggio delle onde sismiche nella massa di terreno. Da un punto di vista operativo si ricorre agli stessi codici impiegati per le analisi statiche con la semplice aggiunta di una forza di volume calcolata come di seguito indicato.

Con riferimento a quanto definito nelle NTC (paragrafo n.7.11.3.5.2) l'azione sismica viene messa in conto per mezzo dei seguenti coefficienti di accelerazione:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{\max} / g$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \quad (\text{verso l'alto})$$

Dove:

a_{\max} = accelerazione massima al suolo

g = accelerazione di gravità

$\beta_s = 0.38$ per analisi SLV

5.5.4 Verifica di stabilità

Si fa riferimento al paragrafo n.6.8.2 e 7.11.4 delle NTC. La verifica di stabilità viene svolta sotto le seguenti ipotesi:

| | |
|------------------------|--|
| Approccio di calcolo: | 1 – C2 |
| Stato limite (SLU): | GEO |
| Coefficienti parziali: | A_2, M_2, R_2 (vedere tabella n.5.1) |

Si verifica che valga:

$$\tau_m \leq \tau_s / \gamma_R$$

Dove:

τ_m = sforzo di taglio mobilitato (da calcolare con fattori di cui a tabella n.5.1)

τ_s = sforzo di taglio disponibile (da calcolare con fattori di cui a tabella n.5.1)

γ_R = coefficiente globale sulla resistenza di calcolo

| VERIFICA | γ_F | | | γ_M | | | | γ_R |
|-----------|--|-------------------------|-------------------------|----------------|------|----------------|----------------|------------|
| | Permanenti sfavorevoli | | Accidentali sfavorevoli | tan(ϕ') | c' | c _u | q _u | |
| | Strutturali e permanenti definiti (p.p., spinte terra e acqua) | Permanenti non definiti | | | | | | |
| STATICA | 1.0 | 1.3 | 1.3 | 1.25 | 1.25 | 1.40 | | 1.1 |
| SISMA_SLV | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | 1.2 |

Tabella n.5.1 – Analisi di stabilità globale - Coefficienti parziali

5.6 VERIFICA DELLE DEFORMAZIONI IN ESERCIZIO

In condizioni SLE si verifica che siano rispettate le seguenti limitazioni sugli spostamenti calcolati:

1. Spostamento massimo complessivo da inizio costruzione (s_{max}) inferiore a 1.5% dell'altezza di calcolo del muro:

$$s_{max} \leq 1.5\% H_{muro}$$

2. Spostamento in esercizio al netto dello spostamento a fine costruzione (Δs) inferiore a 0.5% dell'altezza di calcolo del muro

$$\Delta s \leq 0.5\% H_{muro}$$

6 ANALISI DEI CARICHI

6.1 PESI PROPRI

Per i getti in opera si considera un peso proprio pari a 25kN/m³.

6.2 SPINTA DELLA TERRA

il coefficiente di spinta a riposo (K_0) fornisce lo stato tensionale presente in sito prima delle operazioni di scavo. Esso lega la tensione orizzontale efficace quella verticale efficace e dipende dalla resistenza del terreno, attraverso il suo angolo di attrito efficace e dalla sua storia geologica. Si può assumere che:

$$K_0 = K_0^{NC} (OCR)^m$$

dove:

$$K_0^{NC} = 1 - \sin(\phi')$$

OCR = grado di sovraconsolidazione

m = parametro empirico compreso tra 0.4 e 0.7; Ladd et al. (1977), Jamiolkowski et al. (1979)

Il coefficiente di spinta attiva (K_a) e di spinta passiva (K_p) vengono valutati ricorrendo alla correlazione di Caquot & Kerisel (1948) valida per superfici di rottura di tipo complesso (spirale logaritmica) ed in grado di tenere conto dell'attrito tra paratia e terreno (δ). Quest'ultimo parametro viene in genere assunto pari a:

Analisi statiche: $\delta/\phi = 0.67$

Analisi sismiche – spinta attiva: $\delta/\phi = 0.67$

Analisi sismiche – spinta passiva: $\delta/\phi = 0.0$

6.3 SPINTA DELLA TERRA IN CONDIZIONI SISMICHE

6.3.1 Azione sismica

L'azione sismica da impiegarsi per il calcolo delle spinte sulle opere di sostegno viene espressa con riferimento ai "coefficienti sismici" di cui al seguito (NTC – paragrafo n.7.11.6.3.1):

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max} \geq 0.2 \cdot a_{max}$$

$$k_v = 0$$

dove:

k_h = coefficiente sismico orizzontale

k_v = coefficiente sismico verticale

$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$ = accelerazione massima di progetto al suolo

α = coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni (cfr. figura n.6.1)

β = coefficiente che tiene conto della deformabilità dell'opera (cfr. figura n.6.1)

H = altezza massima dello scavo

u_s = spostamento tollerato dalla paratia senza riduzione della resistenza

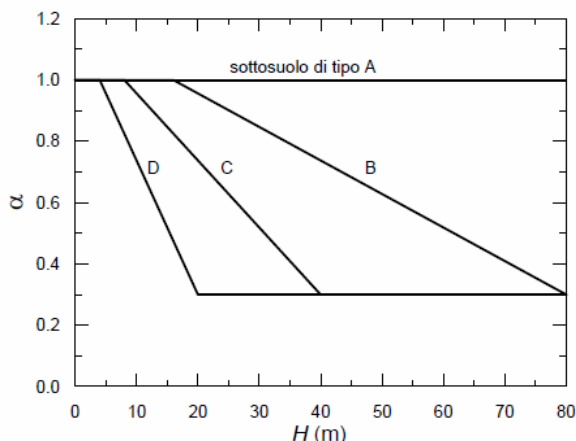


Fig. 7.11.2 - Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α

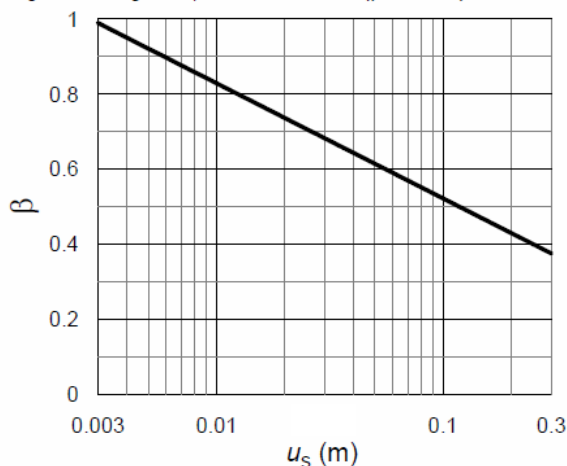


Fig. 7.11.3 - Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β .

Figura n.6.1 - Coefficiente α e β (figura n.7.11.3 - NTC)

L'azione sismica viene, pertanto, messa in conto considerando 2 differenti contributi:

- 1) Incremento del coefficiente di spinta attiva del terreno
- 2) Decremento del coefficiente di spinta passiva del terreno

6.3.2 Incremento del coefficiente di spinta attiva

Il coefficiente di spinta attiva (contributo statico + sismico) viene pertanto calcolato ricorrendo alla formulazione di Mononobe & Okabe:

$$K_{as} = \frac{\sin^2(\psi + \varphi - \vartheta)}{\cos \vartheta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \vartheta - \delta) \left[1 + \frac{\sqrt{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta - \vartheta)}}{\sqrt{\sin(\psi - \vartheta - \delta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

dove (con ovvio significato dei simboli) si possono distinguere 3 differenti casi come di seguito indicato:

| | | |
|--|---|--|
| Caso 1 Assenza di falda | $\vartheta = \arctan k_h / (\pm k_v)$ | $\gamma^* = \gamma_{nat} \cong \gamma_{sat}$ |
| Caso 2 Terreno impermeabile saturo | $\vartheta = \arctan \left(\frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - \gamma_w} \right) \cdot k_h / (\pm k_v)$ | $\gamma^* = \gamma'$ |
| Caso 3 Terreno permeabile saturo | $\vartheta = \arctan \left(\frac{\gamma_d}{\gamma_{sat} - \gamma_w} \right) \cdot k_h / (\pm k_v)$ | $\gamma^* = \gamma'$ |

Definito il coefficiente di spinta attiva (K_{as}) come sopra indicato (contributo statico + contributo del sisma) è possibile risalire all'incremento di spinta dovuto al solo sisma operando come segue:

- 1) Si calcola la spinta attiva in condizioni statiche: S_a
- 2) Si calcola la spinta attiva in presenza di sisma: S_{as}
- 3) Si calcola l'incremento dovuto al solo sisma: $\Delta S_{as} = S_{as} - S_a$

Il codice PARATIE-PLUS consente di mettere in conto l'azione sismica così calcolata con due differenti modalità operative:

Modalità 1): si tratta del metodo più tradizionale in base al quale la spinta sismica ΔS_{as} viene applicata a monte come azione esterna con distribuzioni da definire (rettangolare, trapezia, su tutta altezza o solo sulla parte fuori terra, ecc.).

Modalità 2): si tratta di un metodo alternativo (più sofisticato) che permette di correlare l'entità delle spinte alla deformabilità della parete considerando valori intermedi tra l'estremo superiore di paratia "rigida" (teoria di Wood) e paratia "flessibile" (teoria di Mononobe-Okabe e Lanecclotta, 2007).

Nel caso specifico si ricorre alla **modalità 2**. Per maggiori dettagli si rimanda al Manuale del programma.

6.3.3 Riduzione del coefficiente di spinta passiva

In analogia a quanto visto per la spinta attiva (metodo di Mononobe & Okabe) è possibile calcolare l'entità del coefficiente di spinta passiva in accordo all'espressione di cui al seguito, imponendo un attrito terreno-manufatto nullo.

$$K_{ps} = \frac{\sin^2(\psi + \varphi - \vartheta)}{\cos \vartheta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \vartheta) \left[1 - \frac{\sqrt{\sin(\varphi) \sin(\varphi - \beta - \vartheta)}}{\sqrt{\sin(\psi - \vartheta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

La spinta passiva in condizioni sismiche viene calcolata considerando un attrito terra-opera nullo.

6.4 AZIONE TRASMESSA DALLE BARRIERE FONOASSORBENTI

Le azioni trasmesse dalle barriere fonoassorbenti sono state cautelativamente calcolate facendo riferimento al caso del tratto di "bordo" e considerando un valore "medio" del coefficiente di pressione pari a 2.40 (si osserva che per il calcolo dei montanti il valore del coefficiente di pressione è stato affinato e rigorosamente definito ai sensi della norma). Vista la tipologia di fondazione (paratia di pali di grosso diametro) si trascura, a favore di sicurezza, l'effetto del peso dei montanti e dei pannelli. Per i dettagli del calcolo delle azioni al piede del montante si rimanda agli elaborati specifici.

In tabella n.6.1 di cui al seguito sono riassunti i valori delle azioni agenti al piede dei montanti (interasse 4m) per la barriera tipo 7 di altezza pari a 6.50m oltre sbraccio di 5.50m.

| | Peso risultante | Azione normale | Taglio | Momento |
|---------------------------------------|---------------------|-------------------|--------------|---------------|
| | F_k | N_k | T_k | M_k |
| | (kN) | (kN) | (kN) | (kNm) |
| 1 Peso proprio | 22.1 | -22.1 | 0.0 | -26.6 |
| G1a - inferiore | 5.2 | -5.2 | 0.0 | 0.0 |
| G1b - superiore | 8.3 | -8.3 | 0.0 | -3.0 |
| G1c - sbalzo | 8.6 | -8.6 | 0.0 | -23.6 |
| 2 Carichi permanenti | 30.5 | -30.5 | 0.0 | -42.9 |
| G2 - pannello inferiore in cls | 7.5 | -7.5 | 0.0 | -2.7 |
| G3 - pannelli inferiori in acciaio | 4.0 | -4.0 | 0.0 | -1.4 |
| G4 - pannelli superiori in acciaio | 8.0 | -8.0 | 0.0 | -5.6 |
| G5 - pannelli sbalzo in acciaio | 11.0 | -11.0 | 0.0 | -33.2 |
| G - Pesi propri e permanenti | 52.6 | | | |
| | Forza risultante | Azione normale | Taglio | Momento |
| | F_k | N_k | T_k | M_k |
| | (kN) | (kN) | (kN) | (kNm) |
| 3 Vento X+ | | -29.8 | 82.7 | -472.1 |
| pannelli inferiori | 23.0 | 0.0 | 23.0 | -31.1 |
| pannelli superiori | 36.8 | -6.4 | 36.3 | -170.7 |
| pannelli sbalzo | 33.1 | -23.4 | 23.4 | -270.3 |
| 4 Vento X- | | 38.9 | -87.6 | 566.8 |
| pannelli inferiori | -21.2 | 0.0 | -21.2 | 28.6 |
| pannelli superiori | -33.9 | 5.9 | -33.4 | 157.2 |
| pannelli sbalzo | -46.7 | 33.0 | -33.0 | 381.0 |
| 6 Pressione dinamica veicolare | | 14.7 | -33.1 | 213.8 |
| pannelli inferiori | -8.0 | 0.0 | -8.0 | 10.8 |
| pannelli superiori | -12.8 | 2.2 | -12.6 | 59.3 |
| pannelli sbalzo | -17.6 | 12.4 | -12.4 | 143.7 |
| 7 Neve | | -9.3 | 0.0 | -27.7 |
| pannelli sbalzo | 9.3 | -9.3 | 0.0 | -27.7 |

Tabella n.6.1 – Azioni sui montanti di bordo (interasse 4m) per FOA tipo 7

Si considerano 2 combinazioni caratteristiche e dimensionanti:

VENTO X+ (vento da esterno autostrada e neve su sbalzo)

VENTO X- (vento da interno autostrada)

Tali azioni vengono implementate nel modello di calcolo dell'opera di sostegno previa divisione per interasse tra i montanti pari a 4m.

| | Azione normale | Taglio | Momento |
|-----------------------------|----------------|--------|---------|
| | N_k | T_k | M_k |
| | (kN/m) | (kN/m) | (kNm/m) |
| 1 Peso proprio + permanenti | -13.2 | 0.0 | -17.4 |
| 3 Vento X+ | -9.2 | 20.7 | -123.2 |
| 4 Vento X- | 9.7 | -21.9 | 141.7 |

Tabella n.6.2 – Azioni per metro lineare di muro implementate nel calcolo

6.5 TRAFFICO VEICOLARE

Si tiene conto del carico dovuto al traffico veicolare a tergo dell'opera di sostegno mediante una pressione omogenea pari a 20kPa (valore "caratteristico") applicata in corrispondenza della sede autostradale.

6.6 COMBINAZIONI DI CARICO E COEFFICIENTI PARZIALI

I coefficienti considerati nelle varie combinazioni di carico sono riassunti nella seguente tabella n.6.3.

| Combinazione | | Coefficienti di combinazione | | | |
|--------------|----------|------------------------------|-------|-------|------|
| | | Traffico | Vento | Sisma | Urto |
| SLE-R | Vento | 0.75 | 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Traffico | 1.00 | 0.60 | 0.00 | 0.00 |
| SLE-F | Vento | 0.25 | 0.20 | 0.00 | 0.00 |
| | Traffico | 0.75 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| SLE-Q | -- | 0.25 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| SLU | Vento | 0.75 | 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| SLU | Traffico | 1.00 | 0.60 | 0.00 | 0.00 |
| SLU | Urto | 0.25 | 0.00 | 0.00 | 1.00 |
| SLV | Sisma | 0.25 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |

Tabella n.6.3 – Coefficienti di combinazione

7 ANALISI DELL'OPERA - DATI DI INPUT

7.1 MODELLAZIONE DEI "CONTRAFFORTI"

L'opera prevede la realizzazione di "contrafforti" costituiti da pali realizzati ortogonalmente all'allineamento del muro in ragione di **1 palo ogni 3**.

Trattandosi di pali DN1500 disposti ad interasse di 1.7m è immediato verificare che l'inerzia flessionale equivalente dell'opera risulta pari all'inerzia di un singolo palo (0.2485m^4) moltiplicata per 4/3 ovvero:

$$I_{eq} = 0.33133 \text{ m}^4$$

Cui corrisponde un palo di diametro "equivalente" pari a 1.60m disposto comunque ad interasse di 1.7m.

Le azioni interne di calcolo nei pali vengono definite moltiplicando i valori delle azioni (per metro lineare di opera) ottenuti con il codice PARATIE moltiplicandoli per la lunghezza di un campo ($3 \times 1.7\text{m} = 5.1\text{m}$) e dividendoli per $3+1=4$ pali.

7.2 FASI ESECUTIVE

Vengono le seguenti fasi esecutive:

1. Realizzazione del rilevato stradale esistente
2. Realizzazione dell'opera di sostegno
3. C.d.C. 1 – Traffico
4. C.d.C. 2 – Azione sulle FOA (vento da interno)
5. C.d.C. 3 – Azione sulle FOA (vento da esterno + neve)
6. C.d.C. 4 – Sisma

7.3 COEFFICIENTI DI SPINTA DELLA TERRA

Nelle seguenti figure n.7.1, 7.2 e 7.3 sono sintetizzati i coefficienti di spinta impiegati nelle verifiche statiche e sismiche.

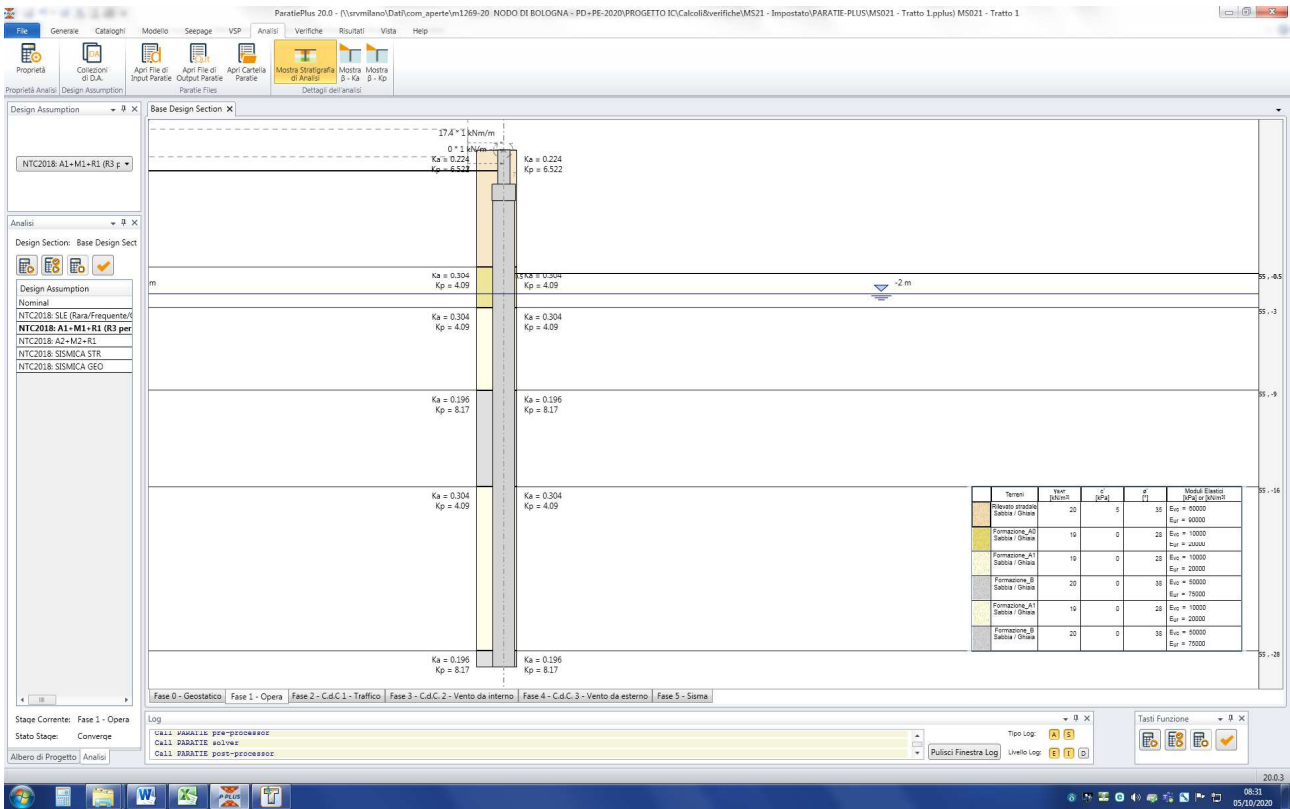


Figura n.7.1 – Verifiche statiche STR - Coefficienti di spinta

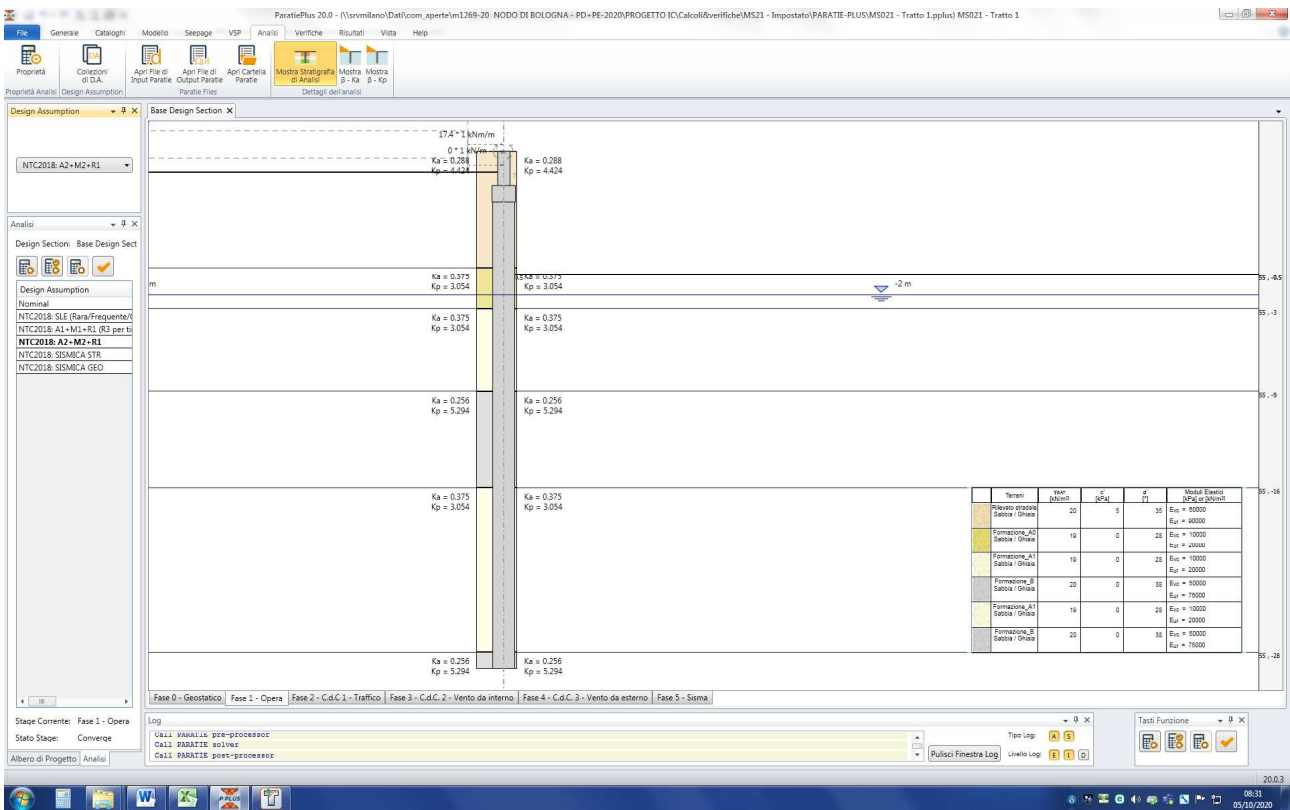


Figura n.7.2 – Verifiche statiche GEO - Coefficienti di spinta

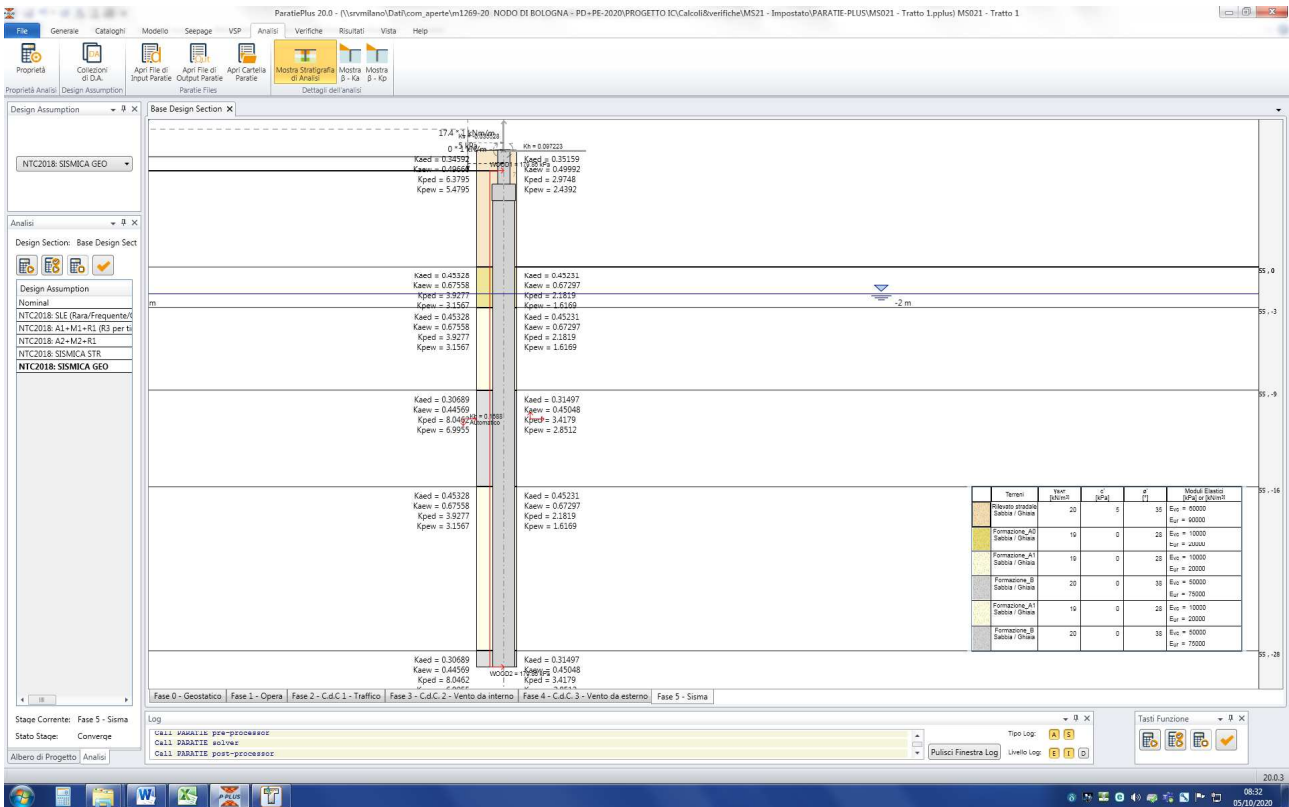


Figura n.7.3 – Verifiche sismiche - Coefficienti di spinta

7.4 AZIONE TRASMESSA DALLE BARRIERE FONOASSORBENTI

Sulla sommità del muro è prevista l'installazione di una barriera antifonica di tipo 7 di altezza pari a 6.50m oltre 5.50m di sbalzo. Si riporta di seguito il valore "caratteristico" del momento flettente e del taglio (M_k e V_k) per metro lineare di sviluppo agenti a base montante come già definito nella precedente tabella n.6.2 per le due combinazioni considerate.

Peso proprio

$$M_k = 17.4 \text{ kNm/m}$$

Vento da esterno autostrada

$$V_k = -20.7 \text{ kN/m}$$

$$M_k = 123.2 \text{ kNm/m}$$

Vento da interno autostrada

$$V_k = 21.9 \text{ kN/m}$$

$$M_k = -141.7 \text{ kNm/m}$$

7.5 AZIONE SISMICA

Segue sintesi dei parametri sismici impiegati nell'analisi.

Opzioni Sisma (attive solo nell'ultima fase)

Opzioni

Includi Azione Sismica

1. Definizione accelerazione

Coefficiente accel. base a_g / g

Fattore importanza I

Coefficiente S_s

Coefficiente S_T

$a_{max} / g =$

2. Accelerazione di calcolo

Eurocodice

Calcolo coefficiente di risposta R

Input diretto

Da formule

U_s m T_c m/s

V_{max} m/s V_{max}/a_{max} >

R = >

NTC

$U_s =$ m

$\beta =$ >

$\alpha =$ >

$k_h = \alpha \beta a_{max}$

3. Definizione calcolo

Modalità spinta Paratia fuori terra Paratia intera

Comportamento idraulico Terreno pervio Terreno impervio

k_{vu} (% k_h)

k_{vd} (% k_h)

R_u

Includi inerzia paratia

4. Metodo di calcolo

Procedura Automatica (Paratie)

Pressione di Wood [0-1]


Valore Applicato

Manuale (Carichi Esterni)

Comportamento Paratia Flessibile (usa k_h) Rigido (usa a_{max})

Metodo Wood Mononobe-Okabe Semirigido

B = Correlazione $\alpha_1 - \alpha_2$

$\alpha_1 =$ 

$\alpha_2 =$

Applica OK Annulla

8 TRATTO 1 - ANALISI DELL'OPERA - RISULTATI

8.1 FASI DI CALCOLO

Segue la rappresentazione grafica delle singole fasi di calcolo precedentemente descritte.

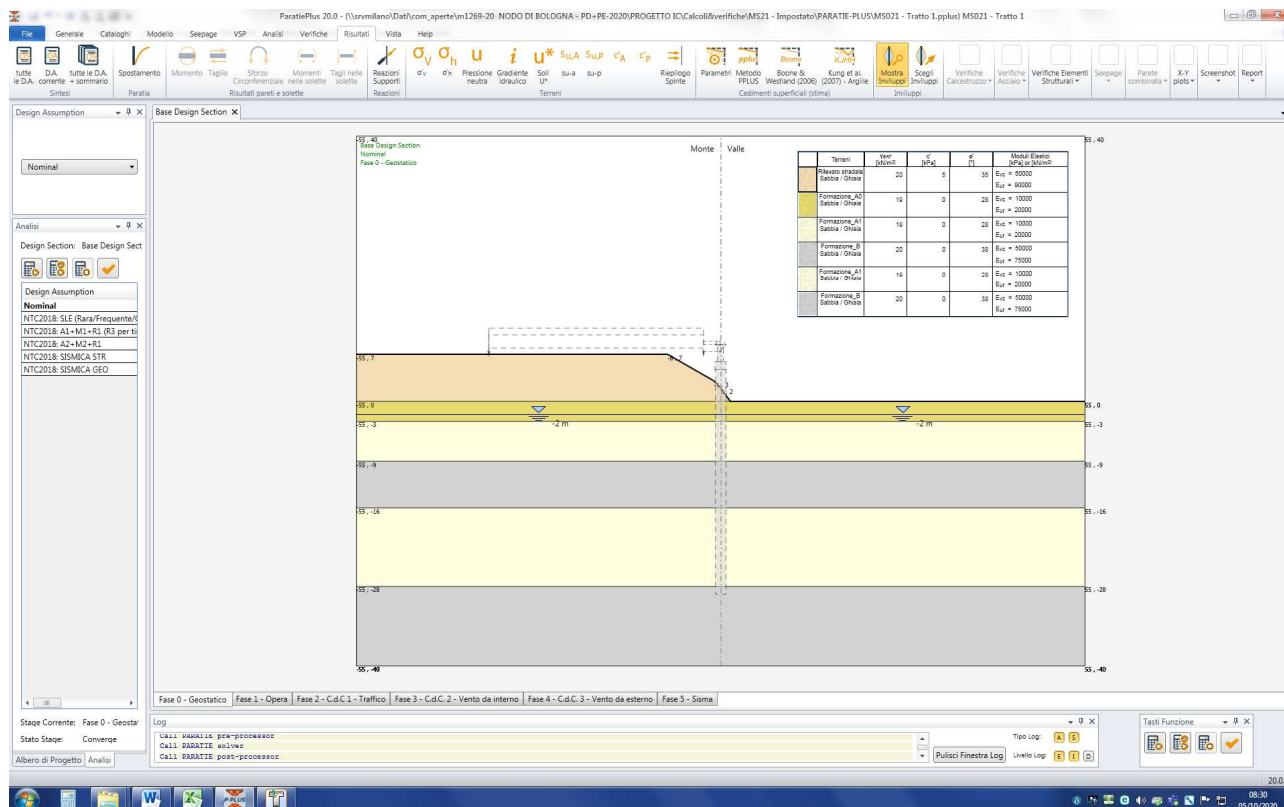


Figura n.8.1 - FASE 1 - Realizzazione del rilevato stradale esistente

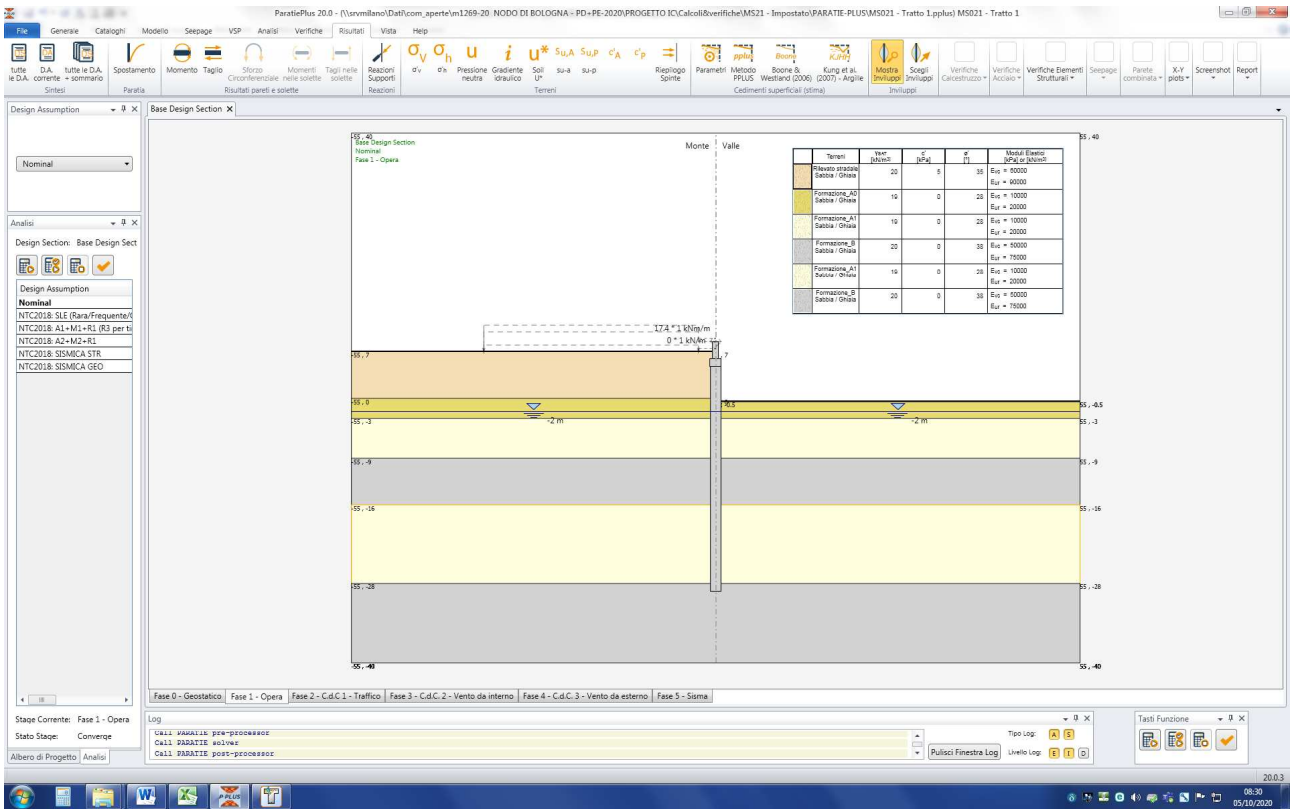


Figura n.8.2 - FASE 2 - Realizzazione dell'opera di sostegno con riprofilatura a valle

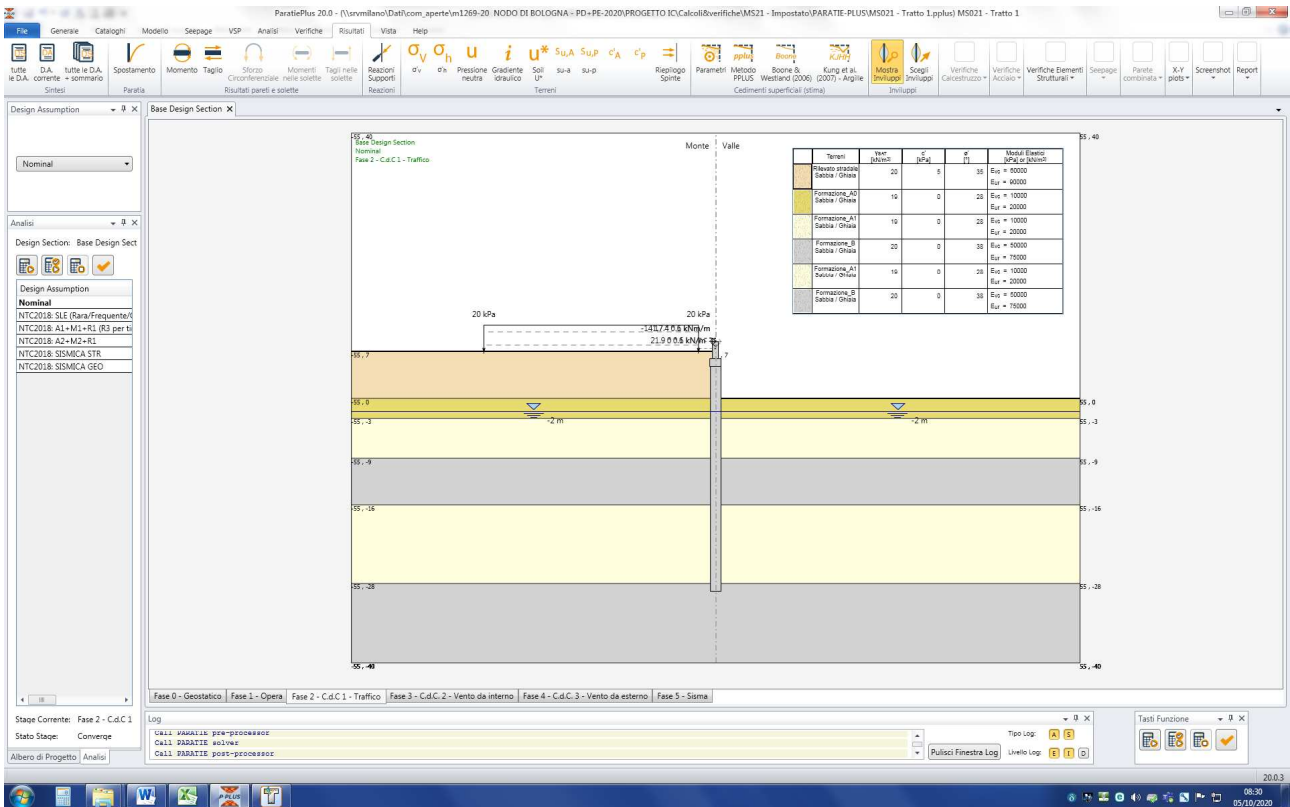


Figura n.8.3 - FASE 3 - C.d.C. 1 – Traffico

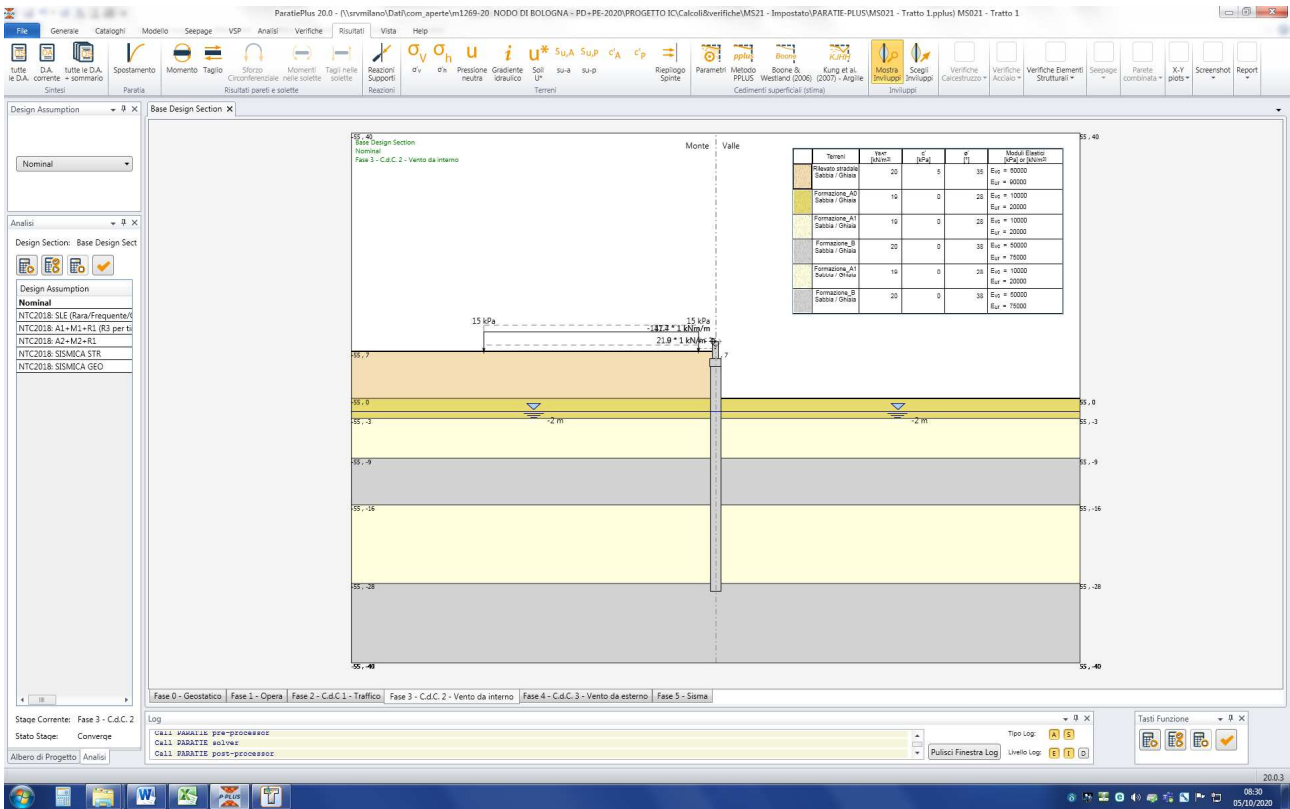


Figura n.8.4 - FASE 4 - C.d.C. 2 – Azione sulle FOA (vento da interno)

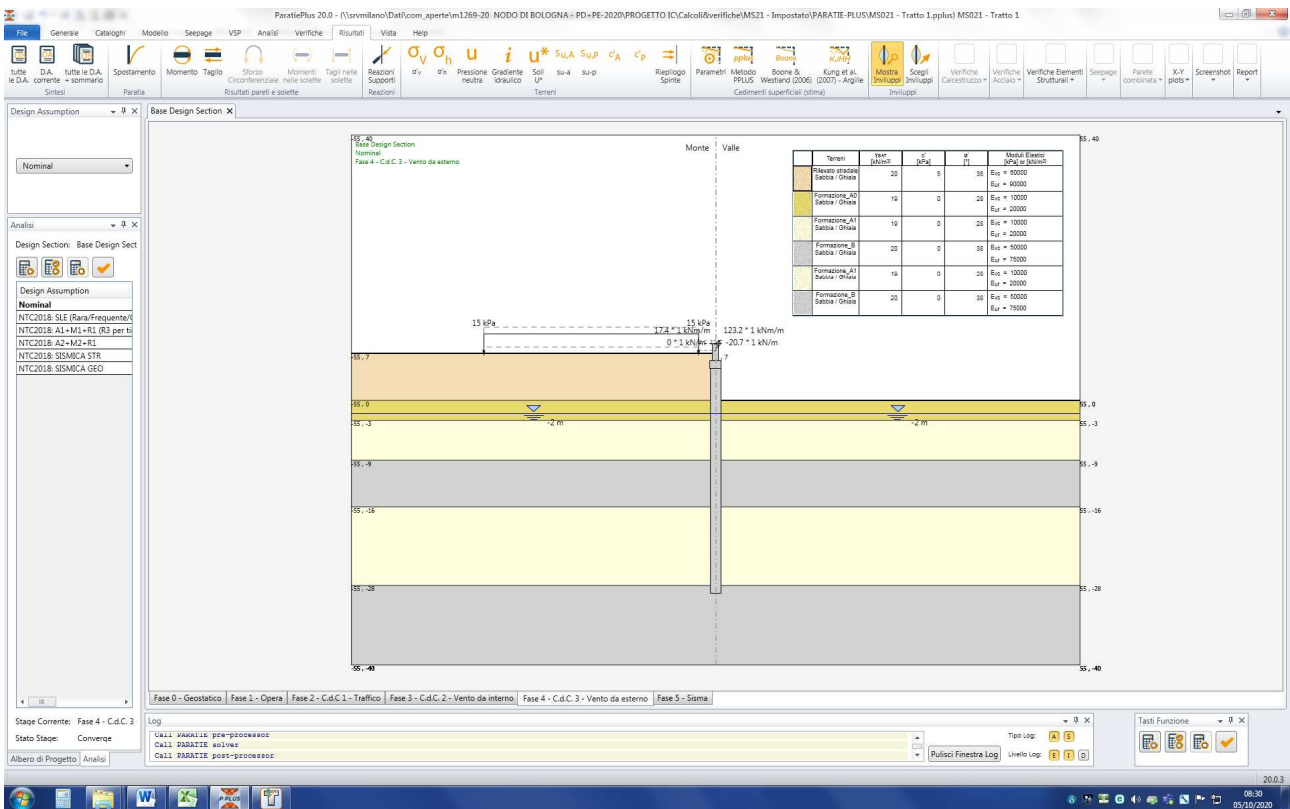


Figura n.8.5 - FASE 5 - C.d.C. 3 – Azione sulle FOA (vento da esterno + neve)

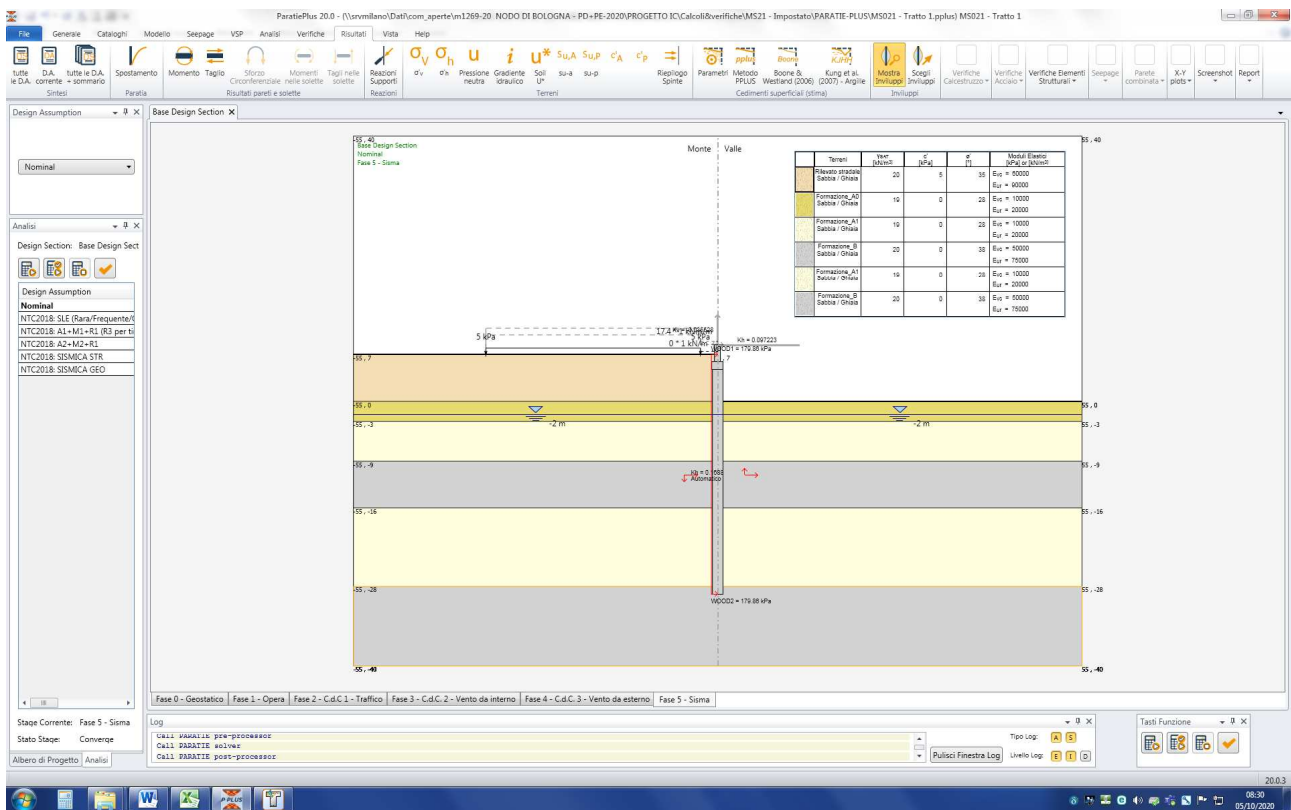


Figura n.8.6 - FASE 6 - C.d.C. 4 – Sisma

8.2 SPOSTAMENTI

Nelle seguenti figure è illustrato l'andamento degli spostamenti nelle combinazioni di carico più gravosa in esercizio (FASE 4) e a fine costruzione (FASE 2).

Si osserva che:

- lo spostamento in esercizio (calcolato come differenza tra lo spostamento massimo e lo spostamento a fine costruzione) risulta pari a 57mm – 44mm = **13mm inferiore a 0.5%** dell'altezza del muro.
- lo spostamento totale massimo compresa la deformazione in fase di costruzione ($s_{max} = 57mm$ – FASE 4) risulta **inferiore all'1.5%** dell'altezza del muro.

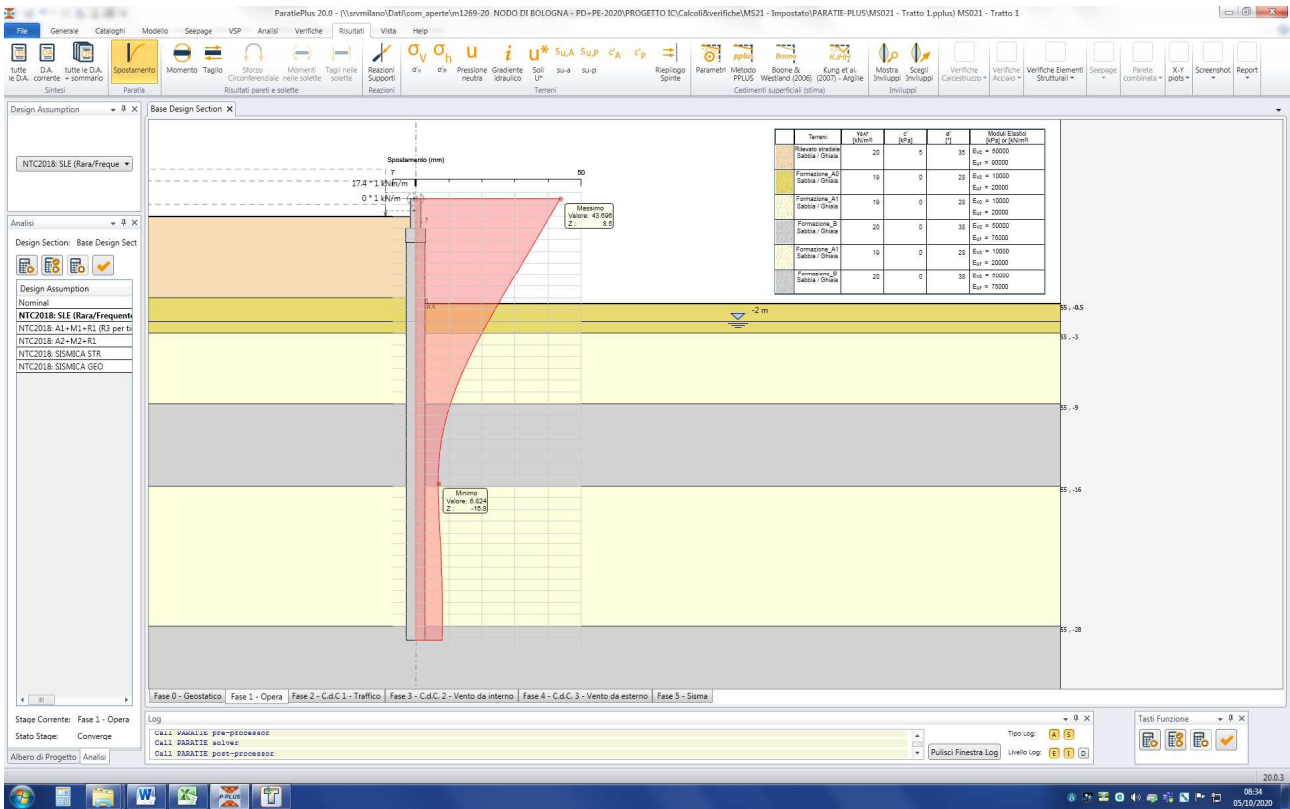


Figura n.8.7 – Spostamenti fase 2 fine costruzione

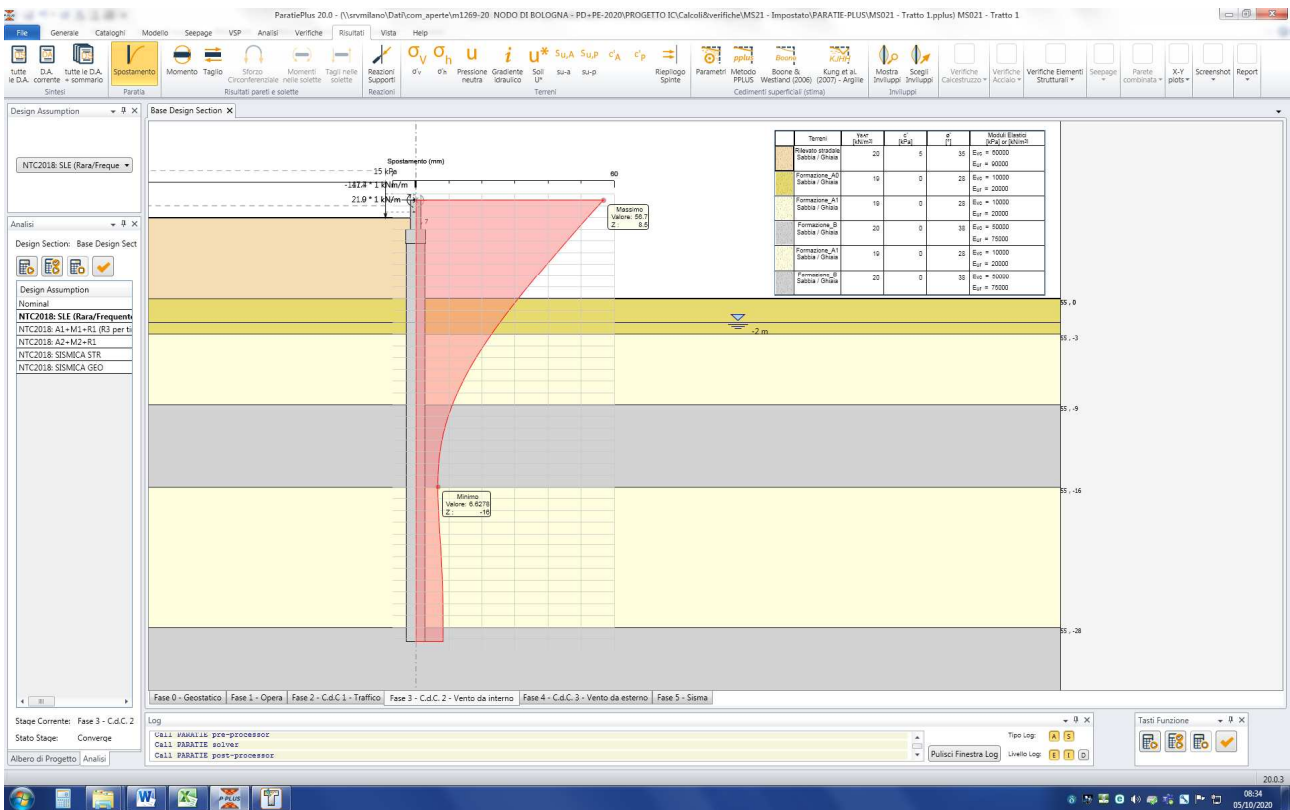


Figura n.8.8 – Spostamenti fase 4 (traffico e vento)

8.3 AZIONI INTERNE PALI DI FONDAZIONE

Nelle successive figure sono illustrati i grafici di involuppo delle azioni interne (momento flettente e taglio) calcolate nei pali di fondazione per differenti verifiche (SLE, SLU e SLV). Si rammenta che le azioni sono **esprese per metro lineare di paratia**.

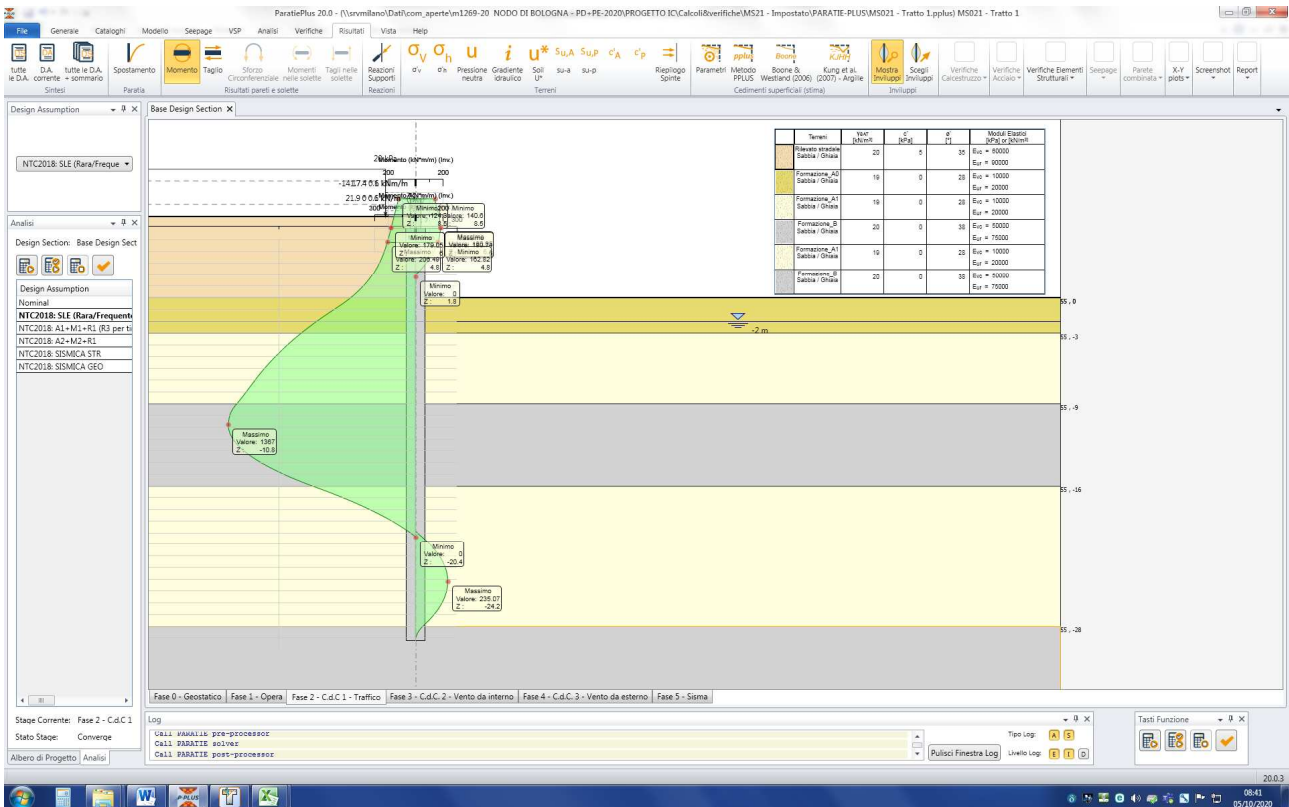


Figura n.8.9 – Momento flettente - Involuppo SLE-QP

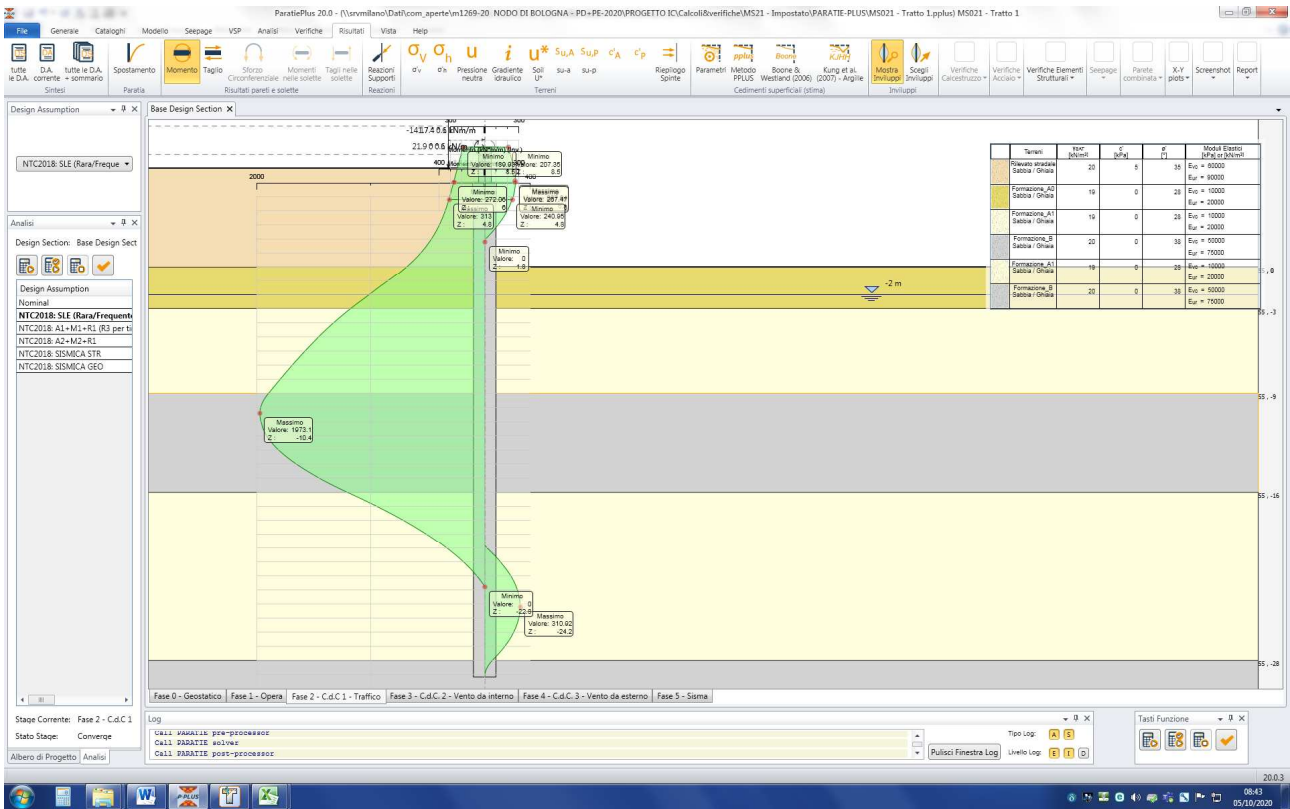


Figura n.8.10 – Momento flettente - Inviluppo SLU

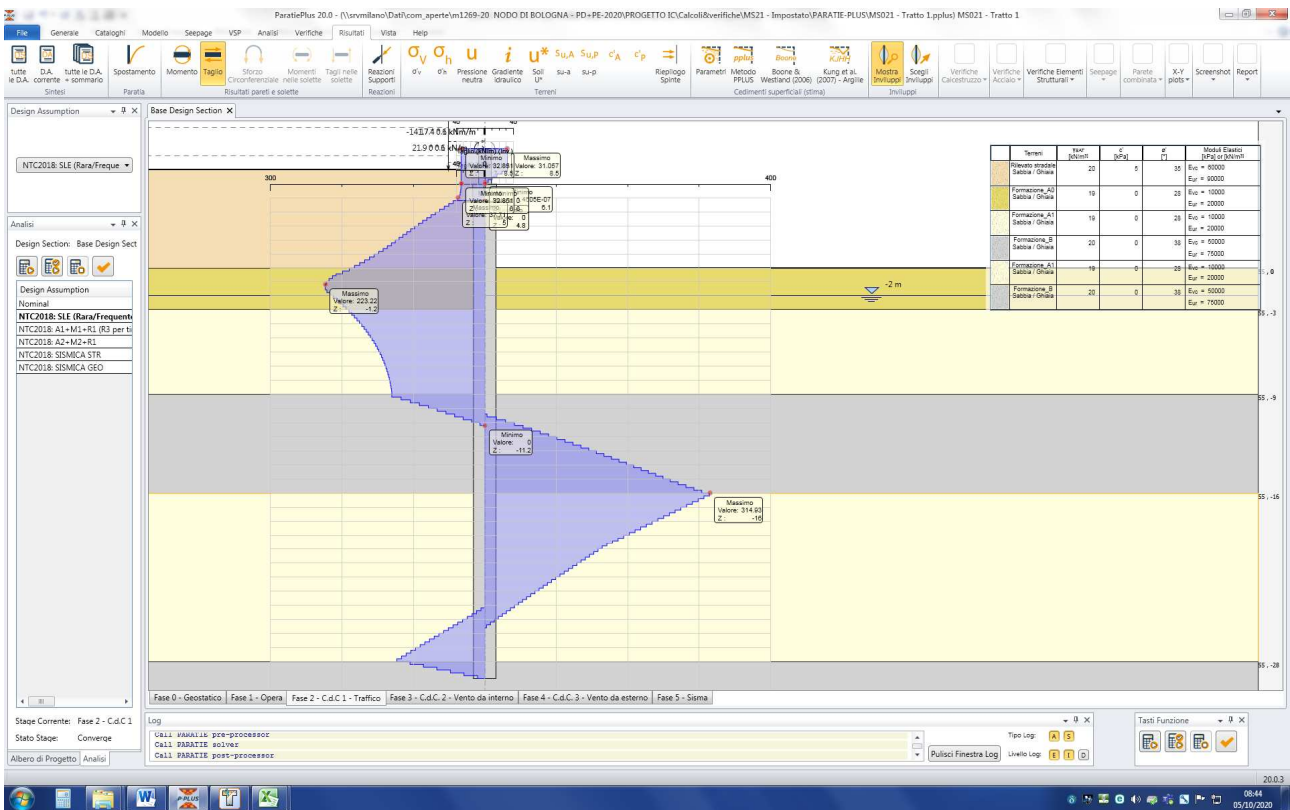


Figura n.8.11 – Azione di taglio - Inviluppo SLU

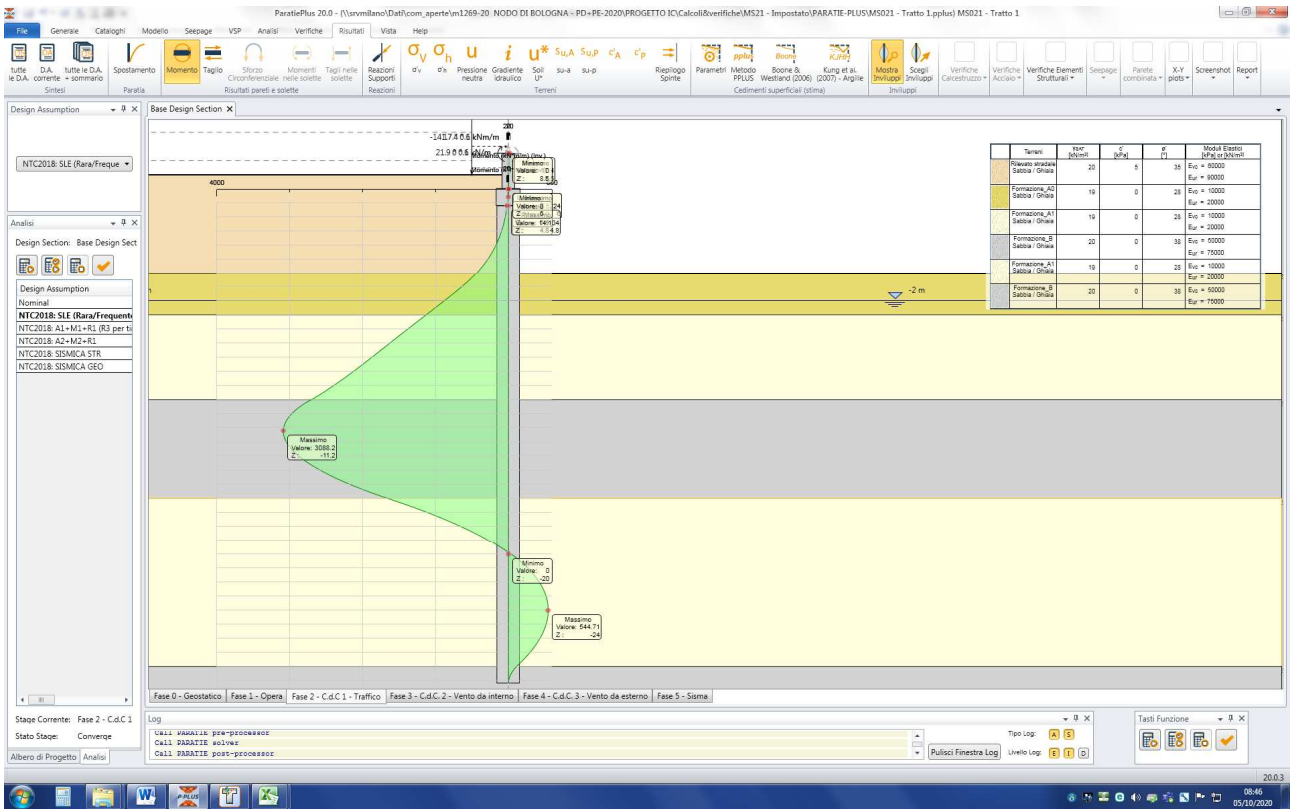


Figura n.8.12 – Momento flettente - Involuppo SLV

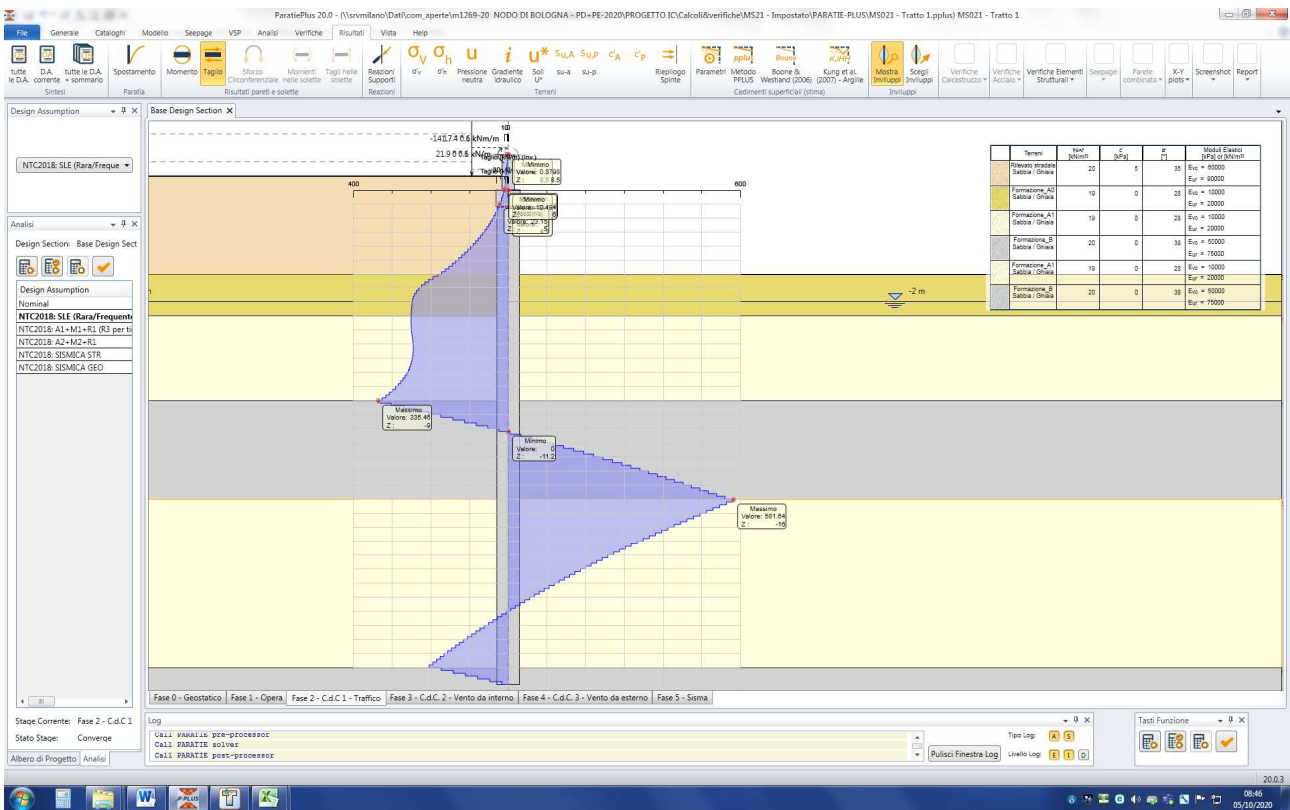


Figura n.8.13 – Azione di taglio - Involuppo SLV

8.4 AZIONI INTERNE SPICCATO

Nelle successive figure sono illustrati i grafici di involuppo delle azioni interne (momento flettente e taglio) calcolate allo spiccatato di fondazione per differenti verifiche (SLE, SLU e SLV). Si rammenta che le azioni sono **esprese per metro lineare** di paratia.

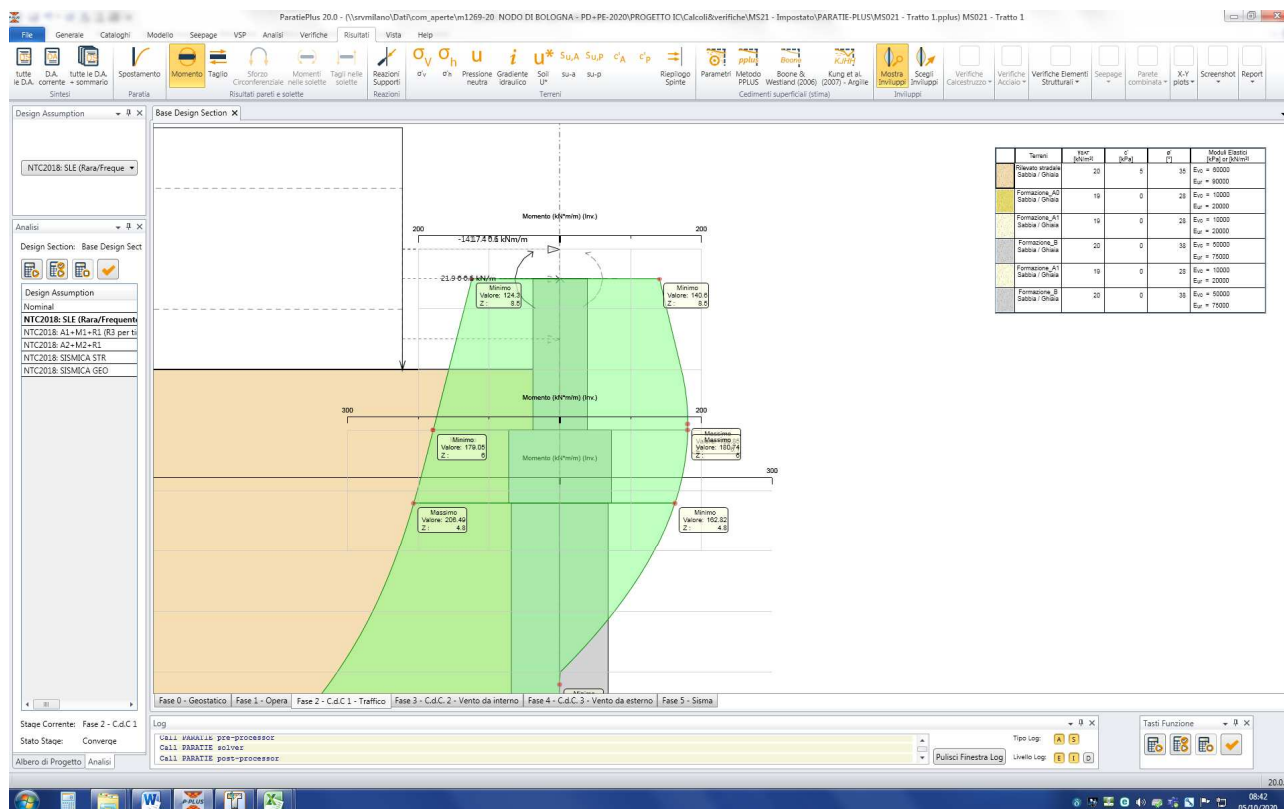


Figura n.8.14 – Momento flettente - Involuppo SLE-QP

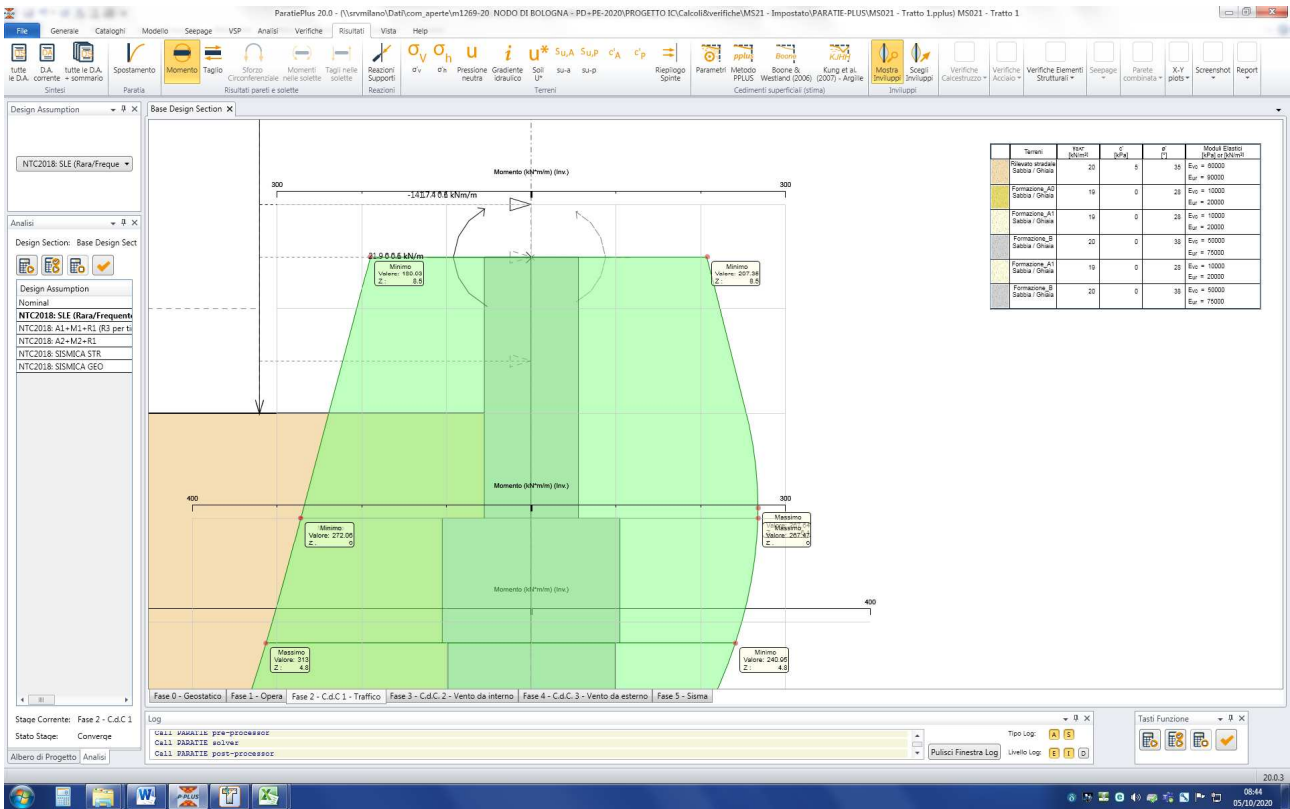


Figura n.8.15 – Momento flettente - Inviluppo SLU

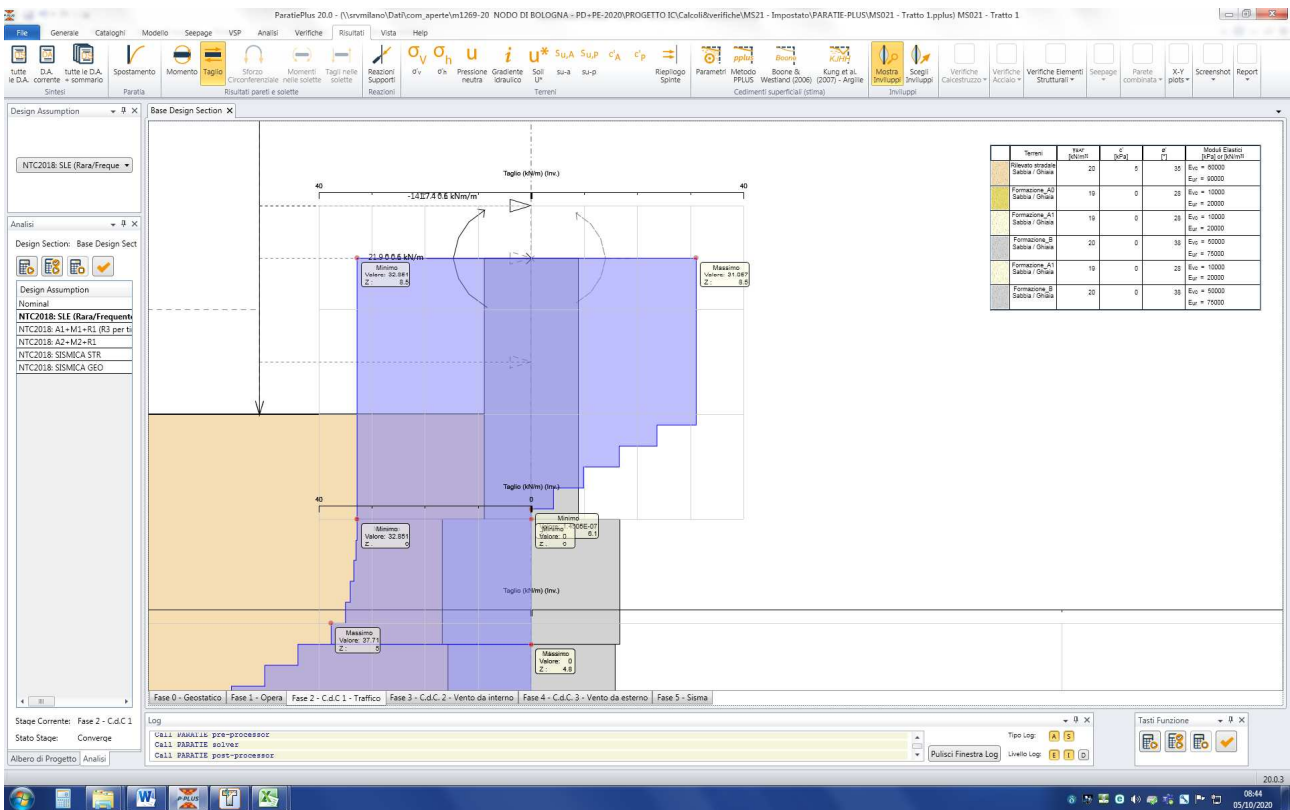


Figura n.8.16 – Azione di taglio - Inviluppo SLU

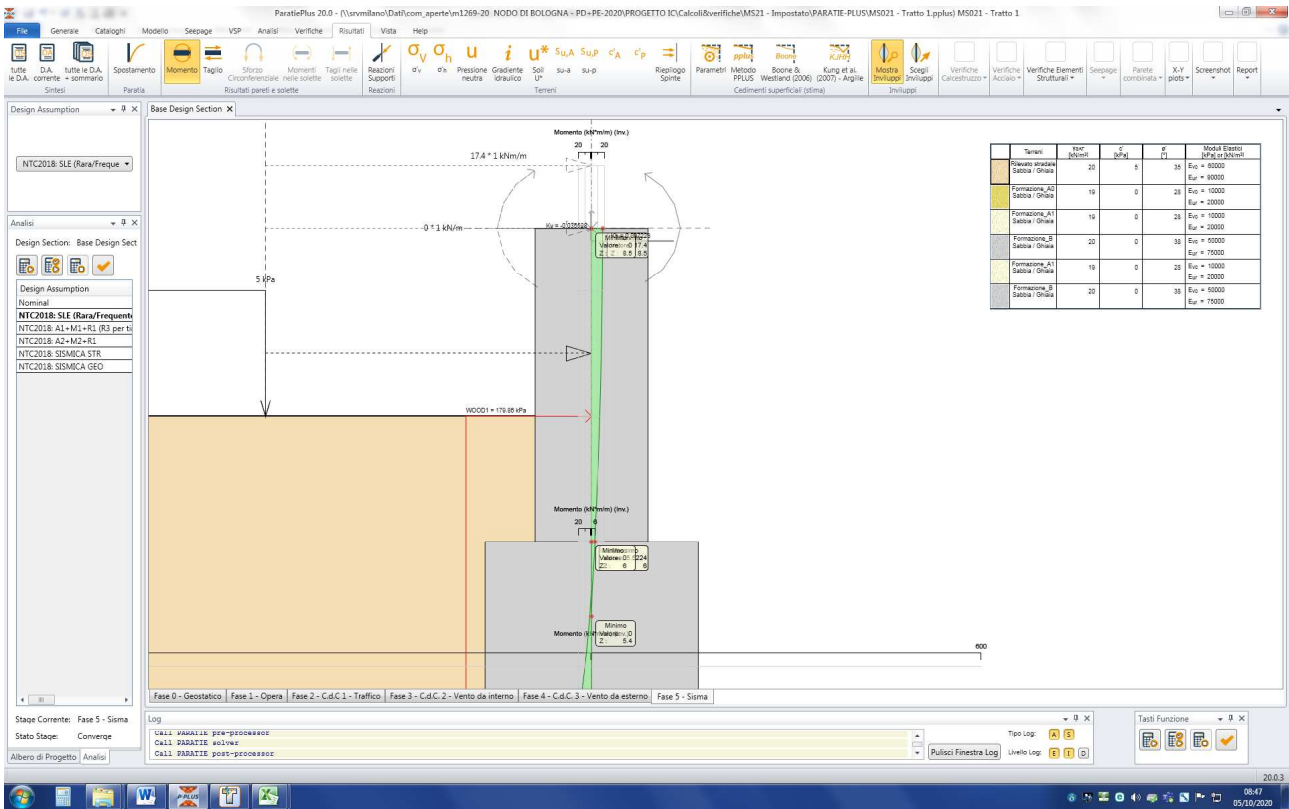


Figura n.8.17 – Momento flettente - Involuppo SLV

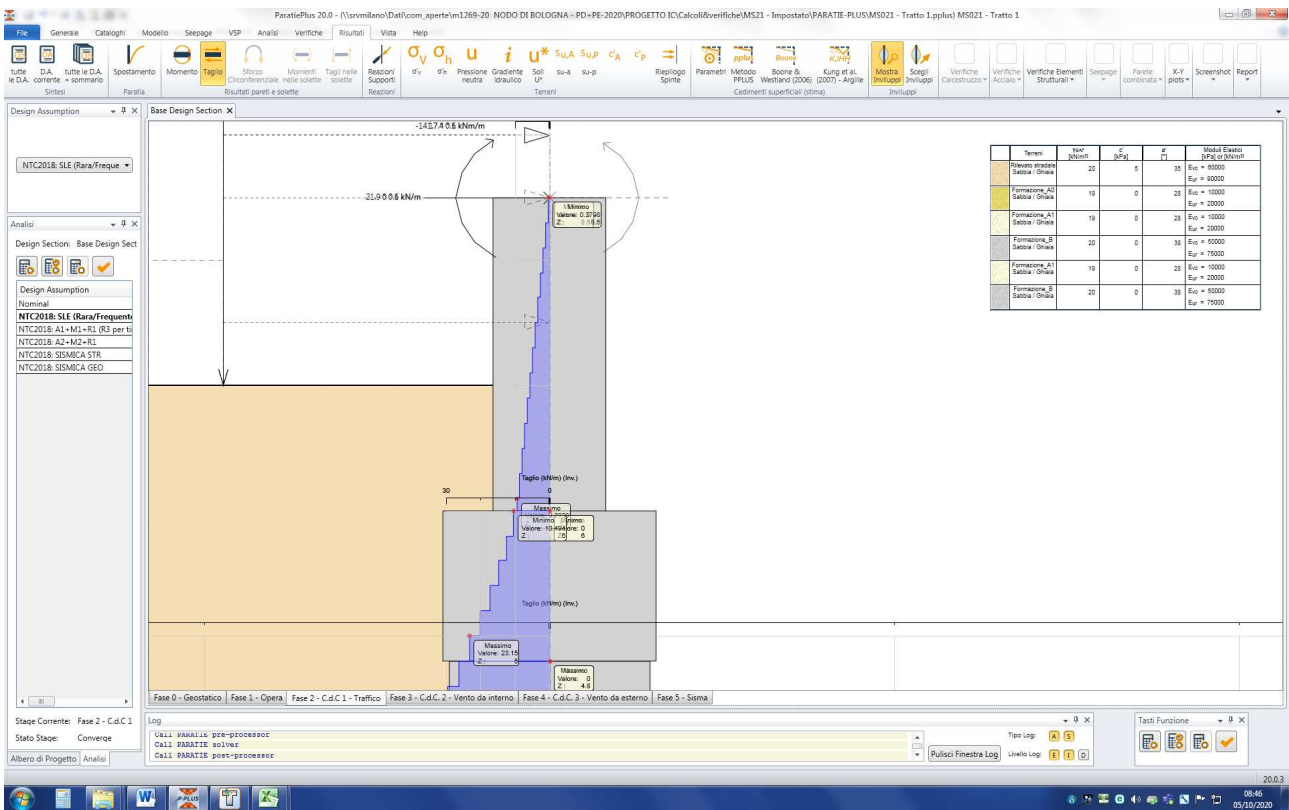


Figura n.8.18 – Azione di taglio - Involuppo SLV

8.5 SINTESI AZIONI INTERNE

Nella tabella n.8.1 di cui al seguito sono, infine, riassunti i valori di "design", calcolati tenendo conto dell'interasse dei pali, nella sezione di momento massimo e di taglio massimo per differenti verifiche (SLE, SLU e SLV). Si rammenta che le azioni sono **esprese per metro lineare** di paratia.

Si osserva (cfr. §7.1) che per la presenza dei contrafforti (1 palo ogni 3) le azioni interne di calcolo nei pali vengono definite moltiplicando i valori delle azioni (per metro lineare di opera) ottenuti con il codice PARATIE moltiplicandoli per la lunghezza di un campo ($3 \times 1.7\text{m} = 5.1\text{m}$) e dividendoli per $3+1=4$ pali.

MS021 - Tratto 1

| | |
|-------------------------------------|----------------|
| Interasse pali = | 1.70 m |
| Diametro pali = | 1.50 m |
| Diametro "equivalente" di calcolo = | 1.60 m |
| Altezza soprizzo = | 2.50 m |
| Spessore soprizzo = | 0.90 m |
| Testa palo = | 4.80 m da p.c. |

| ANALISI | SEZIONE | z (m da p.c.) | z (m da t.p.) | AZIONE | PALI | | SPICCATO SOPRALZO |
|---------|-------------------------------|---------------------|---------------------|---------|------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| | | | | | CALCOLO PARATIE (a ml) | VALORI DI DESIGN (a palo) | VALORI DI DESIGN |
| SLE | SEZIONE DI MOMENTO MASSIMO | 10.8 | 15.6 | M (kNm) | 1367 | 1743 | 243 |
| | | | | V (kN) | 28 | 36 | 65 |
| | | | | N (kN) | | 573 | 56 |
| SLU | SEZIONE DI MOMENTO MASSIMO | 10.4 | 15.2 | M (kNm) | 1973 | 2516 | 364 |
| | | | | V (kN) | 54 | 69 | 93 |
| | | | | N (kN) | | 555 | 56 |
| | SEZIONE DI TAGLIO MASSIMO | 16.0 | 20.8 | M (kNm) | 1242 | 1584 | 364 |
| | | | | V (kN) | 315 | 402 | 93 |
| | | | | N (kN) | | 802 | 56 |
| SLV | SEZIONE DI MOMENTO MASSIMO | 11.2 | 16.0 | M (kNm) | 3088 | 3937 | 60 |
| | | | | V (kN) | 0 | 0 | 56 |
| | | | | N (kN) | | 590 | 56 |
| | SEZIONE DI TAGLIO MASSIMO | 16.0 | 20.8 | M (kNm) | 1653 | 2108 | 60 |
| | | | | V (kN) | 581 | 741 | 56 |
| | | | | N (kN) | | 802 | 56 |

Tabella n.8.1 – Azioni di design

9 TRATTO 1 - ANALISI DELL'OPERA - VERIFICHE

9.1 VERIFICA DELL'IMMORSAMENTO DEI PALI

Si riportano di seguito i valori della percentuale di mobilitazione della spinta passiva calcolata nelle condizioni più sfavorevoli SLU-GEO e SISMA. Si osserva che sono rispettati i limiti di cui al §5.4.

Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva fase statica

Result Title :Wall <Left Wall>

STAGE THRUST_RATIO [--]

| | |
|---|-------|
| 1 | 0.166 |
| 2 | 0.218 |
| 3 | 0.215 |
| 4 | 0.215 |
| 5 | 0.217 |

Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva fase sismica

Result Title :Wall <Left Wall>

STAGE THRUST_RATIO [--]

| | |
|---|-------|
| 6 | 0.544 |
|---|-------|

9.2 VERIFICA STRUTTURALE DEI PALI

Si dispongono **47φ26** con spirale φ12 passo 15cm. Si verifica la sezioni imponendo un comportamento non dissipativo.

Segue tabulato di calcolo.

DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.

NOME SEZIONE: Palo-DN1500

| | |
|-------------------------------|--|
| Descrizione Sezione: | |
| Metodo di calcolo resistenza: | Resistenze in campo sostanzialmente elastico |
| Normativa di riferimento: | N.T.C. |
| Tipologia sezione: | Sezione predefinita di Palo |
| Forma della sezione: | Circolare |
| Percorso sollecitazione: | A Sforzo Norm. costante |
| Condizioni Ambientali: | Poco aggressive |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Assi x,y principali d'inerzia |

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C25/30 |
| | Resistenza compress. di progetto fcd: | 14.16 MPa |
| | Resistenza compress. ridotta fcd': | 7.080 MPa |
| | Deform. unitaria max resistenza ec2: | 0.0020 |
| | Deformazione unitaria ultima ecu: | 0.0035 |
| | Diagramma tensioni-deformaz.: | Parabola-Rettangolo |
| | Modulo Elastico Normale Ec: | 31475.0 MPa |
| | Resis. media a trazione fctm: | 2.560 MPa |
| | Coeff.Omogen. S.L.E.: | 15.00 |
| | Sc limite S.L.E. comb. Rare: | 15.000 MPa |
| | ACCIAIO - | Tipo: |
| Resist. caratt. a snervamento fyk: | | 450.00 MPa |

| | | |
|---|------------------|-----|
| Resist. caratt. a rottura ftk: | 450.00 | MPa |
| Resist. a snerv. di progetto fyd: | 391.30 | MPa |
| Resist. ultima di progetto ftd: | 391.30 | MPa |
| Deform. ultima di progetto Epu: | 0.068 | |
| Modulo Elastico Ef: | 200000.0 | MPa |
| Diagramma tensioni-deformaz.: | Bilineare finito | |
| Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 * \beta_2$: | 1.00 | |
| Coeff. Aderenza differito $\beta_1 * \beta_2$: | 0.50 | |
| Comb.Rare - Sf Limite: | 360.00 | MPa |

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

| | | |
|----------------------------|-------|--------------------------|
| Diametro sezione: | 150.0 | cm |
| Barre circonferenza: | 47Ø26 | (249.5 cm ²) |
| Coprif.(dal baric. barre): | 10.5 | cm |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | |
|----|--|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.) |
| Mx | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione |
| Vy | Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale |
| MT | Momento torcente [kN m] |

| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
|---------|--------|---------|--------|------|
| 1 | 555.00 | 2516.00 | 69.00 | 0.00 |
| 2 | 802.00 | 1584.00 | 402.00 | 0.00 |
| 3 | 590.00 | 3937.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 802.00 | 2108.00 | 741.00 | 0.00 |

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | |
|----|---|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.) |
| Mx | Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|--------|---------|
| 1 | 573.00 | 1743.00 |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

| | | |
|--|-----|----|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 9.2 | cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 6.0 | cm |
| Copriferro netto minimo staffe: | 8.0 | cm |

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

| | |
|----------|---|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| N | Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione) |
| Mx | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico |
| N Ult | Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.) |
| Mx re | Momento resistente sostanzialmente elastico [kNm] riferito all'asse x baricentrico |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re, Mx re) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000 |
| Yn | Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez. |
| x/d | Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45 |
| C.Rid. | Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC] |

| N°Comb | Ver | N | Mx | N re | Mx re | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | |
|--------|-----|--------|---------|------|-------|----------|------|------|--------|--------------|
| 1 | S | 555.00 | 2516.00 | | | 1.570 | 22.9 | 0.37 | 0.91 | 154.0 (35.3) |
| 2 | S | 802.00 | 1584.00 | | | 2.555 | 21.9 | 0.38 | 0.92 | 154.0 (35.3) |
| 3 | S | 590.00 | 3937.00 | | | 1.007 | 22.7 | 0.37 | 0.91 | 154.0 (35.3) |
| 4 | S | 802.00 | 2108.00 | | | 1.920 | 21.9 | 0.38 | 0.92 | 154.0 (35.3) |

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

| | |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione) |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione) |
| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N°Comb | ec max | Yc max | es min | Ys min | es max | Ys max |
|--------|---------|--------|---------|--------|----------|--------|
| 1 | 0.00117 | 75.0 | 0.00093 | 64.5 | -0.00196 | -64.5 |
| 2 | 0.00120 | 75.0 | 0.00097 | 64.5 | -0.00196 | -64.5 |
| 3 | 0.00117 | 75.0 | 0.00094 | 64.5 | -0.00196 | -64.5 |
| 4 | 0.00120 | 75.0 | 0.00097 | 64.5 | -0.00196 | -64.5 |

ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

| | | | |
|------------------|------|--------------------|---|
| Diametro staffe: | 12 | mm | |
| Passo staffe: | 15.0 | cm | [Passo massimo di normativa = 20.8 cm] |
| N.Bracci staffe: | 2 | | |
| Area staffe/m : | 15.1 | cm ² /m | [Area Staffe Minima NTC = 2.7 cm ² /m] |

VERIFICHE A TAGLIO

| | |
|------|--|
| Ver | S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata |
| Ved | Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta) |
| Vrd | Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC] |
| Vcd | Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC] |
| Vwd | Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC] |
| bw d | Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro Altezza utile sezione |
| Ctg | Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato |
| Acw | Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione |
| Ast | Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm ² /m] |

| N°Comb | Ver | Ved | Vrd | Vcd | Vwd | bw d | Ctg | Acw | ASt |
|--------|-----|--------|------|---------|---------|--------------|-------|-------|-----|
| 1 | S | 69.00 | 0.00 | 3428.28 | 1499.55 | 135.1 118.2 | 2.500 | 1.022 | 0.7 |
| 2 | S | 402.00 | 0.00 | 3464.38 | 1488.99 | 136.2 117.7 | 2.500 | 1.032 | 4.1 |
| 3 | S | 0.00 | 0.00 | 4974.82 | 599.50 | 135.1 118.2 | 1.000 | 1.024 | 0.0 |
| 4 | S | 741.00 | 0.00 | 3464.38 | 1488.99 | 136.2 117.7 | 2.500 | 1.032 | 7.5 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| | |
|---------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| Sc max | Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa] |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O) |
| Sc min | Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa] |
| Yc min | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O) |
| Sf min | Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa] |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O) |
| Dw Eff. | Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre |
| Ac eff. | Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.) |
| As eff. | Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.) |

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 6.47 | -75.0 | 0.00 | 75.0 | -154.9 | 64.4 | 26.3 | 4750 | 111.5 | --- |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| | |
|------|--|
| Ver | Esito verifica |
| e1 | Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| e2 | Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| K2 | = 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e2)in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC |
| Kt | fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2 |
| e sm | Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es |

srm Distanza massima in mm tra le fessure
wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | e3 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|----|------|------|---------------------|-----|----------------|---------|
| 1 | S | -0.00087 | 0.00049 | | 0.50 | 0.60 | 0.000465 (0.000465) | 501 | 0.233 (990.00) | 1193.74 |

9.3 VERIFICA STRUTTURALE DEL SOPRALZO

Si documenta la verifica strutturale dell'elevazione svolta in corrispondenza della sezione più gravosa (spiccato da trave di collegamento pali). Si dispongono **10φ16 (lato terra) + 10φ16 (lato valle)**. Si verifica la sezioni imponendo un comportamento non dissipativo.

Segue tabulato di calcolo.

DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.

NOME SEZIONE: Sopralzo

| | |
|-------------------------------|--|
| Descrizione Sezione: | |
| Metodo di calcolo resistenza: | Resistenze in campo sostanzialmente elastico |
| Normativa di riferimento: | N.T.C. |
| Tipologia sezione: | Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe |
| Forma della sezione: | Rettangolare |
| Percorso sollecitazione: | A Sforzo Norm. costante |
| Condizioni Ambientali: | Poco aggressive |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Assi x,y principali d'inerzia |

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | |
|------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C30/37 |
| | Resistenza compress. di progetto fcd: | 17.00 MPa |
| | Deform. unitaria max resistenza ec2: | 0.0020 |
| | Deformazione unitaria ultima ecu: | 0.0035 |
| | Diagramma tensioni-deformaz.: | Parabola-Rettangolo |
| | Modulo Elastico Normale Ec: | 32836.0 MPa |
| | Resis. media a trazione fctm: | 2.900 MPa |
| | Coeff.Omogen. S.L.E.: | 15.00 |
| | Sc limite S.L.E. comb. Rare: | 18.000 MPa |
| ACCIAIO - | Tipo: | B450C |
| | Resist. caratt. a snervamento fyk: | 450.00 MPa |
| | Resist. caratt. a rottura ftk: | 450.00 MPa |
| | Resist. a snerv. di progetto fyd: | 391.30 MPa |
| | Resist. ultima di progetto ftd: | 391.30 MPa |
| | Deform. ultima di progetto Epu: | 0.068 |
| | Modulo Elastico Ef: | 200000.0 MPa |
| | Diagramma tensioni-deformaz.: | Bilineare finito |
| | Coeff. Aderenza istant. β1*β2: | 1.00 |
| | Coeff. Aderenza differito β1*β2: | 0.50 |
| Comb.Rare - Sf Limite: | 360.00 MPa | |

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

| | | |
|--------------------------------|-------|-------------------------|
| Base: | 100.0 | cm |
| Altezza: | 90.0 | cm |
| Barre inferiori: | 10Ø16 | (20.1 cm ²) |
| Barre superiori: | 10Ø16 | (20.1 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 4.8 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 5.0 | cm |
| Coprif.Lat. (dal baric.barre): | 5.0 | cm |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | |
|----|--|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.) |
| Mx | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione |
| Vy | Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale |
| MT | Momento torcente [kN m] |

| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
|---------|--------|--------|-------|------|
| 1 | 56.00 | 364.00 | 93.00 | 0.00 |
| 2 | 169.00 | 60.00 | 56.00 | 0.00 |

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | |
|----|---|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.) |
| Mx | Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|--------|--------|
| 1 | 169.00 | 243.00 |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

| | | |
|--|-----|----|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 4.0 | cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 8.4 | cm |
| Copriferro netto minimo staffe: | 4.0 | cm |

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

| | |
|----------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| N | Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione) |
| Mx | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico |
| N Ult | Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.) |
| Mx re | Momento resistente sostanzialmente elastico [kNm] riferito all'asse x baricentrico |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re, Mx re) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000 |
| Yn | Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez. |
| x/d | Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45 |
| C.Rid. | Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC] |

| N°Comb | Ver | N | Mx | N re | Mx re | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | |
|--------|-----|--------|--------|------|-------|----------|------|------|--------|-------------|
| 1 | S | 56.00 | 364.00 | | | 1.776 | 72.4 | 0.21 | 0.70 | 20.1 (14.3) |
| 2 | S | 169.00 | 60.00 | | | 11.455 | 71.3 | 0.22 | 0.71 | 20.1 (14.3) |

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

| | |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione) |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione) |
| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N°Comb | ec max | Yc max | es min | Ys min | es max | Ys max |
|--------|---------|--------|---------|--------|----------|--------|
| 1 | 0.00051 | 90.0 | 0.00036 | 85.0 | -0.00196 | 4.8 |
| 2 | 0.00055 | 90.0 | 0.00040 | 85.0 | -0.00196 | 4.8 |

VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

| | |
|------|--|
| Ver | S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata |
| Ved | Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta) |
| Vwct | Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC] |
| d | Altezza utile sezione [cm] |
| bw | Larghezza minima sezione [cm] |
| Ro | Rapporto geometrico di armatura longitudinale [<0.02] |
| Scp | Tensione media di compressione nella sezione [Mpa] |

| N°Comb | Ver | Ved | Vwct | d | bw | Ro | Scp |
|--------|-----|-------|--------|------|-------|--------|------|
| 1 | S | 93.00 | 299.38 | 85.2 | 100.0 | 0.0024 | 0.01 |
| 2 | S | 56.00 | 315.43 | 85.2 | 100.0 | 0.0024 | 0.02 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| | |
|---------|---|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| Sc max | Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [Mpa] |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O) |
| Sc min | Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [Mpa] |
| Yc min | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O) |
| Sf min | Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa] |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O) |
| Dw Eff. | Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre |
| Ac eff. | Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.) |
| As eff. | Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.) |
| D barre | Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\varnothing/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la $(C4.1.11)NTC/(7.14)EC2$) |

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 2.86 | 90.0 | 0.00 | 66.8 | -114.4 | 85.0 | 12.0 | 1200 | 20.1 | 10.0 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| | |
|---------|---|
| Ver | Esito verifica |
| e1 | Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| e2 | Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| K2 | = 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC |
| Kt | fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2 |
| e sm | Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es |
| srm | Distanza massima in mm tra le fessure |
| wk | Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite. |
| M fess. | Momento di prima fessurazione [kNm] |

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|----------------|---------|
| 1 | S | -0.00062 | 0.00021 | 0.50 | 0.60 | 0.000343 (0.000343) | 298 | 0.102 (990.00) | 512.12 |

9.4 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

In tabella n.9.1 sono riassunti i risultati delle analisi di stabilità in condizioni statiche e sismiche per la configurazione di progetto. Nelle successive figure n.9.1 e 9.2 sono illustrati i risultati ottenuti.

| ANALISI | | METODO | FIGURA | FS _{min} | VERIFICA |
|-----------------------|---------|--------------------------------------|--------|-------------------|---|
| CONFIGURAZIONE FINALE | STATICA | Morghestern con superficie circolare | 9.1 | 6.06 | FS _{min} = 6.06 ≥ 1.1 = γ _R |
| | SISMICA | | 9.2 | 3.31 | FS _{min} = 3.31 ≥ 1.2 = γ _R |

Tabella n.9.1 – Analisi di stabilità – coefficienti di sicurezza

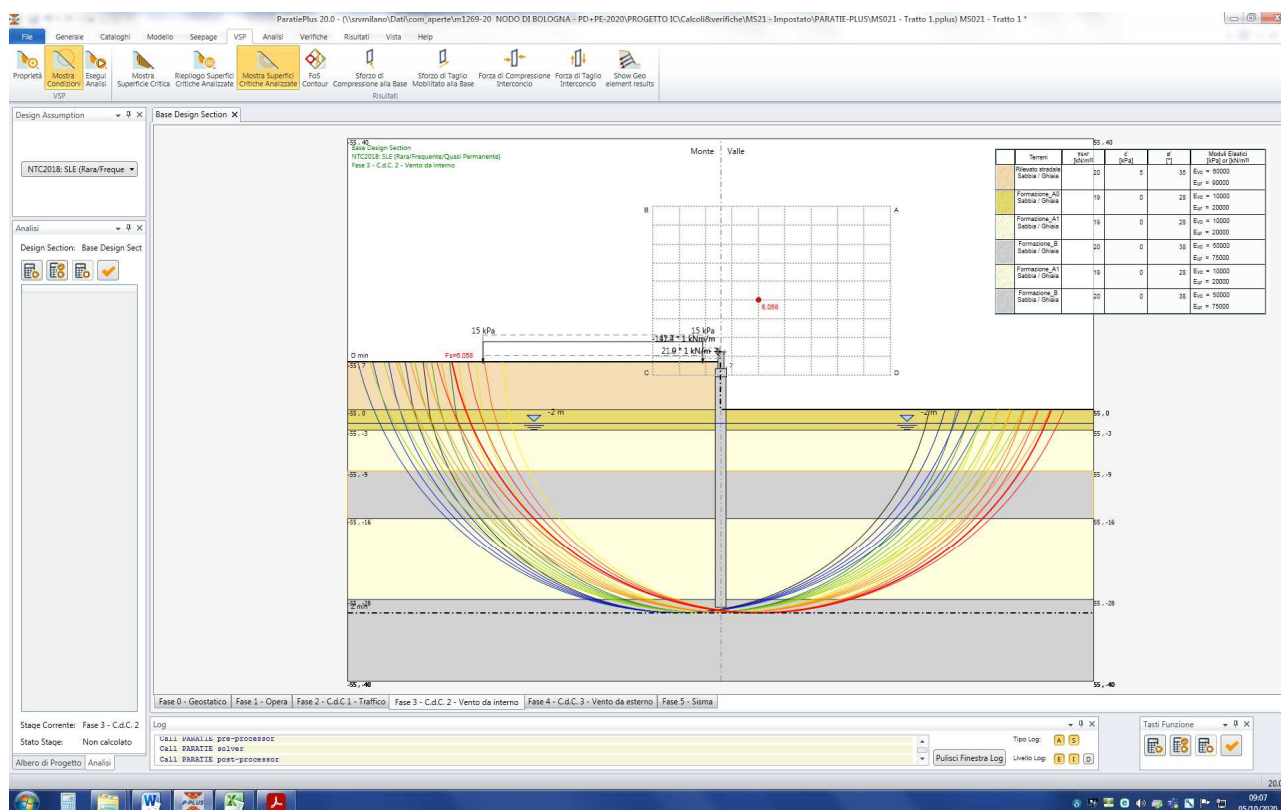


Figura n.9.1 – Analisi di stabilità – Configurazione finale – Verifica statica

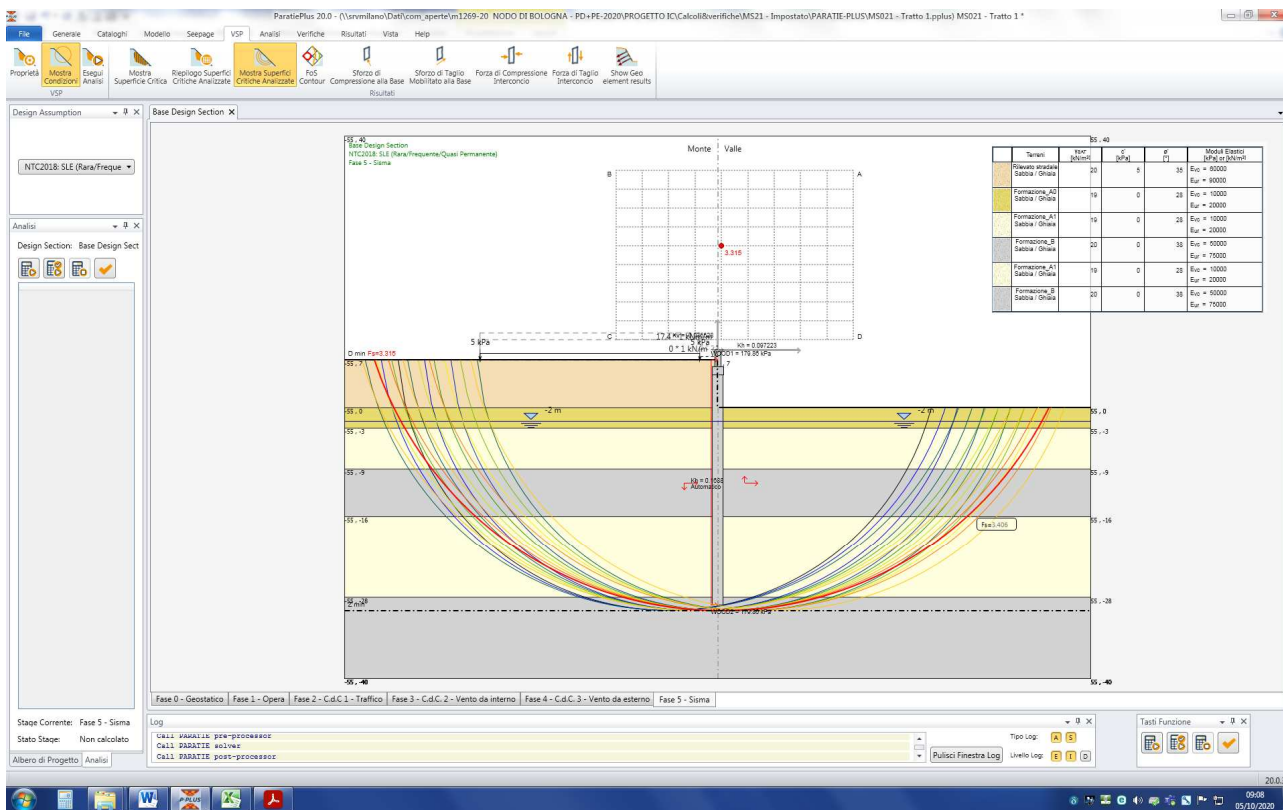


Figura n.9.2 – Analisi di stabilità – Configurazione finale – Verifica sismica

10 TRATTO 2 - ANALISI DELL'OPERA - RISULTATI

10.1 FASI DI CALCOLO

Segue la rappresentazione grafica delle singole fasi di calcolo precedentemente descritte.

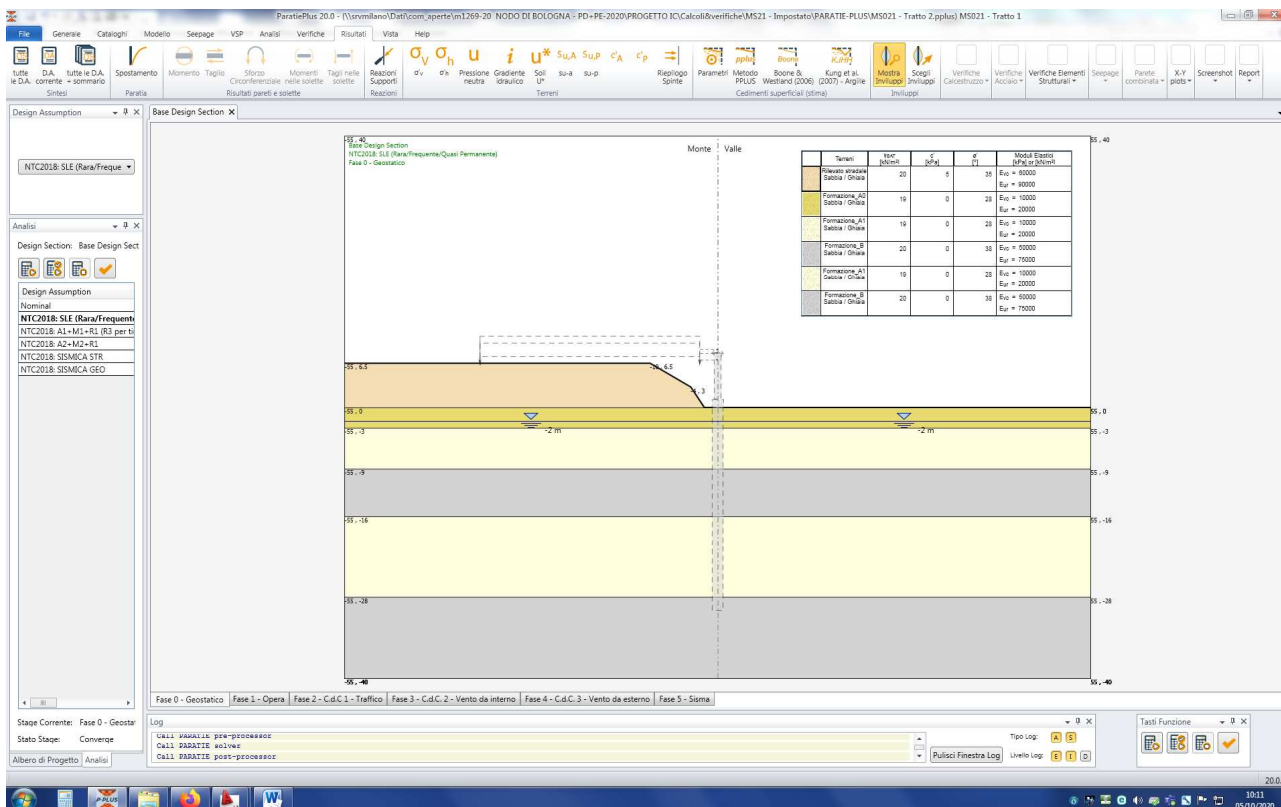


Figura n. 10.1 - FASE 1 - Realizzazione del rilevato stradale esistente

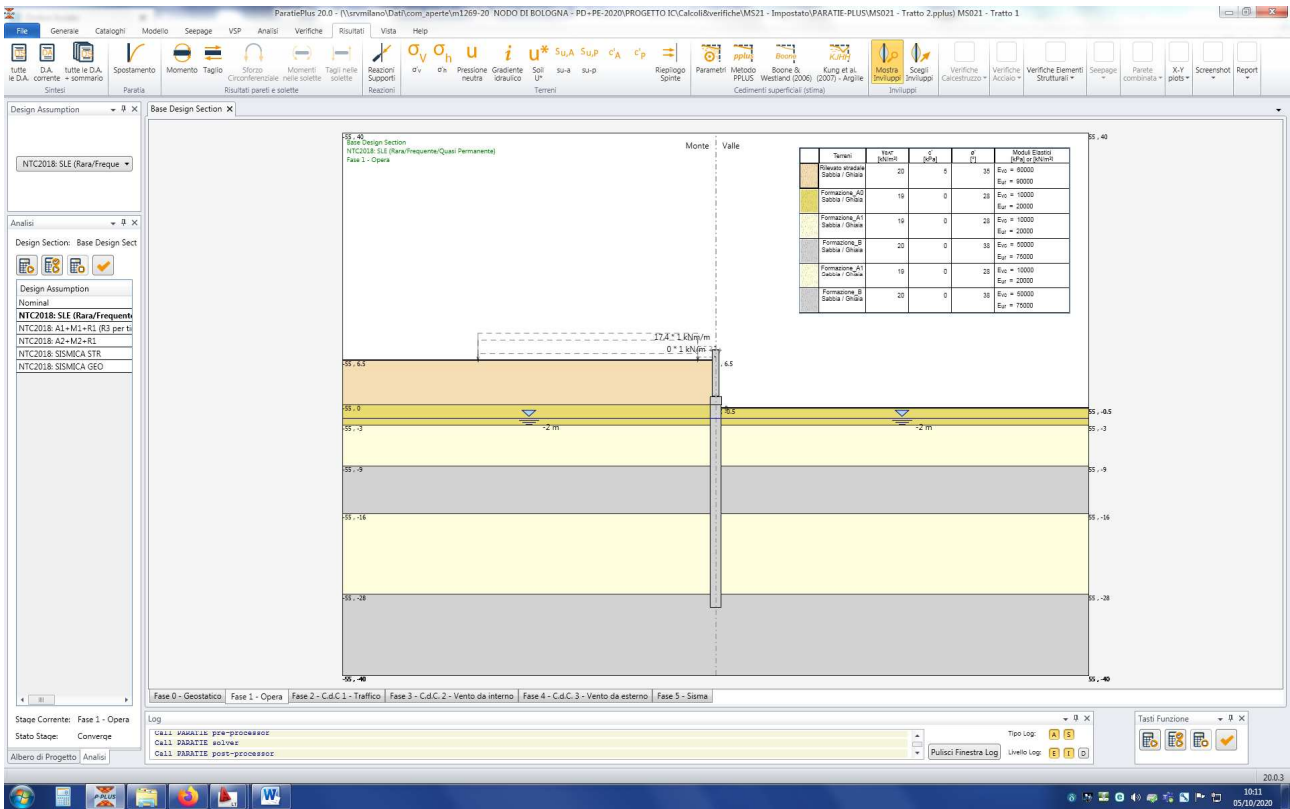


Figura n.10.2 - FASE 2 - Realizzazione dell'opera di sostegno con riprofilatura a valle

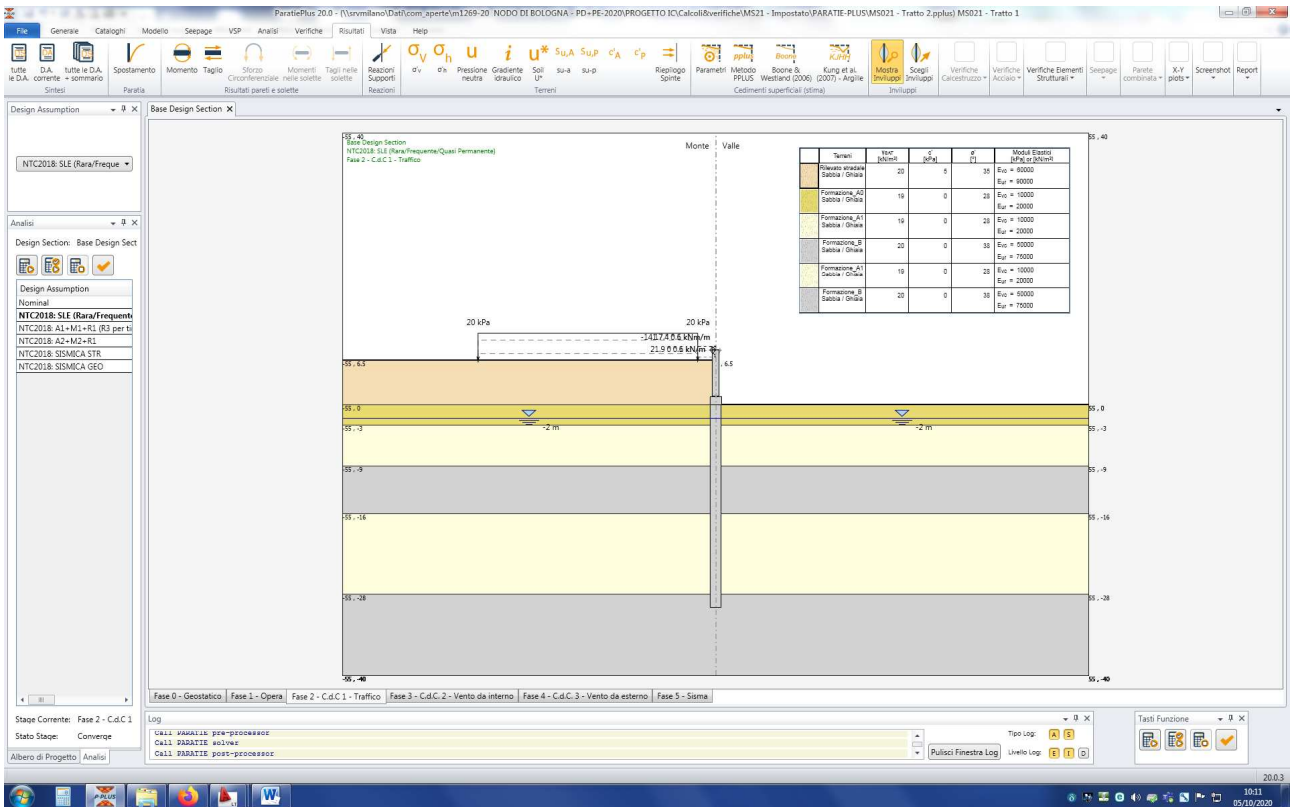


Figura n.10.3 - FASE 3 - C.d.C. 1 - Traffico

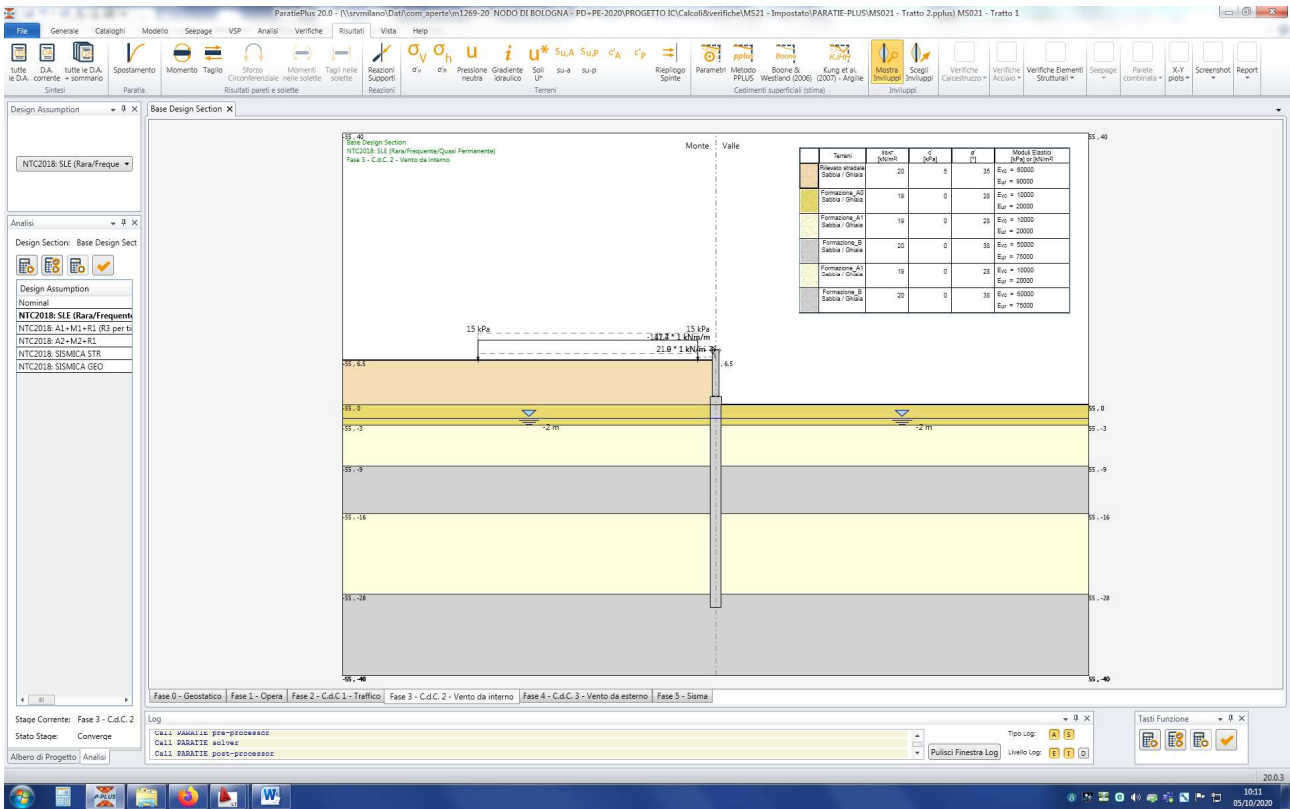


Figura n.10.4 - FASE 4 - C.d.C. 2 – Azione sulle FOA (vento da interno)

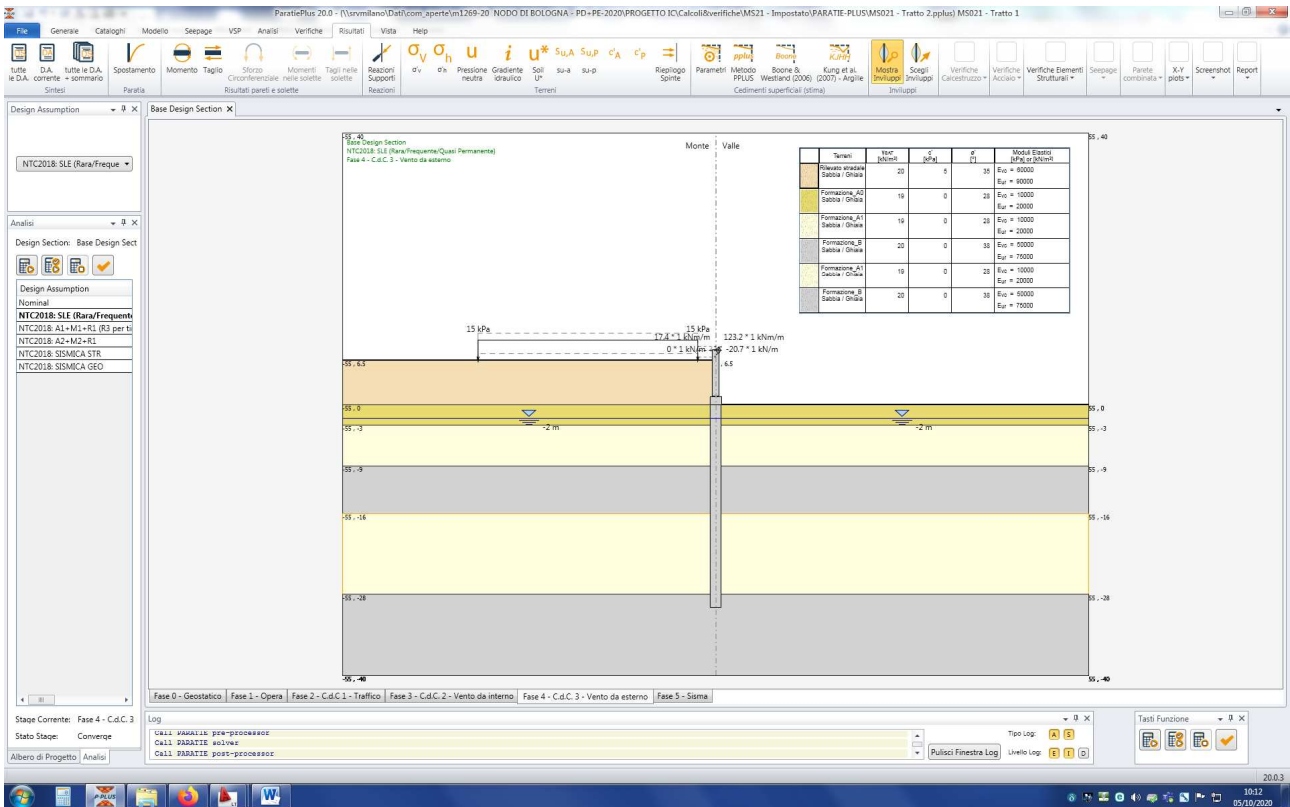


Figura n.110.5 - FASE 5 - C.d.C. 3 – Azione sulle FOA (vento da esterno + neve)

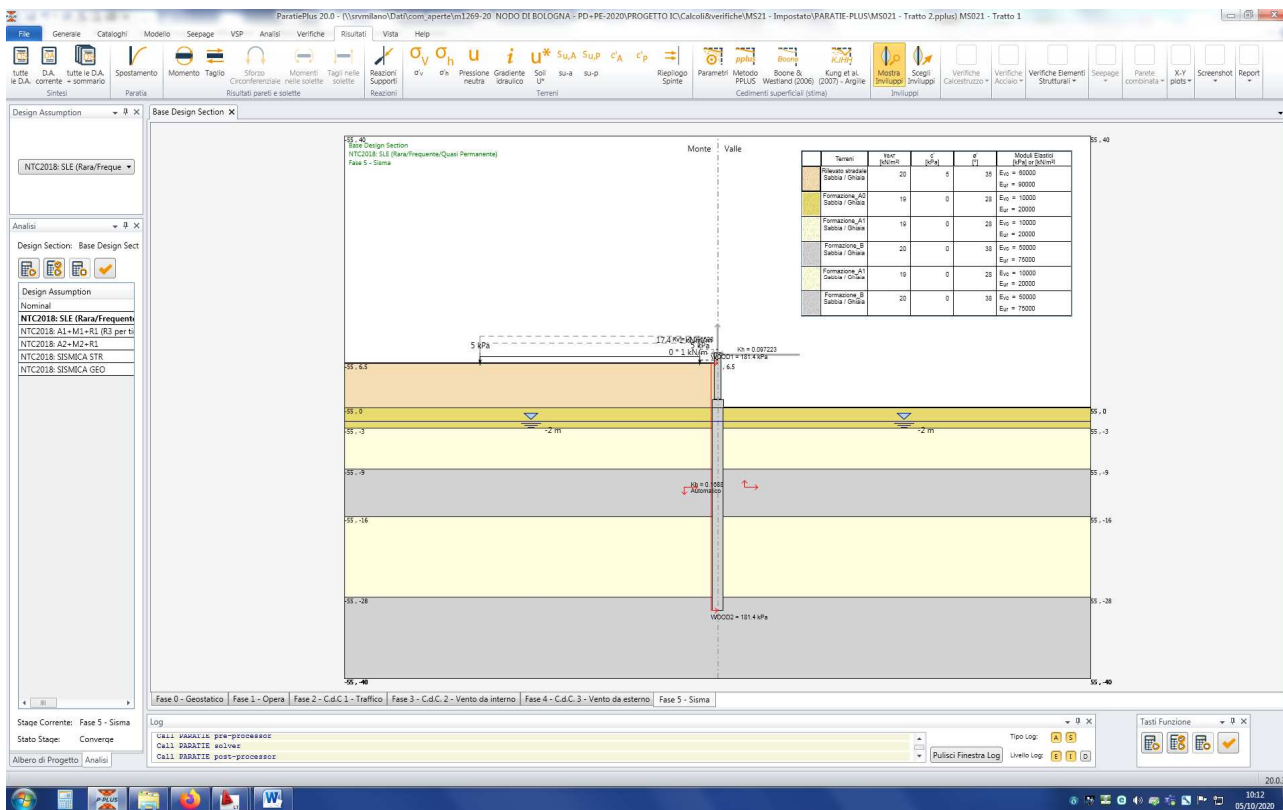


Figura n.10.6 - FASE 6 - C.d.C. 4 – Sisma

10.2 SPOSTAMENTI

Nelle seguenti figure è illustrato l'andamento degli spostamenti nelle combinazioni di carico più gravosa in esercizio (FASE 4) e a fine costruzione (FASE 2).

Si osserva che:

- lo spostamento in esercizio (calcolato come differenza tra lo spostamento massimo e lo spostamento a fine costruzione) risulta pari a $59\text{mm} - 46\text{mm} = 13\text{mm}$ inferiore a **0.5%** dell'altezza del muro.
- lo spostamento totale massimo compresa la deformazione in fase di costruzione ($s_{\text{max}} = 59\text{mm}$ - FASE 4) risulta **inferiore all'1.5%** dell'altezza del muro.

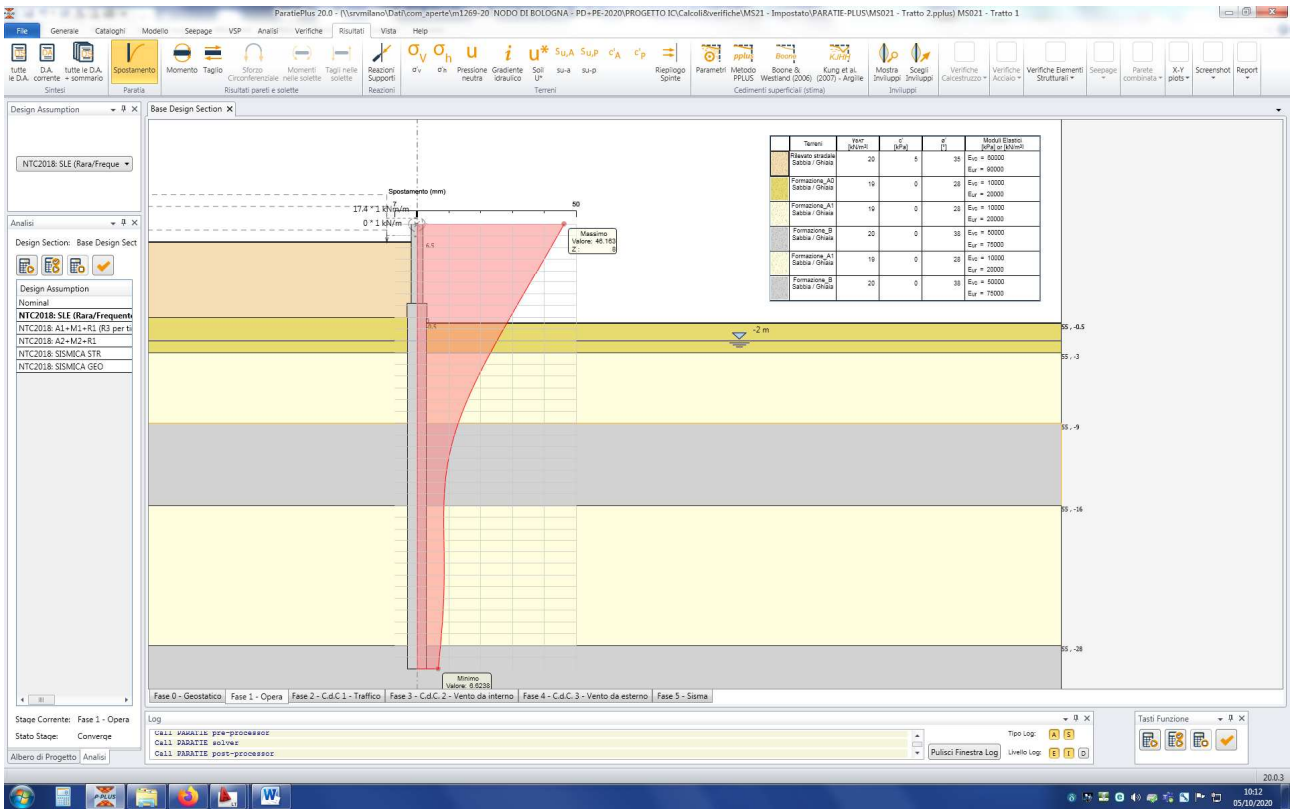


Figura n.10.7 – Spostamenti fase 2 fine costruzione

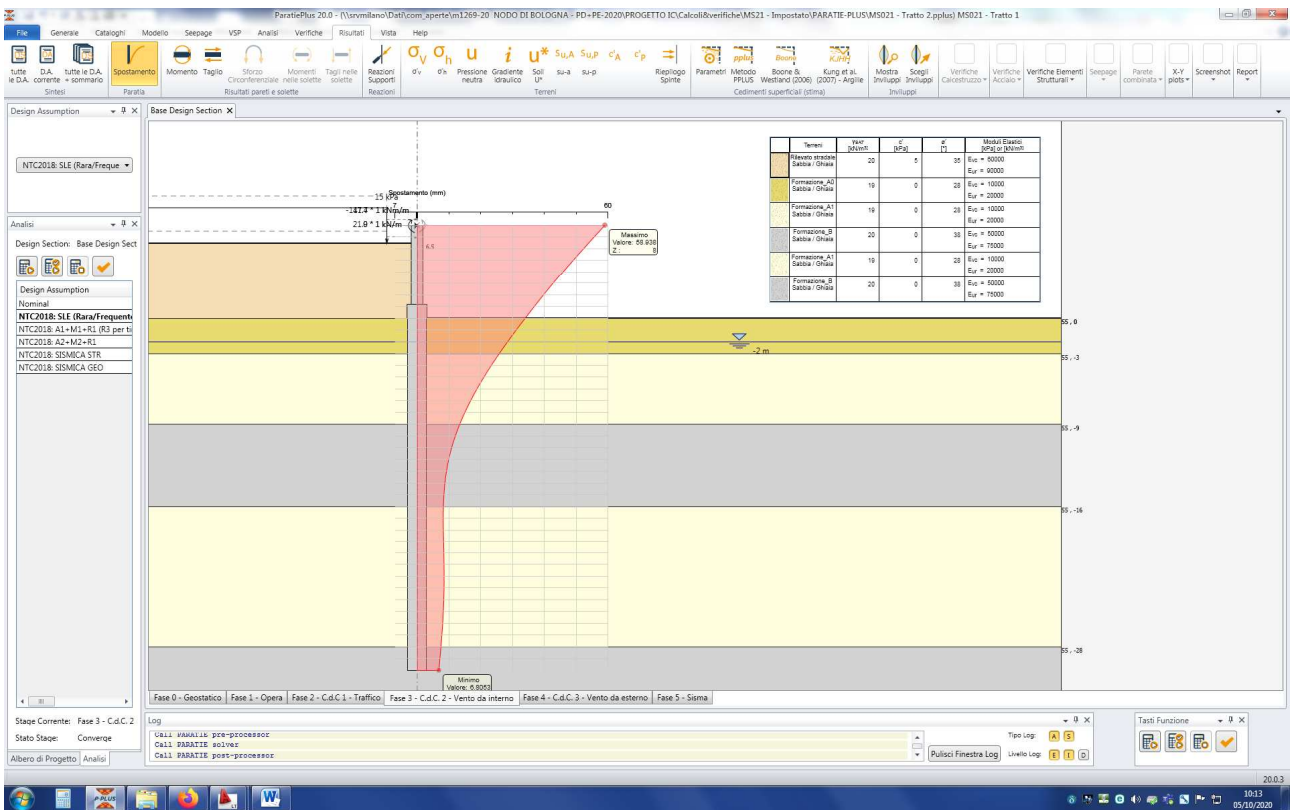


Figura n.10.8 – Spostamenti fase 4 (traffico e vento)

10.3 AZIONI INTERNE PALI DI FONDAZIONE

Nelle successive figure sono illustrati i grafici di inviluppo delle azioni interne (momento flettente e taglio) calcolate nei pali di fondazione per differenti verifiche (SLE, SLU e SLV). Si rammenta che le azioni sono **esprese per metro lineare di paratia**.

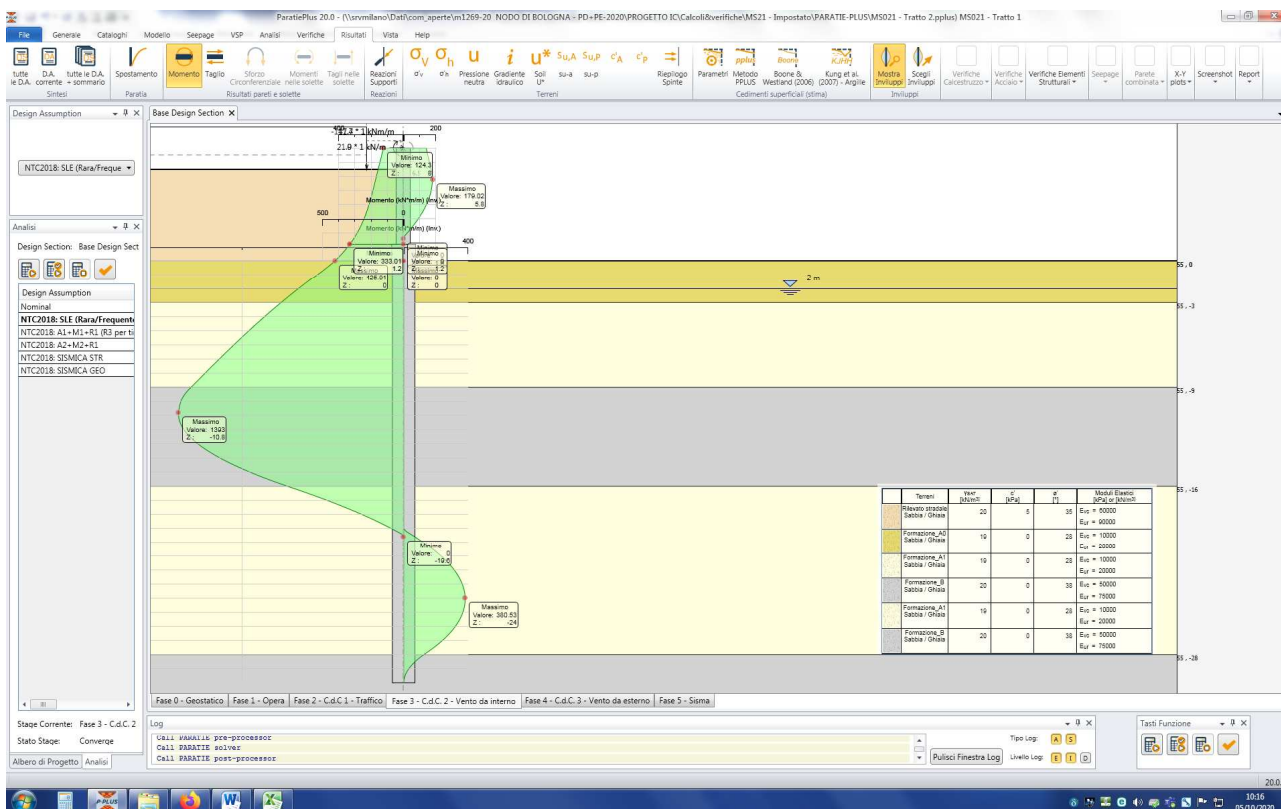


Figura n. 10.9 – Momento flettente - Involuppo SLE-QP

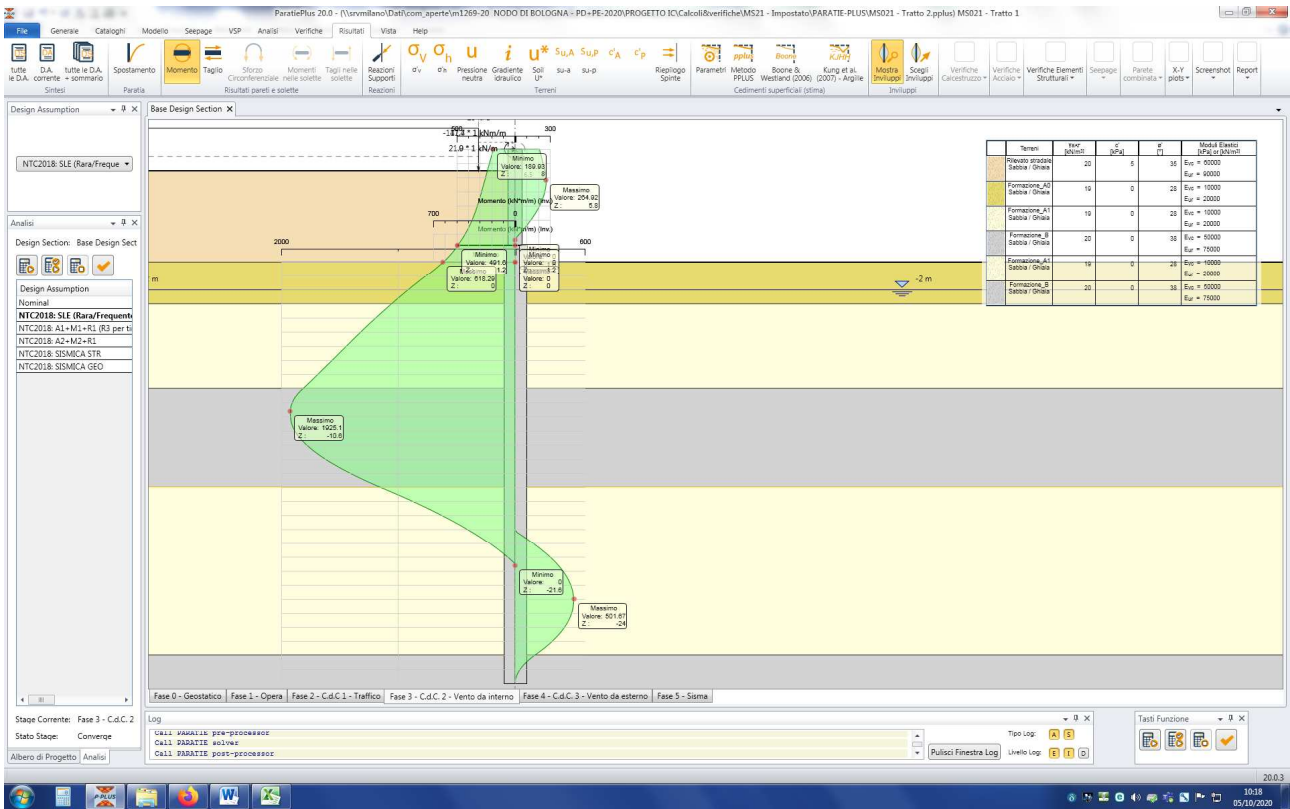


Figura n.10.10 – Momento flettente - Involuppo SLU

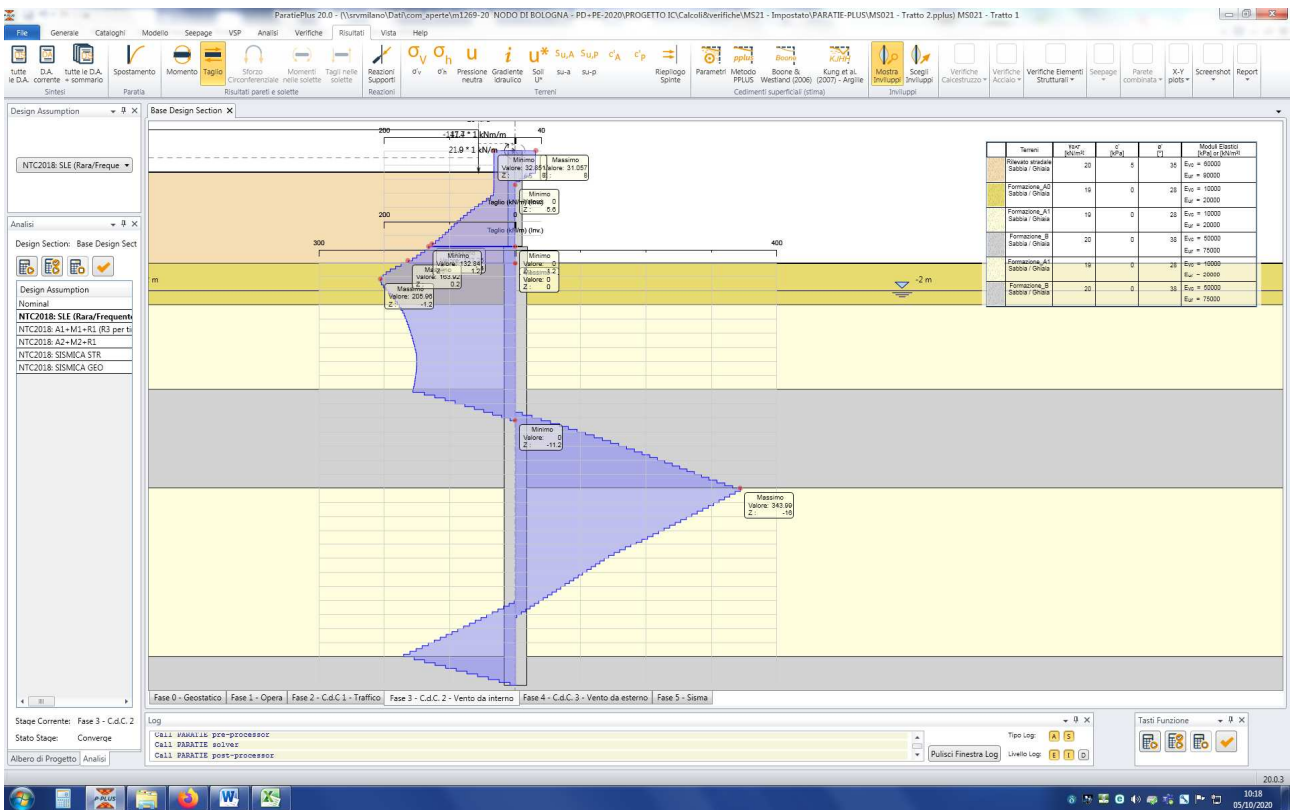


Figura n.10.11 – Azione di taglio - Involuppo SLU

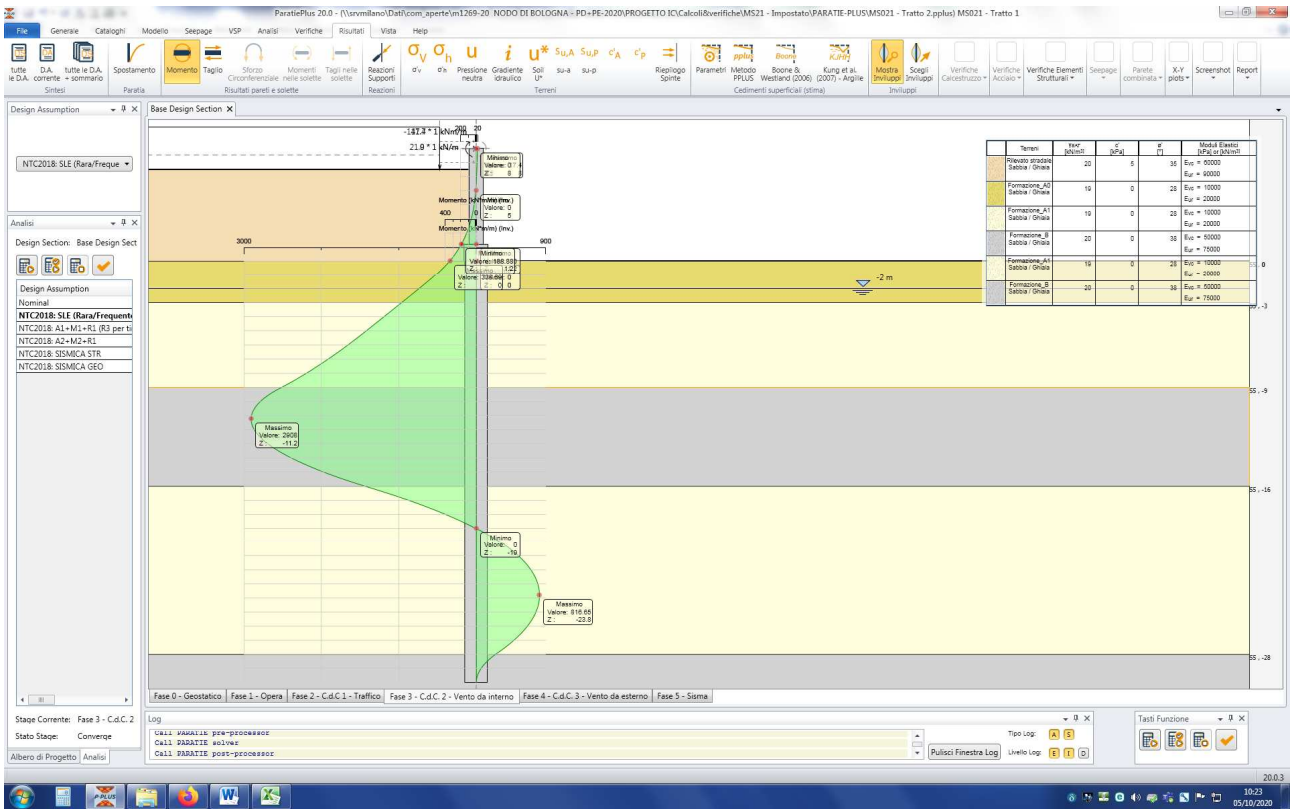


Figura n. 10.12 – Momento flettente - Involuppo SLV

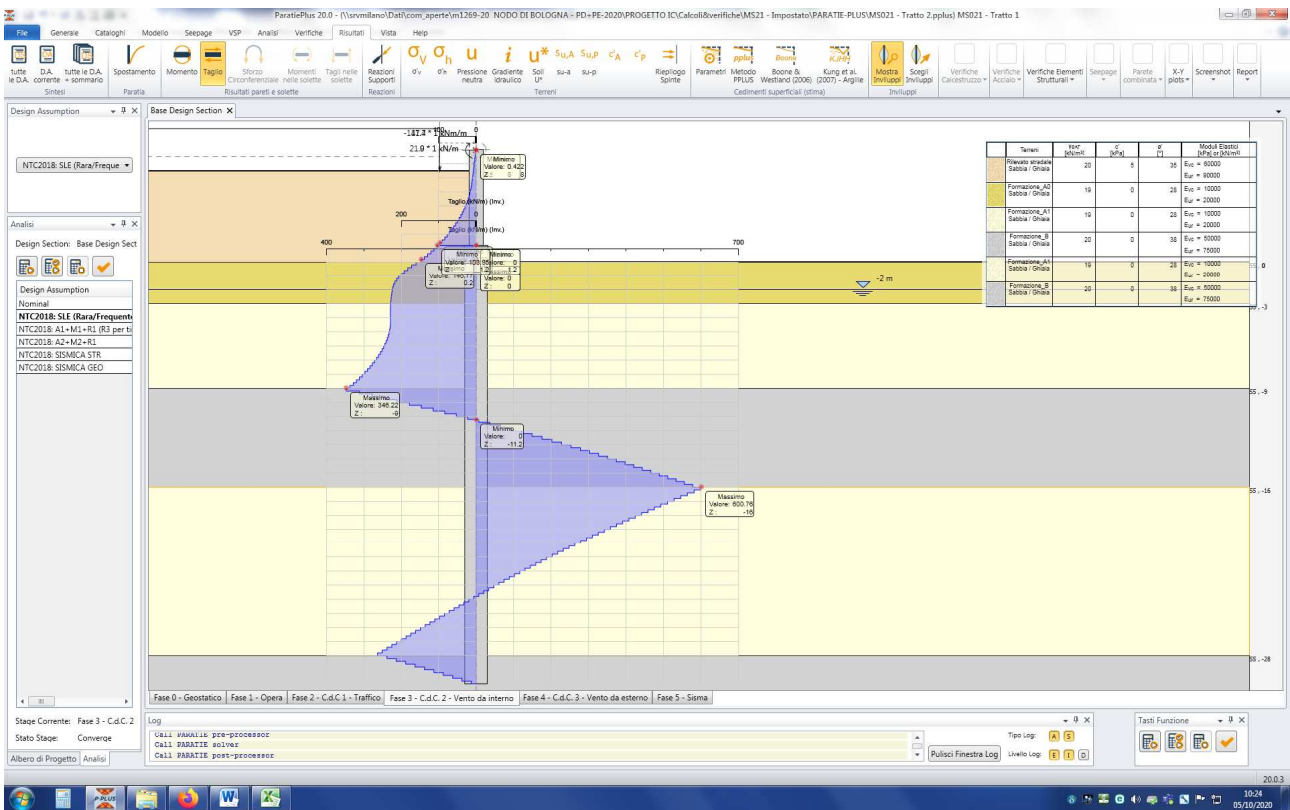


Figura n. 10.13 – Azione di taglio - Involuppo SLV

10.4 AZIONI INTERNE SPICCATO

Nelle successive figure sono illustrati i grafici di involucro delle azioni interne (momento flettente e taglio) calcolate allo spiccatto di fondazione per differenti verifiche (SLE, SLU e SLV). Si rammenta che le azioni sono **esprese per metro lineare di paratia**.

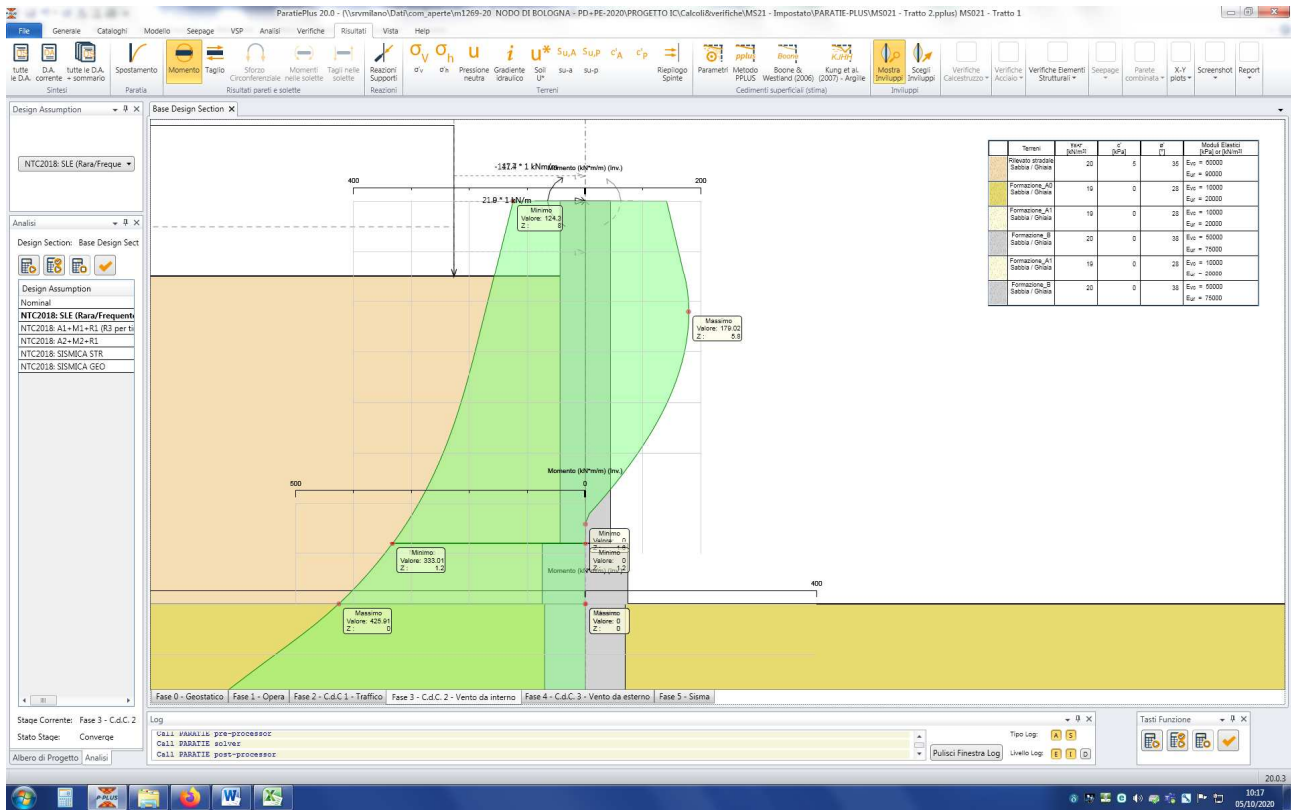


Figura n. 10.14 – Momento flettente - Involuppo SLE-QP

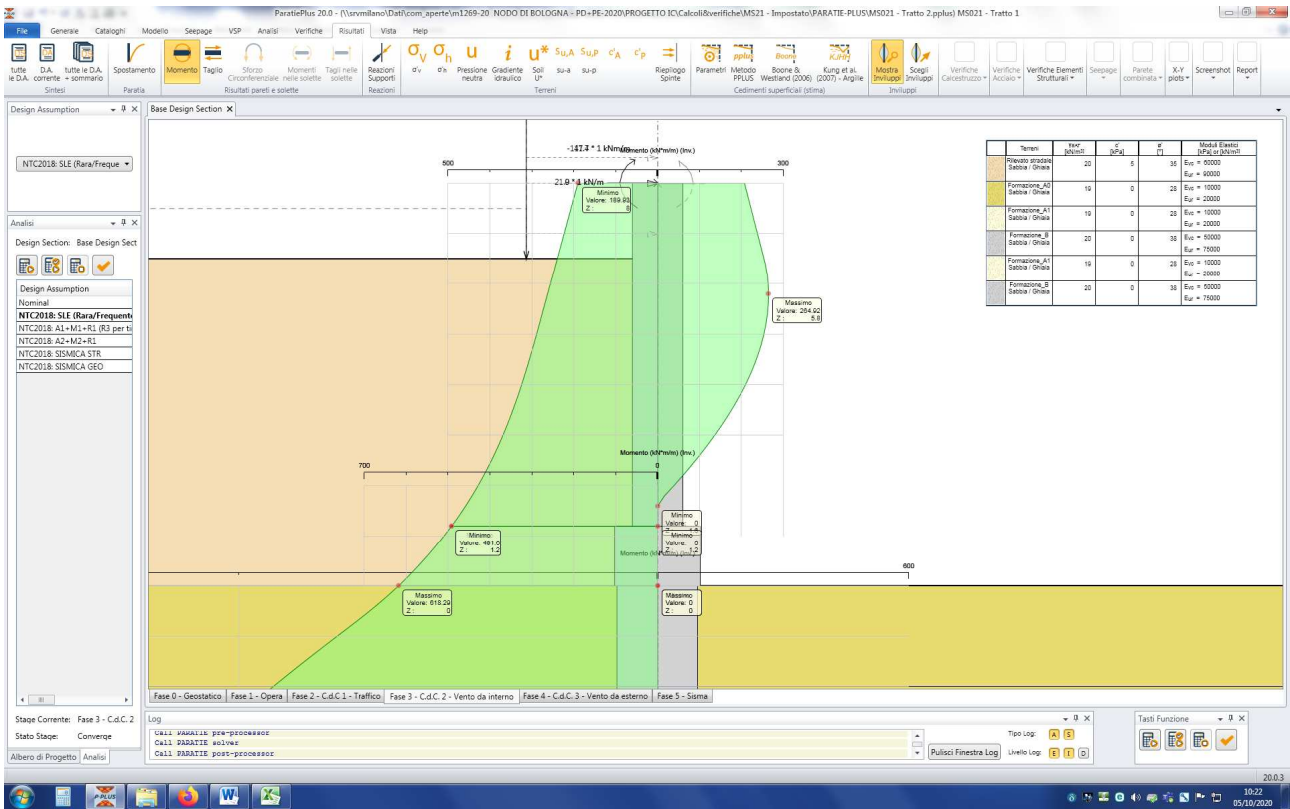


Figura n. 10.15 – Momento flettente - Involuppo SLU

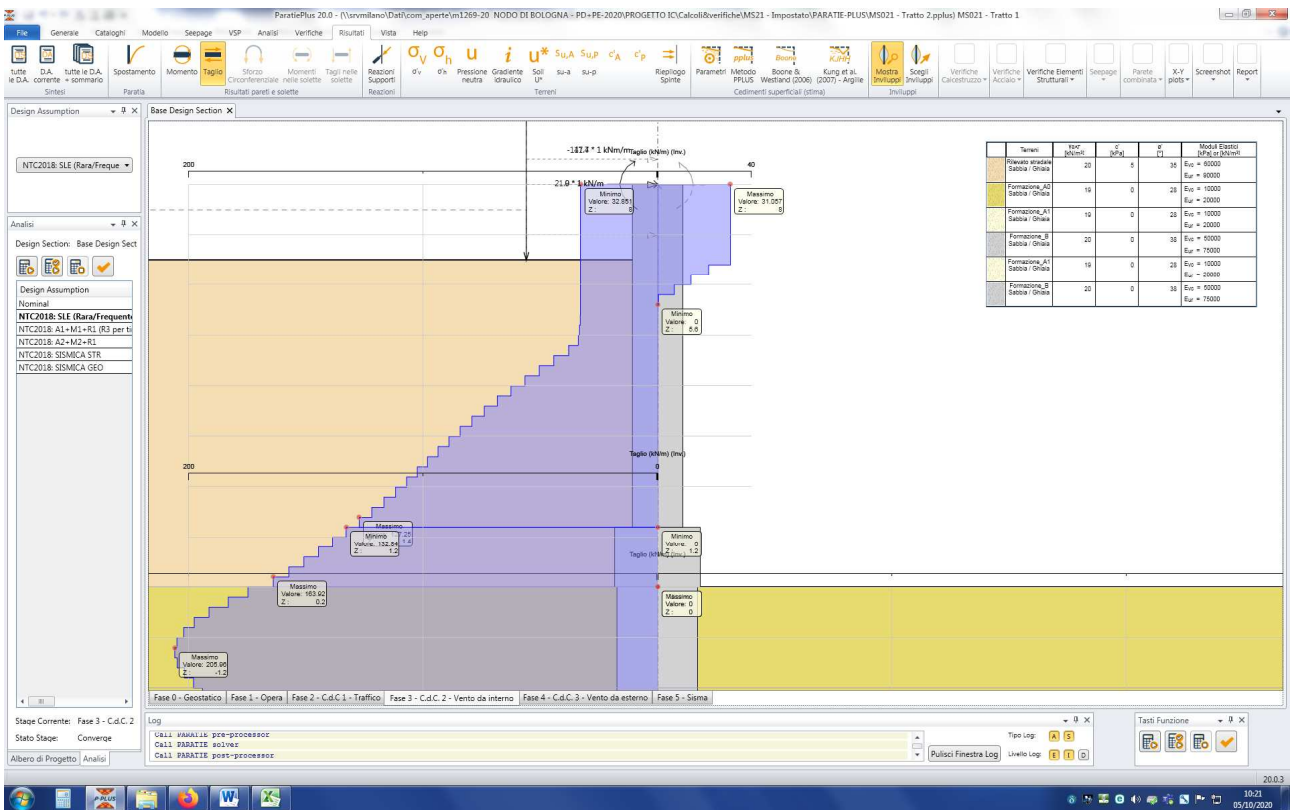


Figura n. 10.16 – Azione di taglio - Involuppo SLU

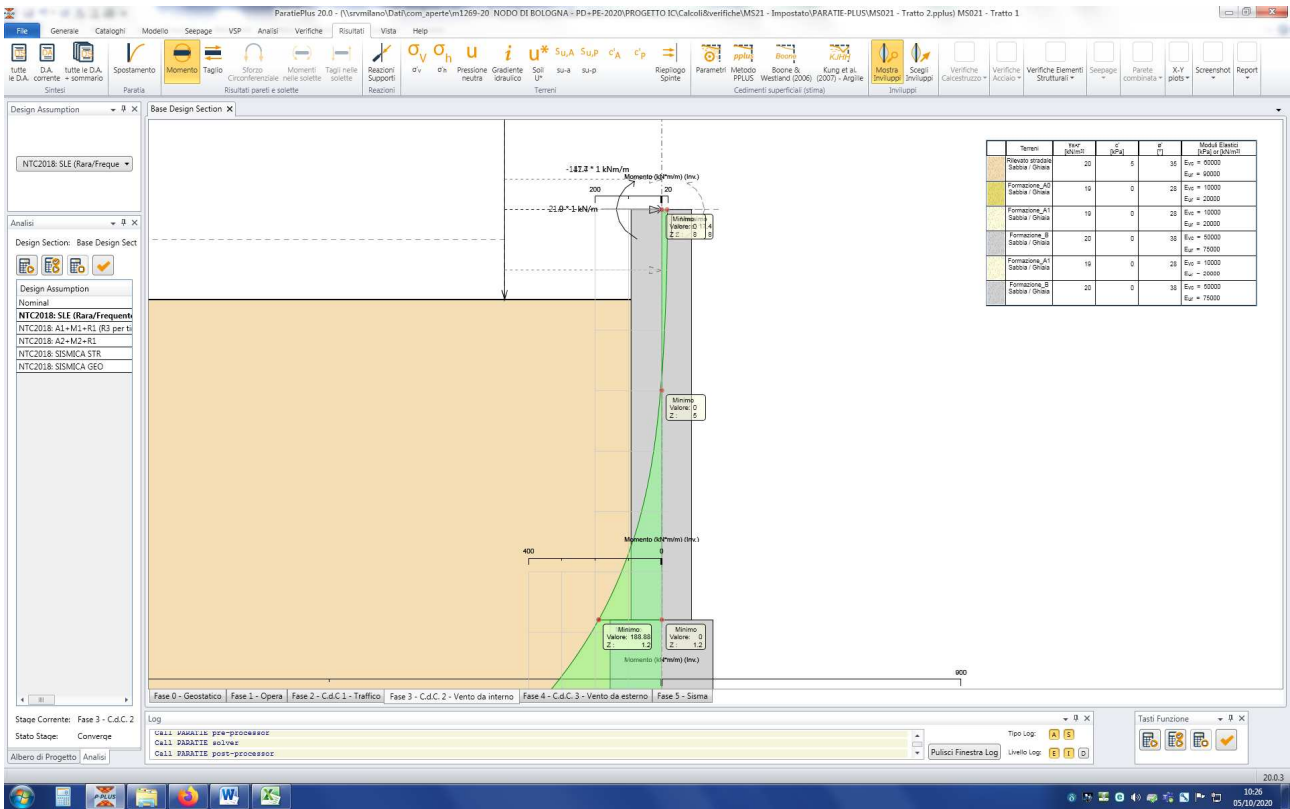


Figura n. 10.17 – Momento flettente - Inviluppo SLV

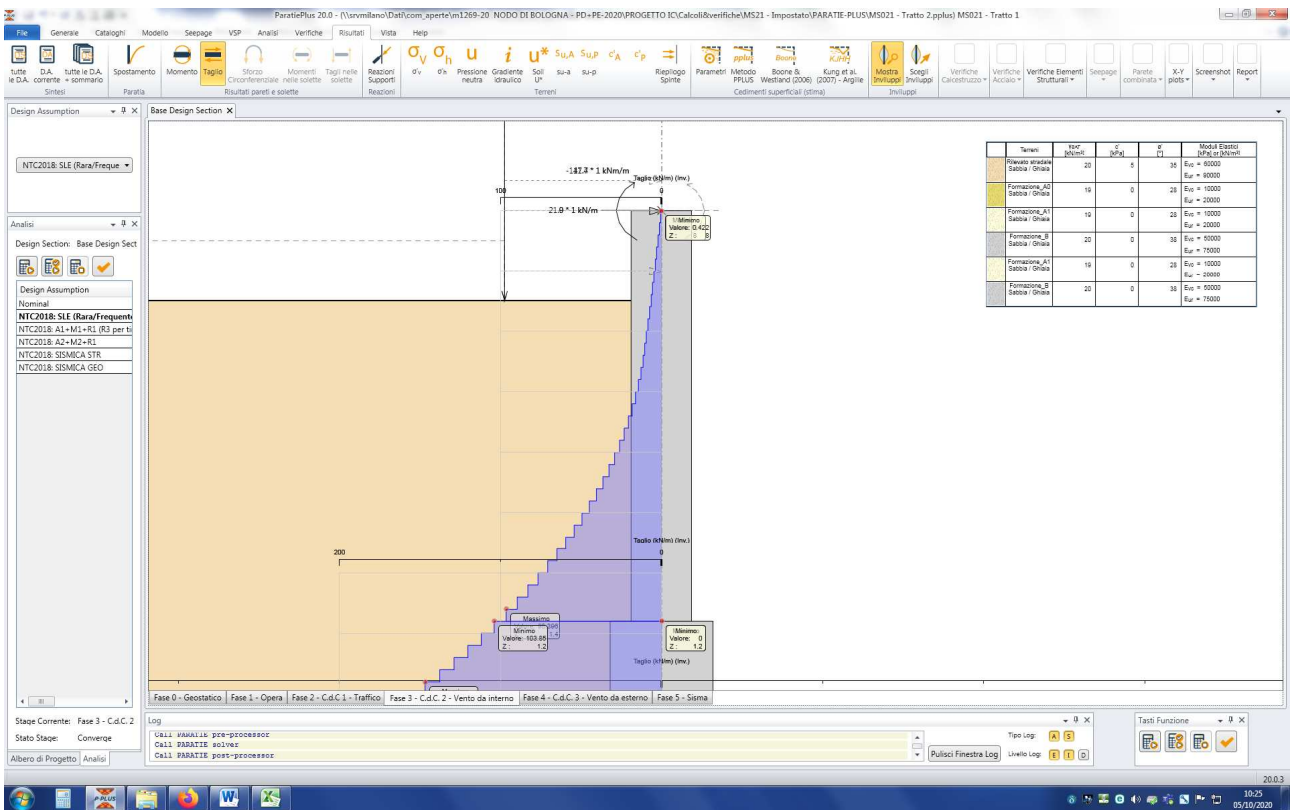


Figura n. 10.18 – Azione di taglio - Inviluppo SLV

10.5 SINTESI AZIONI INTERNE

Nella tabella n.10.1 di cui al seguito sono, infine, riassunti i valori di "design", calcolati tenendo conto dell'interasse dei pali, nella sezione di momento massimo e di taglio massimo per differenti verifiche (SLE, SLU e SLV). Si rammenta che le azioni sono **espresse per metro lineare** di paratia.

Si osserva (cfr. §7.1) che per la presenza dei contrafforti (1 palo ogni 3) le azioni interne di calcolo nei pali vengono definite moltiplicando i valori delle azioni (per metro lineare di opera) ottenuti con il codice PARATIE moltiplicandoli per la lunghezza di un campo (3 x 1.7m = 5.1m) e dividendoli per 3+1=4 pali.

MS021 - Tratto 2

| | |
|-------------------------------------|----------------|
| Interasse pali = | 1.70 m |
| Diametro pali = | 1.50 m |
| Diametro "equivalente" di calcolo = | 1.60 m |
| Altezza soprizzo = | 6.80 m |
| Spessore soprizzo = | 1.00 m |
| Testa palo = | 0.00 m da p.c. |

| ANALISI | SEZIONE | z (m da p.c.) | z (m da t.p.) | AZIONE | PALI | | SPICCATO SOPRALZO |
|---------|-------------------------------|---------------------|---------------------|---------|------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| | | | | | CALCOLO PARATIE (a ml) | VALORI DI DESIGN (a palo) | VALORI DI DESIGN |
| SLE | SEZIONE DI MOMENTO MASSIMO | 10.8 | 10.8 | M (kNm) | 1303 | 1661 | 333 |
| | | | | V (kN) | 25 | 32 | 94 |
| | | | | N (kN) | | 766 | 170 |
| SLU | SEZIONE DI MOMENTO MASSIMO | 10.6 | 10.6 | M (kNm) | 1925 | 2454 | 492 |
| | | | | V (kN) | 48 | 61 | 133 |
| | | | | N (kN) | | 757 | 170 |
| | SEZIONE DI TAGLIO MASSIMO | 16.0 | 16.0 | M (kNm) | 1135 | 1447 | 492 |
| | | | | V (kN) | 344 | 439 | 133 |
| | | | | N (kN) | | 996 | 170 |
| SLV | SEZIONE DI MOMENTO MASSIMO | 11.2 | 11.2 | M (kNm) | 2908 | 3708 | 189 |
| | | | | V (kN) | 0 | 0 | 104 |
| | | | | N (kN) | | 784 | 170 |
| | SEZIONE DI TAGLIO MASSIMO | 16.0 | 16.0 | M (kNm) | 1427 | 1819 | 189 |
| | | | | V (kN) | 601 | 766 | 104 |
| | | | | N (kN) | | 996 | 170 |

Tabella n.10.1 – Azioni di design

11 TRATTO 2 - ANALISI DELL'OPERA - VERIFICHE

11.1 VERIFICA DELL'IMMORSAMENTO DEI PALI

Si riportano di seguito i valori della percentuale di mobilitazione della spinta passiva calcolata nelle condizioni più sfavorevoli SLU-GEO e SISMA. Si osserva che sono rispettati i limiti di cui al §5.4.

Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva fase statica

Result Title :Wall <Left Wall>

STAGE THRUST_RATIO [--]

| | |
|---|-------|
| 1 | 0.127 |
| 2 | 0.196 |
| 3 | 0.195 |
| 4 | 0.195 |
| 5 | 0.196 |

Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva fase sismica

Result Title :Wall <Left Wall>

STAGE THRUST_RATIO [--]

| | |
|---|-------|
| 6 | 0.514 |
|---|-------|

11.2 VERIFICA STRUTTURALE DEI PALI

Si dispongono **47φ26** con spirale φ12 passo 15cm. Si verifica la sezioni imponendo un comportamento non dissipativo.

Segue tabulato di calcolo.

DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.

NOME SEZIONE: Palo-DN1500

| | |
|-------------------------------|--|
| Descrizione Sezione: | |
| Metodo di calcolo resistenza: | Resistenze in campo sostanzialmente elastico |
| Normativa di riferimento: | N.T.C. |
| Tipologia sezione: | Sezione predefinita di Palo |
| Forma della sezione: | Circolare |
| Percorso sollecitazione: | A Sforzo Norm. costante |
| Condizioni Ambientali: | Poco aggressive |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Assi x,y principali d'inerzia |

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | |
|----------------|---------------------------------------|---------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C25/30 |
| | Resistenza compress. di progetto fcd: | 14.16 MPa |
| | Resistenza compress. ridotta fcd': | 7.080 MPa |
| | Deform. unitaria max resistenza ec2: | 0.0020 |
| | Deformazione unitaria ultima ecu: | 0.0035 |
| | Diagramma tensioni-deformaz.: | Parabola-Rettangolo |
| | Modulo Elastico Normale Ec: | 31475.0 MPa |
| | Resis. media a trazione fctm: | 2.560 MPa |
| | Coeff.Omogen. S.L.E.: | 15.00 |
| | Sc limite S.L.E. comb. Rare: | 15.000 MPa |

| | | | |
|-----------|---|------------------|-----|
| ACCIAIO - | Tipo: | B450C | |
| | Resist. caratt. a snervamento fyk: | 450.00 | MPa |
| | Resist. caratt. a rottura ftk: | 450.00 | MPa |
| | Resist. a snerv. di progetto fyd: | 391.30 | MPa |
| | Resist. ultima di progetto ftd: | 391.30 | MPa |
| | Deform. ultima di progetto Epu: | 0.068 | |
| | Modulo Elastico Ef: | 200000.0 | MPa |
| | Diagramma tensioni-deformaz.: | Bilineare finito | |
| | Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 * \beta_2$: | 1.00 | |
| | Coeff. Aderenza differito $\beta_1 * \beta_2$: | 0.50 | |
| | Comb.Rare - Sf Limite: | 360.00 | MPa |

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

| | | |
|----------------------------|-------|--------------------------|
| Diametro sezione: | 150.0 | cm |
| Barre circonferenza: | 47Ø26 | (249.5 cm ²) |
| Coprif.(dal baric. barre): | 10.5 | cm |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | | | |
|----|--|--|--|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.) | | |
| Mx | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione | | |
| VY | Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale | | |
| MT | Momento torcente [kN m] | | |

| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
|---------|--------|---------|--------|------|
| 1 | 757.00 | 2454.00 | 61.00 | 0.00 |
| 2 | 996.00 | 1447.00 | 439.00 | 0.00 |
| 3 | 784.00 | 3708.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 996.00 | 1819.00 | 766.00 | 0.00 |

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | | |
|----|---|--|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.) | |
| Mx | Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione | |

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|--------|---------|
| 1 | 766.00 | 1661.00 |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

| | | |
|--|-----|----|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 9.2 | cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 6.0 | cm |
| Copriferro netto minimo staffe: | 8.0 | cm |

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

| | | | |
|----------|---|--|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata | | |
| N | Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione) | | |
| Mx | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico | | |
| N Ult | Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.) | | |
| Mx re | Momento resistente sostanzialmente elastico [kNm] riferito all'asse x baricentrico | | |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re, Mx re) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000 | | |
| Yn | Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X, Y, O sez. | | |
| x/d | Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45 | | |
| C.Rid. | Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC] | | |

| N°Comb | Ver | N | Mx | N re | Mx re | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | |
|--------|-----|--------|---------|------|-------|----------|------|------|--------|--------------|
| 1 | S | 757.00 | 2454.00 | | | 1.642 | 22.0 | 0.38 | 0.91 | 154.0 (35.3) |
| 2 | S | 996.00 | 1447.00 | | | 2.849 | 21.1 | 0.39 | 0.92 | 154.0 (35.3) |

| | | | | | | | | |
|---|---|--------|---------|-------|------|------|------|--------------|
| 3 | S | 784.00 | 3708.00 | 1.090 | 21.9 | 0.38 | 0.92 | 154.0 (35.3) |
| 4 | S | 996.00 | 1819.00 | 2.267 | 21.1 | 0.39 | 0.92 | 154.0 (35.3) |

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

| | |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione) |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione) |
| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N°Comb | ec max | Yc max | es min | Ys min | es max | Ys max |
|--------|---------|--------|---------|--------|----------|--------|
| 1 | 0.00120 | 75.0 | 0.00096 | 64.5 | -0.00196 | -64.5 |
| 2 | 0.00123 | 75.0 | 0.00099 | 64.5 | -0.00196 | -64.5 |
| 3 | 0.00120 | 75.0 | 0.00096 | 64.5 | -0.00196 | -64.5 |
| 4 | 0.00123 | 75.0 | 0.00099 | 64.5 | -0.00196 | -64.5 |

ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

| | | | |
|------------------|------|-------|--|
| Diametro staffe: | 12 | mm | |
| Passo staffe: | 15.0 | cm | [Passo massimo di normativa = 20.8 cm] |
| N.Bracci staffe: | 2 | | |
| Area staffe/m : | 15.1 | cm²/m | [Area Staffe Minima NTC = 2.7 cm²/m] |

VERIFICHE A TAGLIO

| | |
|------|--|
| Ver | S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata |
| Ved | Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta) |
| Vrd | Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC] |
| Vcd | Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC] |
| Vwd | Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC] |
| bw d | Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro Altezza utile sezione |
| Ctg | Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato |
| Acw | Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione |
| Ast | Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm²/m] |

| N°Comb | Ver | Ved | Vrd | Vcd | Vwd | bw d | Ctg | Acw | Ast |
|--------|-----|--------|------|---------|---------|--------------|-------|-------|-----|
| 1 | S | 61.00 | 0.00 | 3460.96 | 1489.99 | 136.2 117.7 | 2.500 | 1.030 | 0.6 |
| 2 | S | 439.00 | 0.00 | 3479.13 | 1484.70 | 136.2 117.7 | 2.500 | 1.040 | 4.5 |
| 3 | S | 0.00 | 0.00 | 5021.38 | 595.76 | 136.2 117.7 | 1.000 | 1.031 | 0.0 |
| 4 | S | 766.00 | 0.00 | 3479.13 | 1484.70 | 136.2 117.7 | 2.500 | 1.040 | 7.8 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| | |
|---------|---|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| Sc max | Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]) |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O) |
| Sc min | Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]) |
| Yc min | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O) |
| Sf min | Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa] |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O) |
| Dw Eff. | Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre |
| Ac eff. | Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.) |
| As eff. | Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.) |

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 6.19 | -75.0 | 0.00 | 75.0 | -138.3 | 64.4 | 26.3 | 4750 | 111.5 | ---- |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| | |
|-----|--|
| Ver | Esito verifica |
| e1 | Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| e2 | Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| K2 | = 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e2) in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC |

| | |
|---------|---|
| Kt | fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2 |
| e sm | Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es |
| srm | Distanza massima in mm tra le fessure |
| wk | Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite. |
| M fess. | Momento di prima fessurazione [kNm] |

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | e3 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|----|------|------|---------------------|-----|----------------|---------|
| 1 | S | -0.00078 | 0.00046 | | 0.50 | 0.60 | 0.000415 (0.000415) | 501 | 0.208 (990.00) | 1229.18 |

11.3 VERIFICA STRUTTURALE DEL SOPRALZO

Si documenta la verifica strutturale dell'elevazione svolta in corrispondenza della sezione più gravosa (spiccato da trave di collegamento pali). Si dispongono **10φ20 (lato terra) + 10φ16 (lato valle)**. Si verifica la sezioni imponendo un comportamento non dissipativo.

Segue tabulato di calcolo.

DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.

NOME SEZIONE: Sopralzo

| | |
|-------------------------------|--|
| Descrizione Sezione: | |
| Metodo di calcolo resistenza: | Resistenze in campo sostanzialmente elastico |
| Normativa di riferimento: | N.T.C. |
| Tipologia sezione: | Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe |
| Forma della sezione: | Rettangolare |
| Percorso sollecitazione: | A Sforzo Norm. costante |
| Condizioni Ambientali: | Poco aggressive |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Assi x,y principali d'inerzia |

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | |
|------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C30/37 |
| | Resistenza compress. di progetto fcd: | 17.00 MPa |
| | Deform. unitaria max resistenza ec2: | 0.0020 |
| | Deformazione unitaria ultima ecu: | 0.0035 |
| | Diagramma tensioni-deformaz.: | Parabola-Rettangolo |
| | Modulo Elastico Normale Ec: | 32836.0 MPa |
| | Resis. media a trazione fctm: | 2.900 MPa |
| | Coeff.Omogen. S.L.E.: | 15.00 |
| Sc limite S.L.E. comb. Rare: | 18.000 MPa | |
| ACCIAIO - | Tipo: | B450C |
| | Resist. caratt. a snervamento fyk: | 450.00 MPa |
| | Resist. caratt. a rottura ftk: | 450.00 MPa |
| | Resist. a snerv. di progetto fyd: | 391.30 MPa |
| | Resist. ultima di progetto ftd: | 391.30 MPa |
| | Deform. ultima di progetto Epu: | 0.068 |
| | Modulo Elastico Ef: | 200000.0 MPa |
| | Diagramma tensioni-deformaz.: | Bilineare finito |
| | Coeff. Aderenza istant. β1*β2: | 1.00 |
| | Coeff. Aderenza differito β1*β2: | 0.50 |
| Comb.Rare - Sf Limite: | 360.00 MPa | |

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

| | | |
|--------------------------------|-------|-------------------------|
| Base: | 100.0 | cm |
| Altezza: | 100.0 | cm |
| Barre inferiori: | 10Ø20 | (31.4 cm ²) |
| Barre superiori: | 10Ø16 | (20.1 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 5.0 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 4.8 | cm |
| Coprif.Lat. (dal baric.barre): | 5.0 | cm |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | |
|----|--|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.) |
| Mx | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione |
| Vy | Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale |
| MT | Momento torcente [kN m] |

| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
|---------|--------|--------|--------|------|
| 1 | 170.00 | 492.00 | 133.00 | 0.00 |
| 2 | 170.00 | 189.00 | 104.00 | 0.00 |

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | |
|----|---|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.) |
| Mx | Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|--------|--------|
| 1 | 170.00 | 333.00 |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

| | | |
|--|-----|----|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 4.0 | cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 8.0 | cm |
| Copriferro netto minimo staffe: | 4.0 | cm |

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

| | |
|----------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| N | Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione) |
| Mx | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico |
| N Ult | Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.) |
| Mx re | Momento resistente sostanzialmente elastico [kNm] riferito all'asse x baricentrico |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re, Mx re) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000 |
| Yn | Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez. |
| x/d | Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45 |
| C.Rid. | Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC] |

| N°Comb | Ver | N | Mx | N re | Mx re | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | |
|--------|-----|--------|--------|------|-------|----------|------|------|--------|-------------|
| 1 | S | 170.00 | 492.00 | | | 2.323 | 76.1 | 0.25 | 0.75 | 31.4 (15.9) |
| 2 | S | 170.00 | 189.00 | | | 6.012 | 76.1 | 0.25 | 0.75 | 31.4 (15.9) |

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

| | |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione) |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione) |
| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N°Comb | ec max | Yc max | es min | Ys min | es max | Ys max |
|--------|---------|--------|---------|--------|----------|--------|
| 1 | 0.00066 | 100.0 | 0.00053 | 95.2 | -0.00196 | 5.0 |
| 2 | 0.00066 | 100.0 | 0.00053 | 95.2 | -0.00196 | 5.0 |

VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

| | |
|------|--|
| Ver | S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata |
| Ved | Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta) |
| Vwct | Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC] |
| d | Altezza utile sezione [cm] |
| bw | Larghezza minima sezione [cm] |
| Ro | Rapporto geometrico di armatura longitudinale [<0.02] |
| Scp | Tensione media di compressione nella sezione [Mpa] |

| N°Comb | Ver | Ved | Vwct | d | bw | Ro | Scp |
|--------|-----|--------|--------|------|-------|--------|------|
| 1 | S | 133.00 | 381.57 | 95.0 | 100.0 | 0.0033 | 0.02 |
| 2 | S | 104.00 | 381.57 | 95.0 | 100.0 | 0.0033 | 0.02 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| | |
|---------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| Sc max | Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa] |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O) |
| Sc min | Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa] |
| Yc min | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O) |
| Sf min | Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa] |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O) |
| Dw Eff. | Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre |
| Ac eff. | Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.) |
| As eff. | Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.) |
| D barre | Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2) |

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 2.81 | 100.0 | 0.00 | 71.2 | -97.2 | 95.2 | 12.5 | 1250 | 31.4 | 10.0 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| | |
|---------|---|
| Ver | Esito verifica |
| e1 | Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| e2 | Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| K2 | = 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e2)in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC |
| Kt | fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2 |
| e sm | Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es |
| srm | Distanza massima in mm tra le fessure |
| wk | Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite. |
| M fess. | Momento di prima fessurazione [kNm] |

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|----------------|---------|
| 1 | S | -0.00052 | 0.00021 | 0.50 | 0.60 | 0.000292 (0.000292) | 271 | 0.079 (990.00) | 640.99 |

11.4 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

In tabella n.11.1 sono riassunti i risultati delle analisi di stabilità in condizioni statiche e sismiche per la configurazione di progetto. Nelle successive figure n.11.1 e 11.2 sono illustrati i risultati ottenuti.

| ANALISI | | METODO | FIGURA | FS _{min} | VERIFICA |
|-----------------------|---------|-------------------------------------|--------|-------------------|---|
| CONFIGURAZIONE FINALE | STATICA | Morghestern con superfici circolari | 11.1 | 6.74 | FS _{min} = 6.74 ≥ 1.1 = γ _R |
| | SISMICA | | 11.2 | 3.59 | FS _{min} = 3.59 ≥ 1.2 = γ _R |

Tabella n.11.1 – Analisi di stabilità – coefficienti di sicurezza

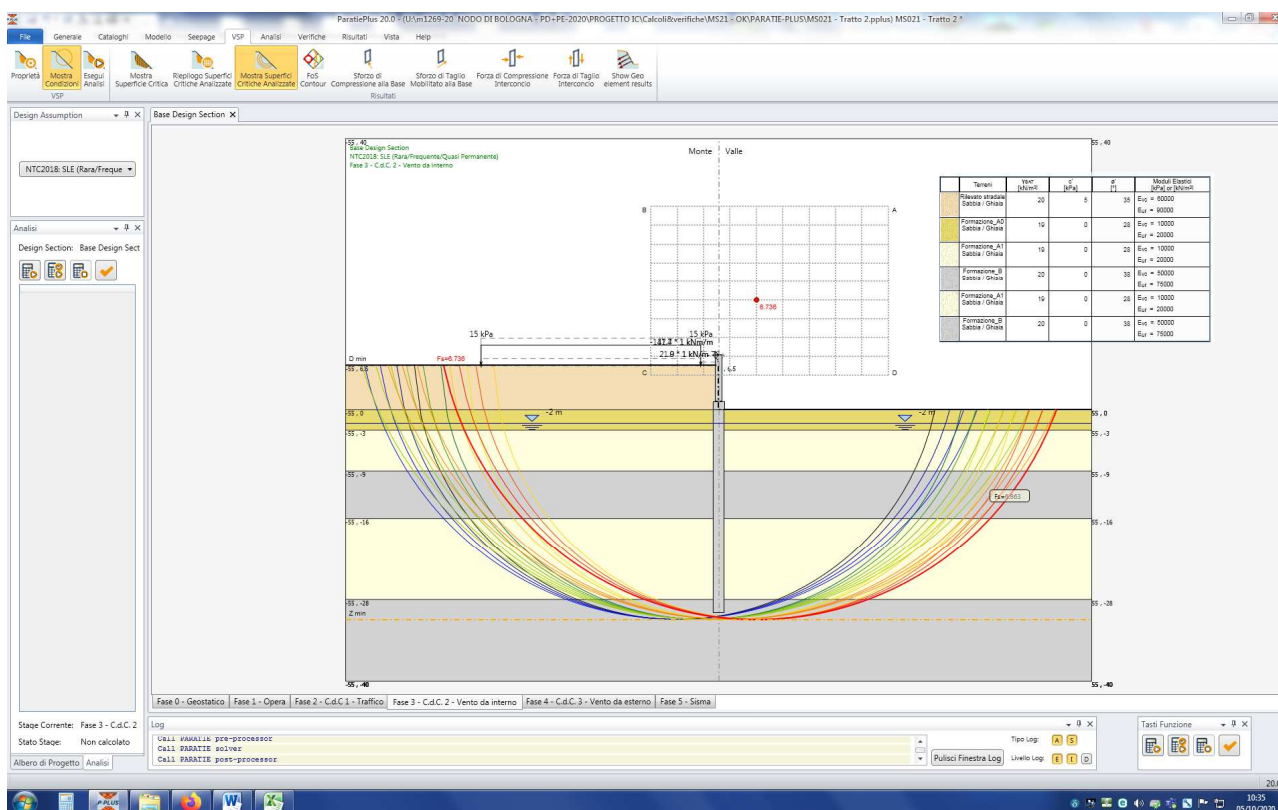


Figura n.11.1 – Analisi di stabilità – Configurazione finale – Verifica statica

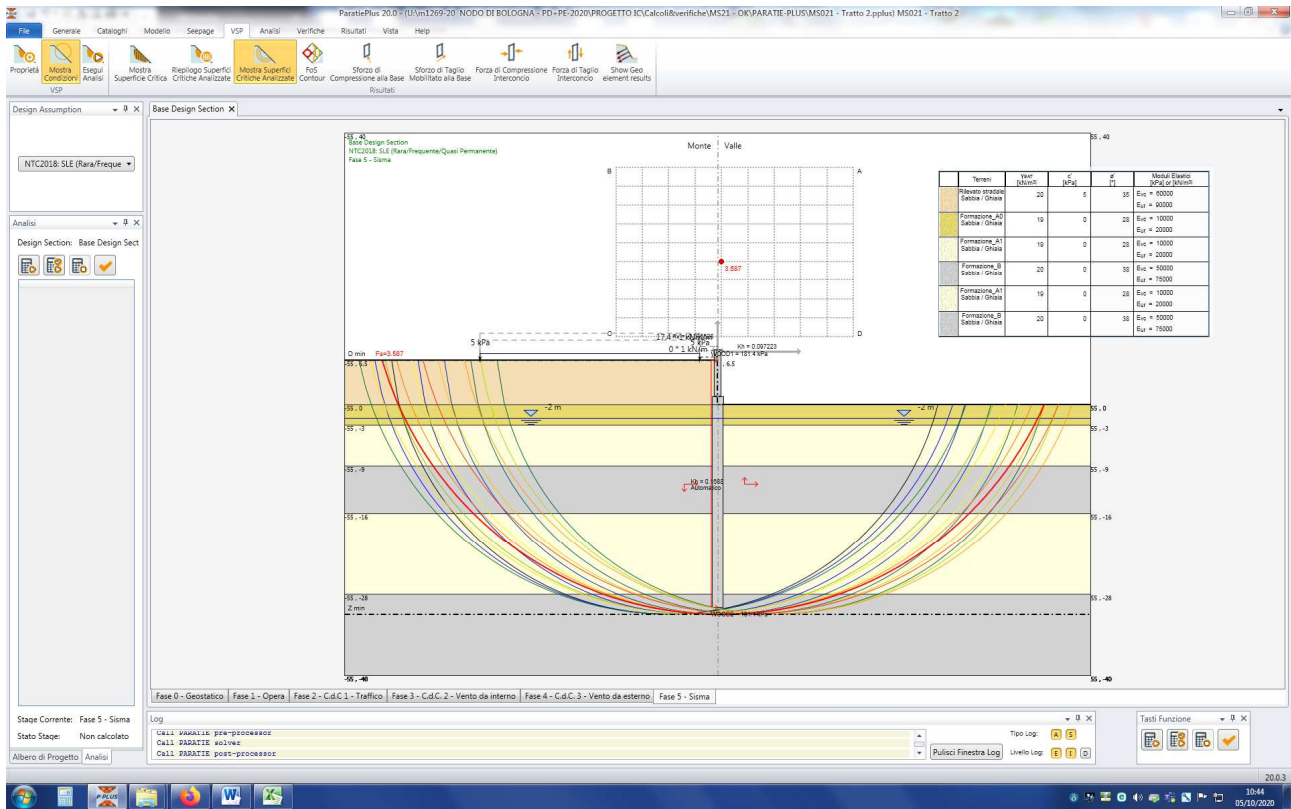


Figura n.11.2 – Analisi di stabilità – Configurazione finale – Verifica sismica