

ASSE VIARIO MARCHE – UMBRIA E QUADRILATERO DI PENETRAZIONE INTERNA MAXI LOTTO 2

LAVORI DI COMPLETAMENTO DELLA DIRETTRICE PERUGIA ANCONA:
SS. 318 DI “VALFABBRICA”. TRATTO PIANELLO – VALFABBRICA
SS. 76 “VAL D’ESINO”. TRATTI FOSSATO VICO – CANCELLI E ALBACINA – SERRA SAN QUIRICO
“PEDEMONTANA DELLE MARCHE”, TRATTO FABRIANO – MUCCIA – SFERCIA

PROGETTO ESECUTIVO

<p>CONTRAENTE GENERALE:</p>  <p style="text-align: right;"><i>Il responsabile del Contraente Generale:</i> Ing. Federico Montanari</p>	<p style="text-align: right;"><i>Il responsabile Integrazioni delle Prestazioni Specialistiche:</i> Ing. Salvatore Lieto</p>
--	--

PROGETTAZIONE: Associazione Temporanea di Imprese
Mandataria:

			
--	--	---	--

<p>RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE PER I'ATI Ing. Antonio Grimaldi</p> <p>GEOLOGO Dott. Geol. Fabrizio Pontoni</p> <p>COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE Ing. Michele Curiale</p>			
--	---	--	---

<p>IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO Ing. Giulio Petrizzelli</p>	
--	--

<p>2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord</p> <p>OPERE D'ARTE MAGGIORI: GALLERIE ARTIFICIALI Galleria Artificiale Mistrianello Relazione tecnica e di calcolo della galleria artificiale</p>	<p>SCALA: -</p> <p>DATA: Febbraio 2016</p>
---	--

Codice Unico di Progetto (CUP) F12C03000050021 (Assegnato CIPE 23-12-2015)

	Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	
Codice Elaborato:	L 0 7 0 3	2 1 2	E	1 5	G A 2 9 0 0	R E L	0 1	1

REV.	DATA	DESCRIZIONE	Redatto	Controllato	Approvato
A	Febbraio 2016	Emissione per congruenza generale	PROGIN A. D'Alterio	S. Lieto	A. Grimaldi

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 2 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

I N D I C E

1. INTRODUZIONE.....	3
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1 NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI	4
2.2 BIBLIOGRAFIA	4
3. DESCRIZIONE DELL'OPERA	6
4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	9
5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	10
6. DEFINIZIONE AZIONE SISMICA.....	13
7. MODELLI DI CALCOLO	15
7.1 MODELLAZIONE GEOTECNICA	15
7.2 DESCRIZIONE SEZIONI E FASI DI CALCOLO	16
8. RISULTATI DELLE ANALISI	20
8.1 SEZIONE TIPO 1	22
8.1 SEZIONE TIPO 4.....	25
9. VERIFICHE.....	28
9.1 VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE SLU/SLV	29
9.2 VERIFICHE A TAGLIO SLU/SLV.....	35
9.3 VERIFICHE SLE	36

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord**

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 3 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

1. INTRODUZIONE

L'opera oggetto della relazione è inquadrata nell'ambito dei lavori di completamento della direttrice Perugia – Ancona "Pedemontana delle Marche": Sub Lotto 2.2 Tratto Fabriano – Muccia Sfercia.

Nella presente relazione sono riportate le analisi, il dimensionamento e le verifiche di sicurezza relative alla Galleria Artificiale Mistranello.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 4 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI

La redazione della presente relazione è stata condotta nel rispetto della normativa in vigore, in particolare:

Normative sulle costruzioni

- D.M. 14.09.2005: "Norme tecniche per le costruzioni";
- Circolare 02.02.2009: Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni"

Normative sulle strutture in c.a., in c.a.p. e acciaio

- Legge 05.11.1971, n.1086: "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica" e relative istruzioni (Circ. Min. LL.PP. 14.02.1974, n. 11951).
- D.M. 16.01.1996: "Norme tecniche relative ai «Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi»" e relative istruzioni (Circ. Min. LL.PP. 04.07.1996, n. 156 AA.GG./STC).
- Circolare n.156AA/STC del 04.07.1996 "Criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996".
- D.M. 14.02.1992: "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche".
- D.M. 09.01.1996: "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche" e relative istruzioni (Circ. Min. LL.PP. 15.10.1996, n. 252 AA.GG./STC).

Normativa sui terreni, opere di sostegno, opere di fondazione

- D.M. 11.03.1988: "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" e relative istruzioni (Circ. Min. LL.PP. 24.09.1988, n. 30483).
- Circ. Min. LL.PP. 09.01.1996, n. 218/24/3 "Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della redazione geotecnica".

Normativa sismica

- D.M. 16.01.1996: "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" e relative istruzioni (Circ. Min. LL. PP. 10.04.1997, n. 65/AA.GG.).
- O.P.C.M. 20.03.2003, n. 3274 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" con i relativi allegati e le successive modifiche e integrazioni (O.P.C.M. n. 3316 del 02.10.2003 e O.P.C.M. n. 3431 del 03.05.2005).
- O.P.C.M. 28.04.2006, n. 3519 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- Associazione Geotecnica Italiana, "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Linee guida" Ed. provvisoria Marzo 2005.

2.2 BIBLIOGRAFIA

- Lancellotta R. (1993): "Geotecnica". Edizioni Zanichelli.
- Lancellotta R., Calavera J. (1999): "Fondazioni". Ed. McGraw-Hill.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 5 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

- Viggiani C. (2000): "Fondazioni". Ed. CUEN.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 6 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

3. DESCRIZIONE DELL'OPERA

La Galleria Artificiale "Mistranello" si estende dalla progressiva 4+995 fino alla 5+280 La lunghezza complessiva è pari a 285 m. La struttura policentrica prevede la presenza di calotta, murette ed arco rovescio.

La galleria è di tipo artificiale e viene realizzata mediante opere di sostegno costituite da pali in calcestruzzo armato puntonati da una protesi ovvero un elemento in calcestruzzo armato ad asse curvo.

Tale scelta progettuale permette di limitare gli scavi ed interferire il meno possibile con l'assetto idrogeologico della zona in oggetto.

In corrispondenza di entrambi gli estremi della galleria sono presenti gli imbocchi detti a "becco di flauto", essi sono realizzati attraverso uno scavo libero e presentano rivestimenti in calcestruzzo armato di spessore minimo pari 0.70 m per calotta, murette ed arco rovescio. Tale sezione viene denominata "Tipo 1".

I rivestimenti interni in calcestruzzo armato presentano spessori minimi pari a 0.70 m per la calotta, murette ed arco rovescio. Lo spessore minimo della protesi/puntone è di 1.30 m. Si prevedono dei pali $\phi 1000$ di lunghezza pari a 14 m e di interasse variabile tre 1.10 m, 1.20 m e 1.30 m in funzione della copertura. Essa può arrivare ad un massimo di 12 m circa. Tali sezioni vengono denominate in funzione dell'interasse adottato per i pali provvisori e rispettivamente "Tipo 2", "Tipo 3" e "Tipo 4" in funzione dell'interasse 1.10/1.20/1.30.

Si prevede un sistema di drenaggio finalizzato a contenere il livello di falda soprattutto durante le fasi di esecuzione dell'opera. Tale sistema è composto da dreni sub-orizzontali con tubo da 2" protetto da TNT, con perforazione $\phi 100$ mm, inclinazione 5% interasse longitudinale 4.0 m e lunghezza complessiva 25.0 m di cui 5.0 m ciechi e 20.0 microfessurati. Inoltre viene previsto un camino drenante di dimensioni 1.00m x 0.50m avente lo stesso interasse longitudinale dei dreni sub-orizzontale.

A protezione delle scarpate di scavo si prevede un intervento diffuso costituito da chiodature e spritz beton. I chiodi avranno lunghezza 5.0 m, interasse (3x3m), costituiti da una barra $\phi 20$; la perforazione sarà da 70 mm, mentre la piastra di ancoraggio avrà dimensioni 200 x 200 mm e spessore 10 mm.

Lo spritz beton (C 15/20) avrà spessore 15 cm, armato con rete metallica $\phi 8$ maglia 200 x 200 mm.

Tale intervento va previsto in corrispondenza delle porzioni terrose del substrato, ovvero delle porzioni degradate. Si stima un impiego per circa il 20% della superficie delle scarpate.

Per la galleria artificiale Mistranello si prevedono le seguenti fasi di lavorazione:

FASE1: Scavo fino a quota estradosso calotta galleria, realizzazione interventi di drenaggio e protezione scarpate, esecuzione dei pali con un primo tratto a vuoto;

FASE2: Scavo a ribasso fino a quota testa pali per conci longitudinali di 20m, esecuzione della protesi e rinterro fino a quota estradosso estradosso calotta galleria di progetto;

FASE3: Posa in opera della trincea e dei dreni longitudinali, rinterro fino a quota +5.00 da estradosso calotta galleria di progetto;

FASE4: Scavo in avanzamento della galleria;

FASE 5: Realizzazione dei rivestimenti definitivi e rinterro fino a quota campagna con sistemazioni definitive.

Si riporta, a titolo illustrativo una rappresentazione della sezione tipo:

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 8 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

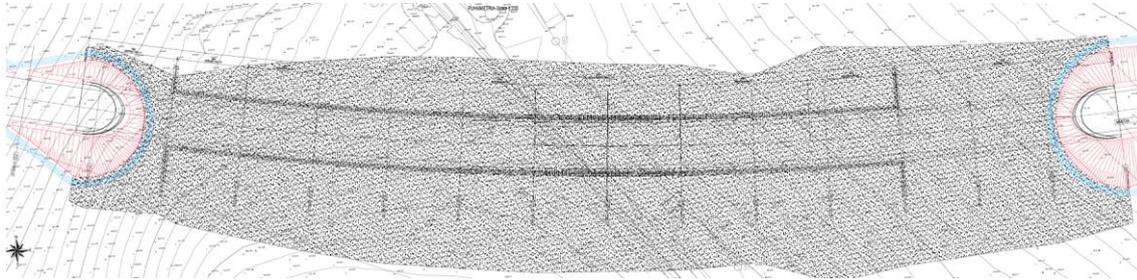


Figura 3: Galleria Artificiale Mistrianello - Stralcio Planimetrico

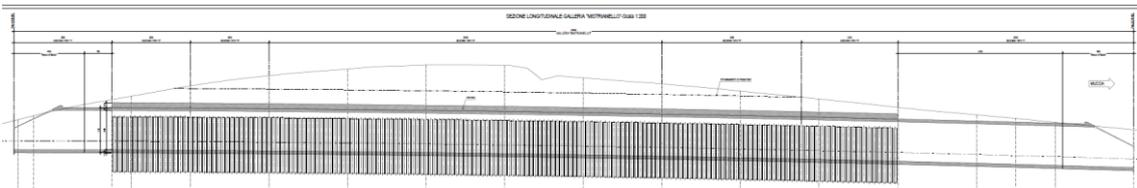


Figura 4: Galleria Artificiale Mistrianello – Profilo longitudinale

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 9 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Si riportano qui di seguito le caratteristiche prestazionali dei materiali che saranno impiegati per la realizzazione dei rivestimenti definitivi.

Calcestruzzo per opere definitive

Tipo (secondo UNI EN 206-1):	C35/45
Resistenza cubica caratteristica (t=28 gg):	$R_{ck} \geq 45 \text{ MPa}$
Resistenza cilindrica caratteristica (t=28 gg):	$f_{ck} \geq 35 \text{ MPa}$
Modulo elastico secante:	$E_{cm} = 39'125 \text{ MPa}$
Rapporto massimo acqua / cemento	$A/C \leq 0.45$
Classe di esposizione ambientale:	XA3

Calcestruzzo per pali e protesi

Tipo (secondo UNI EN 206-1):	C25/30
Resistenza cubica caratteristica (t=28 gg):	$R_{ck} \geq 30 \text{ MPa}$
Resistenza cilindrica caratteristica (t=28 gg):	$f_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$
Modulo elastico secante:	$E_{cm} = 32'800 \text{ MPa}$

Acciaio per cemento armato

Tipo: B 450 C (ex Fe B 44k)	
Tensione caratteristica di rottura a trazione:	$f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di snervamento:	$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
Tensione di calcolo ($\gamma_s = 1.15$):	$f_{yd} = 450 / 1.15 = 391 \text{ MPa}$
Modulo elastico:	$E = 210'000 \text{ MPa}$

Spritz-beton

Tipo:	C15/20
Resistenza cubica caratteristica (t=28 gg):	$f_{ck, \text{cube}} \geq 20 \text{ MPa}$
Resistenza cilindrica caratteristica (t=28 gg):	$f_{ck} \geq 15 \text{ MPa}$

5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

La caratterizzazione geologica – geotecnica dei terreni interessati dall’opera in oggetto è stata effettuata mediante l’analisi dei dati ottenuti da prove di laboratorio ed in sito.



Figura 5: Stralcio planimetrico con indicazione dei punti di indagine

L’area del tracciato stradale in oggetto si sviluppa nell’Appennino Umbro-Marchigiano e per tutta la sua estensione ricade interamente nel “Bacino di Camerino”, un bacino minore di una più ampia struttura di età miocenica. Le successioni attraversate appartengono al Bacino Marchigiano Interno e le età formazionali sono comprese tra il Turoniano (Scaglia Rossa) e il Messiniano Superiore (Formazione a Colombacci), a queste vanno aggiunti i depositi alluvionali terrazzati, i detriti di versante ed i depositi eluvio colluviali di età pleistocenica-olocenica.

La galleria in oggetto attraversa la Formazione di Camerino. Si tratta delle litologie appartenenti alla formazione delle marnoso-arenacee. In particolare in funzione dei diversi rapporti fra frazione pelitica e arenacea si distinguono le seguenti facies: associazione pelitica, rappresentata da marne argillo-siltose scure con subordinate peliti arenacee e marne emipelagiche; associazione pelitico-arenacea, rappresentata da litofacies pelitico-arenacee e subordinatamente da litofacies arenarie politiche; associazione arenaceo-pelitica, formata essenzialmente da litofacies costituite da arenarie e marne siltose grigie ed infine l’associazione arenacea-conglomeratica, costituita da arenarie giallastre, da conglomerati in giacitura lenticolare e da livelli marnosi.

Di seguito si riportano le unità geotecniche riscontrate:

- Unità R - Terreno di riporto e coltre vegetale: si includono i riporti di origine antropica ed il terreno vegetale; si tratta generalmente di limo sabbioso e sabbia limosa con clasti e frammenti vegetali e di laterizi;
- Unità EC - Depositi eluvio colluviali: si tratta di depositi a composizione granulometrica variegata ma generalmente a prevalente componente fine limo argillosa (Unità EC1a); localmente si rinviene sabbia limosa con clasti derivanti dalla disgregazione del substrato

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 11 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

roccioso (Unità ECl). Localmente sono state individuate zone con coperture di materiale di accumuli di frana (unità a);

- Unità A - Alluvioni: si tratta di depositi alluvionali rinvenibili in corrispondenza dei corsi d'acqua e si distinguono: ghiaie eterometriche ed eterogenee in matrice sabbiosa (Unità Ag), sabbie, sabbie debolmente limose (Unità As); limi argillosi (Unità Ala);
- Unità Salt – substrato alterato: si tratta di una fascia di spessore variabile costituita da argilla limosa consistente che sovrasta il substrato a carattere da semilitoide a litoide, rappresenta la parte superiore alterata del substrato;
- Unità Pa - Substrato Pelitico – Arenaceo con $0,2 \leq A/P \leq 1$ (Formazione di Camerino): rappresentata da litofacies pelitico-arenacee con un rapporto $A/P < 1$;
- Unità Ap - Substrato Arenaceo – Pelitico $A/P \geq 1$ (Formazione di Camerino): formata essenzialmente da litofacies costituite da arenarie e marne siltose grigie con un rapporto $A/P > 1$;
- Unità Sch – Formazione dello Schlier: si tratta di alternanze di marne, marne siltose calcaree e argillose a volte arenacee, di colore grigio verde, e da calcari marnosi.

Si riportano di seguito i parametri geomeccanici di interesse:

- Unità Ecla - Depositi eluvio colluviali limoso argillosi
 $\gamma = 18.5 \div 20.5$ kN/m³ peso di volume naturale
 $\phi' = 24 \div 27^\circ$ angolo di resistenza al taglio
 $c' = 5 \div 15$ kPa coesione drenata
 $\phi r' = 19 \div 21^\circ$ angolo di resistenza al taglio residuo
 $c r' = 0$ kPa coesione drenata residua
 $c_u = 50 \div 160$ kPa resistenza al taglio in condizioni non drenate
 $E_o = 100 \div 400$ MPa modulo di deformazione elastico iniziale
- Unità Ecls - Depositi eluvio colluviali sabbiosi
 $\gamma = 19.0$ kN/m³ peso di volume naturale
 $\phi' = 30 \div 34^\circ$ angolo di resistenza al taglio
 $c' = 0$ kPa coesione drenata
 $E_o = 250 \div 400$ MPa modulo di deformazione elastico iniziale
- Unità Ag - Depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi
 $\gamma = 19.0$ kN/m³ peso di volume naturale
 $\phi' = 38 \div 42^\circ$ angolo di resistenza al taglio
 $c' = 0$ kPa coesione drenata
 $E_o = 200 \div 600$ MPa modulo di deformazione elastico iniziale

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 12 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

- Unità Pa – Substrato pelitico arenaceo / Unità Ap – substrato arenaceo pelitico

$\gamma = 23.0 \div 23.5$ kN/m³ peso di volume naturale

$\sigma'_{c,media} = 0.5$ MPa per $z < 10$ m resistenza a compressione monoassiale per unità Pa

$\sigma'_{c,media} = 2.3$ MPa per $10 < z < 40$ m resistenza a compressione monoassiale per unità Pa

$\sigma'_{c,media} = 7.2$ MPa per $z > 40$ m resistenza a compressione monoassiale per unità Pa

$\sigma'_{c,media} = 20$ MPa resistenza a compressione monoassiale per unità Ap

$\sigma'_{c,10\%} = 2$ MPa per $z > 40$ m resistenza a compressione monoassiale per unità Ap

parametri di resistenza per tensioni $\sigma_v' < 700$ kPa:

$\phi' = 31^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 120$ kPa coesione drenata

parametri di resistenza per tensioni $\sigma_v' > 700$ kPa:

$\phi' = 25^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 220$ kPa coesione drenata

Da rilievo geomeccanico carote sondaggio:

GSI = $38 \div 80$ (valore medio 69)

$E'o = 20 + 5,75 \times z$ [MPa] per $z < 40$ m

$E'o = 250 + 0,8 \times z$ [MPa] per $z > 40$ m

La falda è stata individuata a circa 3/4 metri dal piano campagna.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 13 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

6. DEFINIZIONE AZIONE SISMICA

L'opera in oggetto è progettata per una vita nominale V_N pari a 50 anni ed una classe d'uso III ai sensi del D. Min. 14/01/2008, da cui scaturisce un coefficiente d'uso $CU = 1.5$.

L'azione sismica di progetto è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base del sito su cui l'opera insiste, descritta in termini geografici e temporali:

- attraverso i valori di accelerazione orizzontale di picco a_g (attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale) e le espressioni che definiscono le ordinate del relativo spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$;
- in corrispondenza del punto del reticolo che individua la posizione geografica dell'opera;
- con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR.

In particolare, la forma spettrale prevista dalla normativa è definita, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri:

- a_g , accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 , valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* , periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I suddetti parametri sono calcolati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il punto caratterizzante la posizione dell'opera, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

In particolare, si può notare come F_0 descriva la pericolosità sismica locale del sito su cui l'opera insiste. Infatti, da quest'ultimo, attraverso le espressioni fornite dalla normativa, sono valutati i valori d'amplificazione stratigrafica e topografica. Di seguito sono riassunti i valori dei parametri assunti per l'opera in oggetto.

- | | |
|--------------------------|-------------------|
| ▪ Vita nominale | $V_N=50$ anni; |
| ▪ Classe d'uso | III; |
| ▪ Coefficiente d'uso | $CU=1.5$; |
| ▪ Periodo di riferimento | $V_R=75$ anni; |
| ▪ $T_{R,SLV}$ | 712 anni; |
| ▪ Comune | Fabriano; |
| ▪ $a_{g,SLV}$ | 0.206 g; |
| ▪ $F_{0,SLV}$ | 2.526; |
| ▪ $T_{c,SLV}^*$ | 0.331 sec. |

Accelerazione (a_g), fattore (F_0) e periodo (T^*c) per comune di riferimento - Fabriano

V_R [anni]	Stato Limite	PV_R -	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
75	SLO	81%	45	0.073	2.450	0.286
	SLD	63%	75	0.090	2.454	0.297

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 14 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

V_R [anni]	Stato Limite	PV_R -	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
	SLV	10%	712	0.206	2.526	0.331
	SLC	5%	1462	0.262	2.555	0.339

Lo spettro di risposta elastico per la descrizione della componente orizzontale del moto sismico è infine costruito a partire dai parametri seguenti.

- Categoria di suolo B;
- Categoria topografica T1;
- S_s , fattore stratigrafico 1.192;
- ST , fattore topografico 1.0;
- C_c , fattore correttivo del periodo T_C^* 1.5.

7. MODELLI DI CALCOLO

Al fine di eseguire l'analisi, il dimensionamento e le verifiche di sicurezza dei rivestimenti della galleria artificiale si è implementato un modello di calcolo piano e si è eseguita una analisi agli elementi finiti per 1 m di sviluppo longitudinale della struttura.

Il modello adottato è composto da elementi bidimensionali del tipo "Plane Strain" che simulano il sottosuolo e gli elementi in calcestruzzo armato pali e protesi. Il legame costitutivo che caratterizza gli elementi bidimensionali simulanti il sottosuolo è del tipo Mohr-Culomb a cui sono stati assegnati i parametri di progetto in termini di resistenza e rigidezza. Esso ha un comportamento non lineare dal punto di vista meccanico.

Al fine di semplificare la lettura dello stato di sollecitazione sugli elementi strutturali il c.a. vengono introdotti degli elementi fittizi "frame" che presentano le reali proprietà inerziali scalate per un fattore pari a 10^6 . Tali elementi fittizi vengono resi solidali con i nodi di mezzeria dei pali e della protesi/puntone. In tal modo è possibile leggere le sollecitazioni su tali elementi strutturale moltiplicando a singola caratteristica della sollecitazione per un fattore pari a 10^6 .

Al fine di cogliere in maniera compiuta l'evoluzione dello stato tenso-deformativo del sistema geostrutturale si esegue un tipo di analisi "Construction Stage" in cui vengono riprodotte tutte le fasi realizzative dell'opera.

Il codice di calcolo adottato è Midas GTS, tale software risulta particolarmente indicato al fine di analizzare le problematiche geo-strutturali.

Il volume di terreno significativamente interessato dalla realizzazione della galleria è stato reso discreto con una mesh di circa n. 45'000 elementi, esso ha una estensione di 120 m x 50 m.

Le dimensioni della mesh, in relazione alla profondità ed al diametro della galleria, sono sufficienti a garantire che i risultati delle analisi siano indipendenti dalla particolare mesh adottata e sono tali da permettere di vincolare il lato inferiore della mesh bloccando gli spostamenti sia verticali che orizzontali, ed i lati sinistro e destro bloccando gli spostamenti orizzontali.

7.1 MODELLAZIONE GEOTECNICA

Lungo il tracciato della galleria artificiale vengono individuati tre strati di terreno le cui caratteristiche meccaniche di progetto vengono riportate nella seguente tabella:

Tabella 6: Parametri geotecnici

Tipo	γ	c'	ϕ'	E
[-]	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[°]	[MPa]
ECl _a	20	10	25	50
Salt	20	0	28.5	75
Pa/Ap	23	135	33	100

Il sistema di drenaggio disposto lungo il tracciato garantisce di mantenere il livello di falda nella zona dell'arco rovescio della galleria.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 16 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

7.2 DESCRIZIONE SEZIONI E FASI DI CALCOLO

Come descritto in precedenza si individuano 4 sezioni "tipo" che compongono la struttura. Ai fini dell'analisi si considerano la sezione "Tipo 1" (sprovvista di opere provvisorie) e la sezione "Tipo 4" (sezione di massima copertura).

SEZIONE TIPO 1

I rivestimenti interni in calcestruzzo armato presentano spessori minimi pari a 0.7 m per la calotta, murette ed arco rovescio. Si simula inizialmente una condizione geostatica, seguita dallo scavo, realizzazione dei rivestimenti ed infine ritombamento e sistemazione definitiva.

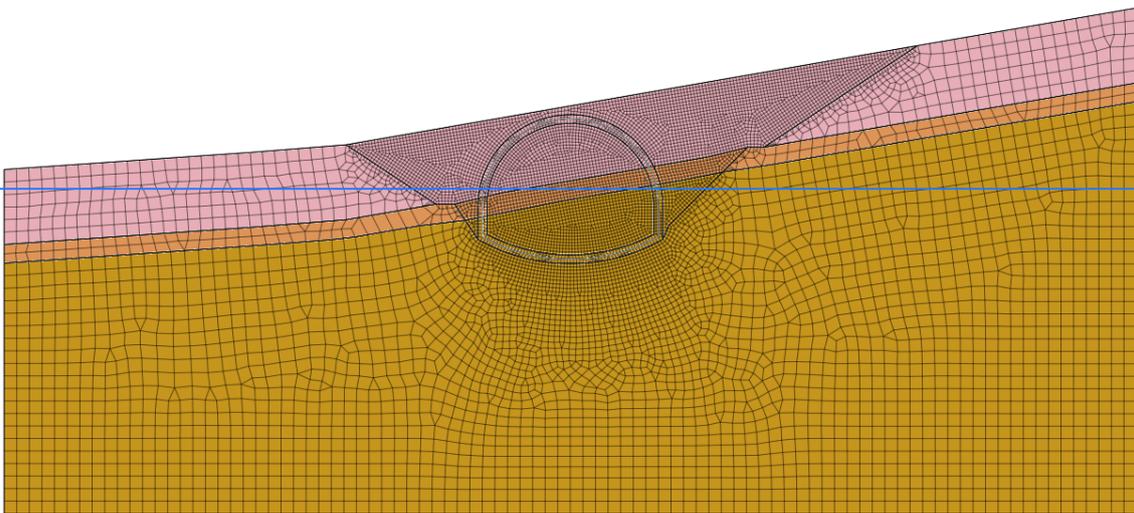


Figura 7: Sezione Tipo 1 – Inizializzazione

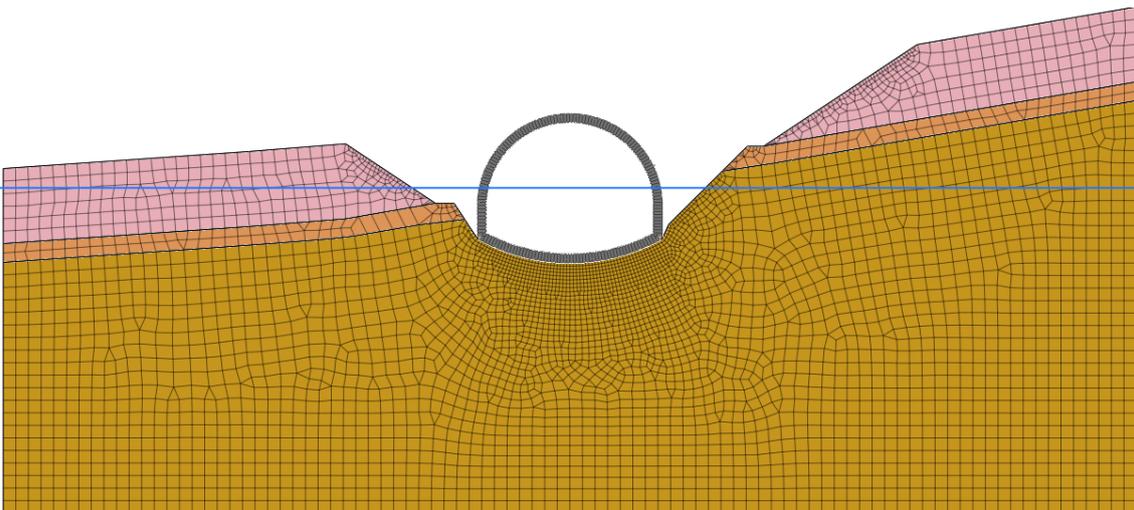


Figura 8: Sezione Tipo 1 – Realizzazione rivestimento

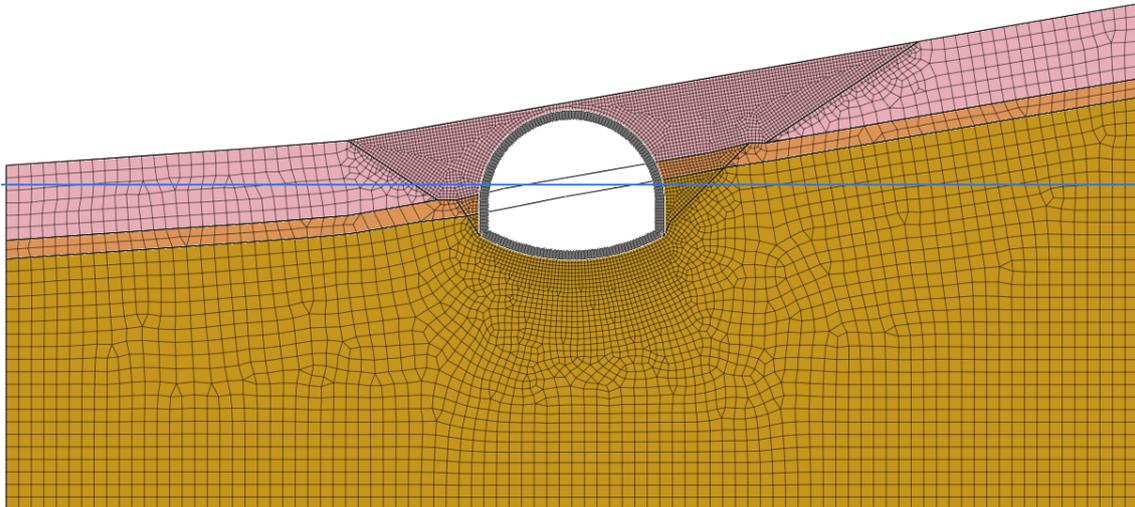


Figura 9: Sezione Tipo 1 – Ritombamento e sistemazione definitiva

SEZIONE TIPO 4

Per la sezione tipo 4 dopo la fase di simulazione “geostatica” del modello si considera lo scavo superficiale fino alla quota di estradotto della calotta della galleria. Nello step seguente vengono introdotti gli elementi che simulano le opere provvisorie quali protesi e pali in c.a.. Successivamente dopo un ritombamento parziale di circa 5 metri si esegue lo scavo in avanzamento della galleria artificiale e la realizzazione dei rivestimenti strutturali. Infine si simula la fase di ritombamento definitivo ed il decadimento delle opere provvisorie.

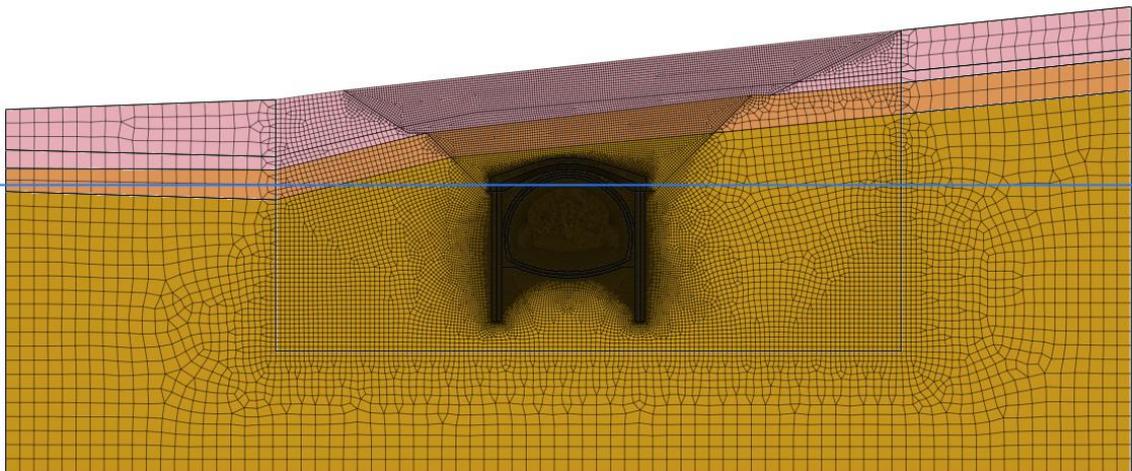


Figura 10: Sezione Tipo 4 – Inizializzazione

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 18 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

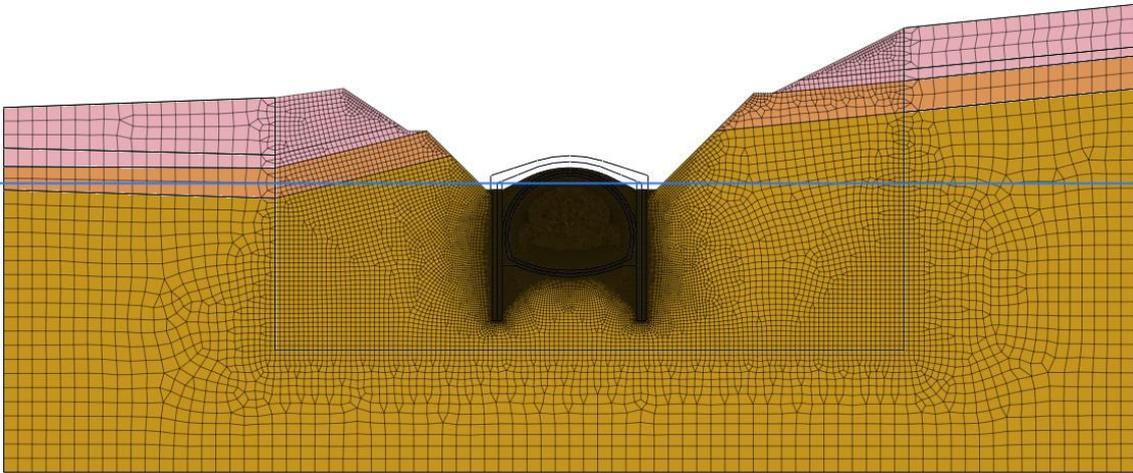


Figura 11: Sezioe Tipo 4 – Scavo superficiale

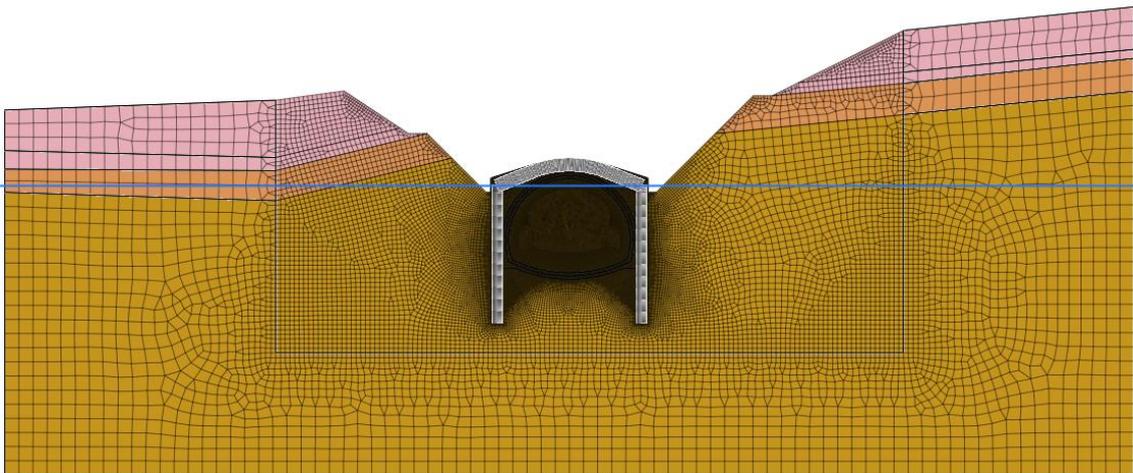


Figura 12: Sezioe Tipo 4 – Realizzazione opere provvisionali – protesi e pali

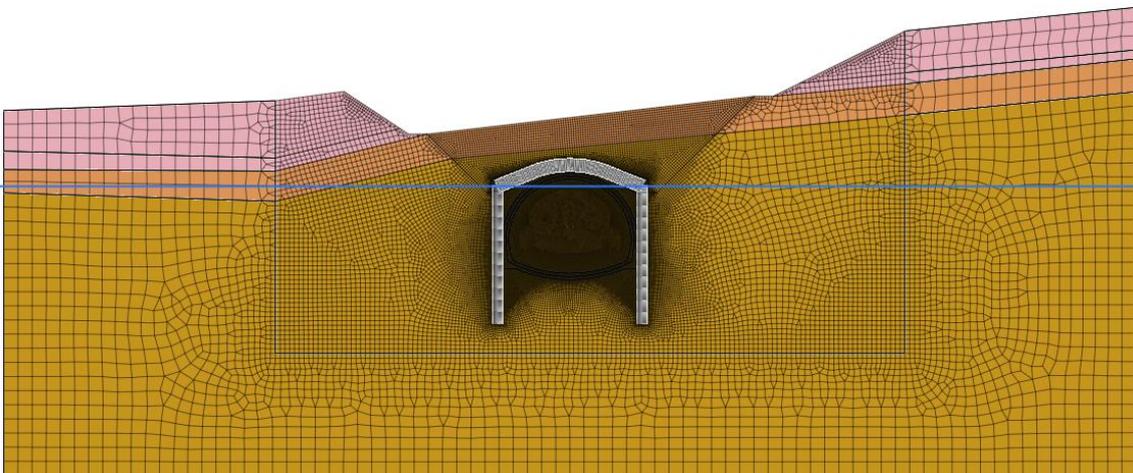


Figura 13: Sezioe Tipo 4 – Ritombamento parziale

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 19 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

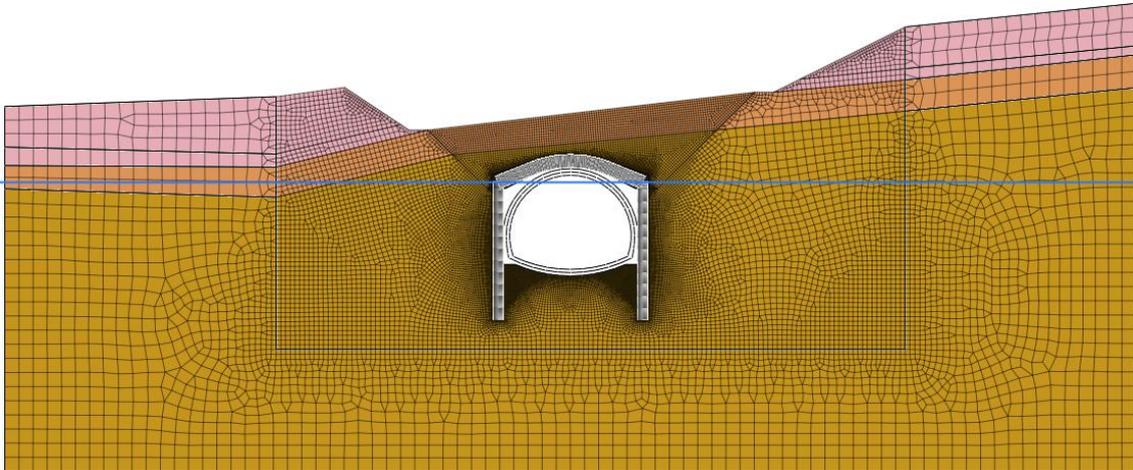


Figura 14: Sezioe Tipo 4 – Scavo in avanzamento

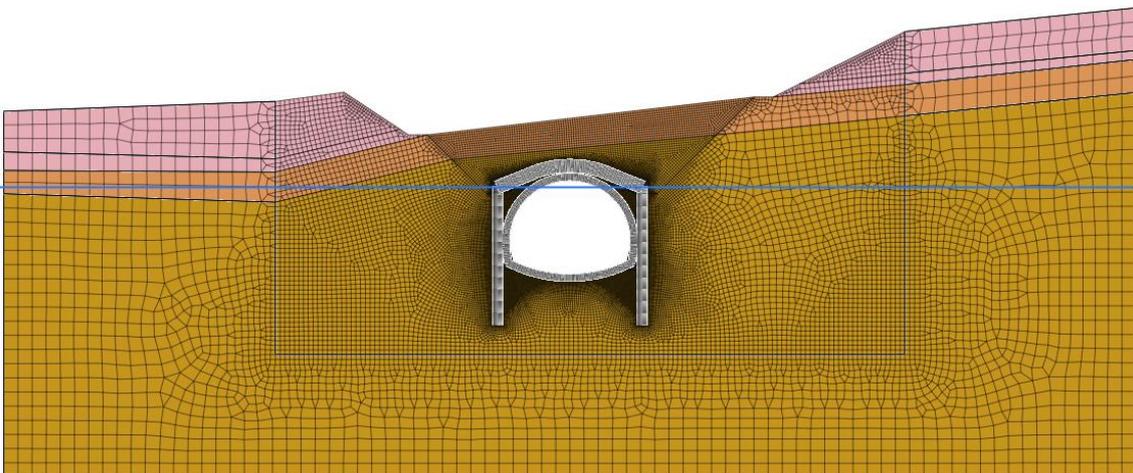


Figura 15: Sezioe Tipo 4 – Rivestimenti definitivi

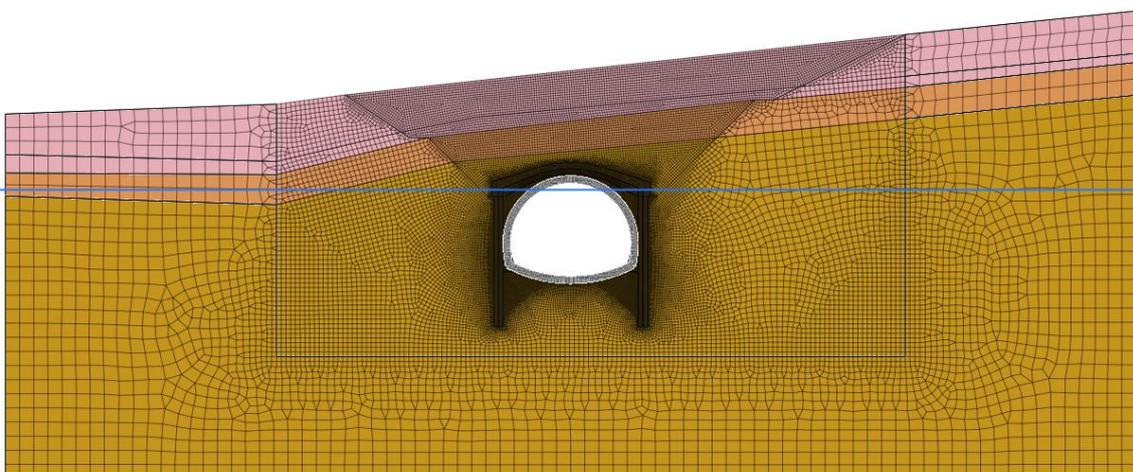


Figura 16: Sezioe Tipo 4 – Ritombamento finale e decadimento opere provvisionali

8. RISULTATI DELLE ANALISI

In questo capitolo vengono illustrati i risultati delle analisi in termini di sollecitazioni sugli elementi strutturali allo stato limite di esercizio SLE, allo stato limite ultimo SLU ed allo stato limite di salvaguardia della vita SLV (sisma). Nella figura seguente si indicano le sezioni maggiormente sollecitate, per le quali si eseguono le verifiche strutturali, inoltre, si è tenuto conto della simmetria strutturale:

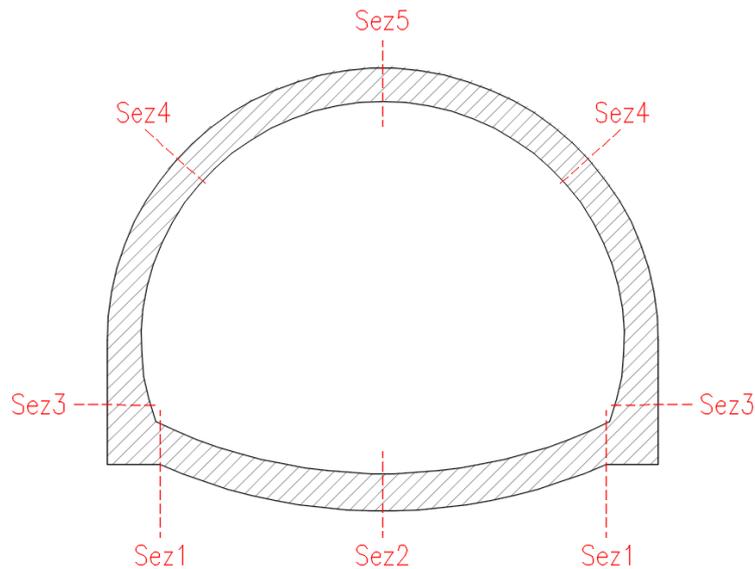


Figura 17: Sezione strutturali di verifica

Di seguito si sintetizzano in forma tabellare tutti i risultati ottenuti:

Tabella 18: Sollecitazioni elementi strutturali - SLE

Sollecitazioni rivestimento definitivo - SLE					
Sezione di calcolo [-]	Sezione strutturale [-]	s [m]	N _{Ed} [kN/m]	M _{Ed} [kNm/m]	T _{Ed} [kN/m]
Tipo 1	1	0.70	300	290	250
	2	0.70	250	340	30
	3	0.70	700	300	100
	4	0.70	700	70	60
	5	0.70	450	150	30
Tipo 4	1	0.70	0	340	200
	2	0.70	-250	300	30
	3	0.70	700	170	130
	4	0.70	500	230	60
	5	0.70	300	140	30

Tabella 19: Sollecitazioni elementi strutturali - SLV

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 21 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Sollecitazioni rivestimento definitivo - SLV					
Sezione di calcolo [-]	Sezione strutturale [-]	s [m]	N _{Ed} [kN/m]	M _{Ed} [kNm/m]	T _{Ed} [kN/m]
Tipo 1	1	0.70	1600	1200	680
	2	0.70	500	700	160
	3	0.70	2100	700	500
	4	0.70	600	1000	70
	5	0.70	700	400	300
Tipo 4	1	0.70	1800	1300	300
	2	0.70	650	360	200
	3	0.70	2500	600	520
	4	0.70	-500	750	150
	5	0.70	240	500	150

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 22 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

8.1 SEZIONE TIPO 1

Si riportano di seguito i risultati delle analisi in termini di sollecitazioni sul rivestimento definitivo, per gli stati limite SLE e SLV. I valori dei diagrammi sono scalati per un fattore pari a 10^6 .

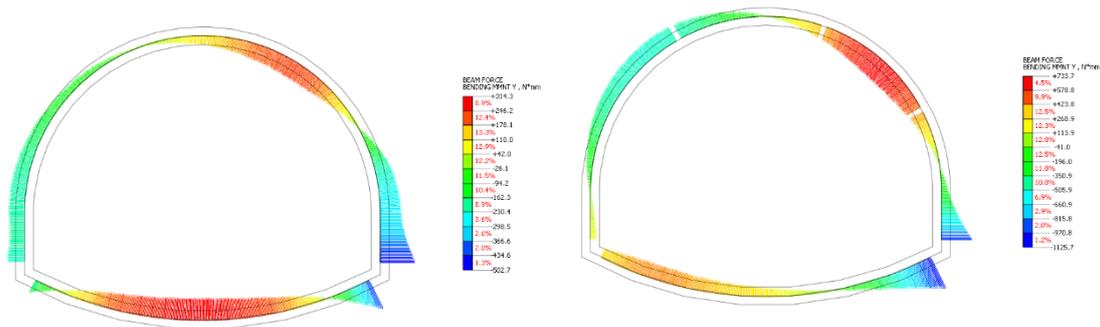


Diagramma momento flettente – SLE (sinistra), SLV (destra)

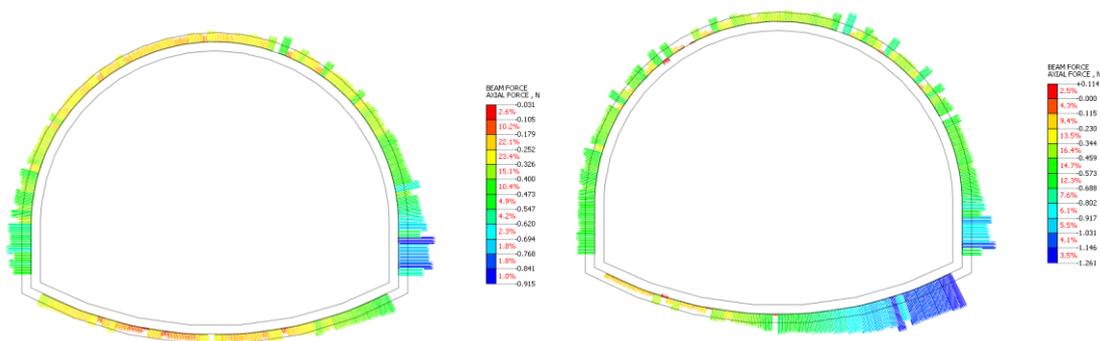


Diagramma sforzo normale – SLE (sinistra), SLV (destra)

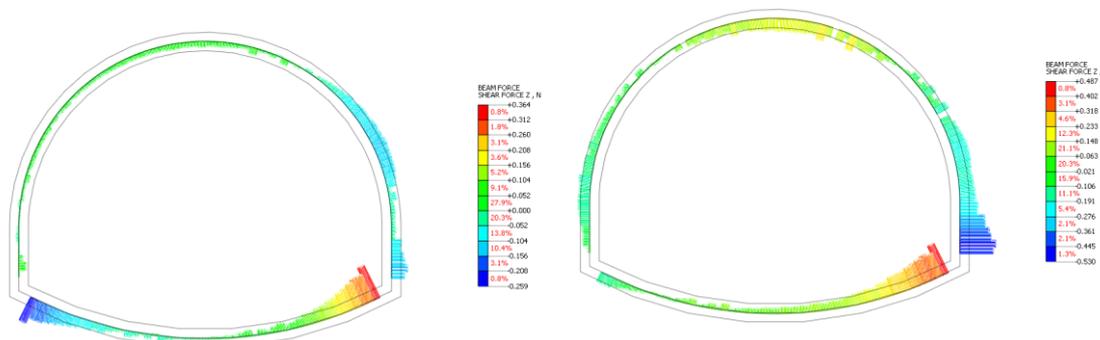


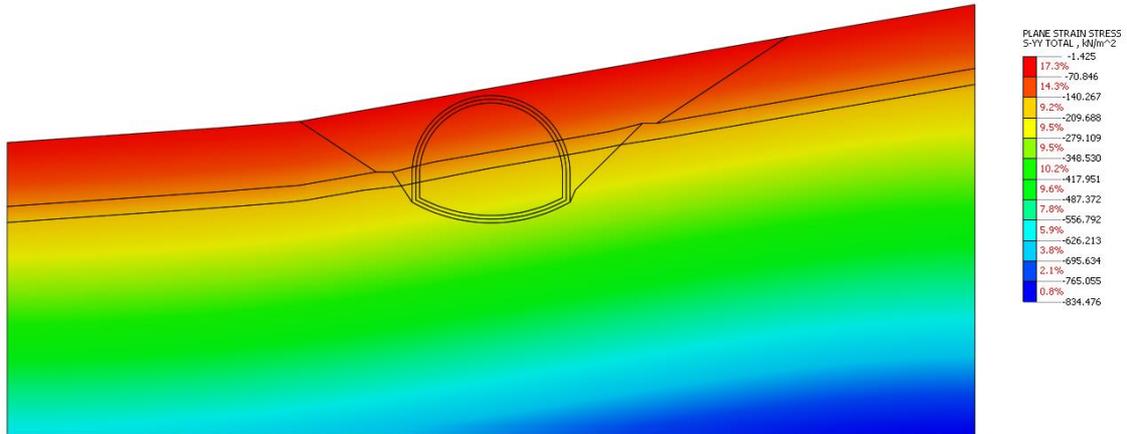
Diagramma taglio – SLE (sinistra), SLV (destra)

Si riportano di seguito i risultati delle analisi in termini di stato tensionale agente nel sottosuolo:

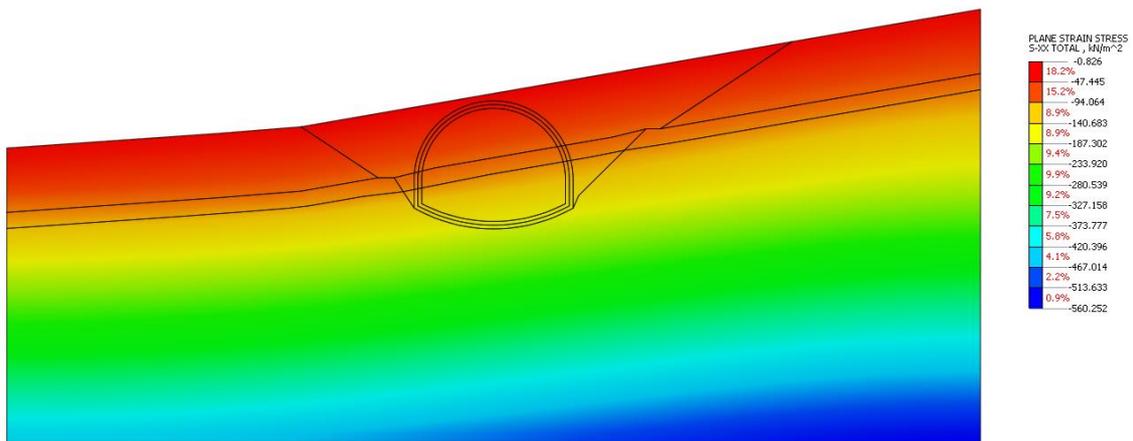
2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

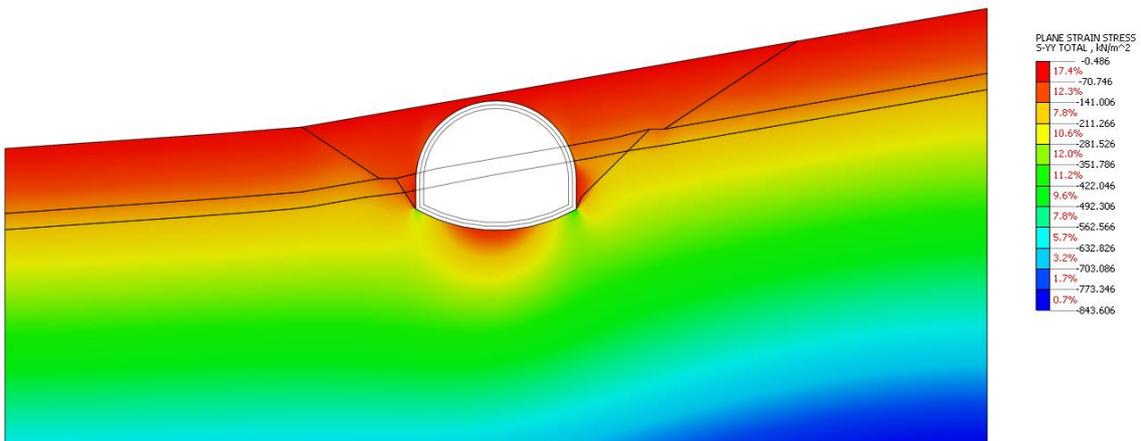
Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 23 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



Fase Geostatica - Tensioni totali verticali



Fase Geostatica - Tensioni totali orizzontali

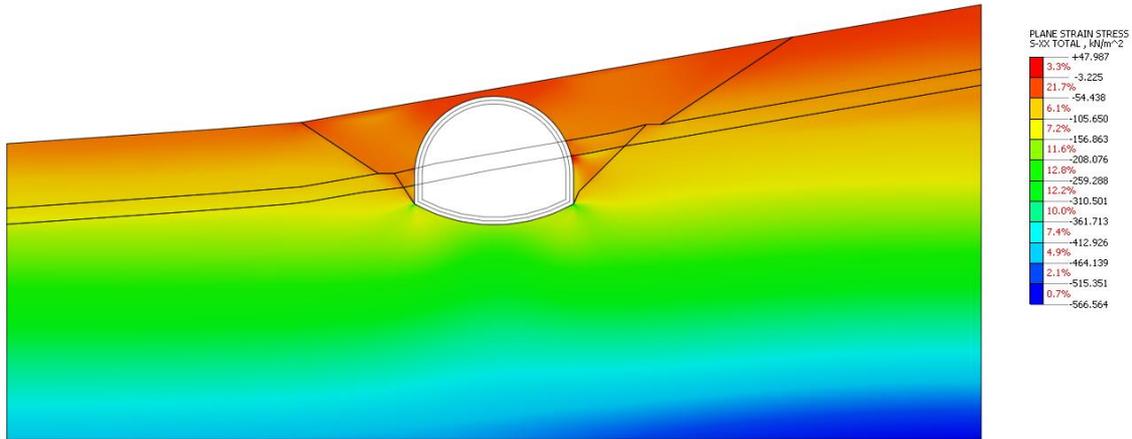


Fase sistemazione definitiva - Tensioni totali verticali

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 24 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



Fase sistemazione definitiva - Tensioni totali orizzontali

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 25 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

8.1 SEZIONE TIPO 4

Si riportano di seguito i risultati delle analisi in termini di sollecitazioni sul rivestimento defintivo, per gli stati limite SLE e SLV. I valori dei diagrammi sono scalati per un valore pari a 10^6 .

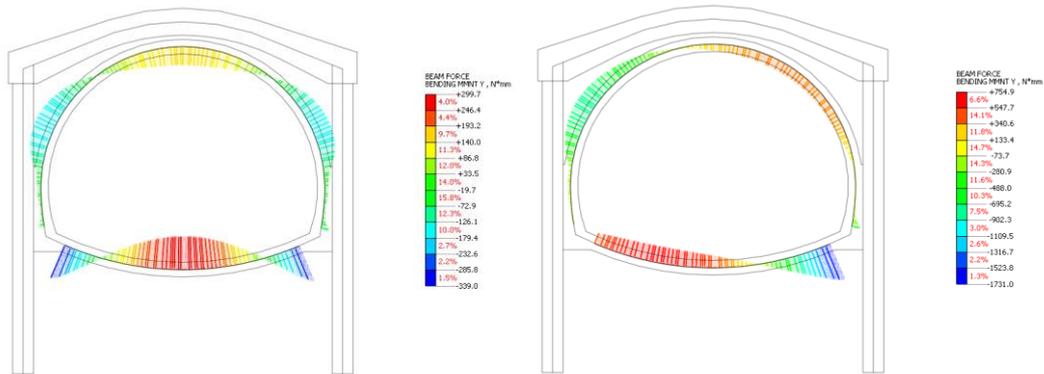


Diagramma momento flettente – SLE (sinistra), SLV (destra)

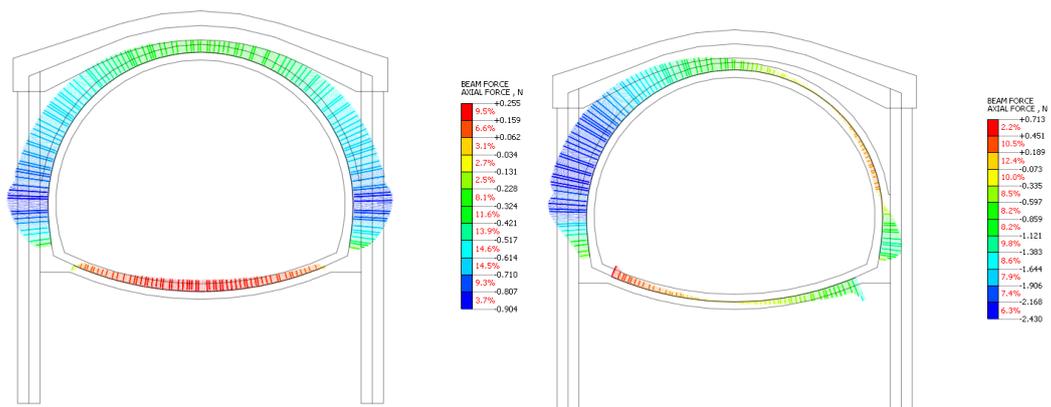


Diagramma sforzo normale – SLE (sinistra), SLV (destra)

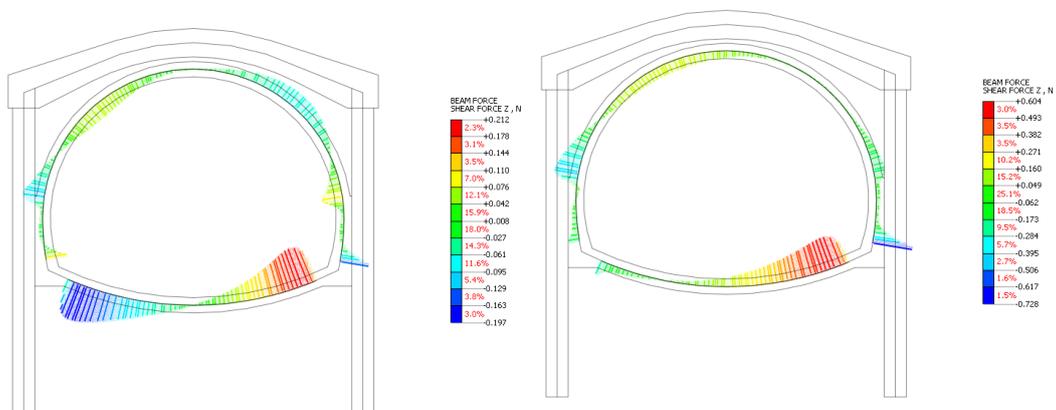


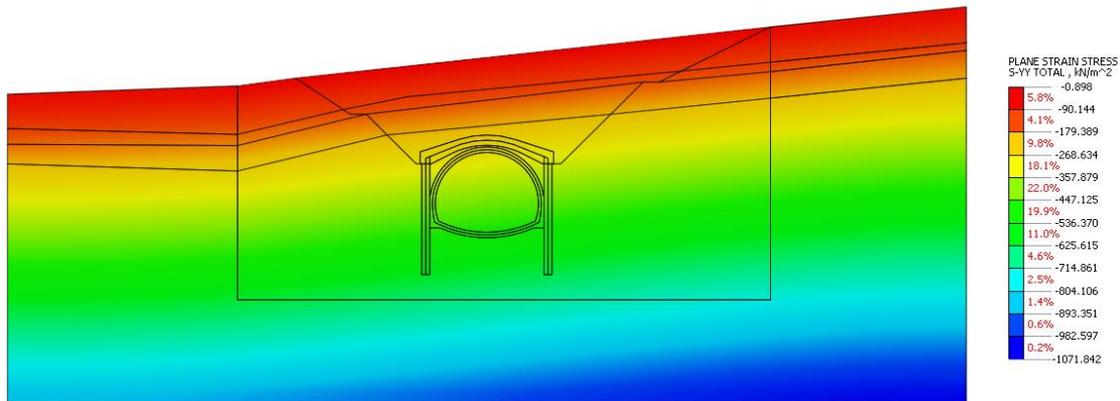
Diagramma taglio – SLE (sinistra), SLV (destra)

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

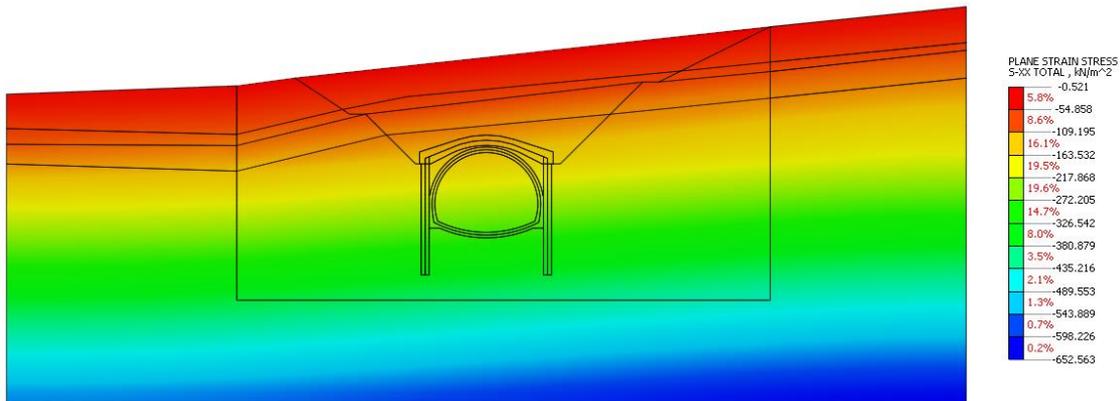
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 26 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

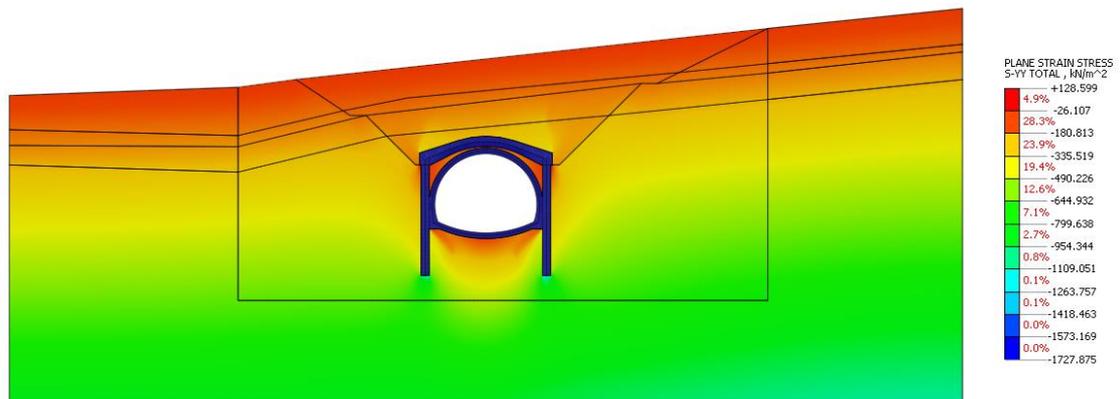
Si riportano di seguito i risultati delle analisi in termini di stato tensionale agente nel sottosuolo:



Fase Geostatica - Tensioni totali verticali



Fase Geostatica - Tensioni totali orizzontali

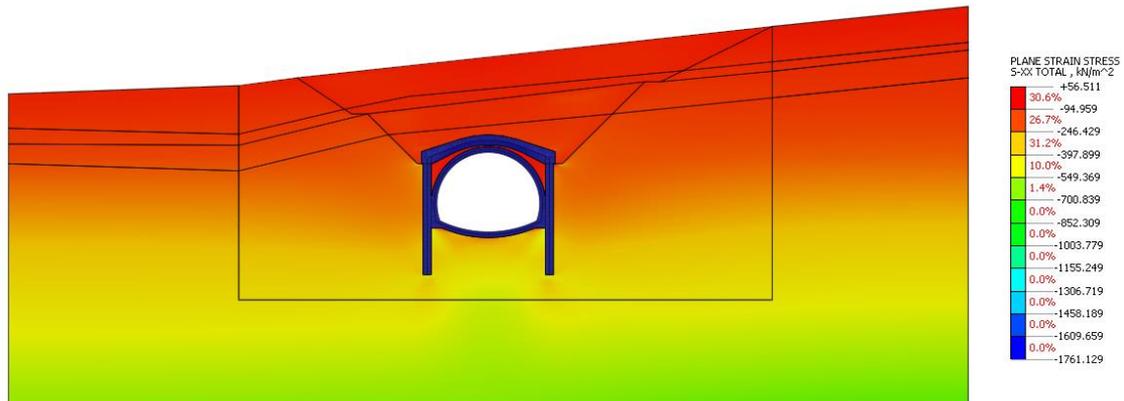


Fase sistemazione definitiva - Tensioni totali verticali

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 27 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



Fase sistemazione definitiva - Tensioni totali orizzontali

9. VERIFICHE

In questo capitolo vengono illustrati i risultati delle verifiche di sicurezza eseguite sugli elementi strutturali sia allo stato limite di esercizio che allo stato limite ultimo. Si riporta anche un riepilogo delle sollecitazioni ricavate dalle analisi agli elementi finiti.

Tabella 20: Sollecitazioni elementi strutturali

Sollecitazioni Rivestimento			SLE			SLU			SLV - SISMA		
Sezione	Sezione strutturale	s	N _{Ed}	M _{Ed}	T _{Ed}	N _{Ed}	M _{Ed}	T _{Ed}	N _{Ed}	M _{Ed}	T _{Ed}
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]
Tipo 1	1	0.70	200	400	260	280	560	364	1200	1000	260
	2	0.70	200	315	30	280	441	42	500	400	40
	3	0.70	400	500	170	560	700	238	1000	1000	170
	4	0.70	200	300	100	280	420	140	300	700	70
	5	0.70	100	110	30	140	154	42	200	400	105
Tipo 4	1	0.70	0	340	200	0	476	280	1900	1500	500
	2	0.70	-250	300	30	-350	420	42	-100	750	150
	3	0.70	700	170	130	980	238	182	1900	600	530
	4	0.70	500	230	60	700	322	84	-300	500	110
	5	0.70	300	140	30	420	196	42	240	500	200

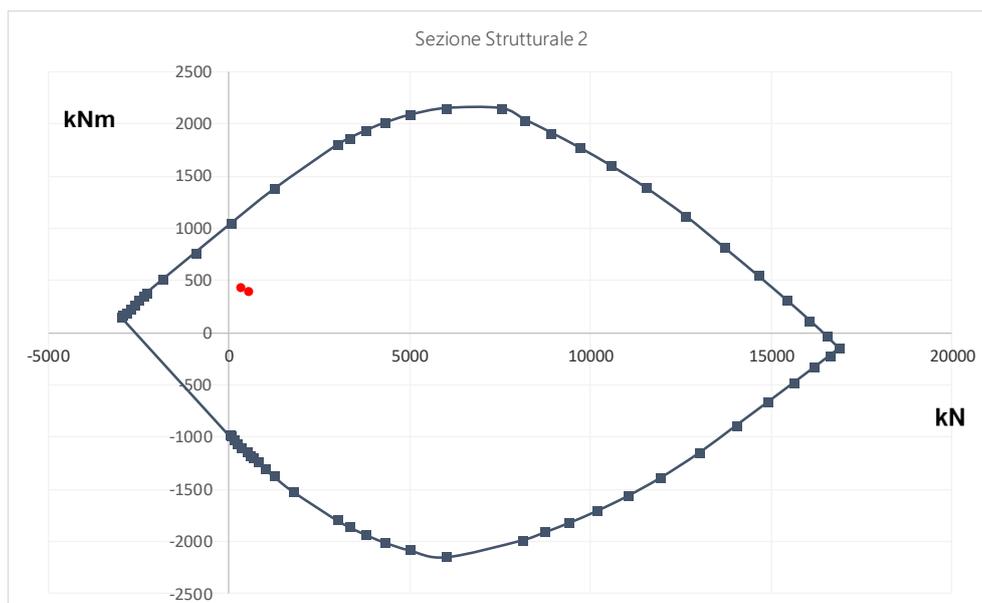
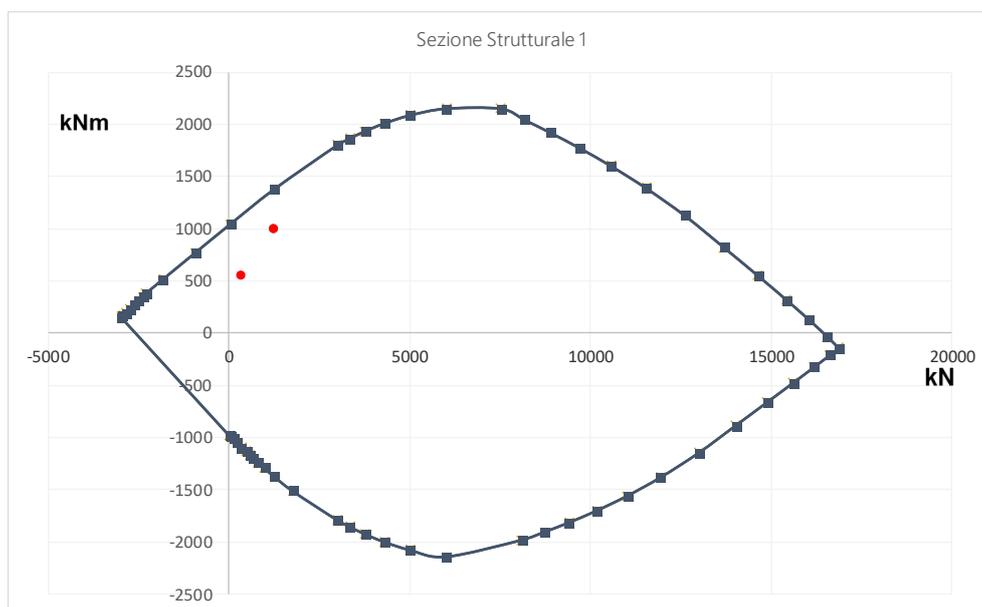
9.1 VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE SLU/SLV

Si riportano di seguito le verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi, sia di tipo statico che dinamico, sotto forma di domini di resistenza.

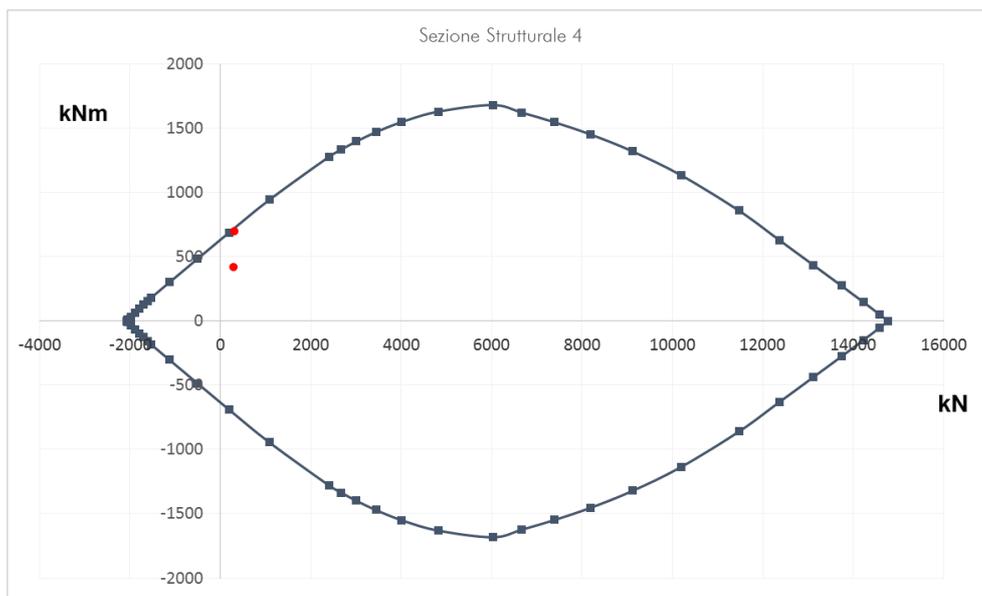
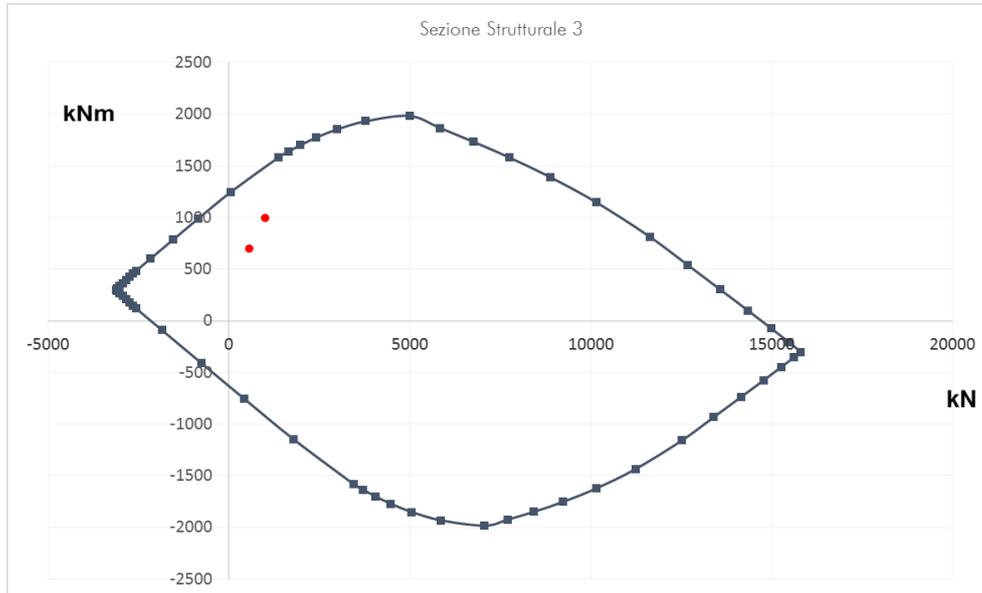
9.1.1 SEZIONE TIPO 1 – SLU/SLV

RIVESTIMENTO DEFINITIVO

Si riportano di seguito i domini di resistenza del rivestimento definitivo e le verifiche a pressoflessione



Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 30 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



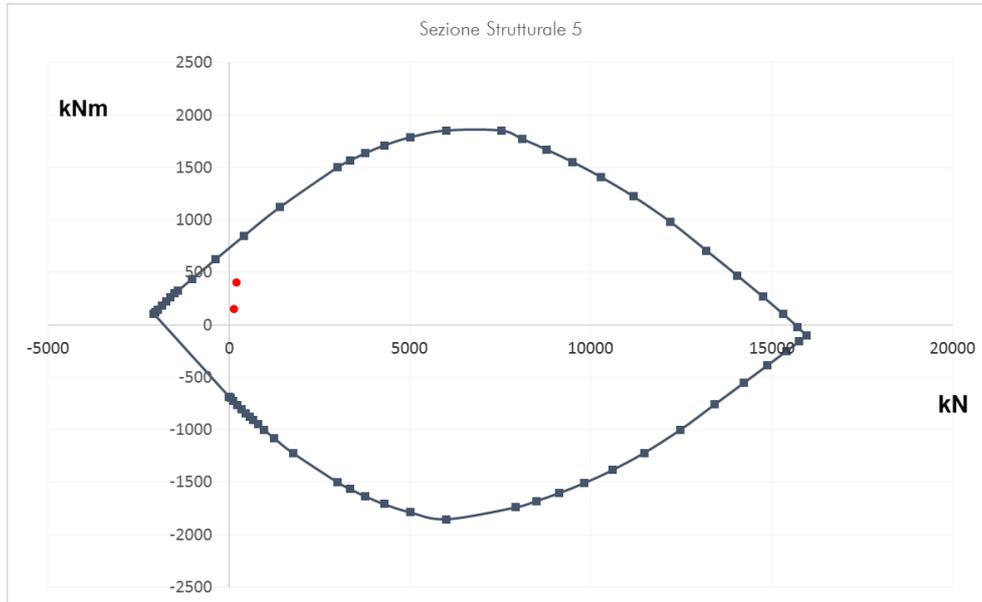


QUADRILATERO
Marche Umbria S.p.A.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

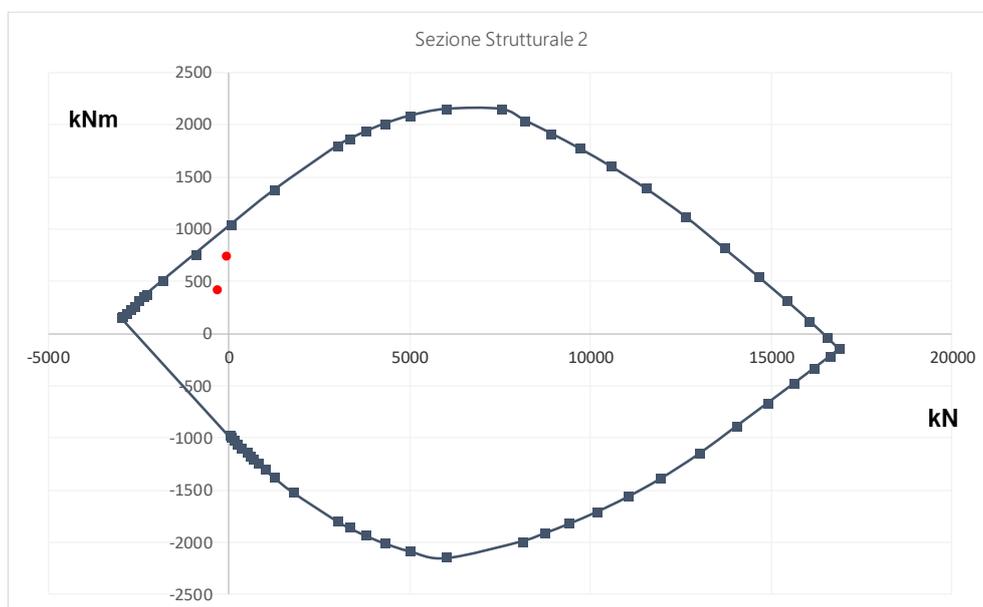
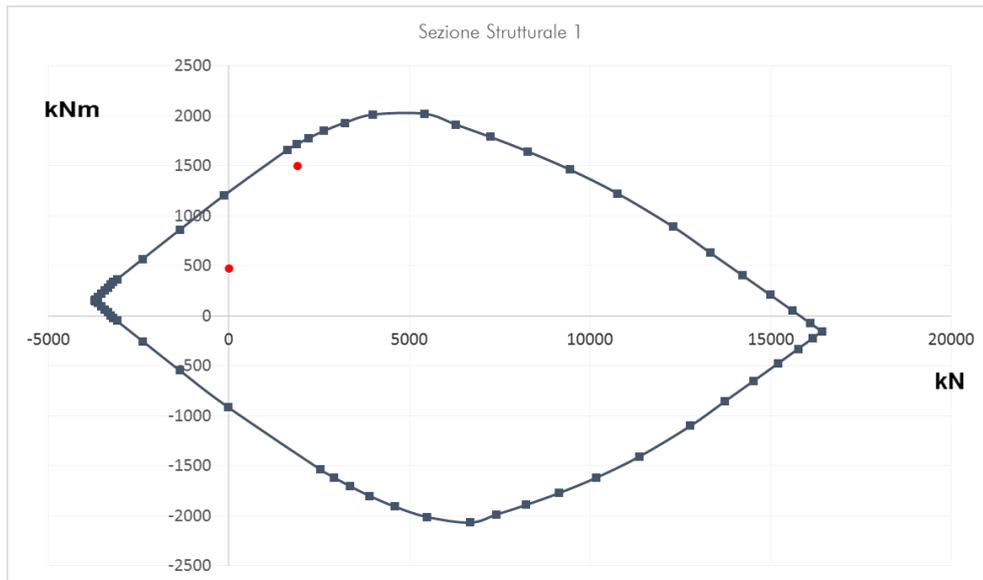
Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 31 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



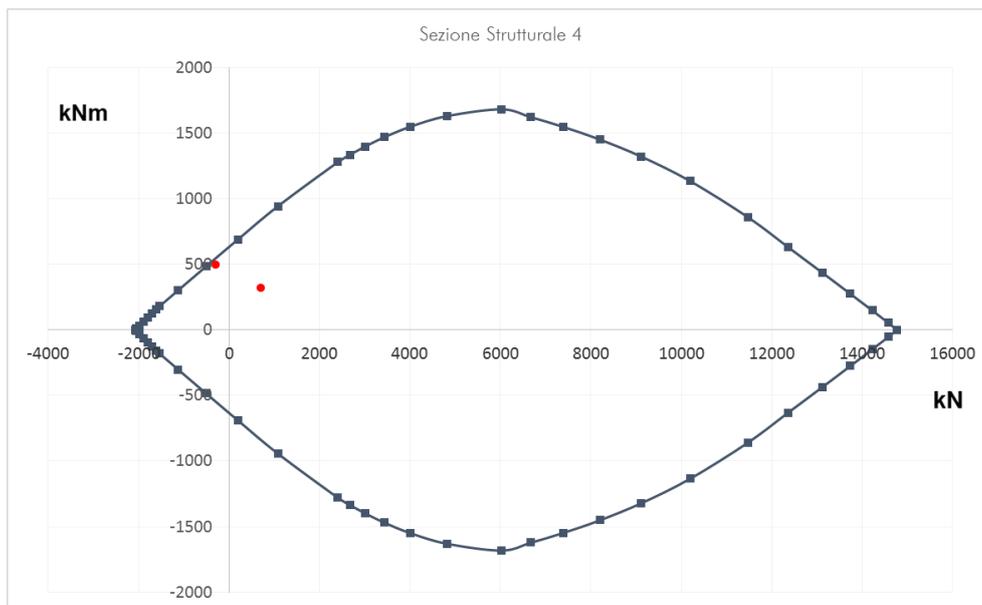
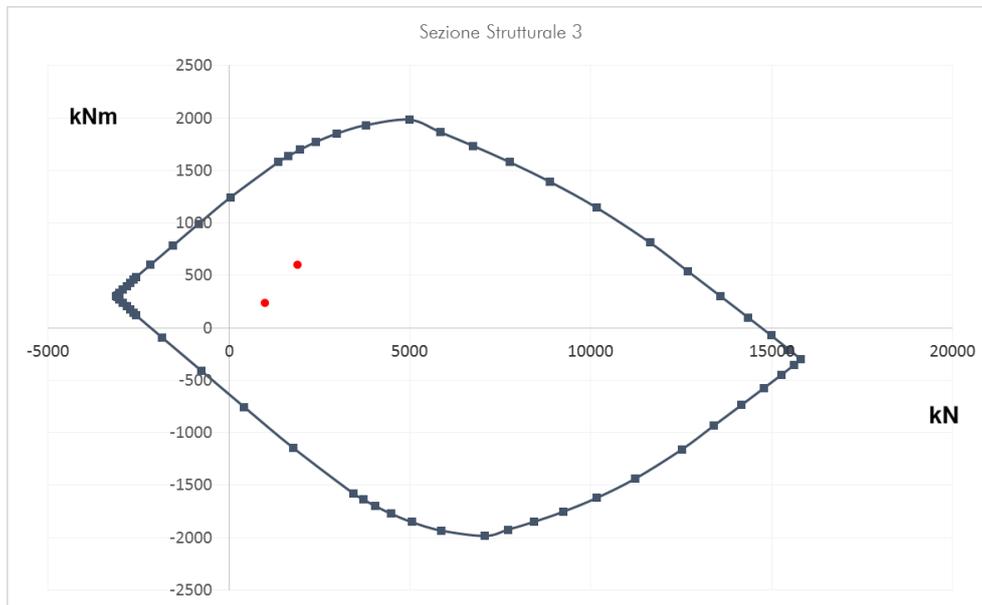
9.1.2 SEZIONE TIPO 4 – SLU/SLV

RIVESTIMENTO DEFINITIVO

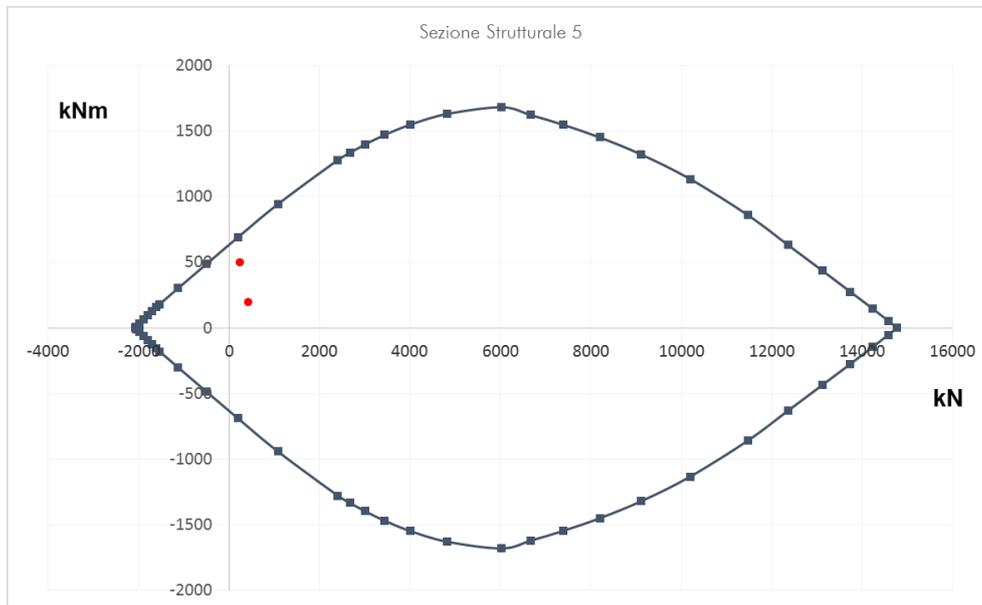
Si riportano di seguito i domini di resistenza del rivestimento definitivo e le verifiche a pressoflessione



Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 33 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 34 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



9.2 VERIFICHE A TAGLIO SLU/SLV

Per la verifica di resistenza allo SLU con riferimento alle sollecitazioni taglianti deve risultare:

$$V_{Rd} > V_{Ed}$$

Nel caso in esame, dunque, il taglio V_{Ed} è pari ai massimi valori del taglio sollecitante derivante dall'analisi per i vari elementi strutturali. Per tutti gli elementi strutturali il massimo taglio si riscontra in corrispondenza della sezione di attacco tra l'elemento stesso e quello ad esso ortogonale.

[NTC – 4.1.2.1.3.1] La resistenza a taglio in assenza di armatura specifica risulta pari a:

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

dove:

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

d è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d)$ è il rapporto geometrico di armatura longitudinale ($\leq 0,02$);

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$ è la tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0,2 f_{cd}$);

b_w è la larghezza minima della sezione (in mm).

Nel caso di utilizzo di armature a taglio si fa riferimento al 4.1.2.1.3.2 delle norme NTC2008. La resistenza a taglio dell'elemento in calcestruzzo armato è fornita dal minimo tra i valori V_{Rcd} e V_{Rsd} :

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$$

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

VERIFICA RIVESTIMENTO DEFINITIVO

Nel caso in esame le resistenze a taglio sono state calcolate con lo sforzo normale minimo. Le verifiche risultano essere soddisfatte senza armatura a taglio per le sezioni strutturali 2, 4 e 5, mentre per le sezioni strutturali 1 e 3 si è considerata un'apposita armatura a taglio costituita da staffe $\phi 14/40$.

Tabella 21: Verifiche a taglio rivestimenti – SLU/SLV

Sollecitazioni Rivestimento Definitivo			SLU	SLV	Verifica	
Sezione [-]	Sezione strutturale [-]	s [m]	T_{Ed} [kN/m]	T_{Ed} [kN/m]	T_{Rd} [kN/m]	Coefficiente di sicurezza [-]
Tipo 1	1	0.70	364	400	640	1.60
	2	0.70	42	40	305	7.26
	3	0.70	238	170	640	2.69
	4	0.70	140	70	305	2.18
	5	0.70	42	105	295	2.81
Tipo 4	1	0.70	280	500	640	1.28
	2	0.70	42	150	250	1.67
	3	0.70	182	530	640	1.21
	4	0.70	84	110	340	3.09
	5	0.70	42	200	315	1.58

9.3 VERIFICHE SLE

Si riportano di seguito le verifiche agli stati limite di esercizio. Al punto 4.1.2.2 delle NTC sono contemplate le verifiche delle prestazioni che la struttura deve essere in grado di garantire in esercizio sotto l'azione dei carichi di esercizio. Esse sono inoltre ampiamente descritte nella Circolare Applicativa nei diversi approcci rigorosi e semplificati. In particolare, sono da effettuarsi verifiche di:

- verifiche di fessurazione;
- verifica di limitazione delle tensioni in esercizio.

9.3.1 VERIFICHE DI FESSURAZIONE

La verifica di fessurazione consiste nel controllare l'ampiezza dell'apertura delle fessure sotto combinazione di carico frequente e combinazione quasi permanente. Essendo la struttura a contatto col terreno si considerano condizioni ambientali aggressive; le armature di acciaio ordinario sono ritenute poco sensibili [NTC – Tabella 4.1.IV]. Il calcolo eseguito per le verifiche in questione fa fede a quanto riportato al 4.1.2.2.4.6 Verifica allo stato limite di fessurazione della Normativa NTC2008.

La classe di esposizione scelta, in riferimento alle NTC, è la XA3. Le condizioni ambientali si considerano aggressive e le armature sono acciai ordinari, quindi "poco sensibili".

L'apertura limite delle fessure è riportato nel prospetto seguente:

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_a	Stato limite	w_a
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Lo stato limite di apertura delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

- $w_1 = 0,2$ mm
- $w_2 = 0,3$ mm
- $w_3 = 0,4$ mm

Per la NTC i limiti da verificare sono quindi:

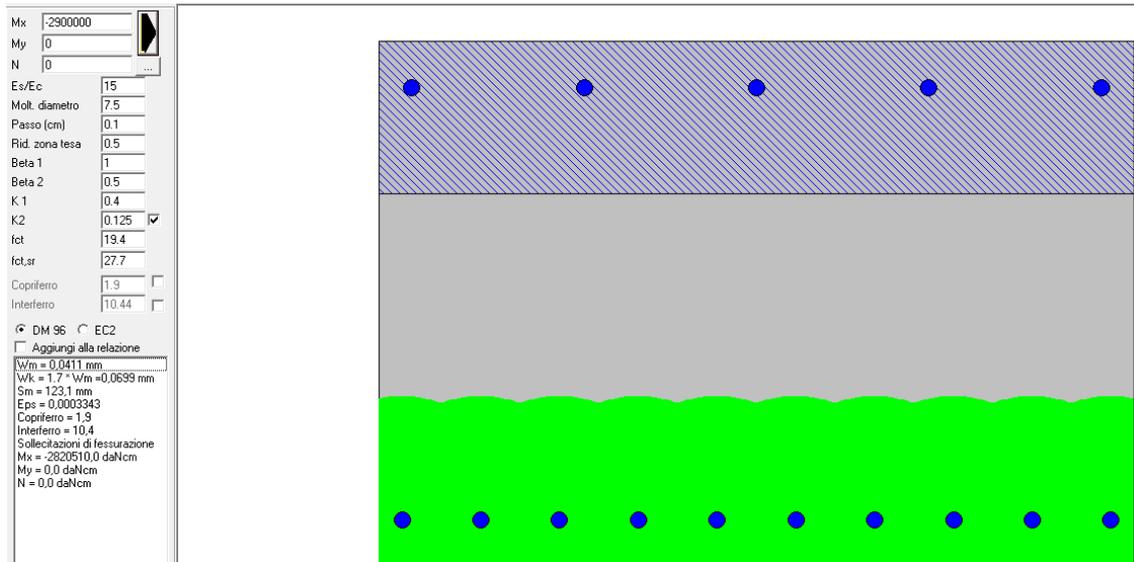
- combinazione frequente: $w_2 = 0.3$ mm
- combinazione quasi permanente: $w_1 = 0.2$ mm

Si riportano di seguito le verifiche di apertura delle fessure per i rivestimenti definitivi, per i casi più gravosi delle sezioni Tipo 1 e Tipo 4.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 37 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

VERIFICA SEZIONE TIPO 1

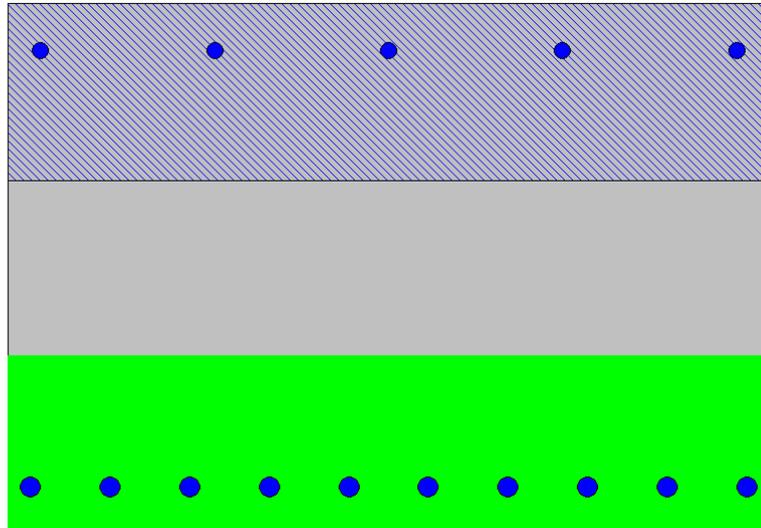
- Per la sezione strutturale 1 l'apertura delle fessure sotto la combinazione più gravosa allo stato limite di esercizio è pari a 0.070 mm, il limite più restrittivo è pari a 0.200 mm, pertanto la verifica è soddisfatta. Si riporta il risultato della verifica:


Figura 22: Sezione strutturale 1 – Verifica Fessurazione

- Per la sezione strutturale 2 l'apertura delle fessure sotto la combinazione più gravosa allo stato limite di esercizio è pari a 0.047 mm, il limite più restrittivo è pari a 0.200 mm, pertanto la verifica è soddisfatta. Si riporta il risultato della verifica:

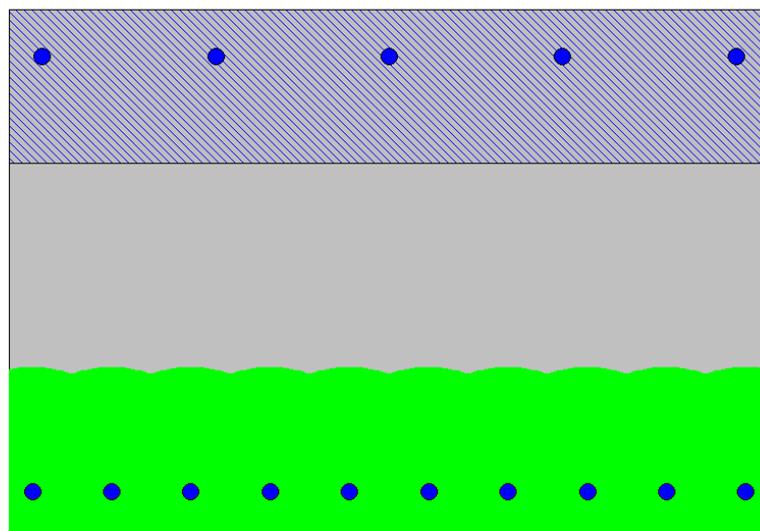
Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 38 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Mx	-3400000
My	0
N	0
Es/Ec	15
Molt. diametro	7.5
Passo (cm)	0.1
Rid. zona tesa	0.5
Beta 1	1
Beta 2	0.5
K.1	0.4
K2	0.125 <input checked="" type="checkbox"/>
fc _t	19.4
fc _{t,sr}	27.7
Copriferro	1.7 <input type="checkbox"/>
Interferro	10.44 <input type="checkbox"/>
<input checked="" type="radio"/> DM 96 <input type="radio"/> EC2	
<input type="checkbox"/> Aggiungi alla relazione	
W/m = 0.0375 mm	
Wk = 1.7 * W/m = 0.064 mm	
Sm = 111.9 mm	
Eps = 0.0003362	
Copriferro = 1.7	
Interferro = 10.4	
Solicitazioni di fessurazione	
Mx = -2956313.8 daNcm	
My = 0.0 daNcm	
N = 0.0 daNcm	


Figura 23: Sezione strutturale 2 – Verifica Fessurazione
VERIFICA SEZIONE TIPO 4

- Per la sezione strutturale 1 l'apertura delle fessure sotto la combinazione più gravosa allo stato limite di esercizio è pari a 0.102 mm, il limite più restrittivo è pari a 0.200 mm, pertanto la verifica è soddisfatta. Si riporta il risultato della verifica:

Mx	-3400000
My	0
N	0
Es/Ec	15
Molt. diametro	7.5
Passo (cm)	0.1
Rid. zona tesa	0.5
Beta 1	1
Beta 2	0.5
K.1	0.4
K2	0.125 <input checked="" type="checkbox"/>
fc _t	19.4
fc _{t,sr}	27.7
Copriferro	1.9 <input type="checkbox"/>
Interferro	10.44 <input type="checkbox"/>
<input checked="" type="radio"/> DM 96 <input type="radio"/> EC2	
<input type="checkbox"/> Aggiungi alla relazione	
W/m = 0.06 mm	
Wk = 1.7 * W/m = 0.102 mm	
Sm = 123.1 mm	
Eps = 0.0004877	
Copriferro = 1.9	
Interferro = 10.4	
Solicitazioni di fessurazione	
Mx = -2820510.0 daNcm	
My = 0.0 daNcm	
N = 0.0 daNcm	


Figura 24: Sezione strutturale 1 – Verifica Fessurazione

- Per la sezione strutturale 2 l'apertura delle fessure sotto la combinazione più gravosa allo stato limite di esercizio è pari a 0.078 mm, il limite più restrittivo è pari a 0.200 mm, pertanto la verifica è soddisfatta. Si riporta il risultato della verifica:

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 39 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

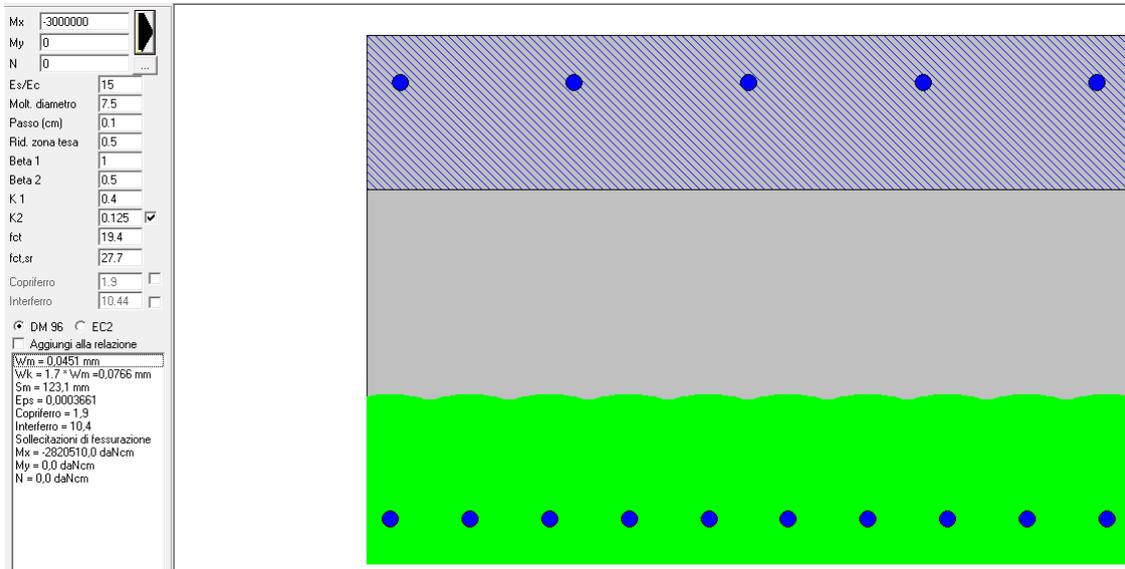


Figura 25: Sezione strutturale 2 – Verifica Fessurazione

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 40 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

9.3.2 VERIFICHE TENSIONI IN ESERCIZIO

E' stata effettuata una verifica di limitazione delle tensioni agenti in esercizio nel calcestruzzo compresso e nelle barre di armatura. Le combinazioni di carico considerate sono quella frequente e quasi permanente. La verifica va effettuata sempre in ambito elastico. Occorre verificare che:

$$\sigma_c \leq 0.60 f_{ck} = 19.2 \text{ MPa} \quad \text{per combinazione rara (caratteristica);}$$

$$\sigma_c \leq 0.45 f_{ck} = 14.4 \text{ MPa} \quad \text{per combinazione quasi permanente;}$$

$$\sigma_s \leq 0.80 f_{yk} = 360 \text{ MPa} \quad \text{per combinazione rara (caratteristica).}$$

Le verifiche sono state condotte, cautelativamente, in funzione delle sollecitazioni derivanti dall'involuppo delle combinazioni allo stato limite di esercizio che sono state direttamente verificate nei confronti del limite tensionale più restrittivo riportato in normativa (0.45 f_{ck} per il calcestruzzo).

Si riportano i casi più gravosi

VERIFICA SEZIONE TIPO 1

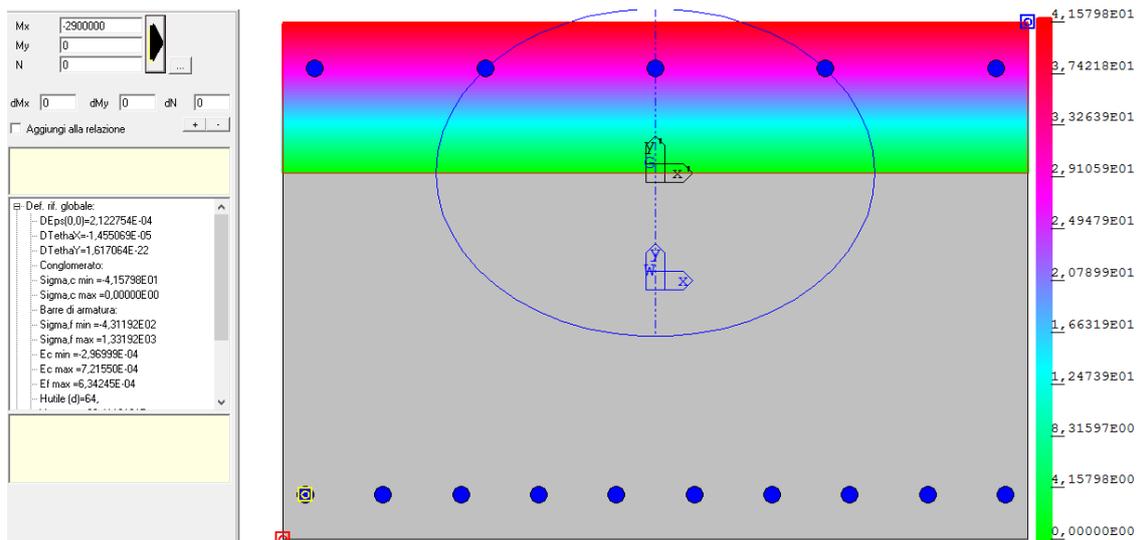


Figura 26: Sezione strutturale 1 – Verifica tensionale

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 41 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

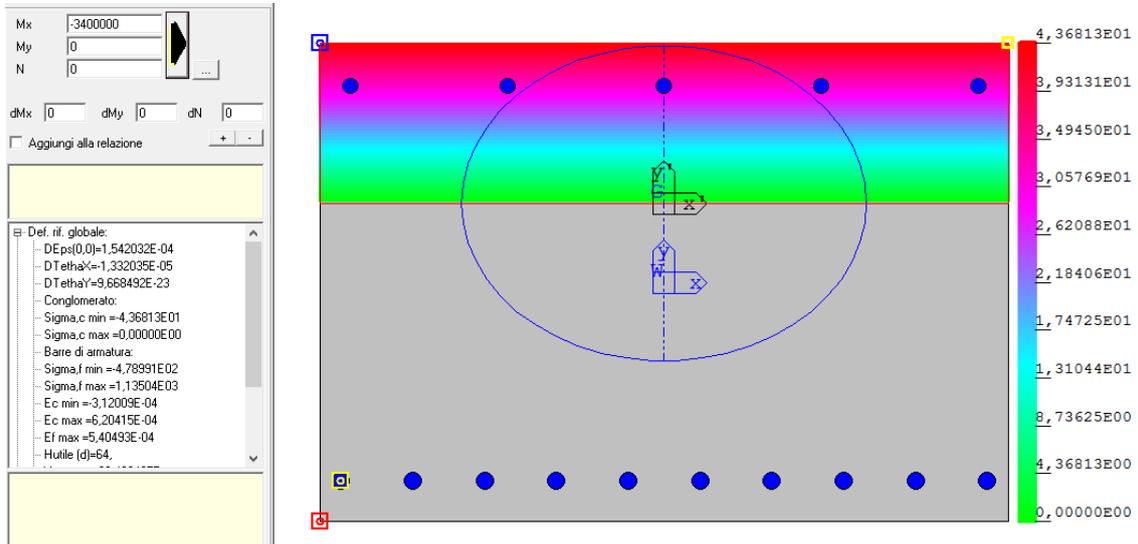


Figura 27: Sezione strutturale 2 – Verifica tensionale

VERIFICA SEZIONE TIPO 4

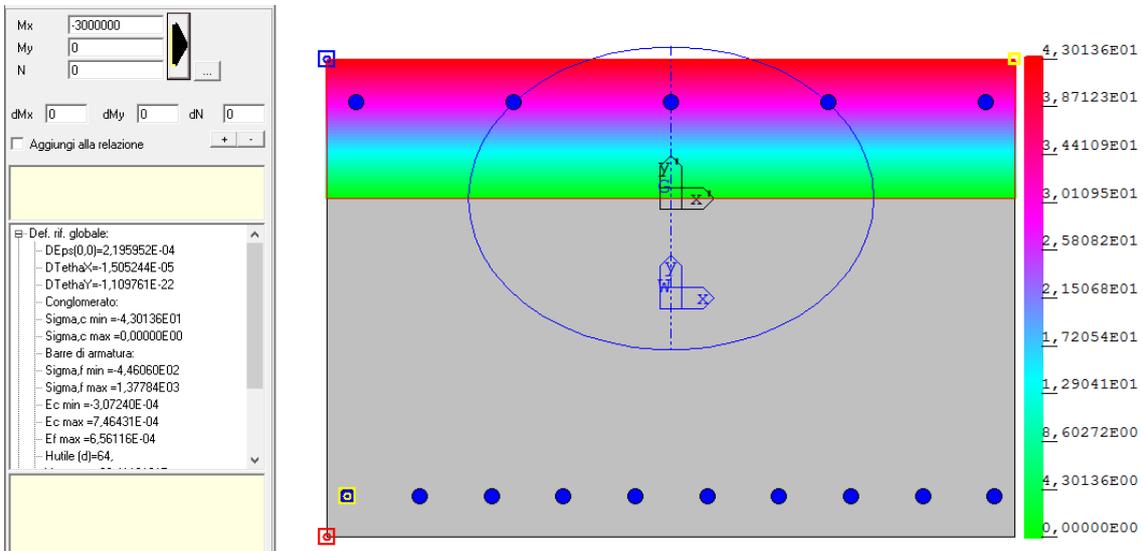


Figura 28: Sezione strutturale 1 – Verifica tensionale

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 42 di 42
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

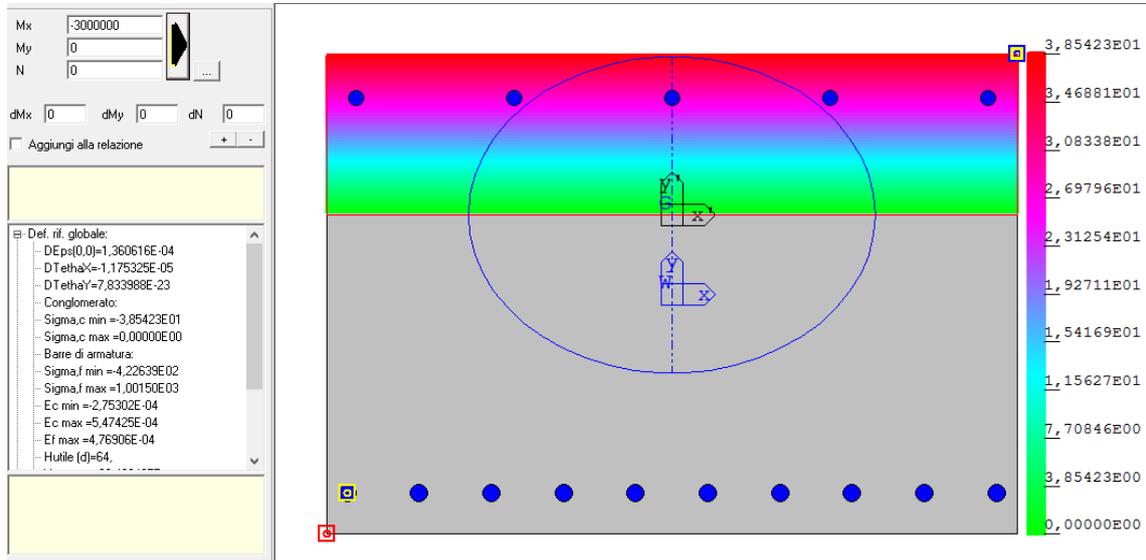


Figura 29: Sezione strutturale 2 – Verifica tensionale

Si registrano tensioni di compressione massime nel calcestruzzo pari a 5.6 MPa e tensioni di trazione massime nell'acciaio pari a 180 MPa, pertanto le verifiche tensionali risultano essere soddisfatte.