

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

PROGETTAZIONE: Associazione Temporanea di Imprese

Mandataria:



**RESPONSABILE DELLA
PROGETTAZIONE PER I'ATI**

Ing. Antonio Grimaldi

GEOLOGO

Dott. Geol. Fabrizio Pontoni

**COORDINATORE DELLA SICUREZZA
IN FASE DI PROGETTAZIONE**

Ing. Michele Curiale



**IL RESPONSABILE DEL
PROCEDIMENTO**

Ing. Giulio Petrizzelli

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

OPERE D'ARTE MAGGIORI: GALLERIE ARTIFICIALI

Imbocco Sud Croce di Calle

Relazione tecnica e di calcolo delle gallerie artificiali

SCALA:

DATA:

Agosto 2016

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

Codice Elaborato:

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	1
L0703	212	E	15	GA2800	REL	01	

REV.	DATA	DESCRIZIONE	Redatto		Controllato	Approvato
A	Agosto 2016	Emissione per progetto esecutivo	PROGIN	A. D'Alterio	S. Lieto	A. Grimaldi
B	Novembre 2016	Emissione a seguito di istruttoria	PROGIN	A. D'Alterio	S. Lieto	A. Grimaldi

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc REL	N,prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 2 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

I N D I C E

1. INTRODUZIONE.....	3
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI	4
2.2BIBLIOGRAFIA	5
3. DESCRIZIONE DELL'OPERA	5
4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	8
5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	9
6. DEFINIZIONE AZIONE SISMICA.....	12
7. MODELLI DI CALCOLO	14
7.1DESCRIZIONE DELLE SEZIONI.....	14
8. RISULTATI DELLE ANALISI	17
8.1SEZIONE TIPO A	19
8.1SEZIONE TIPO B.....	20
9. VERIFICHE.....	22
9.1VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE SLU/SLV.....	23
9.2VERIFICHE A TAGLIO SLU/SLV	29
9.3VERIFICHE SLE	32

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 3 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

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.

del ponte denominato Mistrano posto tra le progressive 5+806 e 5+846 del tracciato di progetto.

Nella presente relazione sono riportate le analisi, il dimensionamento e la verifica delle strutture relative alla tratta in artificiale della galleria Croce di Calle relativa all'imbocco Sud.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 4 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

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

3. DESCRIZIONE DELL'OPERA

La galleria naturale "Croce di Calle" si estende dall'imbocco Nord, localizzato a progr. 1+796,58, fino all'imbocco Sud, localizzato a progr. 3+310,92. La lunghezza complessiva della galleria è pari a 1514,34 m.

La massima copertura della galleria è pari a circa 110 m. La struttura policentrica si compone di calotta, murette ed arco rovescio.

In corrispondenza degli imbocchi sono previsti tratti di approccio in galleria artificiale. Tali tratti presentano le seguenti progressive e lunghezze:

OPERE D'ARTE MAGGIORI		Progr. in. [km]	Progr. fin. [km]	L [m]
GALLERIA NATURALE CROCE DI CALLE	IMBOCCO NORD	1+796,58	1+876,90	80.32
	TRATTO IN NATURALE	1+876,90	3+256.90	1380.00
	IMBOCCO SUD	3+256.90	3+310,92	54.02

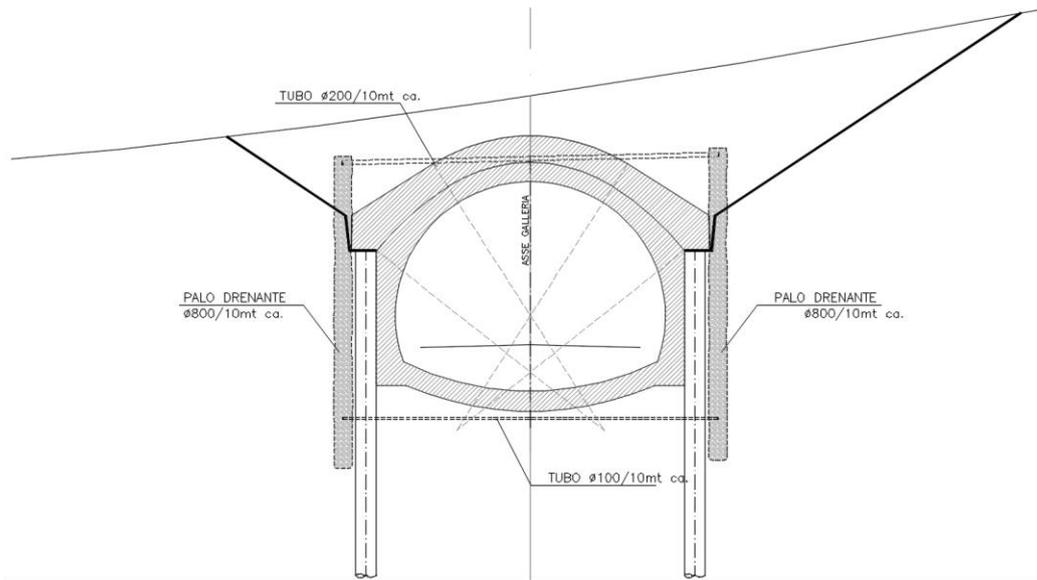
In corrispondenza di entrambi gli estremi della galleria, sono previsti imbocchi a "becco di flauto" che si estendono per una lunghezza pari a circa 12,42 m. Il tratto in artificiale prevede prima uno scavo di sbancamento, la realizzazione degli elementi strutturali ed il successivo ritombamento fino a ripristinare il piano campagna.

Nelle zone in prossimità degli imbocchi in naturale sono previste delle sezioni in artificiale tra pali puntonati attraverso una protesi in calcestruzzo armato, tali zone fungono da raccordo tra le parti in artificiale in scavo e la parte in naturale della galleria.

Le fasi realizzative della sezione realizzata tra pali prevedono: scavo fino a quota testa pali, realizzazione di palificata e protesi in calcestruzzo, ritombamento. Tale sezione viene denominata "Artificiale tra pali".

Nella figura seguente si riporta, a titolo illustrativo, una rappresentazione della sezione tipo "Artificiale tra pali".

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 6 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------



Galleria naturale Croce di Calle: sezione tipo "Artificiale tra pali"

Successivamente si esegue lo scavo del tunnel e la realizzazione del rivestimento definitivo.

I rivestimenti interni in calcestruzzo armato presentano spessori minimi pari a 0,7 m per la calotta, le murette e l'arco rovescio. Lo spessore minimo della protesi/puntone è di 1,3 m. Si prevedono dei pali $\phi 1000$ di lunghezza pari a 14 m e di interasse 1.1 m. Inoltre, a tergo dei pali strutturali, si adottano dei pali drenanti $\phi 800$ con interasse 10 m.

La lunghezza dei tratti di imbocco tra pali puntonati è pari rispettivamente, per l'imbocco Nord e Sud, a 27.50 m e 13.20 m.

La copertura massima per i tratti in galleria artificiale è pari a circa 4 m.

In corrispondenza degli imbocchi del tratto in naturale sono previste delle palificate con cordoli in c.a. di sommità.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc REL	N,prog. 01	Rev. B	Pag.diPag. 8 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-----------------------

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 – arco rovescio

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:	$E_{cm} = 34'077 \text{ MPa}$
Rapporto massimo acqua / cemento	$A/C \leq 0.45$
Classe di esposizione ambientale:	XA3

Calcestruzzo per opere definitive – murette e calotta

Tipo (secondo UNI EN 206-1):	C32/40
Resistenza cubica caratteristica (t=28 gg):	$R_{ck} \geq 40 \text{ MPa}$
Resistenza cilindrica caratteristica (t=28 gg):	$f_{ck} \geq 32 \text{ MPa}$
Modulo elastico secante:	$E_{cm} = 33'346 \text{ MPa}$
Rapporto massimo acqua / cemento	$A/C \leq 0.45$

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:	$E = 210'000 \text{ MPa}$

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.



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 politico-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;

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 10 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

- Unità EC - Depositi eluvio colluviali: si tratta di depositi a composizione granulometrica variegata ma generalmente a prevalente componente fine limo argillosa (Unità ECl_a); localmente si rinviene sabbia limosa con clasti derivanti dalla disgregazione del substrato roccioso (Unità ECl_s). Localmente sono state individuate zone con coperture di materiale di accumuli di frana (unità a);
- Unità A - Alluvioni: si tratta di deposti 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 Ecl_a - 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 Ecl_s - 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

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 11 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

$\gamma = 19.0$ 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

- 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 ÷ 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 quota della falda di rilievo è di circa 2.0m da quota piano campagna, considerando l'effetto delle trincee drenanti adottate nella zona si considera una quota di progetto pari a 4.5m da piano campagna.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 12 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

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 $Se(T)$;
- 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 $C_u=1.5$;
- 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

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc REL	N,prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 13 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

V_R [anni]	Stato Limite	PV_R -	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
75	SLO	81%	45	0.073	2.450	0.286
	SLD	63%	75	0.090	2.454	0.297
	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. La categoria di sottosuolo adottata è di tipo B in accordo con quanto riportato nella relazione geotecnica.

- 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

In questo capitolo vengono dettagliate le specifiche tecniche della modellazione adottata. L'analisi dell'opera viene effettuata con riferimento ad una fascia di dimensione longitudinale pari ad 1.0 m, rappresentativa della sezione di analisi. Sono stati realizzati dei modelli piani agli elementi finiti attraverso il codice di calcolo Midas GTS, particolarmente adatto alle problematiche geo-strutturali.

Il volume di terreno significativamente interessato dalla realizzazione della galleria è stato reso discreto con una mesh di elementi bidimensionali. La discretizzazione di calcolo è costituita da circa n.8000 elementi quadrangolari bidimensionali. 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.

Il terreno è stato simulato con un legame costitutivo elasto-plastico alla Mohr-Coulomb mentre per i rivestimenti in calcestruzzo viene adottato un modello elastico lineare. Di seguito vengono forniti i parametri adottati nelle analisi.

Nelle analisi F.E.M. eseguite vengono simulate tutte le fasi realizzative, a partire dalla condizione geostatica fino alla configurazione a lungo termine.

Le condizioni analizzate comprendono lo stato limite di esercizio SLE, lo stato limite di salvaguardi della vita SLV e la condizione eccezionale di terreno in frana SLUF. Le sollecitazioni allo stato limite ultimo (Statico) si ottengono moltiplicando quelle dello SLE per un coefficiente di amplificazione dei carichi pari a 1.3.

7.1 DESCRIZIONE DELLE SEZIONI

Come descritto in precedenza si individuano tre sezioni "tipo" da analizzare. Le tre tipologie presentano diversa configurazione e fasi realizzative, esse saranno analizzate singolarmente per le condizioni più severe dal punto di vista geotecnico e strutturale. Inoltre vengono indicati i parametri geotecnici di calcolo adottati per le sezioni in esame.

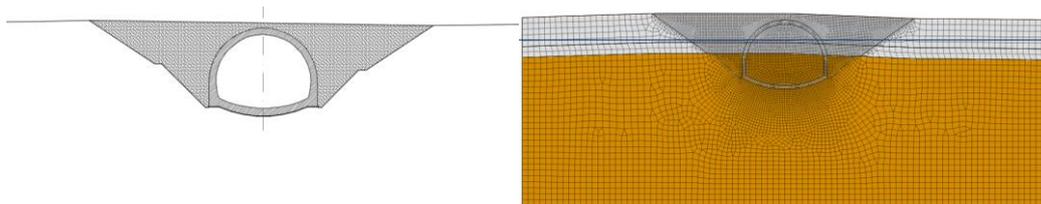
Tipo	γ	c'	ϕ'	E
[-]	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[°]	[MPa]
ECl _a	20	10	25	30
ECl _a residui	20	0	14	30
Schlier	23	50	27	85

SEZIONE TIPO A: Artificiale in Scavo

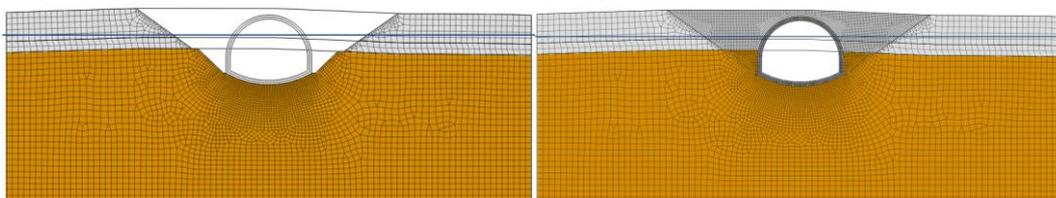
Per la sezione tipo A si considera prima lo sbancamento libero, poi la realizzazione dei rivestimenti ed infine il ritombamento della copertura. La stratigrafia di progetto è composta da circa 7.0 m di Ecl_a che coprono il substrato di Schlier.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 15 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

I rivestimenti interni in calcestruzzo armato presentano spessori minimi pari a 0.7 m per la calotta, murette ed arco rovescio.



Sezione Tipo A – Inizializzazione



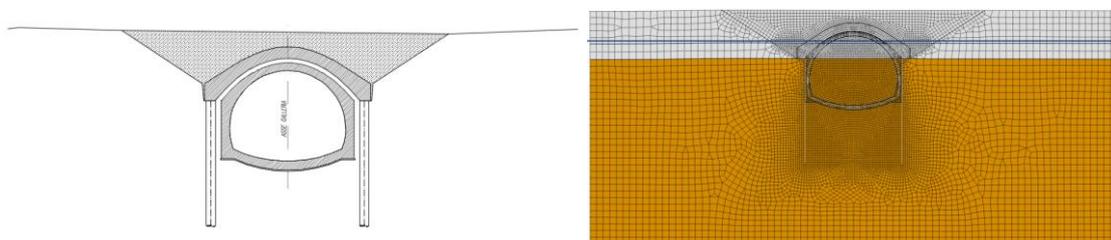
Sezione Tipo A - Realizzazione rivestimento definitivo e ritombamento

SEZIONE TIPO B: Artificiale tra pali

Per la sezione tipo B si considera prima uno scavo superficiale, la realizzazione dei pali e della protesi/puntone, il ritombamento e lo scavo in avanzamento della galleria.

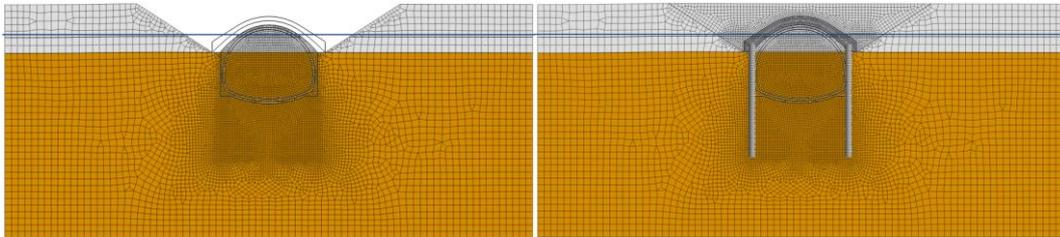
I rivestimenti interni in calcestruzzo armato presentano spessori minimi pari a 0.7 m per la calotta, murette ed arco rovescio. Lo spessore minimo della protesi/puntone è di 1.3 m. Si prevedono dei pali $\phi 1000$ di lunghezza pari a 14 m e di interasse 1.1 m.

In questo caso lo strato di terreno superficiale Ecla è pari a 7.5 m circa, mentre il substrato inferiore è del tipo Pa/Ap. In questo tipo di sezione è stato tenuto della zona di potenziale frana adottando opportunamente i valori residui dello strato di Ecla.

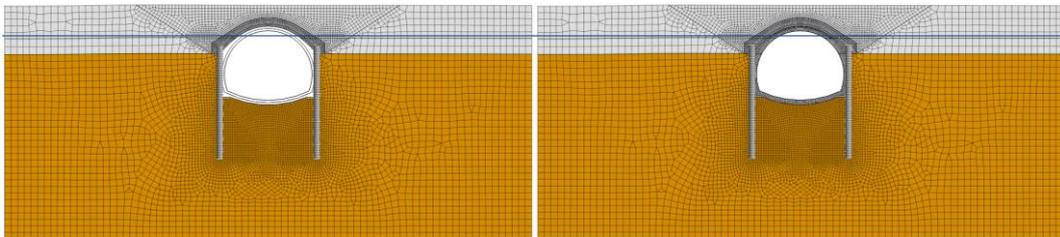


Sezione Tipo B – Inizializzazione

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 16 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------



Sezione Tipo B – Sbancamento, realizzazione opere di sostegno e ritombamento

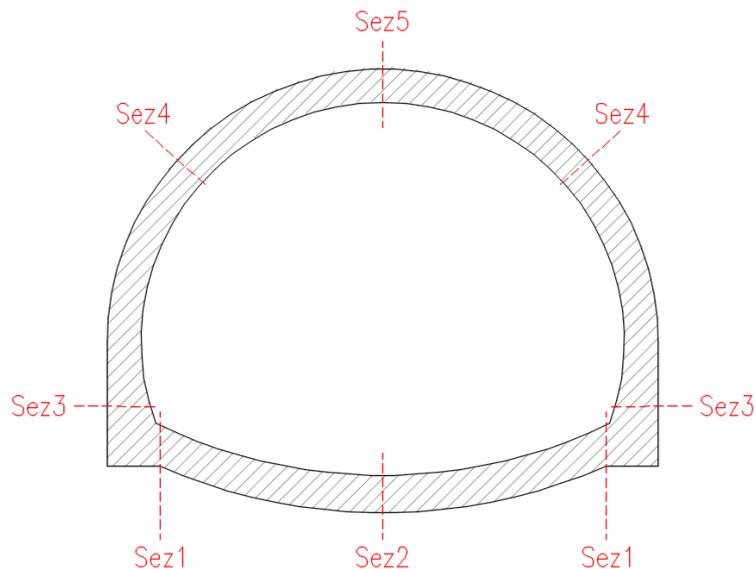


Sezione Tipo B – Scavo, Rivestimento definitivo, successivo decadimento della protesi e dei pali

Gli spessori minimi adottati per il rivestimento definitivo sono paria 70 cm per calotta, murette ed arco rovescio.

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:



Sezioni strutturali di verifica

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

Sollecitazioni rivestimento definitivo - SLE					
Sezione di calcolo [-]	Sezione strutturale [-]	s [m]	N _{Ed} [kN/m]	M _{Ed} [kNm/m]	T _{Ed} [kN/m]
Artificiale in scavo	1	0.80	450	390	280
	2	0.70	220	390	20
	3	0.70	850	470	150
	4	0.70	360	70	70
	5	0.70	200	150	20
Artificiale tra pali	1	0.80	700	350	290
	2	0.70	550	315	40
	3	0.70	1000	260	195
	4	0.70	300	70	100
	5	0.70	140	90	20

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 18 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

Sollecitazioni rivestimento definitivo - SLV					
Sezione di calcolo [-]	Sezione strutturale [-]	s [m]	N _{Ed} [kN/m]	M _{Ed} [kNm/m]	T _{Ed} [kN/m]
Artificiale in scavo	1	0.80	800	880	330
	2	0.70	350	515	100
	3	0.70	950	900	310
	4	0.70	500	400	130
	5	0.70	250	200	90
Artificiale tra pali	1	0.80	2100	1100	470
	2	0.70	700	630	120
	3	0.70	1200	560	510
	4	0.70	-400	340	140
	5	0.70	200	250	80

Sollecitazioni rivestimento definitivo - SLUF - Parametri Residui Ecla					
Sezione di calcolo [-]	Sezione strutturale [-]	s [m]	N _{Ed} [kN/m]	M _{Ed} [kNm/m]	T _{Ed} [kN/m]
Artificiale in scavo	1	0.80	480	420	350
	2	0.70	360	395	50
	3	0.70	800	475	150
	4	0.70	370	60	50
	5	0.70	230	130	20
Artificiale tra pali	1	0.80	850	360	290
	2	0.70	580	320	30
	3	0.70	1100	260	200
	4	0.70	300	130	70
	5	0.70	150	80	40

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 19 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

8.1 SEZIONE TIPO A

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 valore pari a 10^{-6} per i momenti e pari a 10^{-3} per i tagli e gli sforzi normali.

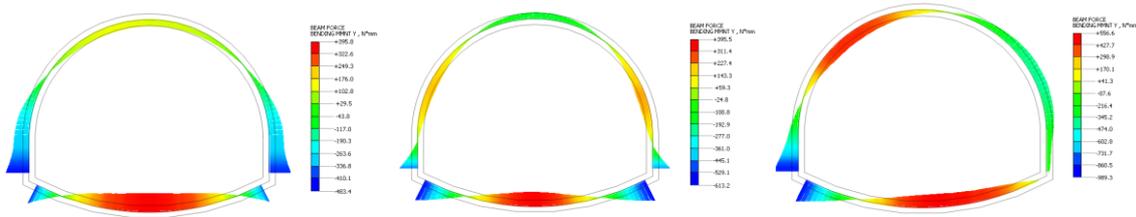


Diagramma momento flettente – SLE (sinistra), SLUf (centro), SLV (destra)

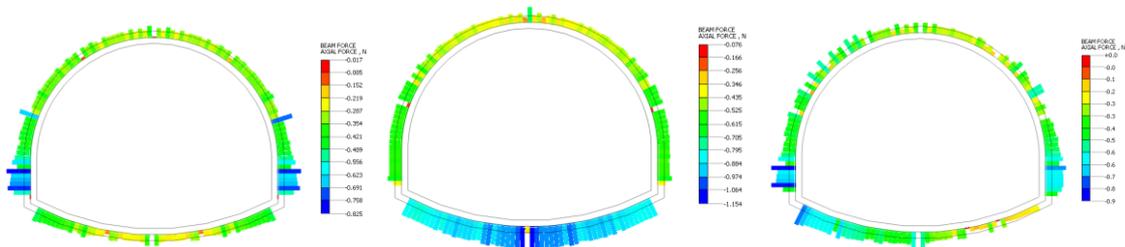


Diagramma sforzo normale – SLE (sinistra), SLUf (centro), SLV (destra)

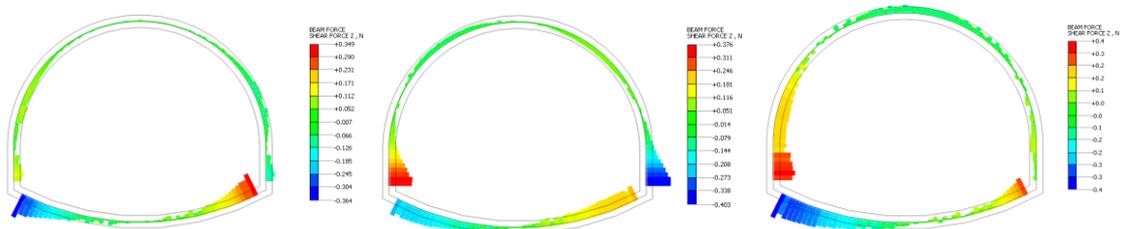


Diagramma taglio – SLE (sinistra), SLUf (centro), SLV (destra)

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 20 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

8.1 SEZIONE TIPO B

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 valore pari a 10^{-6} per i momenti e pari a 10^{-3} per i tagli e gli sforzi normali.

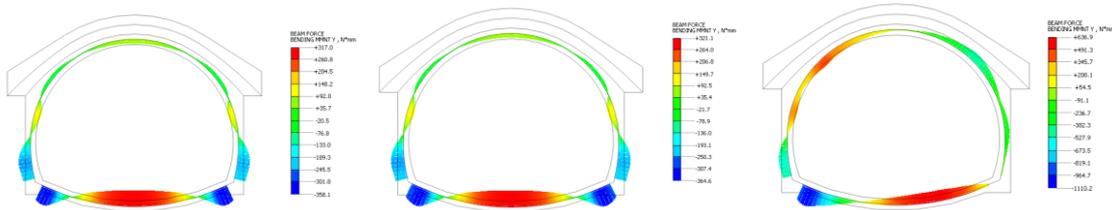


Diagramma momento flettente – SLE (sinistra), SLUf (centro), SLV (destra)

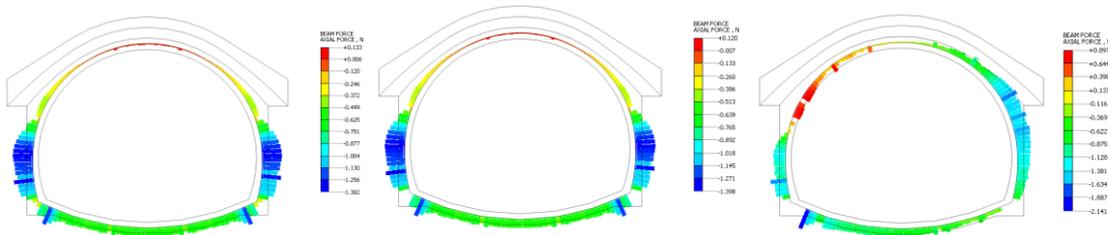


Diagramma sforzo normale – SLE (sinistra), SLUf (centro), SLV (destra)

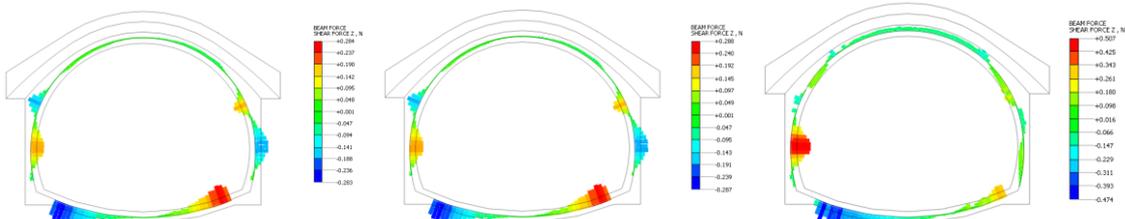
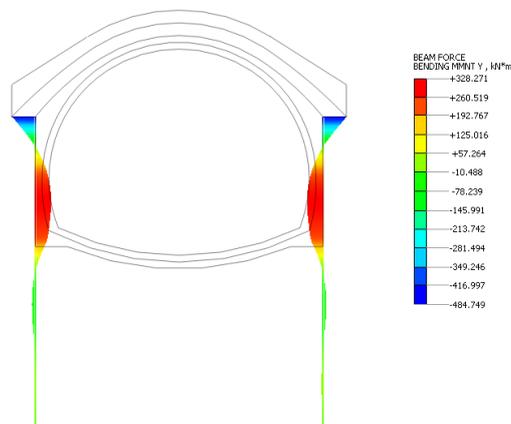


Diagramma taglio – SLE (sinistra), SLUf (centro), SLV (destra)



Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 21 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

Diagramma momento flettente sui pali durante la fase di scavo – SLE

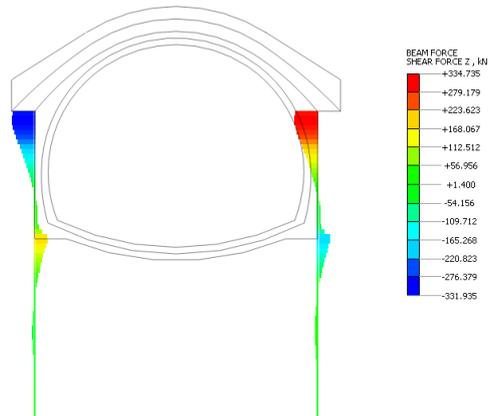


Diagramma taglio sui pali durante la fase di scavo– SLE

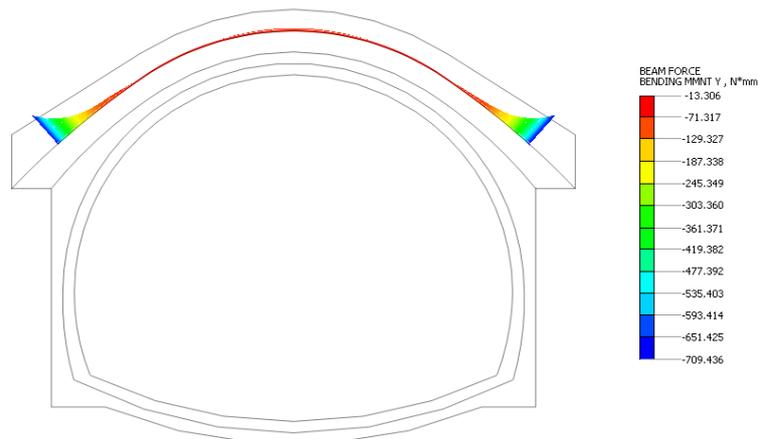


Diagramma momento flettente protesi – SLE

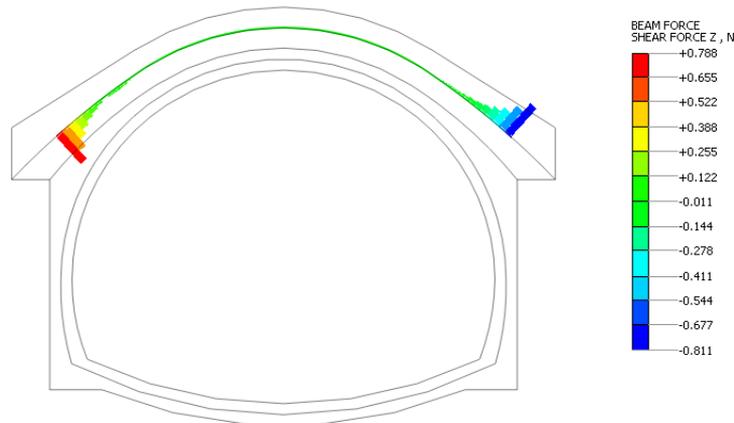


Diagramma taglio proteasi – SLE

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.

Sollecitazioni Rivestimento Definitivo			SLE			SLU			SLU - FRANA			SLV - SISMA		
Sezione	Sezione strutturale	s	N _{Ed}	M _{Ed}	T _{Ed}	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]									
Artificiale	1	0.80	450	390	280	585	507	364	480	420	350	800	880	330
	2	0.70	220	390	20	286	507	26	360	395	50	350	515	100
	3	0.70	850	470	150	1105	611	195	800	475	150	950	900	310
	4	0.70	360	70	70	468	91	91	370	60	50	500	400	130
	5	0.70	200	150	20	260	195	26	230	130	20	250	200	90
Artificiale tra pali	1	0.80	700	350	290	910	455	377	850	360	290	2100	1100	470
	2	0.70	550	315	40	715	410	52	580	320	30	700	630	120
	3	0.70	1000	260	195	1300	338	254	1100	260	200	1200	560	510
	4	0.70	300	70	100	390	91	130	300	130	70	-400	340	140
	5	0.70	140	90	20	182	117	26	150	80	40	200	250	80

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 23 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

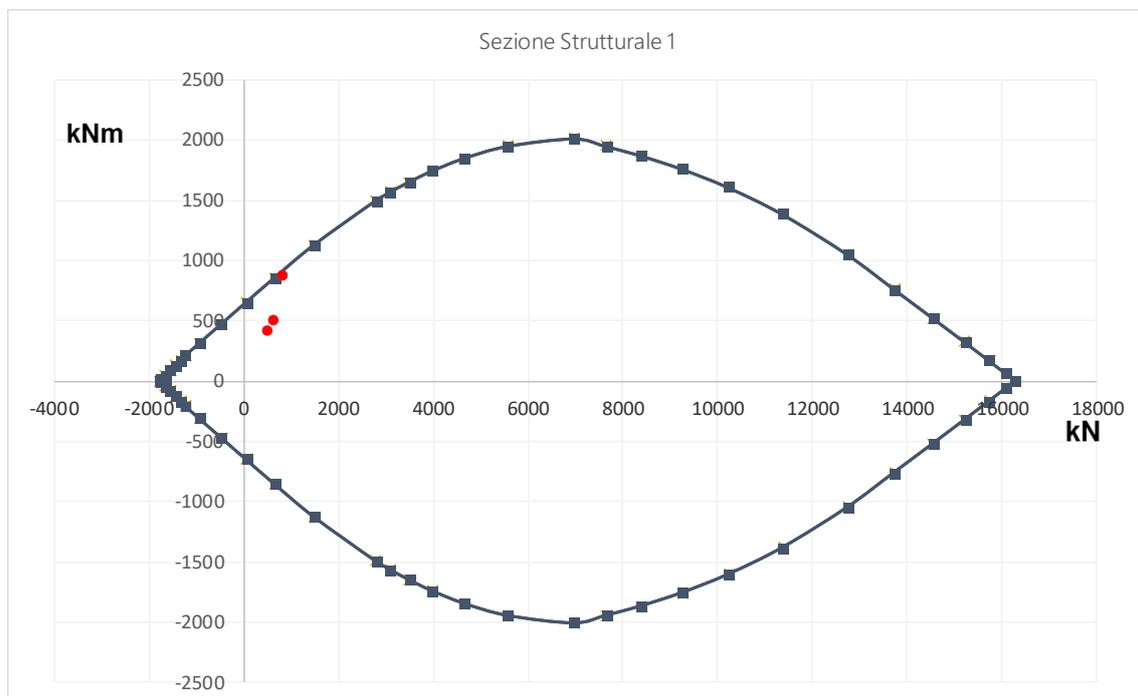
9.1 VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE SLU/SLV

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 A – ARTIFICIALE IN SCAVO – SLU/SLV

RIVESTIMENTO DEFINITIVO

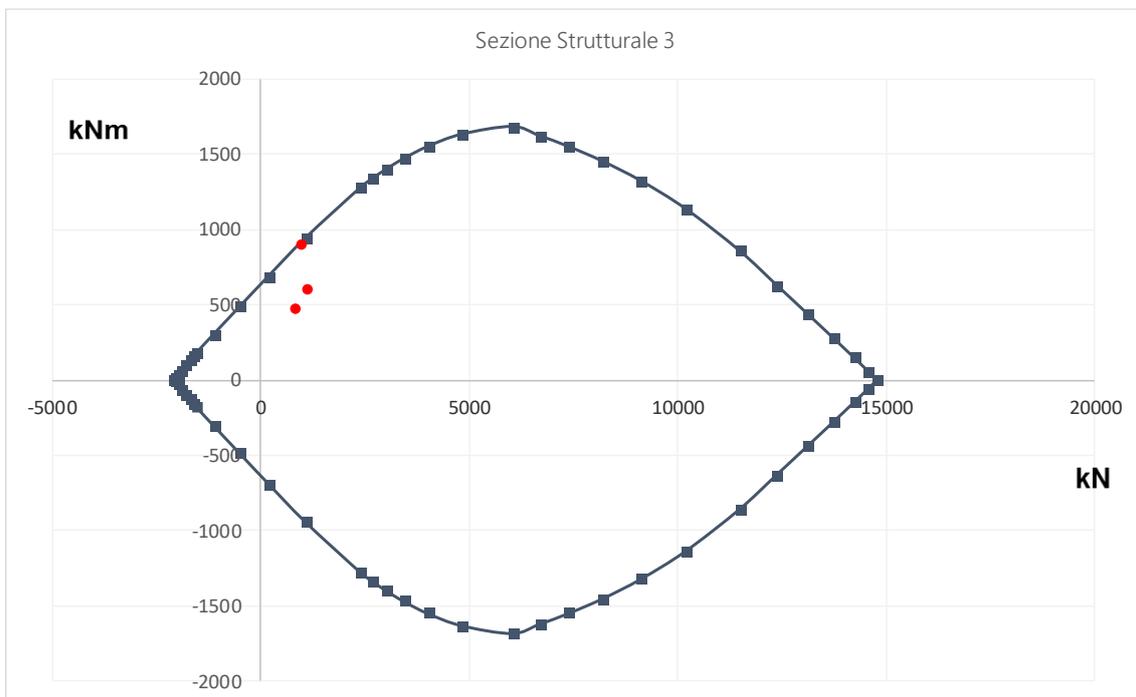
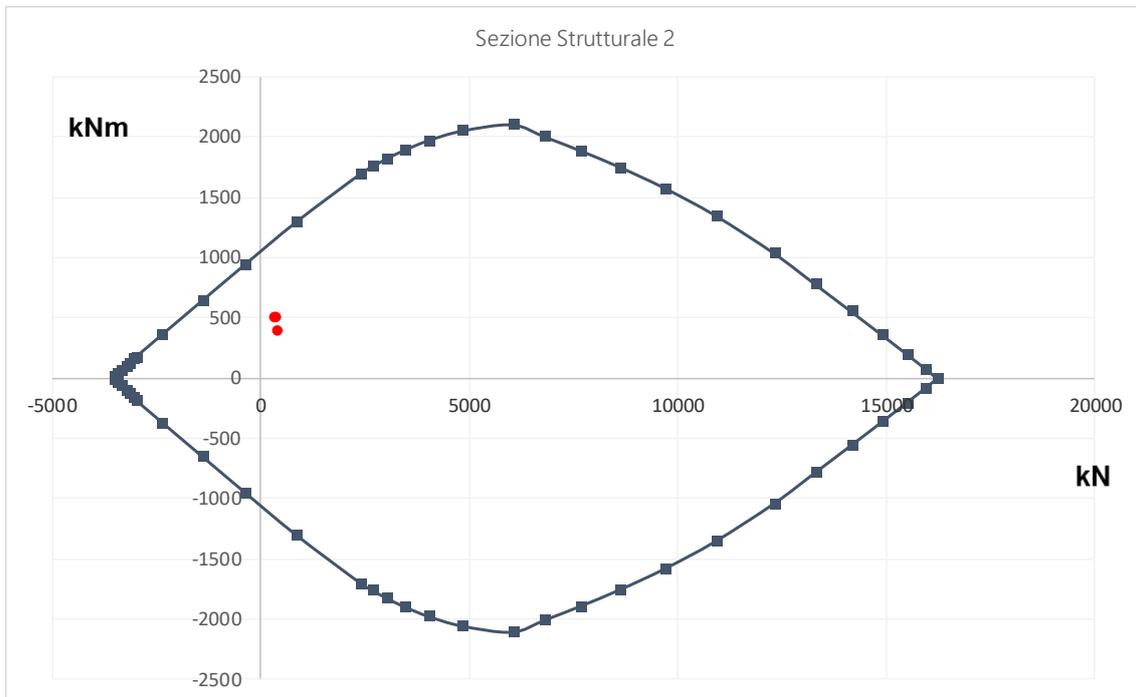
Si riportano di seguito i domini di resistenza del rivestimento definitivo e le verifiche a pressoflessione



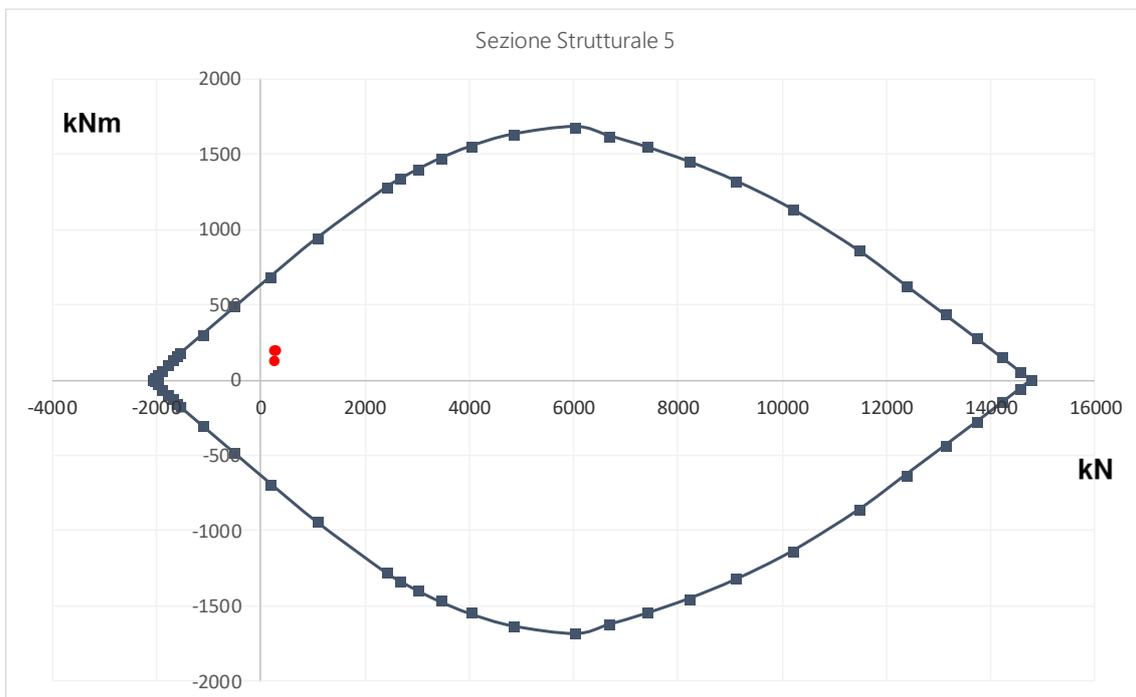
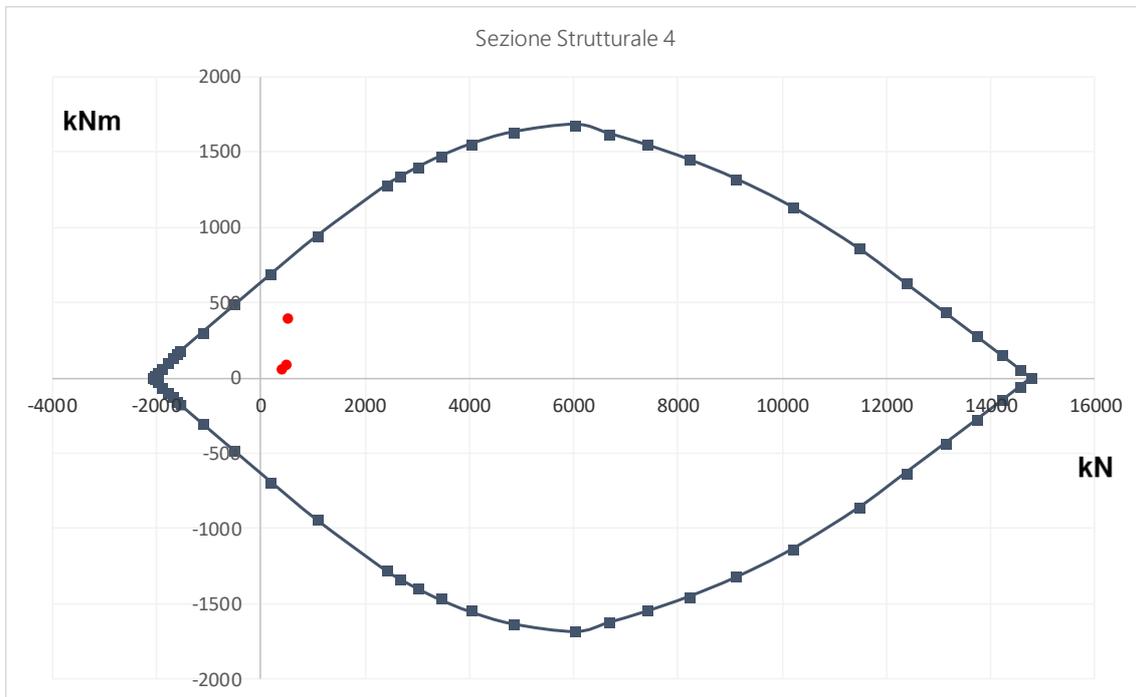
2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.diPag. 24 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	------------------------



Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 25 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------



9.1.2 SEZIONE TIPO B – ARTIFICIALE TRA PALI – SLU/SLV

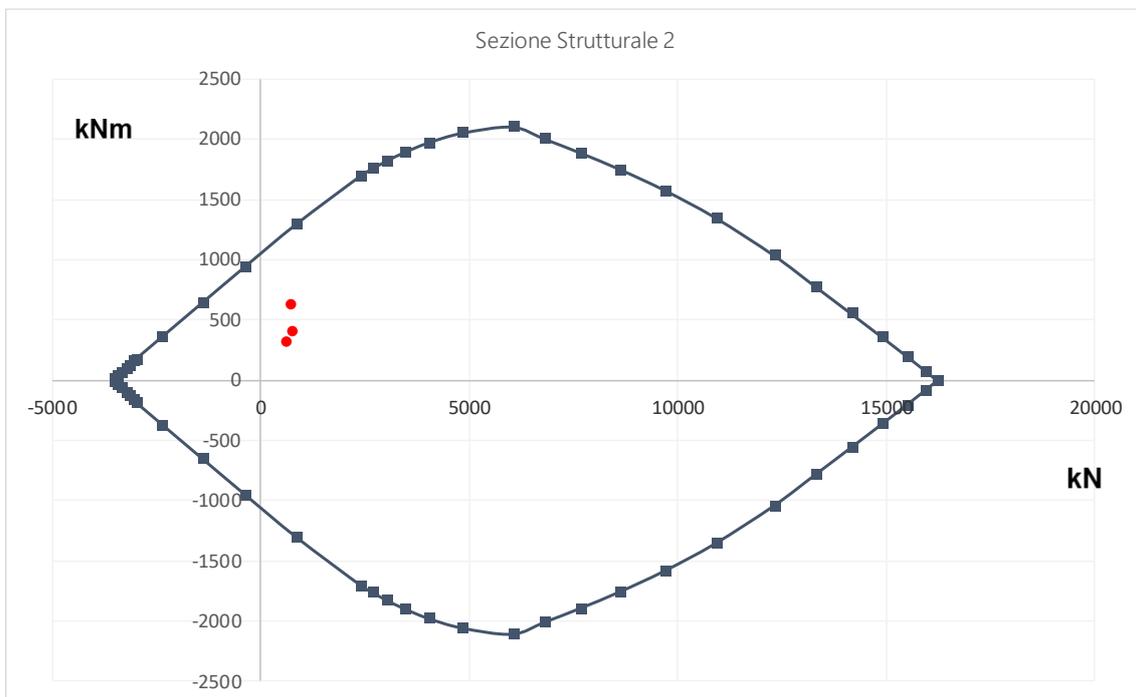
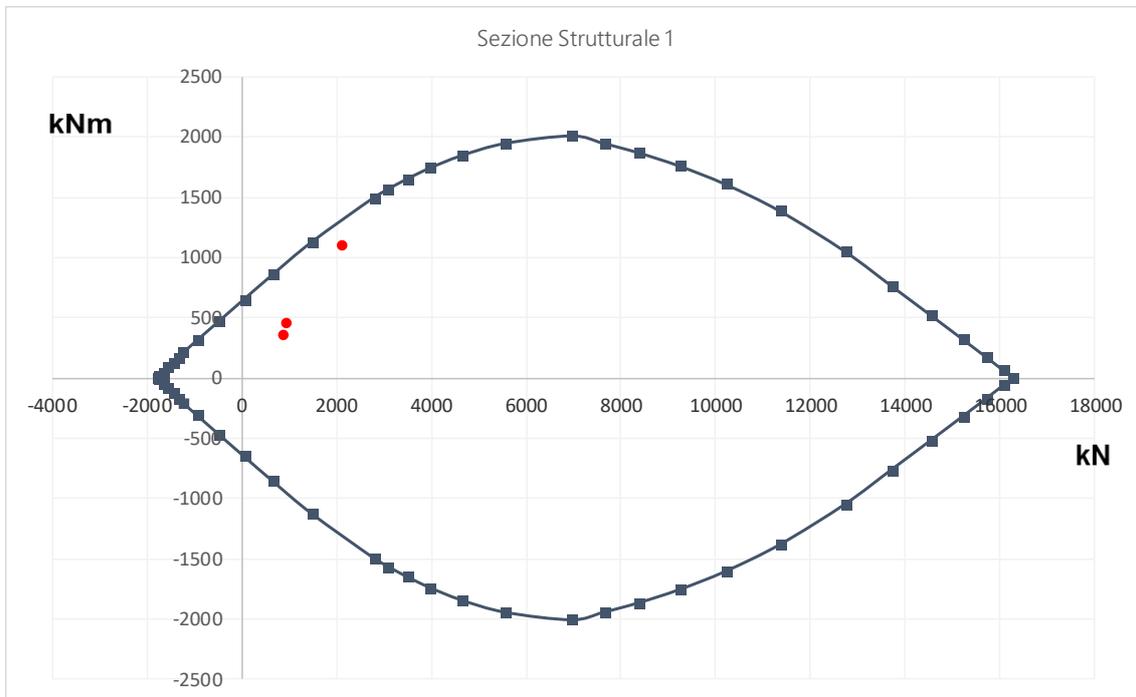
RIVESTIMENTO DEFINITIVO

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

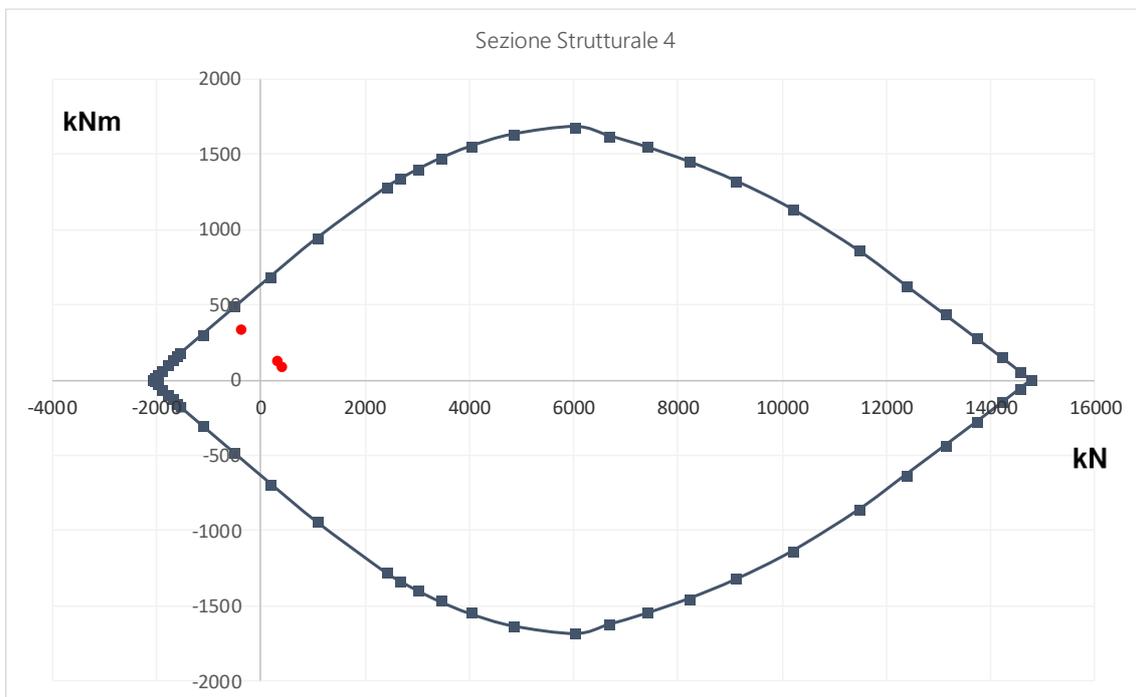
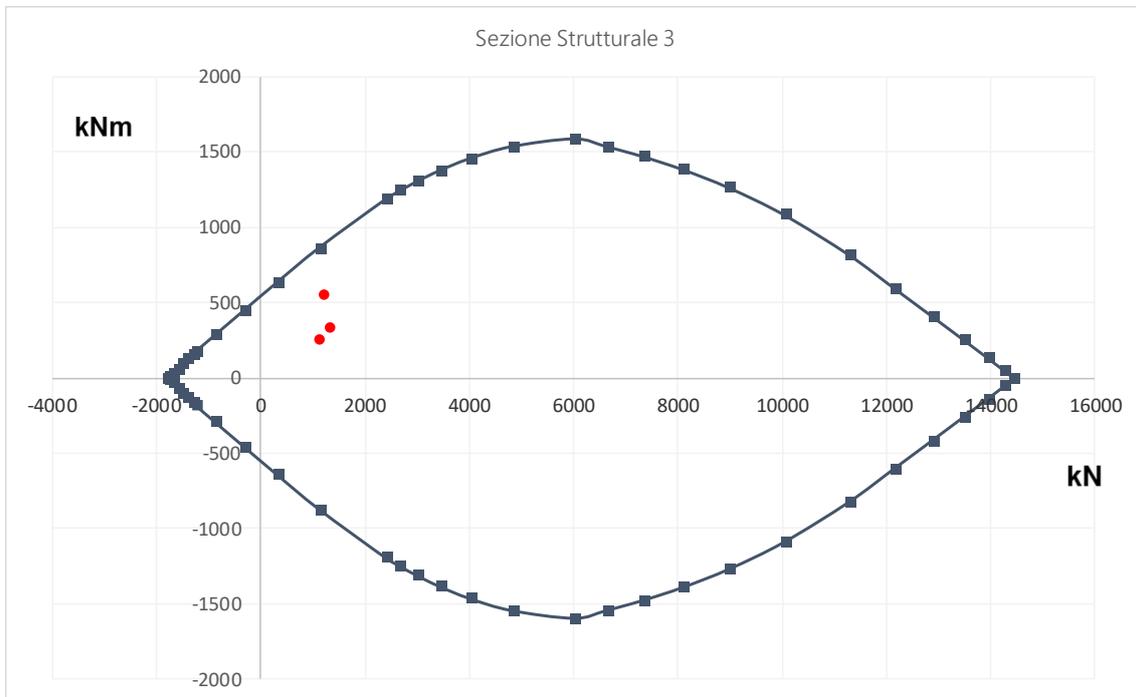
2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

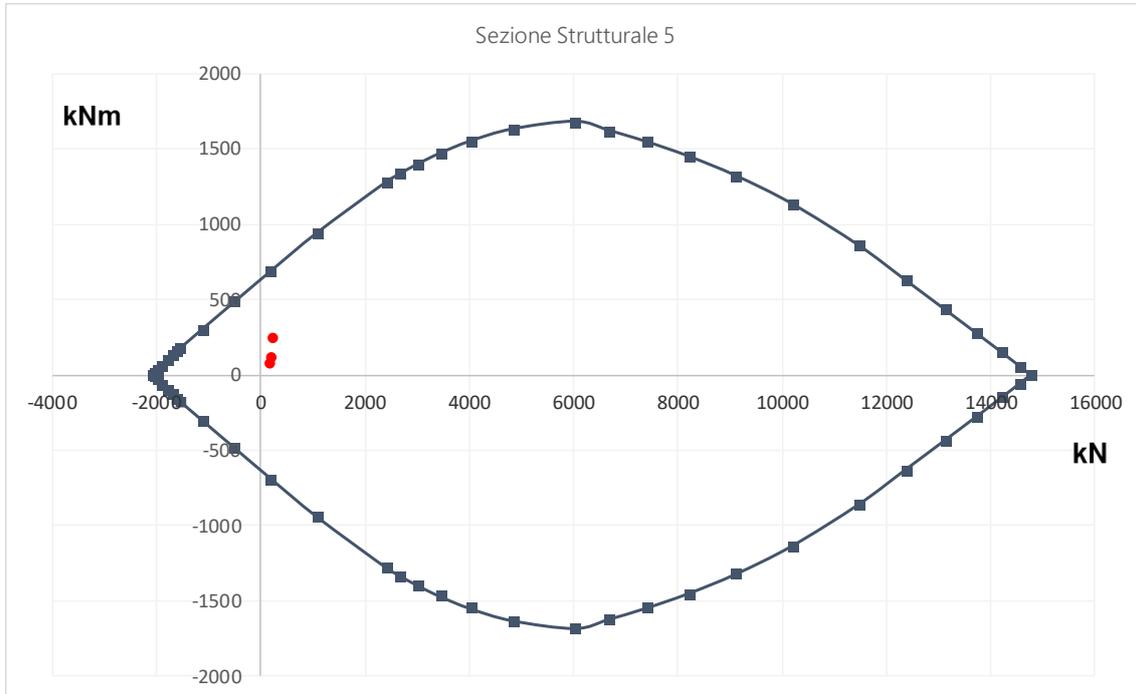
Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.diPag. 26 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------



Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 27 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------



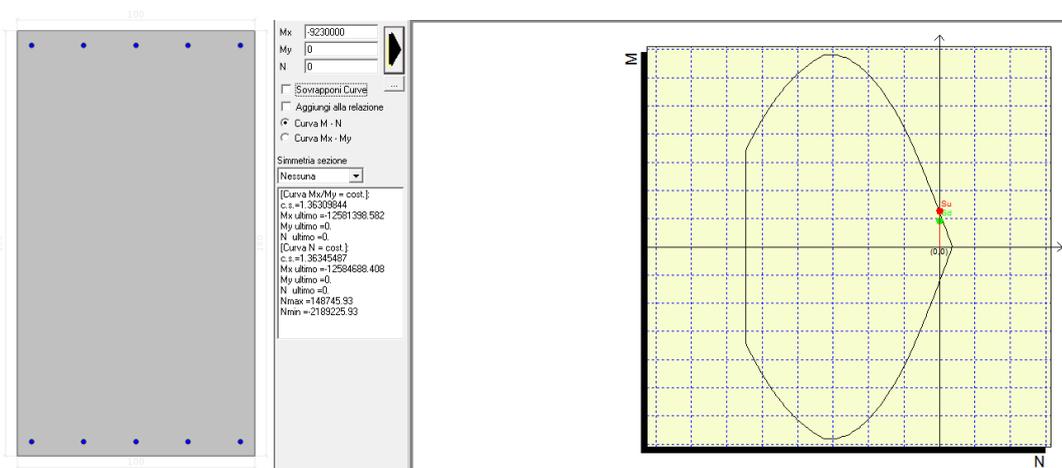
Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 28 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------



PROTESI IN CALCESTRUZZO ARMATO

Si riporta di seguito la verifica a pressoflessione della protesi/puntone. Lo spessore è pari a 1.3 m.

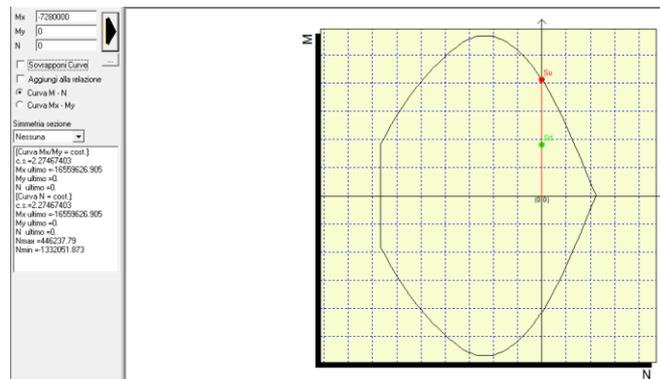
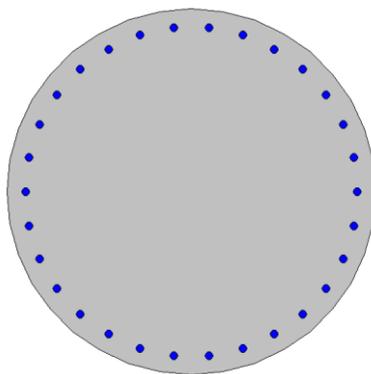
Verifica Protesi - SLU			
Sezione	Verifica a flessione		
	$M_{Ed,max}$	M_{Rd}	Coefficiente Sicurezza
[-]	[kN/m]	[kN/m]	[-]
Protesi	923	1260	1.37



PALI IN CALCESTRUZZO ARMATO – SEZIONE DI TESTA

Si riporta di seguito la verifica a pressoflessione dei pali. Il diametro del palo è pari a $\phi 1000$ l'interasse è pari ad 1.1 m.

Verifica Pali - SLU			
Sezione	Verifica a flessione		
	$M_{Ed,max}$	M_{Rd}	Coefficiente Sicurezza
[-]	[kN/m]	[kN/m]	[-]
Testa Palo	728	1650	2.27



Si evidenzia un coefficiente di sicurezza nei riguardi del momento flettente pari a 2.01, pertanto le verifiche risultano soddisfatte.

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:

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

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

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

$\rho_1 = A_{s1}/(b_w \cdot d)$ 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, come riportato nelle seguenti tabelle:

Sollecitazioni Rivestimento Definitivo			SLU		SLV		Verifica	
Sezione [-]	Sezione strutturale [-]	s [m]	N_{Ed} [kN/m]	T_{Ed} [kN/m]	N_{Ed} [kN/m]	T_{Ed} [kN/m]	T_{Rd} [kN/m]	Coefficiente di sicurezza [-]
Artificiale	1	0.80	520	585	950	470	780	1.33
	2	0.70	169	26	400	30	350	11.67
	3	0.70	1690	416	1750	730	760	1.04
	4	0.70	1014	91	700	100	350	3.50
	5	0.70	780	65	600	170	350	2.06
Artificiale tra pali	1	0.80	585	330	1350	315	780	2.36
	2	0.70	325	26	700	140	350	2.50
	3	0.70	1105	130	540	330	760	2.30
	4	0.70	1300	78	-250	150	350	2.33
	5	0.70	819	26	700	90	350	3.89

VERIFICA PALI

Per la verifica a taglio del palo in fase di scavo, si considera un spirale $\phi 14/10$ cm per una profondità pari a 10 metri circa. Pertanto si ha:

Verifica Pali - SLU		
Verifica a taglio		
$T_{Ed,max}$	T_{Rd}	Coefficiente Sicurezza
[kN/m]	[kN/m]	[-]
495	762	1.54

VERIFICA PROTESI

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

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc. REL	N,prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 31 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

Per la verifica a taglio della protesi in fase di scavo si ha:

Verifica Protesi - SLU		
$T_{Ed,max}$	T_{Rd}	Coefficiente Sicurezza
[kN/m]	[kN/m]	[-]
1014	1260	1.24

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_d	Stato limite	w_d
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:

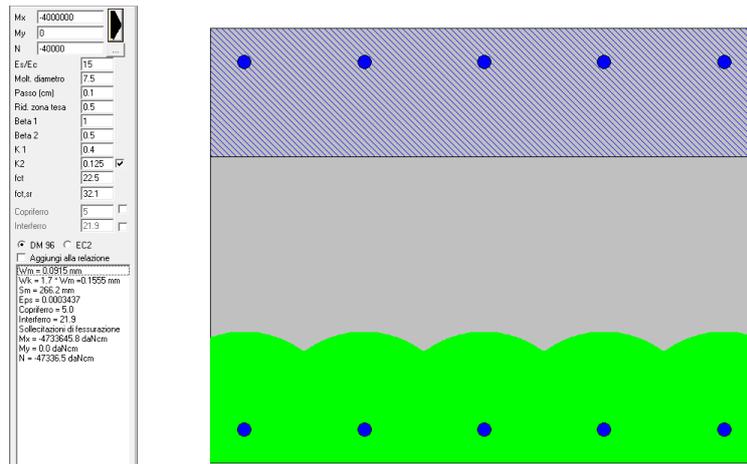
- combinazione frequente: $w_2 = 0.3$ mm
- combinazione quasi permanente: $w_1 = 0.2$ mm

Si riportano di seguito le verifiche di apertura delle fessure per i rivestimenti definitivi, per i casi più gravosi delle sezioni Tipo A (Artificiale in scavo) e Tipo B (Artificiale tra pali).

VERIFICA SEZIONE TIPO A e TIPO B

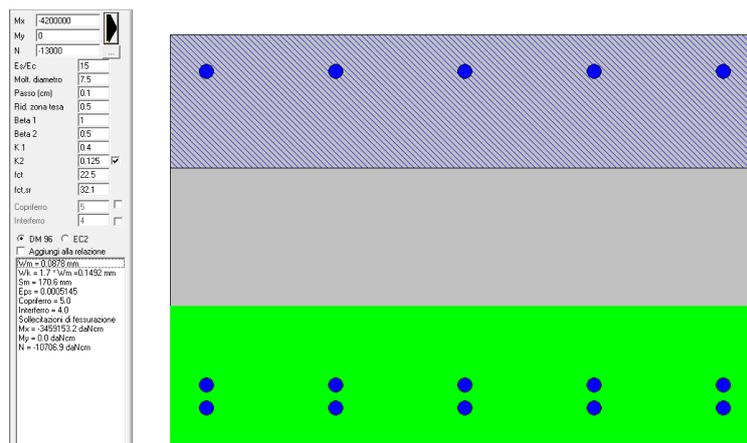
Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 33 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

- Per la sezione strutturale 1 l'apertura delle fessure sotto la combinazione più gravosa allo stato limite di esercizio è pari a 0.155 mm, il limite più restrittivo è pari a 0.200 mm, pertanto la verifica è soddisfatta. Si riporta il risultato della verifica:



Sezione strutturale 1

- Per la sezione strutturale 2 l'apertura delle fessure sotto la combinazione più gravosa allo stato limite di esercizio è pari a 0.149 mm, il limite più restrittivo è pari a 0.200 mm, pertanto la verifica è soddisfatta. Si riporta il risultato della verifica:

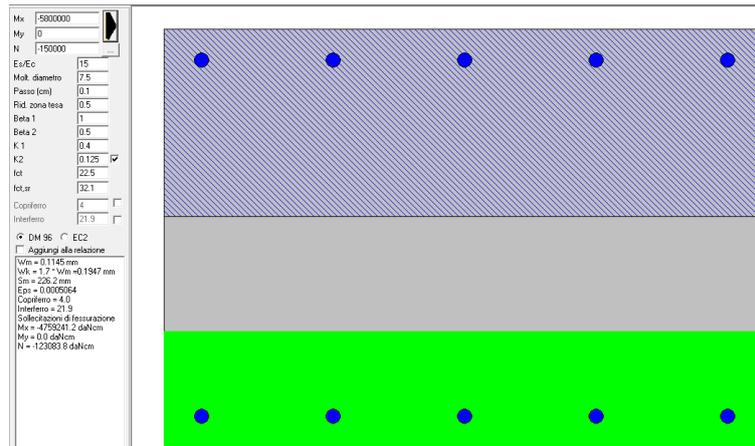


Sezione strutturale 2

- Per la sezione strutturale 2 l'apertura delle fessure sotto la combinazione più gravosa allo stato limite di esercizio è pari a 0.149 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 GA2800	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 34 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

- Per la sezione strutturale 3 l'apertura delle fessure sotto la combinazione più gravosa allo stato limite di esercizio è pari a 0.195 mm, il limite più restrittivo è pari a 0.200 mm, pertanto la verifica è soddisfatta. Si riporta il risultato della verifica:



Sezione strutturale 3

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 35 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

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:

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

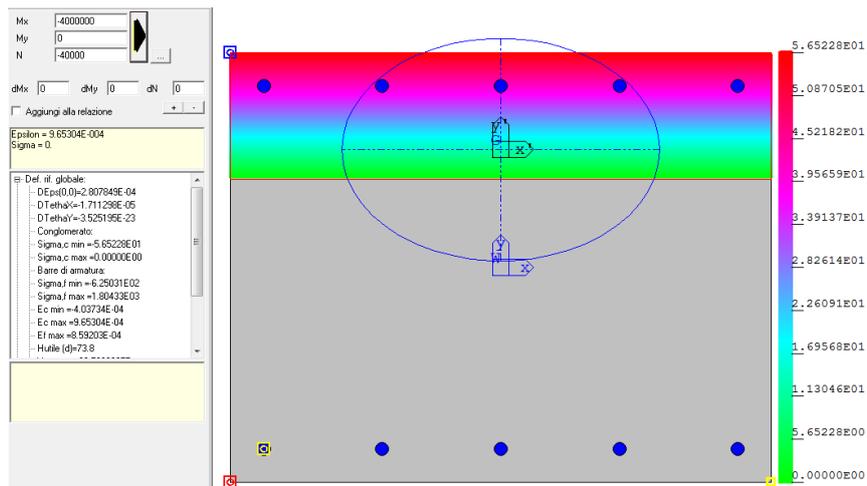
$$\sigma_c \leq 0.45 f_{ck} = 14.4 \text{ MPa} \quad \text{per combinazione quasi permanente;}$$

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

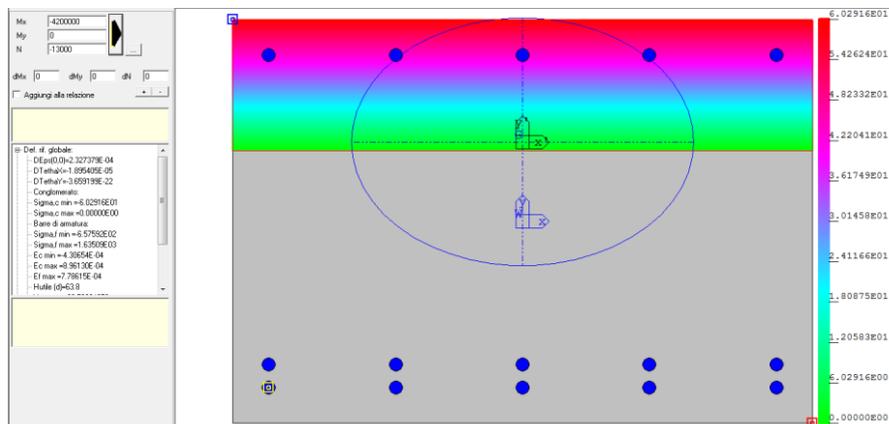
Le verifiche sono state condotte, cautelativamente, in funzione delle sollecitazioni derivanti dall'involuppo delle combinazioni allo stato limite di esercizio che sono state direttamente verificate nei confronti del limite tensionale più restrittivo riportato in normativa (0.45 fck per il calcestruzzo).

Si riportano i casi più gravosi

VERIFICA SEZIONE TIPO A e TIPO B

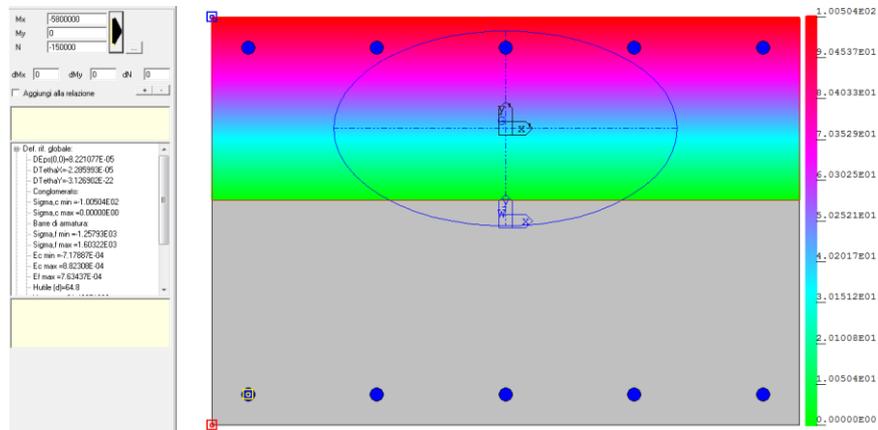


Sezione strutturale 1



Sezione strutturale 2

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 36 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------



Sezione strutturale 3

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.