

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI
 DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI
 DIRETTRICE SUD - PROGETTO ADRIATICA

DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

Mandataria

Mandanti



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA

MANDANTI



PROGETTO ESECUTIVO

LINEA PESCARA - BARI
 RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA
 LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA

IN – SISTEMAZIONI IDRAULICHE
 IN13 – Relazione di calcolo canale

L'Appaltatore

Ing. Gianguido Babini

A.A.D'AGOSTINO COSTRUZIONI GENERALI S.r.l.
 Il Direttore Tecnico
 (Ing. Gianguido Babini)

I progettisti (il Direttore della progettazione)

Ing. Massimo Facchini

Data Nov. 2023

firma

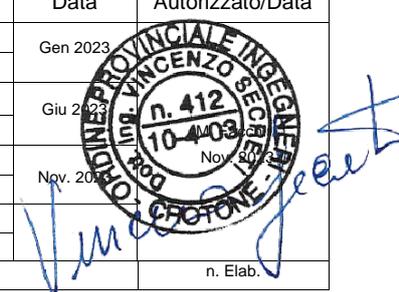
Data Nov. 2023

firma



COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA / DISCIPLINA	PROGR	REV	SCALA
L I O B	0 2	E	Z Z	C L	I N 1 3 0 0	0 0 1	C	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	Prima emissione	C.Cofone	Gen 2023	O.Caruso	Gen 2023	V.Secreti	Gen 2023	
B	Revisione	F.Pagliuso	Giu 2023	O.Caruso	Giu 2023	V.Secreti	Giu 2023	
C	Revisione	F.Pagliuso	Nov. 2023	O.Caruso	Nov. 2023	V.Secreti	Nov. 2023	



INDICE

1.	PREMESSA	4
1.1	BREVE DESCRIZIONE DELL'OPERA	4
1.2	TIPO DI ANALISI SVOLTA E SOFTWARE DI CALCOLO.....	5
1.3	SOFTWARE DI CALCOLO - MIDAS GTS NX	5
1.4	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	7
2.	MATERIALI	8
3.	CRITERI DI VERIFICA	9
3.1	VERIFICHE DI RESISTENZA (SLU)	10
3.2	VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO.....	13
4.	DIMENSIONAMENTO CANALE IN C.A.	14
4.1	MODELLO DI CALCOLO.....	14
4.2	MODELLO COSTITUTIVO E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO	15
4.3	MODELLO STRUTTURALE CANALE IN C.A.	17
4.4	GEOMETRIA	20
4.5	AZIONE SISMICA	20
4.6	ANALISI DEI CARICHI	22
4.7	FASI DI CALCOLO	23
4.8	CONDIZIONI DI CARICO	26
4.9	RISULTATI DI CALCOLO.....	27
4.10	VERIFICHE STRUTTURALI.....	31
4.11	INCIDENZA DELLE ARMATURE.....	40

<p>MANDATARIA HUB ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.</p> <p>MANDANTI HYpro S.P.A.</p>	<p>LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</p>										
<p>IN13 – Relazione di calcolo canale</p>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	13	00	001	C	3

4.12 VERIFICHE GEOTECNICHE (CARICO LIMITE VERTICALE) 42

IN13 – Relazione di calcolo canale

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	13	00	001	C	4

1. PREMESSA

La presente relazione tecnica contiene il dimensionamento del canale delle Canne al km 9+901 in c.a. denominato IN13, previsto nell'ambito dell'appalto relativo ai "Lavori di RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA, rientrante nella categoria di opere d'arte minori.

1.1 BREVE DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'opera d'arte minore che sarà realizzata è rappresentata dal nuovo canale trapezoidale che si svilupperà al di sotto del nuovo viadotto VI06..

Il canale presenta una forma trapezia aperta di base 9.00m e altezza di 2.30m.

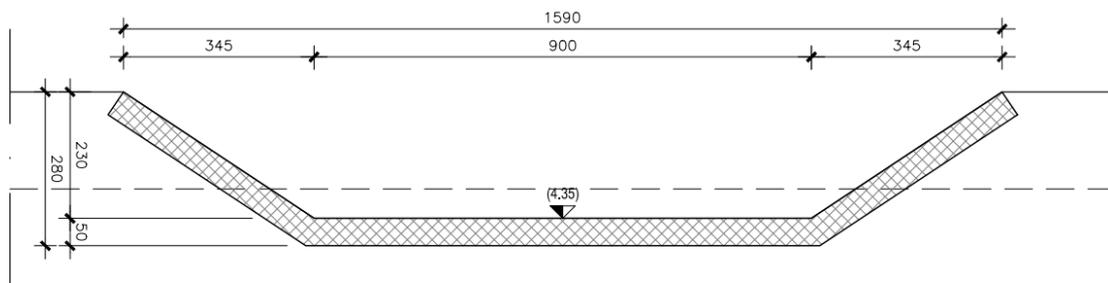
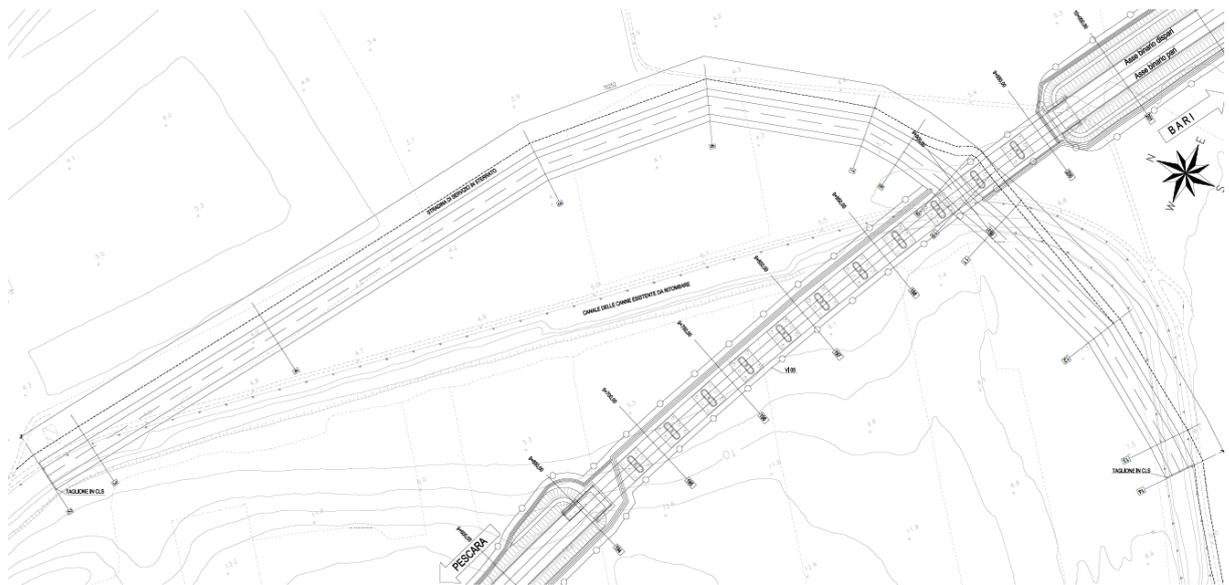


Figura 1-1 Planimetria e Sezione tipologica del canale.

MANDATARIA  CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI 	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA IN 13 00			PROGR 001

1.2 TIPO DI ANALISI SVOLTA E SOFTWARE DI CALCOLO

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio del il codice agli elementi finiti MIDAS GTS NX, rilasciato dalla CSPFea. In particolare, con tale software, sono state determinate le sollecitazioni e le deformazioni interne del canale; inoltre, è stato possibile valutare l'entità dei fenomeni di subsidenza a seguito dell'esecuzione degli scavi.

Contestualmente, le verifiche strutturali delle sezioni, sono state condotte con il software dedicato SAX v.10, sviluppato dalla Aztec Informatica Srl.

La struttura viene discretizzata in elementi tipo trave (beam) mutuamente incastrati.

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 - D.M. 14-01-08 (Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008).

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite.

Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

1.3 SOFTWARE DI CALCOLO - MIDAS GTS NX

MIDAS GTS NX è un sofisticato software per l'analisi della meccanica dei terreni, dotato di sofisticate analisi 3D per stress analysis, interazione terreno struttura, scavi, stabilità dei pendii, analisi dinamiche e sismiche, moti di filtrazione transienti e stazionari, consolidamenti, cedimenti. Il programma dispone di un ambiente grafico intuitivo e moderno con modellazione diretta di geometrie di notevole complessità. Definita la geometria, applicati i carichi e le condizioni al contorno può essere generata la mesh di elementi finiti che risulta gestibile separatamente in modo da non perdere completamente i dati inseriti per effetto di eventuali modifiche della mesh. La maglia di discretizzazione può essere composta da elementi tetraedrici oppure da elementi ibridi esaedrici centrati. La parte più importante nella generazione della mesh è il collegamento dei nodi fra solidi o elementi adiacenti. È possibile specificare direttamente le dimensioni della mesh e fissare la discretizzazione dei bordi che formano i solidi del modello prima della sua generazione automatica.

SEQUENZA DI LAVORO

MANDATARIA  CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI 	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR
	LI0B		02	E	ZZ	CL	IN	13	00	001	C

La sequenza di lavoro del software Midas GTS si articola in cinque fasi elencate di seguito:

- Modellazione geometrica.

Il primo passo per compiere una analisi agli elementi finiti è la generazione del modello geometrico. Il modello geometrico può essere direttamente creato in MIDAS usando le sue funzioni di modellizzazione o vi è anche la possibilità di importare file con altri programmi come ad esempio AUTOCAD. Dal momento che MIDAS GTS fornisce avanzate caratteristiche per la modellazione geometrica, modelli geotecnici complessi possono essere realizzati più efficacemente rispetto ad altri software di analisi geotecnica. La stratigrafia e la posizione nello spazio della falda possono essere definite note le coordinate dei punti.

- Generazione della mesh.

La mesh è generata sul modello geometrico creato precedentemente. Possono essere adoperati elementi mono, bi o tridimensionale. Gli elementi piani disponibili sono triangoli a tre o sei nodi e quadrilateri a 4 o 8 nodi. Tridimensionalmente possono essere utilizzati elementi tetraedrici o esaedrici. Generalmente, l'uso degli elementi esaedrici o quadrangolari permette di raggiungere una maggiore accuratezza. Comunque, per un modello complesso, è ragionevole usare elementi tetraedrici o triangolari prodotti dalla funzione di Auto-Mesh fornita dal software.

Nel caso di elementi bidimensionali o tridimensionali, la dimensione e la forma influenza notevolmente i risultati. La densità della mesh può essere controllata manualmente (fissando una divisione di elementi monodimensionali o aree con maggiore definizione) o tramite strumenti automatici.

- Condizioni di analisi.

I carichi e le condizioni al contorno possono essere applicate oltre che ai nodi e agli elementi, direttamente sulle forme geometriche, venendo incontro a problemi di forme notevolmente complesse. Le condizioni di carico possono essere suddivise come segue:

- Carichi distribuiti uniformi o di forma con funzione definita, su elementi e nodi.
- Pressioni distribuite uniformi o di forma con funzione definita, su forme geometriche.
- Forze concentrate.
- Deformazioni impresse.

 	<p>LINEA PESCARA – BARI</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA</p> <p>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</p>										
	<p>IN13 – Relazione di calcolo canale</p>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
LI0B		02	E	ZZ	CL	IN	13	00	001	C	7

- Gradienti termici.
- Carico gravitativo sull'intera struttura.
- Definizione di accelerogrammi sismici per analisi dinamiche.

Le analisi principali che il programma offre sono:

- Analisi statiche lineari e non
- Analisi Dinamiche
- Analisi agli autovalori
- Analisi di consolidazione
- Analisi di filtrazione accoppiata e non
- Construction Stages GTS
- Post-processing e valutazione dei risultati.

I risultati ottenuti vengono elaborati e forniti sia graficamente, tramite modelli idealizzati, sia per mezzo di diagrammi e tabelle. L'estrapolazione dei dati può avvenire tramite definizione del campo da analizzare e della grandezza d'interesse. Graficamente è possibile ottenere sezioni, viste generali o filmati evidenziando superfici.

1.4 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

I riferimenti normativi per la redazione della presente relazione di calcolo sono i seguenti:

- [N.1]. D.M. 05/11/01 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade";
- [N.2]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 147/01/2008 (NTC-2008);
- [N.3]. ORD. P.C.M. n°3274 del 20.03.2003 e s.m.i.: "Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- [N.4]. D.M. 11.03.1988: "Indagini sui terreni e sulle rocce";
- [N.5]. L.R. 11/7/94 n° 17: "Snellimento delle procedure precisate dalla L. 64/74 per costruzioni in zone sismiche";
- [N.6]. D.lgs 50/2016 e successive modificazioni e integrazioni: Nuova normativa sui LL.PP;

 	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
	IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
LI0B		02	E	ZZ	CL	IN	13	00	001	C	8

- [N.7]. Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico 17 aprile 2008 “Regola tecnica per la progettazione, costruzione, collaudo, esercizio e sorveglianza delle opere e degli impianti di trasporto di gas naturale con densità non superiore a 0,8;
- [N.8]. Istruzioni delle Ferrovie dello Stato FS 44a_cavalcavia su sede ferroviaria;
- [N.9]. L.R. 04/1998, n°7: Disciplina per le costruzioni ricadenti in zone sismiche. Snellimento delle procedure in attuazione dell’art. 20 della Legge 10 Dicembre 1981, n°741;
- [N.10]. RFI DTC SI PS MA IFS 001 B - Manuale di Progettazione delle Opere Civili del 22/12/2017.

2. MATERIALI

Per la realizzazione del canale è stato scelto un calcestruzzo C32/40 aventi le seguenti caratteristiche:

Resistenza a compressione (cilindrica)	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 33.20 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \cdot f_{ck} / 1.5 = 18.81 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione media	$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 3.10 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione caratteristica	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.17 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.45 \text{ N/mm}^2$
Modulo elastico	$E_{cm} = 22000 [(f_{ck}+8)/10]^{0.3} = 33642.78 \text{ N/mm}^2$
Classe di esposizione	XA1+XS1
Classe minima di consistenza	S4
Copriferro	5 cm
Rapporto acqua-cemento (a/c)	0.50
Diametro massimo inerti	25 mm

Per le armature metalliche si adottano barre in acciaio del tipo B450C controllato in stabilimento che presentano le seguenti caratteristiche:

- Limite di snervamento: $f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
- Limite di rottura: $f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
- Fattore di sicurezza acciaio: $\gamma_s = 1.15$
- Resistenza a trazione di calcolo: $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391.30 \text{ N/mm}^2$

 	<p style="text-align: center;">LINEA PESCARA – BARI</p> <p style="text-align: center;">RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA</p> <p style="text-align: center;">LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</p>										
	IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
LI0B		02	E	ZZ	CL	IN	13	00	001	C	9

3. CRITERI DI VERIFICA

Il dimensionamento dell'opera è stato condotto in ottemperanza alle prescrizioni normative di riferimento secondo i criteri del metodo semiprobabilistico agli stati limite basato sull'impiego dei coefficienti parziali. Nel metodo agli stati limite, la sicurezza strutturale nei confronti degli stati limite ultimi deve essere verificata confrontando la capacità di progetto R_d , in termini di resistenza, duttilità e/o spostamento della struttura o della membratura strutturale, funzione delle caratteristiche meccaniche dei materiali che la compongono (X_d) e dei valori nominali delle grandezze geometriche interessate (ad), con il corrispondente valore di progetto della domanda E_d , funzione dei valori di progetto delle azioni (F_d) e dei valori nominali delle grandezze geometriche della struttura interessate. La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi (SLU) è espressa dall'equazione:

$$R_d \geq E_d$$

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

Tabella 5.2.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, eccezionali e sismica

		Coefficiente	$EQU^{(1)}$	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 ⁽⁵⁾	0,20 ⁽⁵⁾
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁶⁾	1,00 ⁽⁷⁾	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
⁽³⁾ Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.
⁽⁴⁾ Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.
⁽⁵⁾ Aliquota di carico da traffico da considerare.
⁽⁶⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁷⁾ 1,20 per effetti locali

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.</small>	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA IN 13 00			PROGR 001

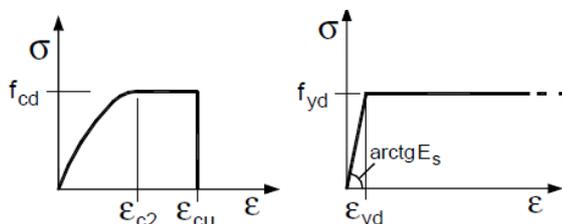
3.1 VERIFICHE DI RESISTENZA (SLU)

Pressoflessione

Per la valutazione della resistenza ultima delle sezioni di elementi monodimensionali si adottano le seguenti ipotesi:

- Conservazione delle sezioni piane;
- Perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo;
- Resistenza a trazione del calcestruzzo nulla;
- Rottura del calcestruzzo determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima a compressione;
- Rottura dell'armatura tesa determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima.

Si assumeranno come diagrammi tensione-deformazione i diagrammi parabola-rettangolo e elastico perfettamente plastico per calcestruzzo e acciaio, rispettivamente.



Per la classe di calcestruzzo adoperata i valori di deformazione ϵ_{c2} e ϵ_{cu} valgono rispettivamente 0.2% e 0.35%. La deformazione ultima ϵ_{yd} dell'acciaio è pari all'1%.

Con riferimento alla sezione pressoinflessa in figura, la verifica di resistenza si conduce controllando che:

$$M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

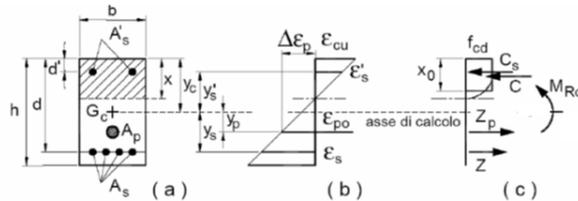
Dove:

M_{Rd} è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a N_{Ed} ;

M_{Ed} è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione.

IN13 – Relazione di calcolo canale

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	13	00	001	C	11



Elementi senza armature trasversali resistenti al taglio

Se, sulla base del calcolo, non è richiesta armatura al taglio, è comunque necessario disporre un'armatura minima secondo quanto previsto al punto 4.1.6.1.1 delle NTC'08. È consentito omettere tale armatura minima in elementi quali solai, piastre e membrature a comportamento analogo, purché sia garantita una ripartizione trasversale dei carichi.

La verifica di resistenza (SLU) si pone con:

$$VR_d > VEd$$

dove VEd è il valore di progetto dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza di progetto a taglio si valuta con la seguente relazione:

$$V_{Rd} = \left\{ \frac{1}{\gamma_c} 0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

con:

f_{ck} : resistenza caratteristica allo snervamento dell'acciaio, espressa in MPa;

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2$$

$$v_{\min} = 0.035 \cdot \sqrt{k^3 \cdot f_{ck}}$$

e dove:

- d : altezza utile della sezione, espressa in mm;
- ρ_l : rapporto geometrico di armatura longitudinale espresso mediante la seguente relazione:

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.</small>	MANDANTI HY pro <small>S.P.A.</small>	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA								
		IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA IN 13 00		PROGR 001

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} < 0.02$$

σ_{cp} : tensione media di compressione nella sezione espressa mediante la seguente relazione:

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0.2 f_{cd}$$

b_w : larghezza minima della sezione;

Elementi con armature trasversali resistenti al taglio

La resistenza di progetto a taglio V_{Rd} di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione Θ dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$1 < \cotg \Theta < 2.5$$

La verifica di resistenza (SLU) si pone con:

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

dove V_{Ed} è il valore di progetto dello sforzo di taglio agente. Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

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

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con:

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

La resistenza di progetto a taglio della trave è la minore delle due sopra definite:

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}; V_{Rcd})$$

dove:

 	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
	IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
LI0B		02	E	ZZ	CL	IN	13	00	001	C	13

- d: altezza utile della sezione;
- bw: larghezza minima della sezione;
- σ_{cp} : tensione media di compressione della sezione;
- A_{sw} : area dell'armatura trasversale;
- s: interasse tra due armature trasversali consecutive;
- α : angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;
- u_{fcd} : resistenza di progetto a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ($u = 0.5$);
- α : coefficiente maggiorativo pari a:

1	per membrane non compresse
$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$	per $0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$
1,25	per $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$
$2,5 (1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$	per $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$

3.2 VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO

I valori delle proprietà meccaniche da adoperare nell'analisi sono quelli caratteristici e i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri di resistenza sono sempre unitari.

Per le verifiche in condizioni sismiche si fa riferimento allo Stato Limite di Danno (SLD).

Verifica delle tensioni di esercizio

Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio

In accordo al Manuale di Progettazione RFI, la massima tensione di compressione del calcestruzzo $\sigma_{c,max}$, deve rispettare la limitazione seguente:

- $\sigma_{c,max} < 0.55 f_{ck}$ per combinazione caratteristica;
- $\sigma_{c,max} < 0.40 f_{ck}$ per combinazione quasi permanente;

Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio

MANDATARIA HUB ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA IN 13 00	PROGR 001	REV C	FOGLIO 14

In accordo al Manuale di Progettazione RFI, la tensione massima, $\sigma_{s,max}$, per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica (rara) deve rispettare la limitazione seguente:

$$- \sigma_{s,max} < 0.75 f_{yk}$$

Stato limite di fessurazione

La classe di esposizione di progetto è la XA1+XS1.

Tale classe di esposizione rientra nelle condizioni ambientali aggressive, come desumibile dalla tabella sottostante:

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

Nel caso in esame, l'apertura convenzionale delle fessure in condizioni aggressive dovrà risultare:

$$\delta_f \leq w_1 = 0,2 \text{ mm (combinazione di carico caratteristica)}$$

Alla luce delle condizioni ambientali di progetto e della classe di calcestruzzo impiegata è stato assunto un copriferro di 5cm.

4. DIMENSIONAMENTO CANALE IN C.A.

4.1 MODELLO DI CALCOLO

Il modello di calcolo ha dimensioni 106m*45m discretizzato con una mesh ibrida (elementi quadrangolari e rettangolari), composta da n° nodi 18884 e n° elementi 4842.

IN13 – Relazione di calcolo canale

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	13	00	001	C	15

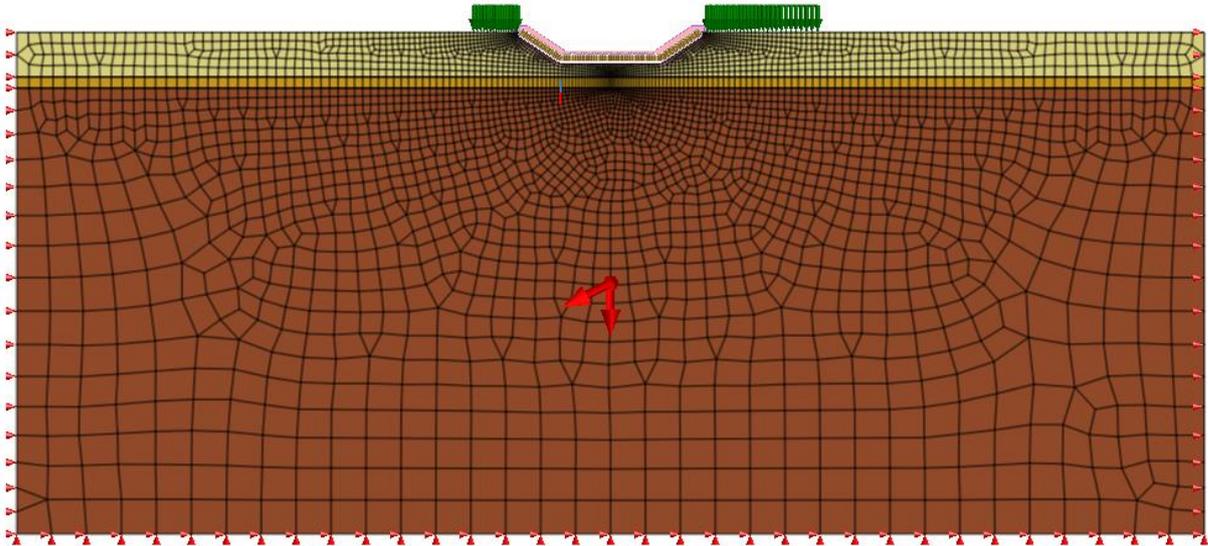


Figura 4-1: Modello di calcolo.

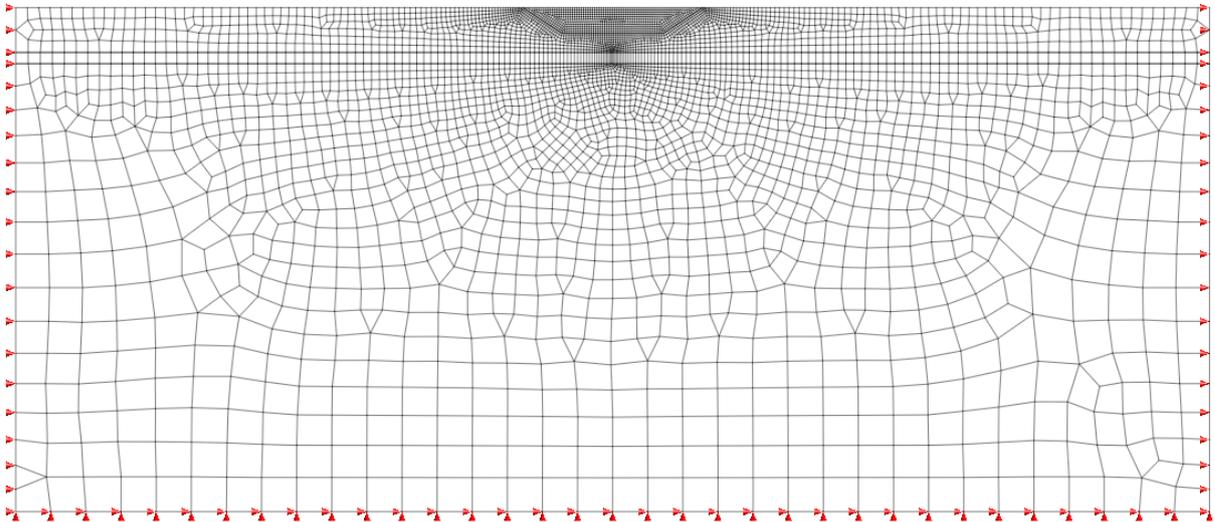


Figura 4-2: Mesh di calcolo e vincoli al contorno.

Il software prevede il controllo della dimensione della mesh sui vari elementi mediante il comando “Size control”. Pertanto, sono state specificate le dimensioni della mesh lungo gli elementi che necessitano di una più accurata definizione ovvero in corrispondenza della scarpata con un passo di 0.20m.

4.2 MODELLO COSTITUTIVO E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

MANDATARIA HUB ENGINEERING CONSORZIO STABLE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI HY pro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA								
		IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA IN 13 00		PROGR 001

Il codice di calcolo consente di adottare un modello di comportamento del terreno elastico-perfettamente plastico basato sul criterio di rottura di Mohr-Coulomb, con legge di flusso associata.

La funzione di plasticizzazione f definita dal criterio di rottura consente di individuare quelle zone di terreno in cui lo stato tensionale ha superato il limite al di sotto del quale il materiale mantiene un comportamento elastico e che sono quindi soggette a sollecitazioni tali da comportare deformazioni irreversibili nell'ammasso. La funzione di plasticizzazione può essere espressa come:

$$f = |\tau| + \sigma_n \tan \phi - c = 0$$

Dove:

- τ = tensione a taglio limite;
- σ_n = tensione normale al piano di plasticizzazione;
- ϕ = angolo di attrito interno;
- c = coesione.

Esprimendo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb usando le tensioni principali σ_1 , σ_2 , σ_3 , la funzione di plasticizzazione può essere riscritta come:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = -\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sin \phi + c \cos \phi$$

$$\sigma_1 \frac{1 + \sin \phi}{2c \cos \phi} - \sigma_3 \frac{1 - \sin \phi}{2c \cos \phi} = 1$$

$$\frac{\sigma_1}{f'_t} - \frac{\sigma_3}{f'_c} = 1$$

Tale criterio è rappresentato, nello spazio delle tensioni principali, da una piramide a base esagonale non regolare avente, come asse, la trisettrice del primo ottante:

IN13 – Relazione di calcolo canale

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	13	00	001	C	17

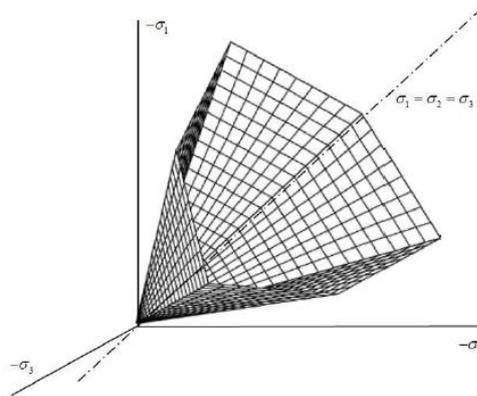


Figura 4-3: Criterio di rottura di Mohr-Coulomb nello spazio delle tensioni.

I vari strati di terreno sono stati modellati come elementi bidimensionali (*plane strain*), impiegando il suddetto modello costitutivo. Si riepilogano in tabella i valori dei parametri geotecnici assunti nel calcolo per ciascuna unità:

Unità	γ [kN/m ³]	Parametri di resistenza		Parametri di deformazione	
		φ' [°]	c' [kPa]	E [kPa]	ν [-]
BA2	20	34.5	0	40000	0.3
BA3	20	24.5	7.5	20000	0.3
GA3	20	25.5	7.5	50000	0.3

Simbologia adottata:

- γ: peso dell'unità di volume;
- φ': angolo di resistenza al taglio;
- c': coesione efficace;
- E: modulo elastico;
- u: modulo di Poisson;

4.3 MODELLO STRUTTURALE CANALE IN C.A.

Il canale viene modellato mediante elementi "beam" mutuamente incastrati e facendo riferimento ad una larghezza unitaria di struttura che viene pertanto risolta come struttura piana.

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.</small>	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA IN 13 00			PROGR 001

In sostanza, tenuto conto della geometria di progetto, si considerano elementi monodimensionali aventi sezione rettangolare di dimensioni 0.50 m (spessore elementi) x 1.00 m (calcolo a metro lineare).



Figura 4-4- Modellazione canale in c.a.

Il materiale utilizzato per la realizzazione del canale (C32/40) viene modellato considerando un legame elastico lineare. Tale legame rappresenta la legge di Hooke dell'elasticità isotropa lineare e richiede due parametri di rigidezza elastici, ossia, il modulo di Young E, ed il coefficiente di Poisson ν , pari a $E=31447$ MPa e $\nu=0.10$.

Per simulare il comportamento fra due elementi a contatto costituiti da differenti materiali, è stata inserito un elemento interfaccia (interface) al canale definito dal fattore R pari a:

$$R = \frac{\tan \delta}{\tan \varphi'}$$

con $\delta = 2/3 \varphi'$



Figura 4-5- Elemento interfaccia al contatto canale in c.a. - terreno a tergo piedritti.

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.</small>	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA IN 13 00			PROGR 001

Inoltre, al fine di incorrere in errori di convergenza nel calcolo è stato inserito un vincolo rigido (rigid link) tra i nodi in corrispondenza del canale in modo da garantire connessione fra i nodi interessati.

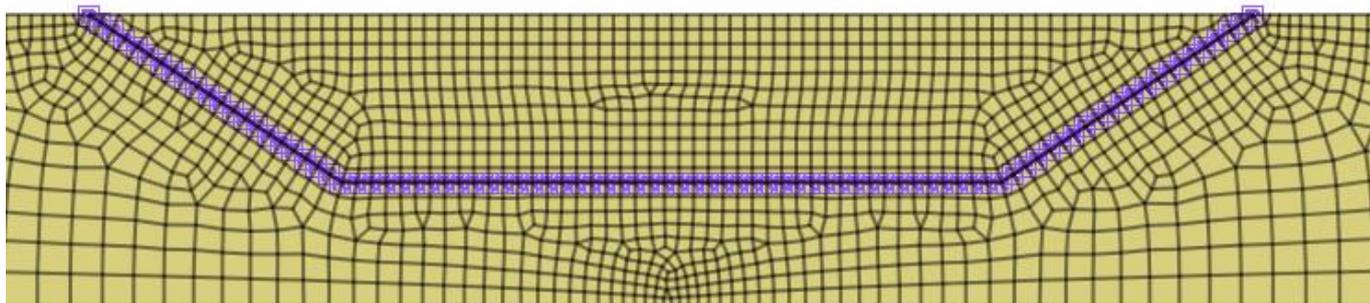


Figura 4-6- Elemento Rigid Link terreno – terreno.

MANDATARIA HUB ENGINEERING CONSORZIO STABLE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA IN 13 00			PROGR 001

4.4 GEOMETRIA

Si riepilogano le dimensioni del canale trapezoidale in progetto:

- Altezza esterna: 2.80 m
- Larghezza interna (fondazione + piedritti): 15.90 m
- Larghezza fondazione (dim. interne): 9.00 m
- Larghezza fondazione (dim. esterne): 9.30 m
- Spessore piedritto sx: 0.50 m
- Spessore piedritto dx: 0.50 m
- Spessore fondazione: 0.50 m

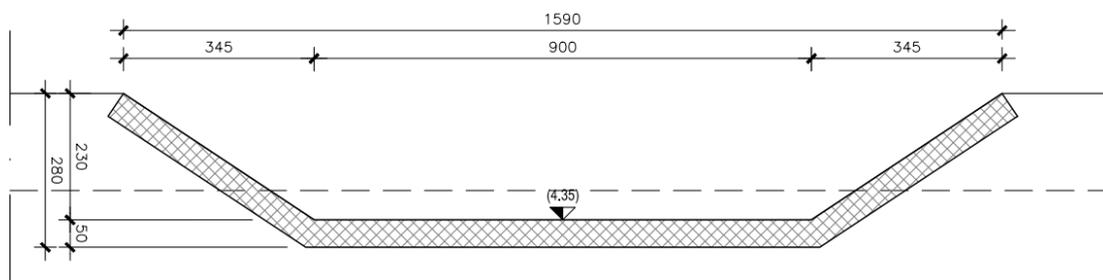


Figura 4-7 – Geometria del canale IN05

4.5 AZIONE SISMICA

Le coordinate relative al tombino scatolare in progetto sono le seguenti:

Latitudine: 41.664799

Longitudine: 14.664799

I parametri utilizzati per la definizione dell'azione sismica sono:

- Vita nominale: $V_N = 75$ anni
- Classe d'uso: III ($C_u=1.5$)
- Periodo di riferimento: $V_R = 75 \times 1.5 = 113$ anni

IN13 – Relazione di calcolo canale

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	13	00	001	C	21

- Categoria stratigrafica: B
- Categoria topografica del sito: T1

L'analisi in condizioni sismiche è eseguita con il metodo pseudo-statico. In particolare, l'azione sismica è definita mediante un'accelerazione equivalente, in accordo con quanto indicato nel capitolo 7 delle NTC 08. Tale accelerazione è proporzionale alla massa mediante due coefficienti, orizzontale e verticali, di seguito definiti:

$$k_h = S_s \cdot S_t \cdot \frac{a_g}{g}$$

$$k_v = \pm \frac{k_h}{2}$$

I risultati ottenuti, sia allo SLU (SLV) e sia allo SLE (SLD), sono riportati nella figura sottostante:

Opzioni sisma

D.M. 1996
Coefficiente di intensità sismica %: 7.00

N.T.C. 2008

	SLU	SLE
Accelerazione al suolo a_g [m/s ²]	3.124	1.192
Accelerazione al suolo a_g [% di g]	0.318	0.121
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F0	2.417	2.416
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante Tc*	0.385	0.331
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico S _s	Tipo B	1.092
Coefficiente di riduzione (β _m)	C	1.000
Coeff. amplificazione topografica S _T	T1	1.000
Kh = a_g/g * S_s * S_t * β_m		
Coeff. di intensità sismica orizzontale Kh [%]	34.781	14.576
Intensità sismica Verticale/Orizzontale	0.50	
Forma diagramma incremento sismico	<input type="radio"/> Triangolare <input checked="" type="radio"/> Rettangolare	
Calcolo incremento sismico	<input checked="" type="radio"/> Mononobe-Okabe <input type="radio"/> Wood	

<< Importa parametri sismici >> Dettagli >>

Accetta Annulla Help

MANDATARIA HUB ENGINEERING CONSORZIO STABLE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA IN 13 00			PROGR 001

4.6 ANALISI DEI CARICHI

Nel modello sono stati applicati i seguenti carichi:

Carico n°1: Peso Proprio (G_{11} - Permanente)

Carico n°2: Spinta terreno (G_{12} - Permanente)

Carico n° 3: Carico cantiere (Q_{k1} - Variabile)

Si considera cautelativamente un carico uniformemente distribuito di 10 kPa a tergo del piedritto di dx al fine di simulare le lavorazioni.

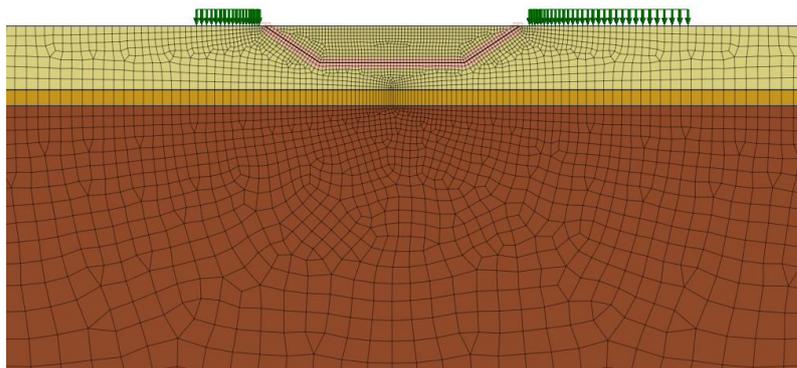


Figura 4-8 – Carico n.3.

Carico n° 4: Carico stradina di servizio (Q_{k2} - Variabile)

Si considera cautelativamente un carico uniformemente distribuito di 10 kPa, per un estensione di 4m, che rappresenta i carichi da traffico in corrispondenza della stradina di servizio.

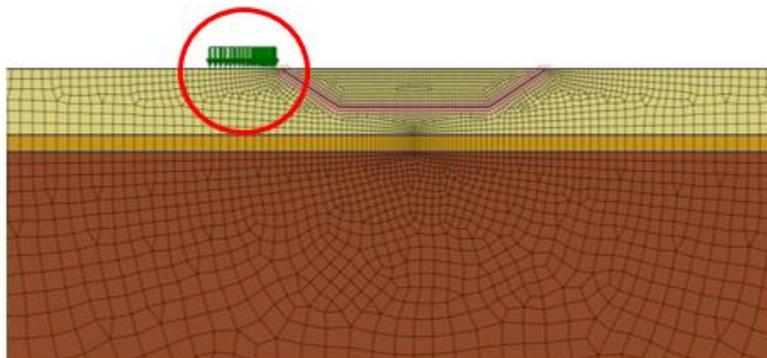


Figura 4-9 – Carico n.4.

 	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
	IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
	LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	13	00	001	C	23

Carico n°5: Sisma (E)

Si rimanda al par. 4.5 della presente relazione

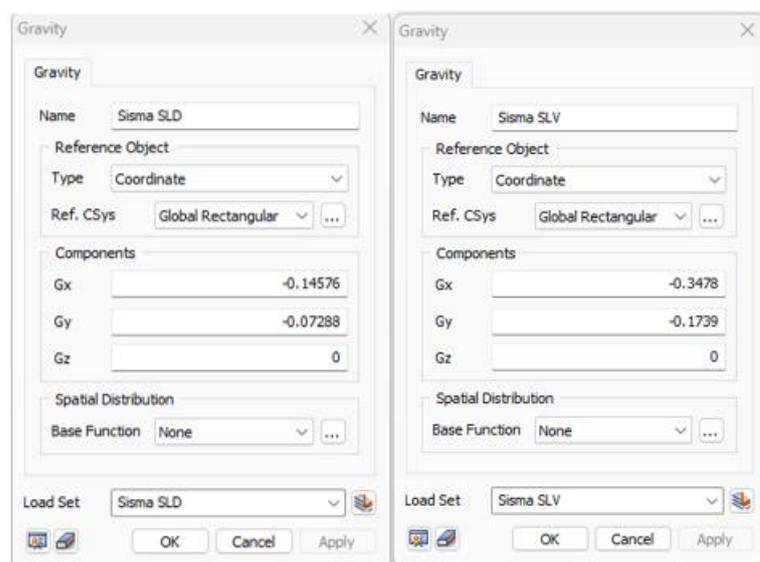


Figura 4-10 – Input parametri per azione sismica (output da software di calcolo).

4.7 FASI DI CALCOLO

L'analisi è stata condotta per fasi di calcolo mediante la funzione "Construction stage" implementata all'interno del software. Si elencano di seguito le fasi di calcolo.

Fase 1: Generazione dello stato tensionale iniziale per incremento della gravità (*k0-procedure*)

Nella seguente fase sono stati attivati tutti gli strati di terreno, i vincoli al contorno (mediante il comando "Constraint auto"), il rigid link ed il peso proprio.

Ai vari strati di terreno è stato associato il coefficiente di spinta a riposo calcolato mediante la formula di Jacky:

$$k_0 = 1 - \text{sen } \phi'$$

Terreno	k_0
----------------	-------------------------

MANDATARIA HUB ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI HY pro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA IN 13 00			PROGR 001

BA2	0.434
BA3	0.585
GA3	0.569

Contestualmente sono stati annullati gli spostamenti/deformazioni prodotte dalla seguente fase in quanto privi di significato fisico in modo che la fase di calcolo successiva avesse inizio da un campo di spostamenti nullo.

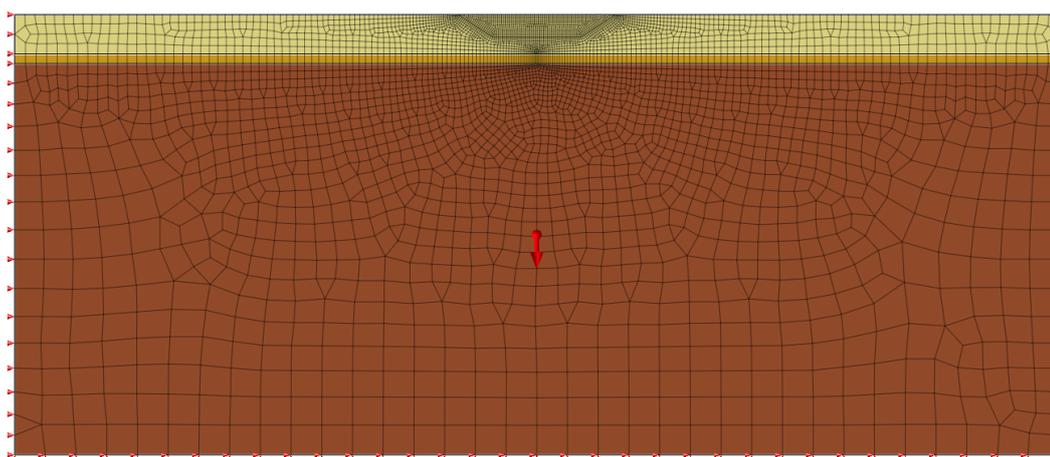


Figura 4-11 – Fase 1.

Fase 2: Esecuzione scavo

Nella seguente fase viene simulato lo scavo propedeutico alla realizzazione del canale in c.a. Sono stati applicati i carichi variabili di cui al par. 4.6 della presente relazione.

IN13 – Relazione di calcolo canale

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	13	00	001	C	25

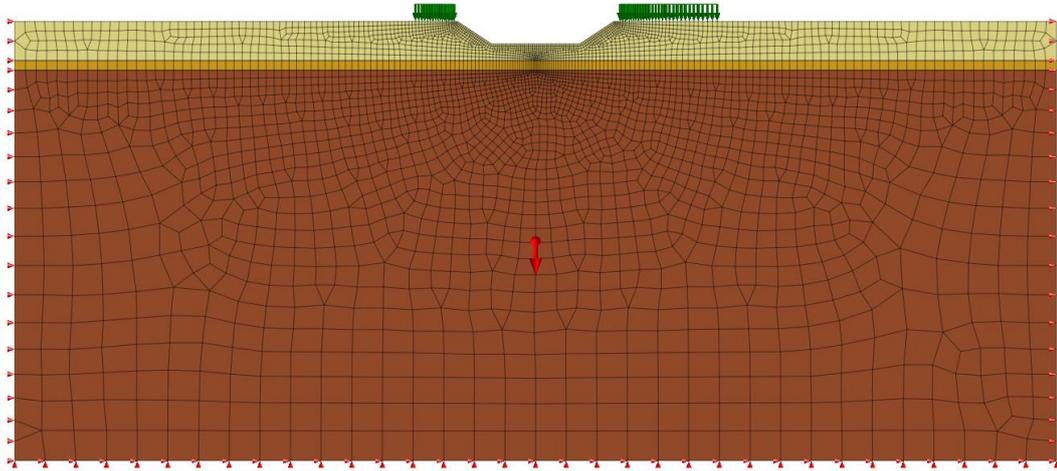


Figura 4-12 – Fase 2.

Fase 3: Realizzazione canale trapezoidale in c.a.

Nella seguente fase viene simulato la realizzazione del canale in esame. Sono stati attivati gli elementi strutturali beam e gli elementi interfaccia precedentemente descritti.

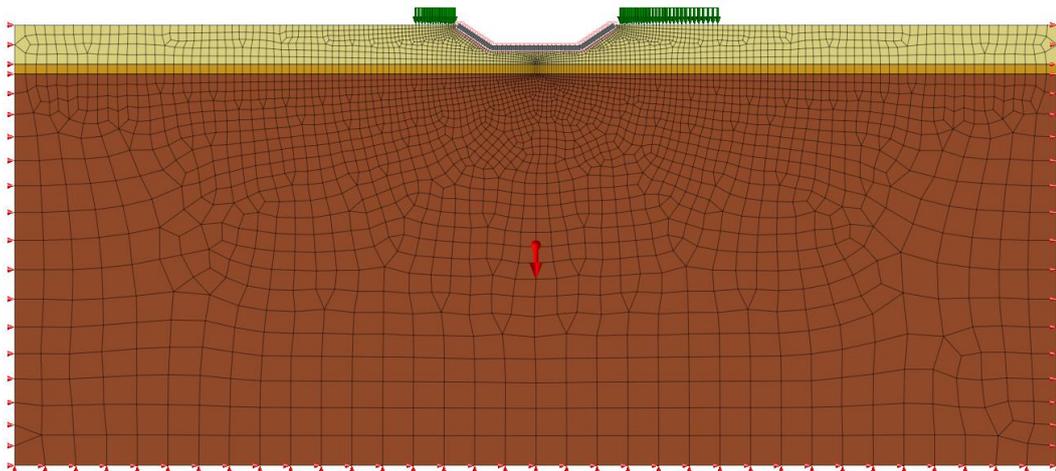


Figura 4-13 – Fase 3.

Fase 4: Applicazione dell'azione sismica

Nella seguente fase viene simulato la presenza del sisma nelle sue componenti orizzontale e verticale secondo analisi pseudostatica. I coefficienti sismici k_h e k_v sono riportati al par. 4.5 della presente relazione.

IN13 – Relazione di calcolo canale

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	13	00	001	C	26

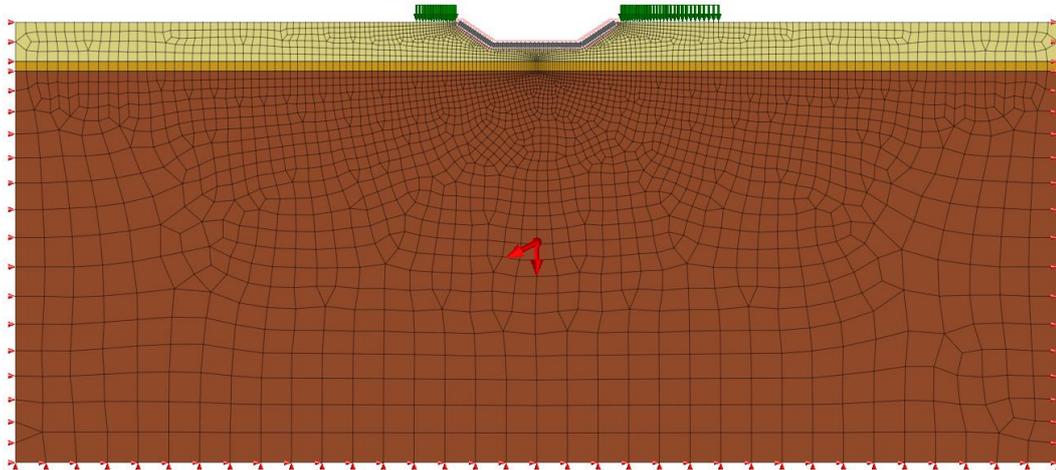


Figura 4-14 – Fase 4.

4.8 CONDIZIONI DI CARICO

Ai fini delle verifiche degli stati limite, i carichi sono stati combinati come segue:

SLE – Combinazione caratteristica (Rara)

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Assumendo, a vantaggio di sicurezza, coefficienti di combinazione unitari ($\psi_{02} = 1$)

SLU

Le sollecitazioni allo SLU (condizioni statiche) sono state determinate amplificando le sollecitazioni ottenute allo SLE con un coefficiente $\gamma=1.30$.

Combinazione sismica (SLV e SLD)

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Assumendo, a vantaggio di sicurezza, coefficienti di combinazione unitari ($\psi_{21} = \psi_{22} = 1$).

IN13 – Relazione di calcolo canale

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	13	00	001	C	27

4.9 RISULTATI DI CALCOLO

Nel presente paragrafo si riportano i risultati in forma grafica restituiti dal software di calcolo in termini di tensioni, spostamenti e sollecitazioni.

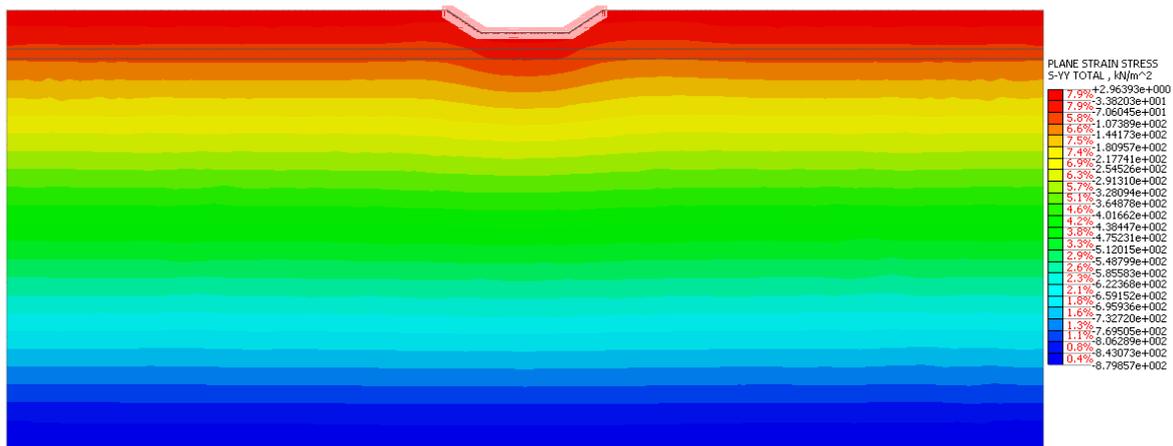


Figura 4-15 Diagramma strain-stress Nella direzione verticale.

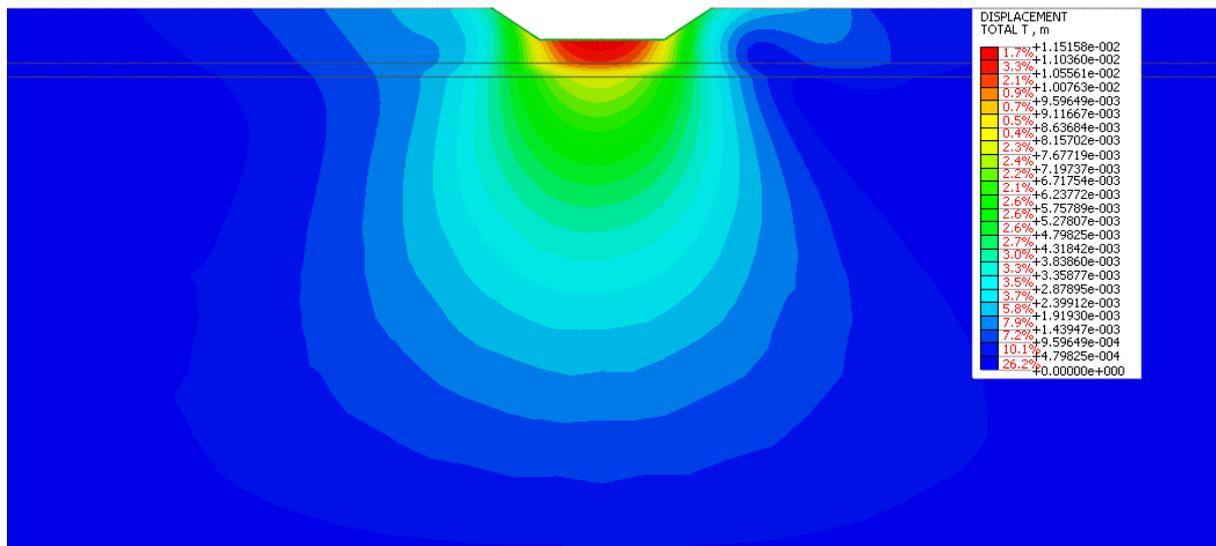


Figura 4-16 Spostamenti totali.

IN13 – Relazione di calcolo canale

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	13	00	001	C	28

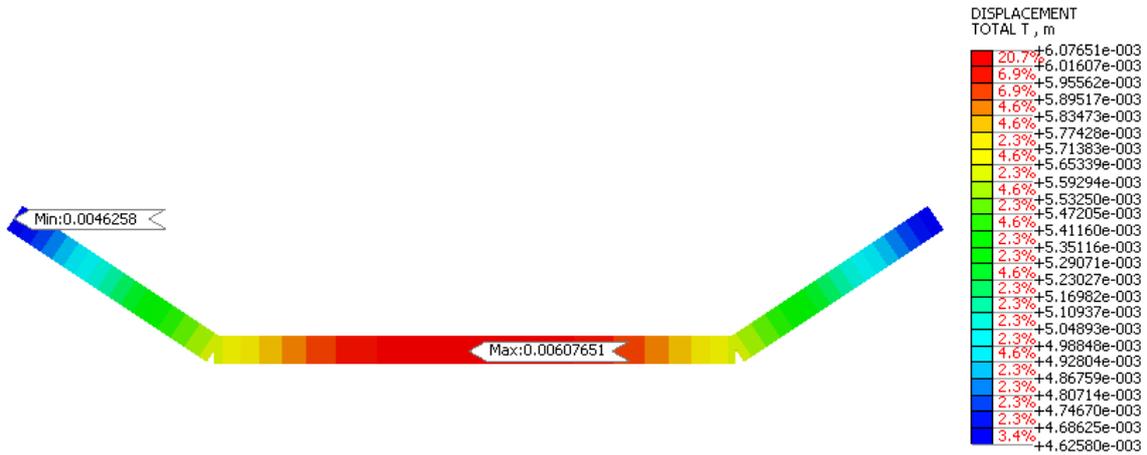


Figura 4-17 Spostamenti totali del canale in c.a.

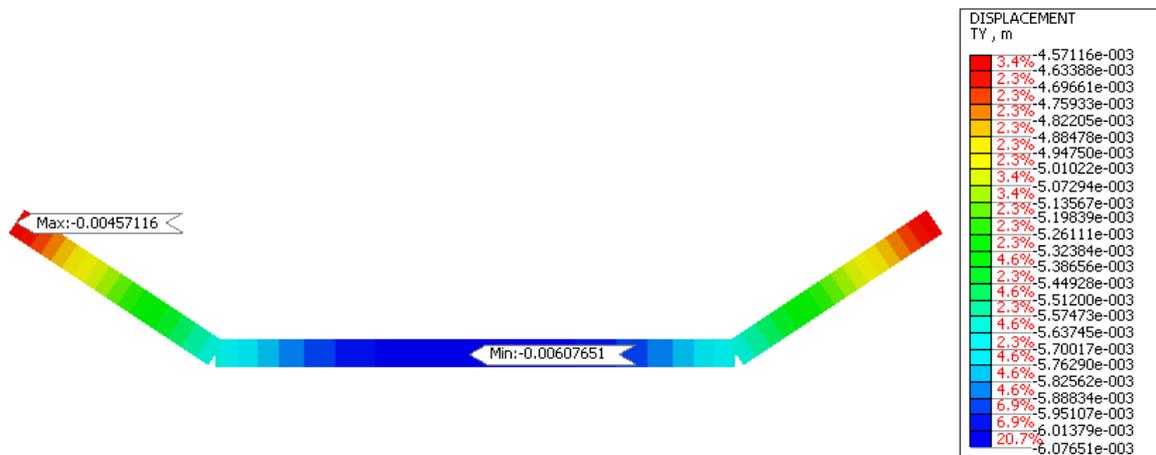


Figura 4-18 Spostamenti in direzione verticale del canale in c.a.

IN13 – Relazione di calcolo canale

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	13	00	001	C	29

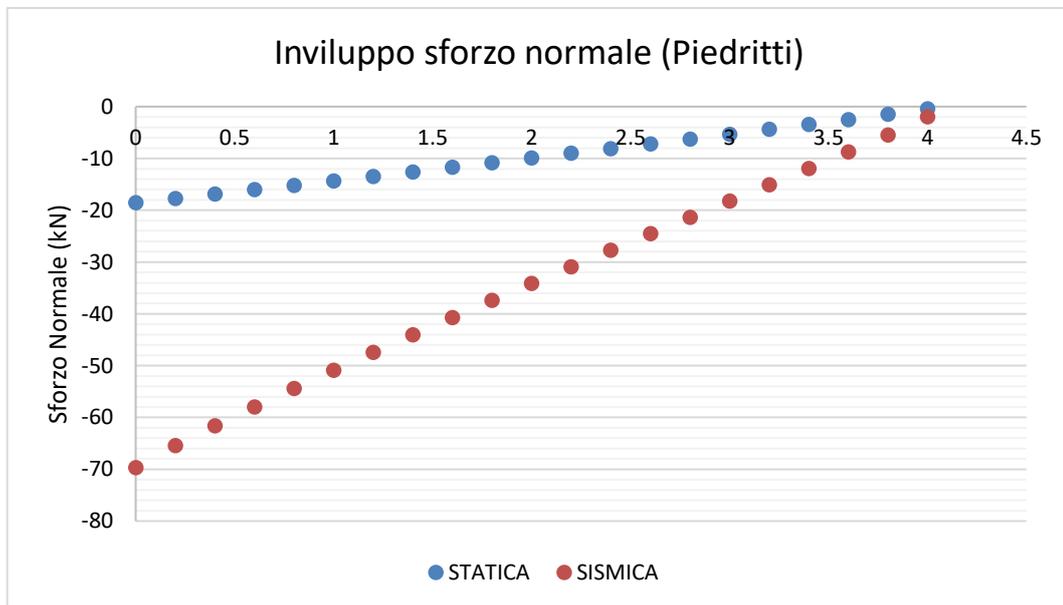
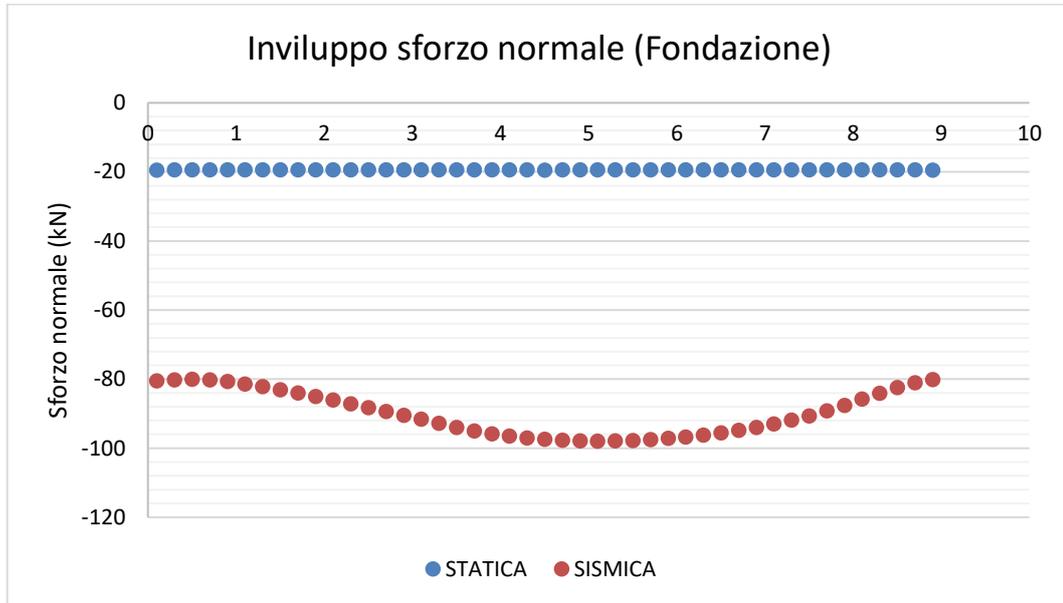


Figura 4-19 SLE – Inviluppo sforzo normale.

IN13 – Relazione di calcolo canale

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	13	00	001	C	30

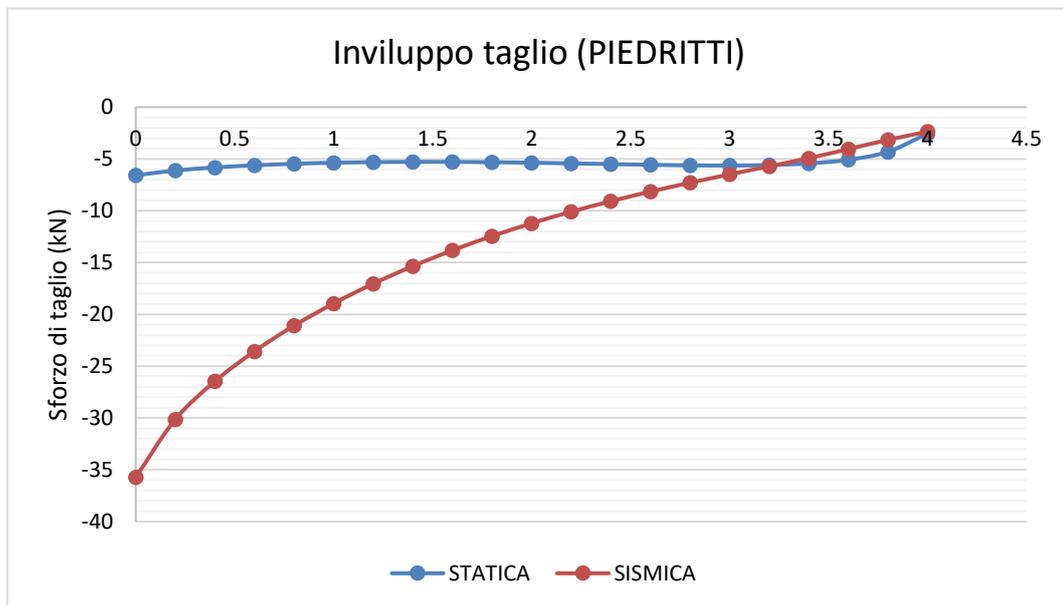
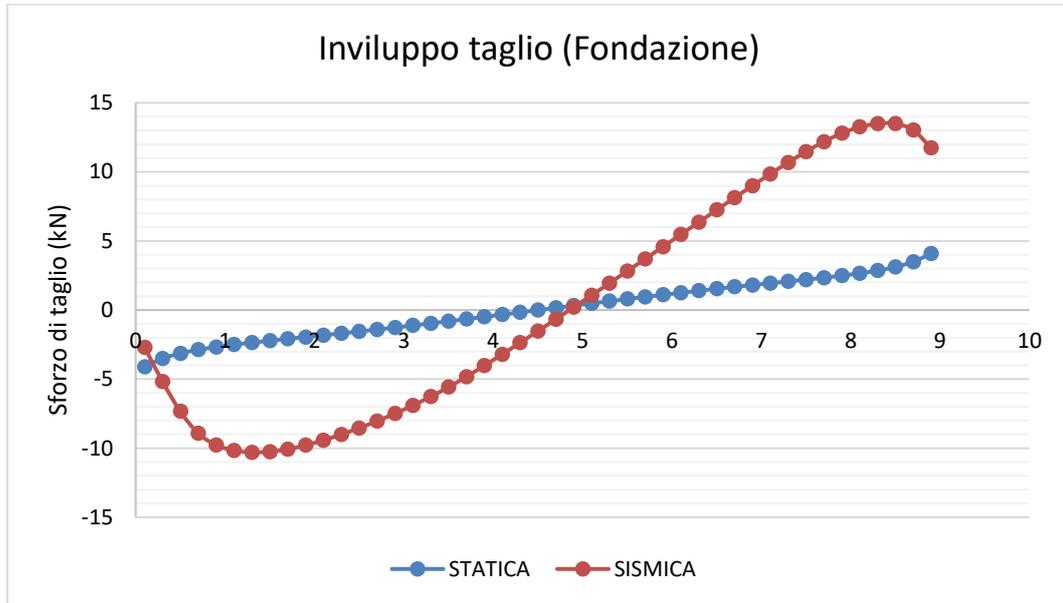


Figura 4-20 SLE – Involuppo taglio.

IN13 – Relazione di calcolo canale

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	13	00	001	C	31

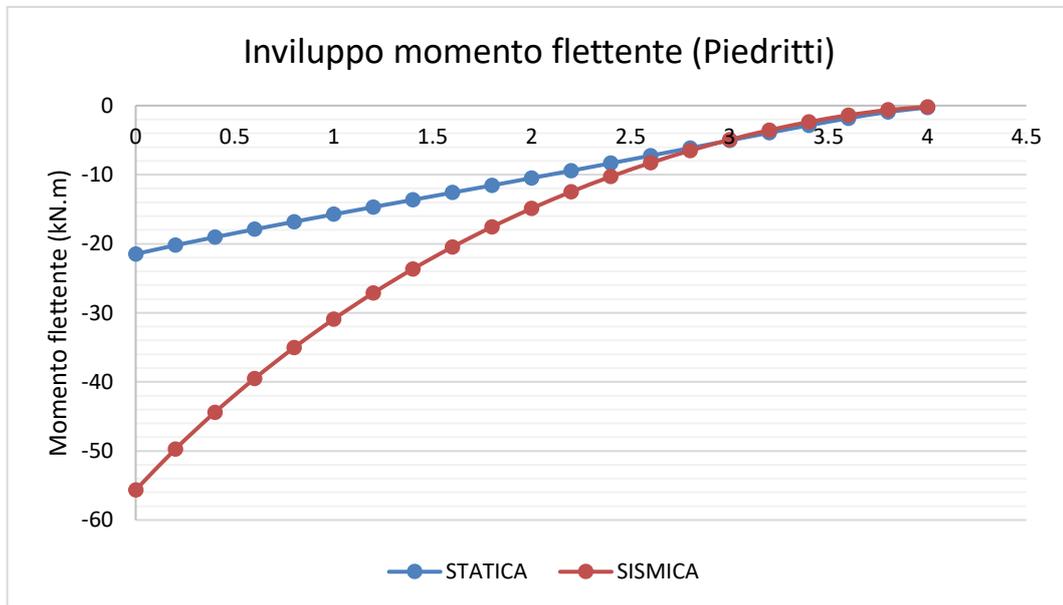
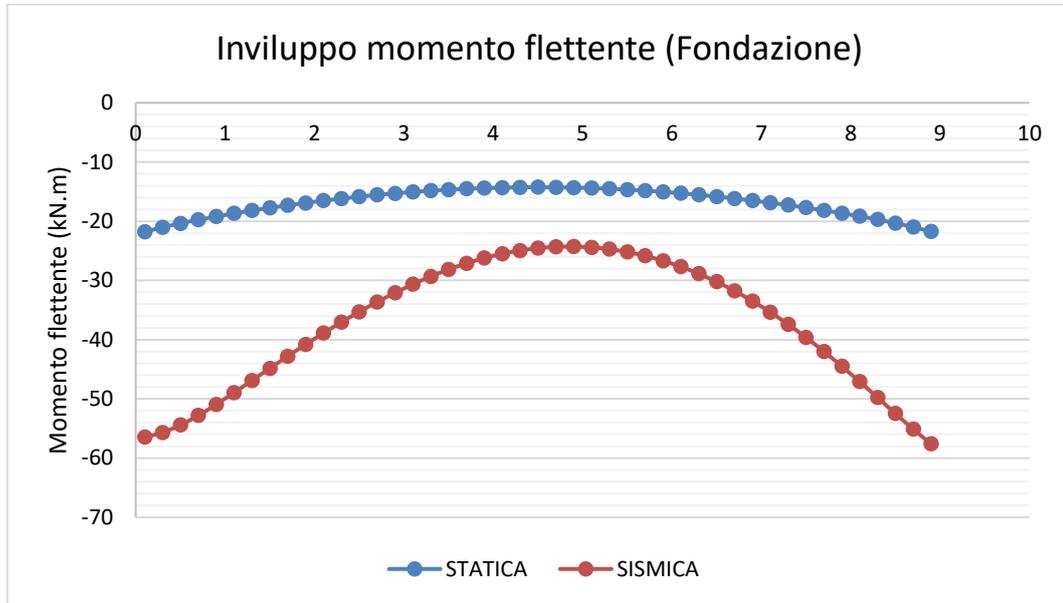


Figura 4-21 SLE – Involuppo momento flettente.

4.10 VERIFICHE STRUTTURALI

Le verifiche strutturali sono state condotte con l'ausilio del software SAX v.10 di Aztec Informatica Srl e di apposito foglio di calcolo (verifiche a taglio).

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.</small>	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA								
		IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA IN 13 00	PROGR 001	REV C

Nelle tabelle sottostanti si riepilogano i valori delle sollecitazioni ottenuti riferiti ad un metro lineare di sviluppo. Ai fini delle verifiche di ciascun elemento strutturale, si considerano i valori massimi.

SLE			SLU (cond. statiche)		
Piedritti dx e sx			Piedritti dx e sx		
N	M	T	N	M	T
[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN.m/m]	[kN/m]
19.51	21.75	6.58	25.363	28.275	8.554
Soletta di fondazione			Soletta di fondazione		
N	M	T	N	M	T
[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]
19.51	21.75	4.12	25.363	28.275	5.356

SISMA - SLV		
Piedritti dx e sx		
N	M	T
[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]
94.96	130.26	75.71
Fondazione		
N	M	T
[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]
134.02	130.26	27.98

SISMA - SLD		
Piedritti dx e sx		
N	M	T
[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]
70.57	58.73	36.93
Fondazione		
N	M	T
[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]
98.14	58.73	14.84

Tabella 1 Riepilogo delle sollecitazioni.

MANDATARIA HUB ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA IN 13 00			PROGR 001

4.10.1 VERIFICHE SLU

Nelle verifiche a pressoflessione si trascura a vantaggio di sicurezza il contributo dello sforzo normale.

Soletta di fondazione

La sezione di calcolo ha dimensioni 100x50cm e risulta armata come segue:

- Armatura principale: 5 ϕ 16/m superiori
5 ϕ 16/m inferiori
- Ripartitori: ϕ 12/30cm

Si prevedono inoltre n.9 ganci ϕ 8/mq.

Il copriferro è pari a 5cm.

Flessione

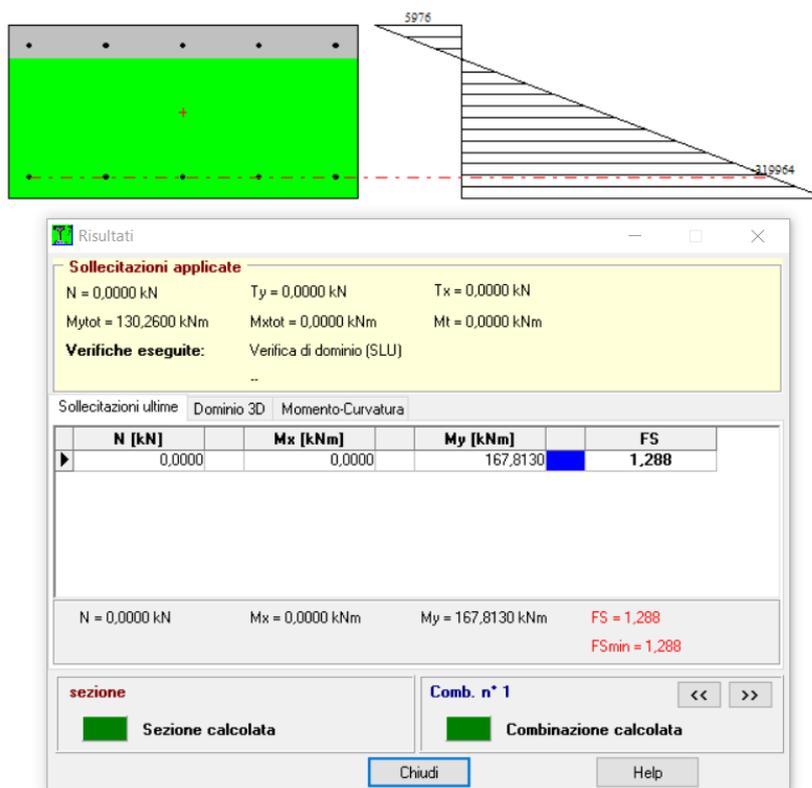


Figura 4-22 – Verifica a flessione

MANDATARIA HUB ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA IN 13 00			PROGR 001

Come si evince dalla figura sopra riportata, risulta che:

$$M_{Rd} = 167.81 \text{ kNm} > M_{Ed} = 130.26 \text{ kNm}$$

Pertanto, la verifica a flessione risulta soddisfatta.

Taglio (elementi senza armature trasversali)

Si riporta la verifica a taglio per elementi senza armature trasversali. Tale verifica, come da calcoli sottostanti, risulta soddisfatta in quanto:

$$V_{Rd} = 175.52 \text{ kN} > V_{Ed} = 28.00 \text{ kN}$$

VERIFICA A TAGLIO SENZA ARMAURE TRASVERSALI			
Significato dei simboli	Parametro	Valore	u.d.m.
Altezza utile della sezione in cls	d	450,00	mm
Larghezza minima della sezione in cls	b _w	1000,00	mm
Classe di calcestruzzo		C32/40	
Resistenza cilindrica caratteristica	f _{ck}	33,20	MPa
Coefficiente di sicurezza	γ _c	1,50	-
Acciaio di armatura		B450C	
Tensione di snervamento caratteristica	f _{yk}	450,00	
Armatura longitudinale di calcolo	A _{sl}	1005,31	mm ²
armatura longitudinale in zona tesa minima	A _{s,min}	5754,67	mm ²
Armatura massima	A _{s,min}	18000,00	
Valore di calcolo dello sforzo normale agente	N _{ed}	0,00	N
-	k	1,67	-
Rapporto geometrico di armatura longitudinale	ρ	0,002	-
Tensione media di compressione sulla sezione	σ _{cp}	0,00	MPa
-	v _{min}	0,43	MPa
Resistenza a taglio di progetto minima	V _{min}	195,26	kN
Resistenza a taglio di progetto	V _{rd}	175,52	kN
Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente	V _{ed}	28,00	kN
Verificato	V _{ed} /V _{rd}	0,16	-

Figura 4-23 – Verifica a taglio

Pertanto non occorre prevedere apposita armatura trasversale aggiuntiva.

Piedritti dx e sx

La sezione di calcolo ha dimensioni 100x50cm e risulta armata come segue:

- Armatura principale: 5φ16/m lato monte
5φ16/m lato valle

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.</small>	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA IN 13 00			Progr 001

– Ripartitori: $\phi 12/30\text{cm}$

Si prevedono inoltre n.9 ganci $\phi 8/\text{mq}$.

Il copriferro è pari a 5cm.

Flessione

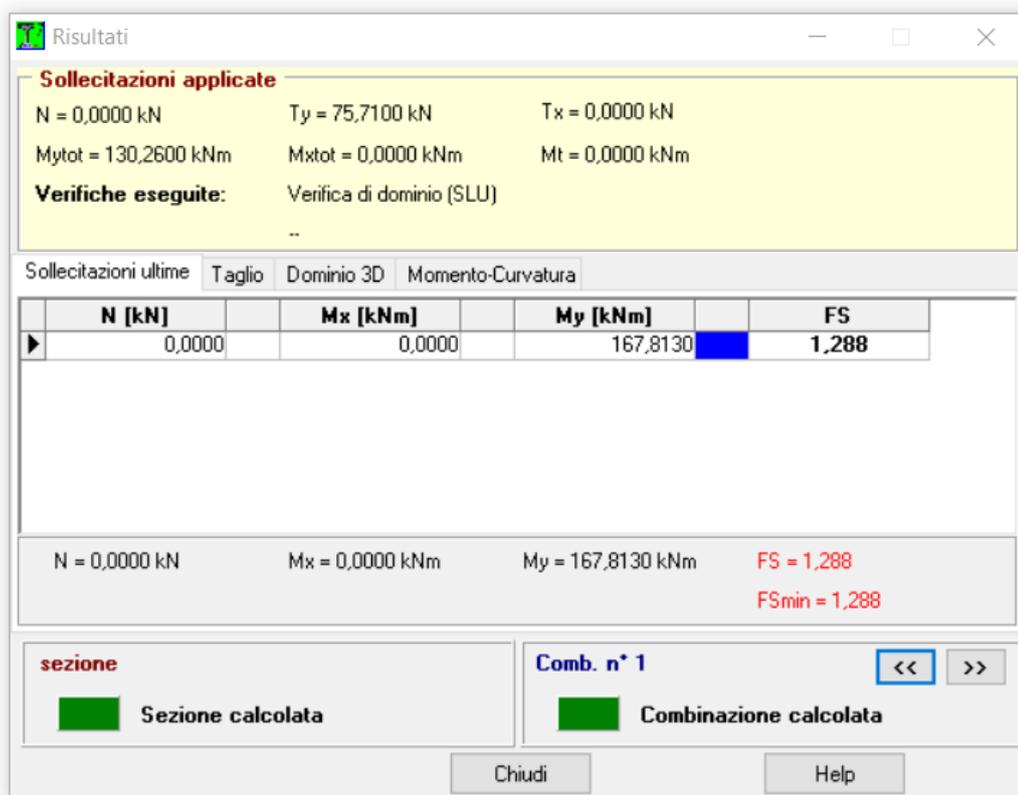
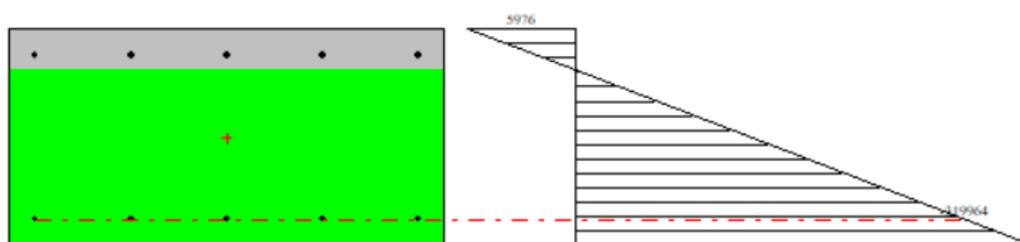


Figura 4-24 – Verifica a flessione

Come si evince dalla figura sopra riportata, risulta che:

$$M_{Rd} = 167.81 \text{ kNm} > M_{Ed} = 130.26 \text{ kNm}$$

Pertanto, la verifica a flessione risulta soddisfatta.

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.</small>	MANDANTI HYpro <small>S.P.A.</small>	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA IN 13 00	PROGR 001	REV C	FOGLIO 36

Taglio (elementi senza armature trasversali)

Si riporta la verifica a taglio per elementi senza armature trasversali. Tale verifica, come da calcoli sottostanti, risulta soddisfatta in quanto:

$$V_{Rd} = 175.52 \text{ kN} > V_{Ed} = 75.71 \text{ kN}$$

VERIFICA A TAGLIO SENZA ARMAURE TRASVERSALI			
Significato dei simboli	Parametro	Valore	u.d.m.
Altezza utile della sezione in cls	d	450,00	mm
Larghezza minima della sezione in cls	b _w	1000,00	mm
Classe di calcestruzzo		C32/40	
Resistenza cilindrica caratteristica	f _{ck}	33,20	MPa
Coefficiente di sicurezza	γ _c	1,50	-
Acciaio di armatura		B450C	
Tensione di snervamento caratteristica	f _{yk}	450,00	
Armatura longitudinale di calcolo	A _{sl}	1005,31	mm ²
armatura longitudinale in zona tesa minima	A _{s,min}	5754,67	mm ²
Armatura massima	A _{s,min}	18000,00	
Valore di calcolo dello sforzo normale agente	N _{ed}	0,00	N
-	k	1,67	-
Rapporto geometrico di armatura longitudinale	ρ	0,002	-
Tensione media di compressione sulla sezione	σ _{cp}	0,00	MPa
-	v _{min}	0,43	MPa
Resistenza a taglio di progetto minima	V _{min}	195,26	kN
Resistenza a taglio di progetto	V _{rd}	175,52	kN
Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente	V _{ed}	75,71	kN
Verificato	V _{ed} /V _{rd}	0,43	-

Figura 4-25 – Verifica a taglio

Pertanto non occorre prevedere apposita armatura trasversale aggiuntiva.

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.</small>	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA IN 13 00	Progr 001	Rev C	Foglio 37

4.10.2 VERIFICHE SLE

Soletta di fondazione

Verifica delle tensioni di esercizio

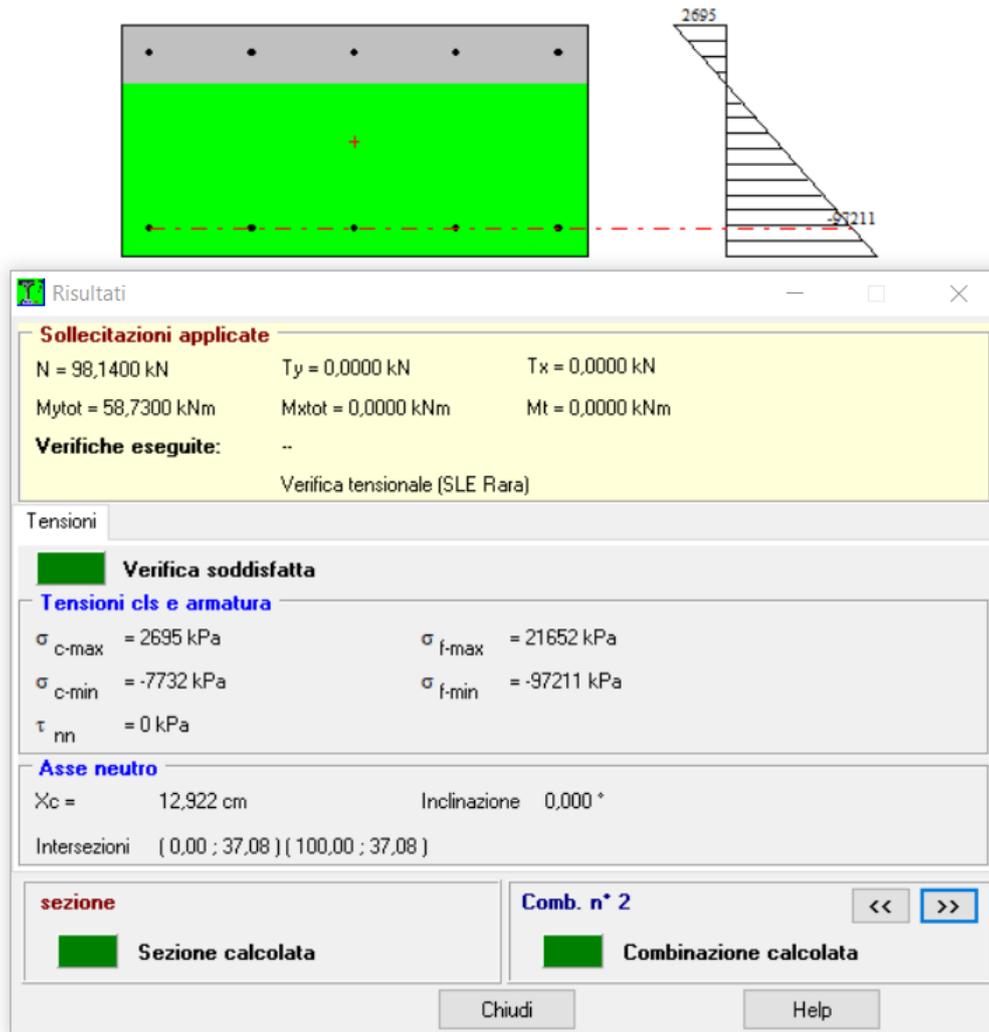


Figura 4-26 – Verifica tensionale

Come si evince dalla figura sopra riportata, risulta che:

$$\sigma_c = 2.70 \text{ MPa} < 0.40f_{ck} = 13.28 \text{ MPa (calcestruzzo)}$$

$$\sigma_s = 97.21 \text{ MPa} < 0.75f_{yk} = 337.50 \text{ MPa (acciaio di armatura)}$$

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.</small>	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA IN 13 00			Progr 001

Verifica a fessurazione

Come si evince dalla figura sopra riportata, risulta che:

Risultati

Sollecitazioni applicate

N = 98,1400 kN Ty = 0,0000 kN Tx = 0,0000 kN
 Mytot = 58,7300 kNm Mxtot = 0,0000 kNm Mt = 0,0000 kNm

Verifiche eseguite: --
 Verifica tensionale (SLE Quasi permanente)

Tensioni Fessurazione

Verifica soddisfatta

Momento prima fessurazione N = 98,1400 kN My = 109,2986 kNm

Tensione acciaio = -220561 kPa
 Tensione di trazione cls = -17398 kPa
 Area efficace a trazione = 1800,00 cmq

Epsm (%) = 0,0000
 Srm = 0,000 mm
 W = 0,000 mm Wlim = 0,200 mm

sezione **Comb. n° 3** << >>

Sezione calcolata **Combinazione calcolata**

Chiudi Help

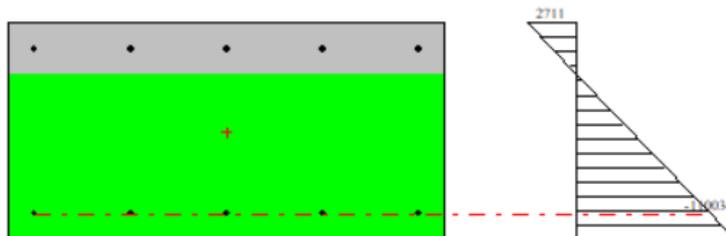
Figura 4-27 – Verifica a fessurazione

$$w_d = 0.000 \text{ mm} < w_{LIM} = 0.200 \text{ mm}$$

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.</small>	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA								
		IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA IN 13 00		Progr 001

Piedritti

Verifica delle tensioni di esercizio



Risultati

Sollecitazioni applicate

N = 0,0000 kN Ty = 75,7100 kN Tx = 0,0000 kN
 Mytot = 130,2600 kNm Mxtot = 0,0000 kNm Mt = 0,0000 kNm

Verifiche eseguite: Verifica di dominio (SLU)
 ..

Sollecitazioni ultime Taglio Dominio 3D Momento-Curvatura

N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	FS
0,0000	0,0000	167,8130	1,288

N = 0,0000 kN Mx = 0,0000 kNm My = 167,8130 kNm **FS = 1,288**
FSmin = 1,288

sezione **Comb. n° 1** << >>

Sezione calcolata Combinazione calcolata

Chiudi Help

Figura 4-28 – Verifica tensionale

Come si evince dalla figura sopra riportata, risulta che:

$$\sigma_c = 2.71 \text{ MPa} < 0.40f_{ck} = 13.28 \text{ MPa (calcestruzzo)}$$

$$\sigma_s = 110.03 \text{ MPa} < 0.75f_{yk} = 337.50 \text{ MPa (acciaio di armatura)}$$

Verifica a fessurazione

Come si evince dalla figura sopra riportata, risulta che:

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.</small>	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA IN 13 00	PROGR 001	REV C	FOGLIO 40

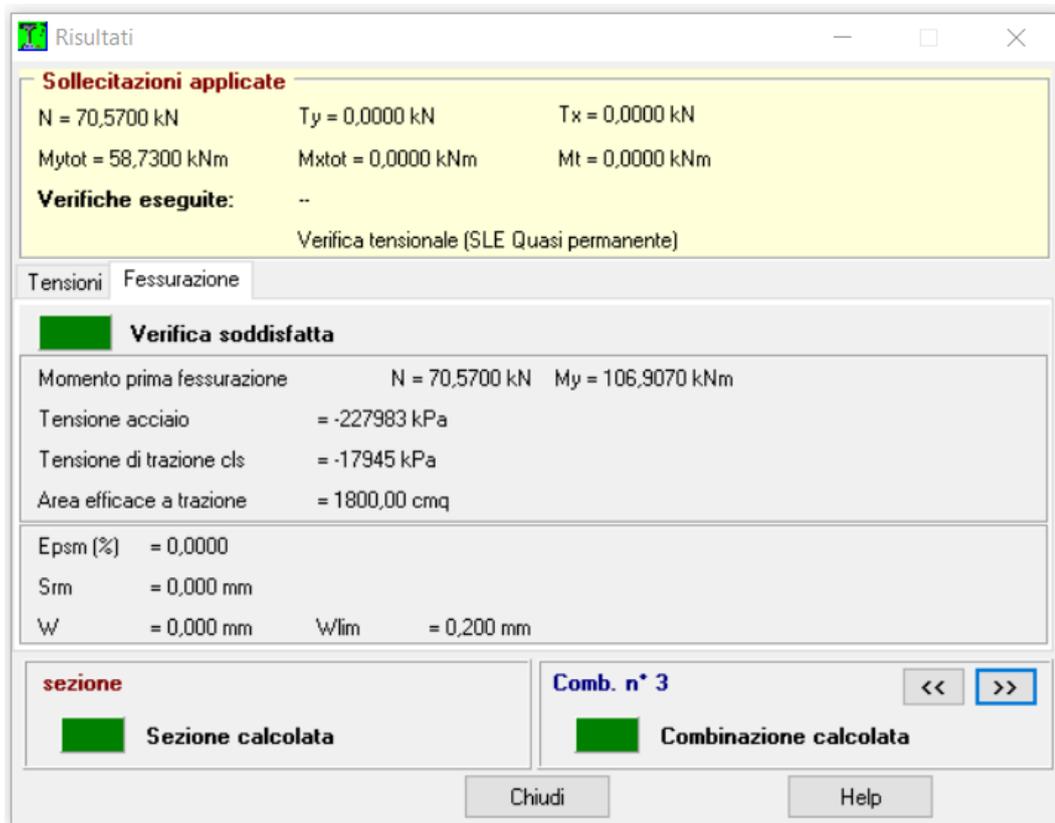


Figura 4-29 – Verifica a fessurazione

$$w_d = 0.000 \text{ mm} < w_{LIM} = 0.200 \text{ mm}$$

4.11 INCIDENZA DELLE ARMATURE

Si premette che nel calcolo dell'incidenza è stato applicato un incremento del 15% per tener conto delle sovrapposizioni delle armature correnti.

Soletta di fondazione

Caratteristiche geometriche				
b (m)	h (m)	L (m)	A (mq)	V (mc)
9.15	0.50	1	4.58	4.58

IN13 – Relazione di calcolo canale

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	13	00	001	C	41

Armatura	φ (mm)	n.	peso barra (kg/m)	l (m)	peso barra (kg)	sovrap. (kg)	peso tot (kg)
Principali sup.	16	5	1.578	10.65	16.81	-	84.05
Principali inf.	16	5	1.578	10.90	17.20	-	86.00
Ripartitori	12	62	0.888	1.00	0.888	0.133	63.30
Ganci	8	48	0.395	0.60	0.237	-	11.40
							244.75

$$\text{Incidenza a metro lineare} = \frac{\text{Peso tot (kg)}}{V \text{ (mc)}} = \frac{244.75 \text{ kg}}{4.58 \text{ mc}} = 53.44 \text{ kg/mc/m}$$

Piedritto dx

Caratteristiche geometriche				
b (m)	h (m)	L (m)	A (mq)	V (mc)
0.50	4.20	1	2.10	2.10

Armatura	φ (mm)	n.	peso barra (kg/m)	l (m)	peso barra (kg)	sovrap. (kg)	peso tot (kg)
Principali monte	16	5	1.578	5.31	8.38	-	44.50
Principali monte	16	5	1.578	5.43	8.57	-	42.85
Ripartitori	12	29	0.888	1.00	0.888	0.133	29.61
Ganci	8	35	0.395	0.60	0.237	-	8.30
							125.26

$$\text{Incidenza a metro lineare} = \frac{\text{Peso tot (kg)}}{V \text{ (mc)}} = \frac{125.26 \text{ kg}}{2.10 \text{ mc}} = 59.65 \text{ kg/mc/m}$$

IN13 – Relazione di calcolo canale

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	13	00	001	C	42

Piedritto sx

Caratteristiche geometriche				
b (m)	h (m)	L (m)	A (mq)	V (mc)
0.50	4.20	1	2.10	2.10

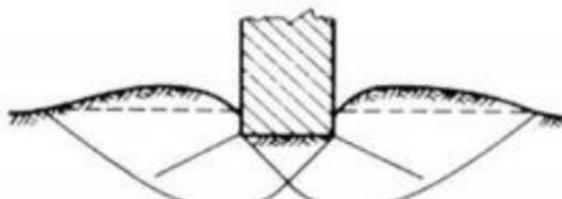
Armatura	φ (mm)	n.	peso barra (kg/m)	l (m)	peso barra (kg)	sovrap. (kg)	peso tot (kg)
Principali monte	16	5	1.578	5.31	8.38	-	44.50
Principali monte	16	5	1.578	5.43	8.57	-	42.85
Ripartitori	12	29	0.888	1.00	0.888	0.133	29.61
Ganci	8	35	0.395	0.60	0.237	-	8.30
							125.26

$$Incidenza \text{ a metro lineare} = \frac{Peso \text{ tot (kg)}}{V (mc)} = \frac{125.26 \text{ kg}}{2.10 \text{ mc}} = 59.65 \frac{kg}{mc/m}$$

4.12 VERIFICHE GEOTECNICHE (Carico limite verticale)

La determinazione del carico limite è stata eseguita ipotizzando un meccanismo di rottura generale ed impiegando la formulazione proposta da Terzaghi (1943) in termini di pressioni efficaci:

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma B N_{\gamma} + c' N_c + \gamma D N_q$$



MANDATARIA HUB ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI HY pro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		IN13 – Relazione di calcolo canale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA IN 13 00			PROGR 001

dove:

- N_y, N_c, N_q : fattori di capacità portante dedotti in funzione dell'angolo di attrito ϕ_{eq} ("Fondazioni", C. Viggiani);
- γ : peso per unità di volume del terreno equivalente ;
- B : larghezza fondazione canale trapezoidale;

Tenuto conto delle dimensioni in pianta del canale in c.a., la fondazione è stata assimilata come nastriforme ($L \gg B$).

Occorre precisare che, ai fini delle verifica, i parametri geotecnici caratteristici del terreno di fondazione, nell'ipotesi di terreno omogeneo, sono stati determinati come media ponderata dei parametri geotecnici caratteristici delle unità BA2, BA3 e GA3 considerando un volume di terreno significativo pari a 2B (pari a 18m). Il calcolo dei parametri è stato condotto attraverso le seguenti espressioni:

$$\gamma_{eq} = \frac{\gamma_1 H_1 + \gamma_2 H_2 + \dots + \gamma_n H_n}{\sum H_i} \quad c_{eq} = \frac{c_1 H_1 + c_2 H_2 + \dots + c_n H_n}{\sum H_i}$$

$$\phi_{eq} = \frac{\phi_1 H_1 + \phi_2 H_2 + \dots + \phi_n H_n}{\sum H_i}$$

Si ottengono i seguenti valori

Unità	γ	ϕ'	c'	H	γ_{eq}	ϕ'_{eq}	c'_{eq}
	[kN/m ³]	[°]	[kPa]	[m]	[kN/m ³]	[°]	[kPa]
BA2	20	34.5	0	4	20	27.44	5.83
BA3	20	24.5	7.5	1			
GA3	20	25.5	7.5	13			
				18			

Si riassumono i risultati della verifica:

γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	D (m)	B (m)	N_q	N_y	N_c	q_{lim} (kPa/m)
20	5.83	27.44	2.30	9.30	13.20	14.47	23.94	891.50

La verifica allo SLU, secondo la combinazione A1+M1+R3, prevede che

$$Q_{lim,d} \geq Q_{es,d}$$

IN13 – Relazione di calcolo canale

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	13	00	001	C	44

con

$$Q_{lim,d} = \frac{q_{lim}}{2.30} = 387.61 \text{ kPa}$$

$$Q_{es,d} = 1.30 \cdot 36 \text{ kPa/m} = 46.80 \text{ kPa}$$

Suddetto valore è stato desunto dalle analisi e corrisponde alla massima pressione agente sul terreno (si veda output sottostante)

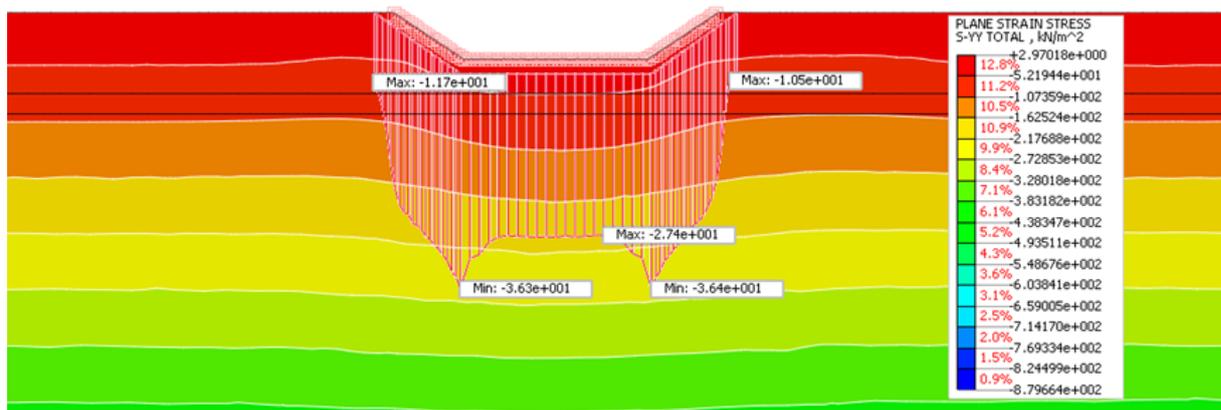


Figura 4-30 – Pressione sul terreno di fondazione fase finale.

La verifica risulta soddisfatta, essendo $Q_{lim,d} > Q_{es,d}$