

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. PRODUZIONE SUD ED ISOLE

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
 VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
 VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
 PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

OPERE CIVILI MINORI

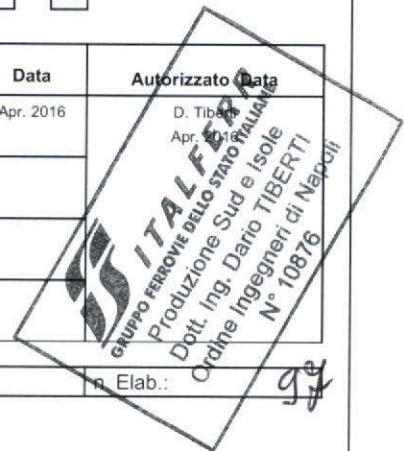
Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione acquedotto Serino

SCALA:

-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
N7D2	01	D	78	CL	OC00000	002	A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione esecutiva	A. Ingletti	Apr. 2016	D. Caputo	Apr. 2016	M. Davino	Apr. 2016	D. Tiberti	Apr. 2016



File: N7D201D78CLOC000002A.doc

Stampato dal Service
 di plottaggio ITALFERR S.p.A.
 ALBA s.r.l.

Elab.: 99





LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Paratie protezione acquedotto Serino - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	2 di 35

INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORME E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	6
3.1	PUNTONI ED ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA	6
3.2	CALCESTRUZZO	6
3.3	ACCIAIO DA C.A.....	7
4	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	8
5	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA.....	11
6	PROCEDURA DI CALCOLO AI SENSI DEL D.M. 14-01-2008.....	12
6.1	ANALISI STRUTTURALE.....	15
7	VERIFICHE DELLE STRUTTURE DI SOSTEGNO.....	21
7.1	CRITERI DI CALCOLO	21
7.2	ANALISI DEI CARICHI.....	22
7.3	SCHEMATIZZAZIONE DI CALCOLO.....	22
7.4	SCHEMATIZZAZIONE GEOTECNICA E PARAMETRI DI CALCOLO.....	23
7.5	RISULTATI DELLE ANALISI.....	25
8	VERIFICHE DELLE STRUTTURE IN ACCIAIO	32
8.1	MICROPALO VERTICALE	33
9	VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELL'INSIEME TERRENO-OPERA.....	34

1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto le analisi per il dimensionamento e la verifica della paratia di sostegno dello scavo necessario alla realizzazione dell'opera di protezione dell'acquedotto Serino. Tale opera è ubicata sul Ramo 5B della Viabilità di accesso alla Stazione AV Napoli - Afragola.

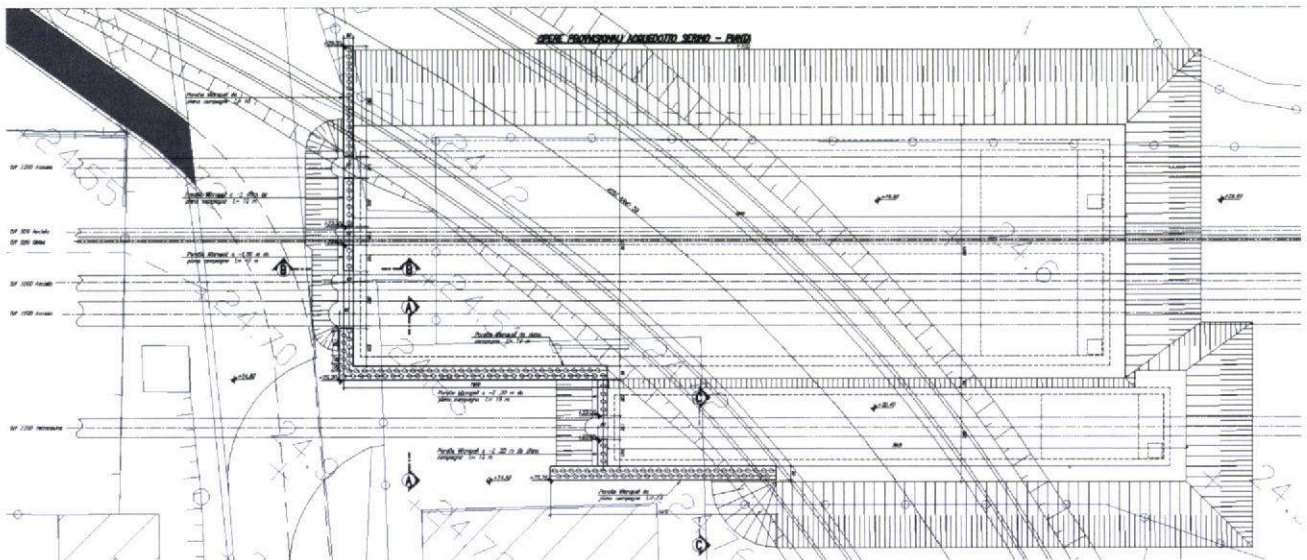


Figura 1 – Planimetria con ubicazione intervento

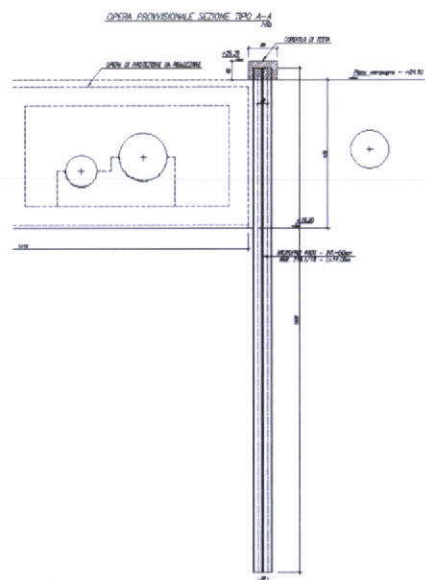


Figura 2 – Sezione paratia



LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	4 di 35

L'interazione opera terreno è analizzata con analisi numerica effettuata con il software Plaxis 2D.

Nei paragrafi che seguono sono riportate le normative di riferimento, le caratteristiche dei materiali impiegati, i metodi di analisi utilizzati ed i risultati delle verifiche effettuate.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione acquedotto Serino	COMMESSA N7D2	LOTTO 01	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO OC 00 00 002	REV. A	FOGLIO 5 di 35

2 NORME E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Si riporta nel seguito l'elenco delle leggi e dei decreti di carattere generale, assunti come riferimento.

- Legge 5-1-1971 n. 1086 - *Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica;*
- Legge. 2 febbraio 1974, n. 64 - *Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;*
- D.M. 14 gennaio 2008 - *Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC);*
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008;*
- UNI EN 1992-1-1 - *Progettazione delle strutture di calcestruzzo;*
- UNI EN 206-1-2001 - *Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità.*

Si riporta, ora, l'elenco delle norme tecniche, delle circolari e delle istruzioni RFI (Rete Ferroviaria Italiana) delle quali si è tenuto conto:

- RFI DTC INC CS LG IFS 001 A – *Linee guida per il collaudo statico delle opere in terra;*
- RFI DTC INC CS SP IFS 001 A – *Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie;*
- RFI DTC INC PO SP IFS 001 A – *Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario;*
- RFI DTC INC PO SP IFS 002 A – *Specifica per la progettazione e l'esecuzione di cavalcavia e passerelle pedonali sulla sede ferroviaria;*
- RFI DTC INC PO SP IFS 003 A – *Specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari;*
- RFI DTC INC PO SP IFS 004 A – *Specifica per la progettazione e l'esecuzione di impalcati ferroviari a travi in ferro a doppio T incorporate nel calcestruzzo;*
- RFI DTC INC PO SP IFS 005 A – *Specifica per il progetto, la produzione, il controllo della produzione e la posa in opera dei dispositivi di vincolo e dei coprigiunti degli impalcati ferroviari e dei cavalcavia.*

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

3.1 Puntoni ed acciaio per carpenteria metallica

Acciaio S355JR	
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} \geq 355 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica a rottura	$f_{tk} \geq 510 \text{ N/mm}^2$ ($t \leq 40 \text{ mm}$)
Fattore di sicurezza acciaio	$\gamma_s = 1.05$
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 338 \text{ N/mm}^2$

3.2 Calcestruzzo

Classe di resistenza a compressione	C25/30
Classe di esposizione	XC2
Classe di consistenza	S4-S5
Cemento (UNI-EN 197-1)	CEM III,IV,V
Copriferro netto	40 mm
Resistenza caratteristica a compressione (cilindrica)	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 24.90 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \cdot f_{ck} / 1.5 = 14.11 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.19 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a compressione (comb. Rara)	$\sigma_c = 0.60 \cdot f_{ck} = 14.94 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a compressione (comb. Quasi permanente)	$\sigma_c = 0.450 \cdot f_{ck} = 11.21 \text{ N/mm}^2$



LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	7 di 35

3.3 Acciaio da c.a.

Barre B450C	
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica a rottura	$f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
Fattore di sicurezza acciaio	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391 \text{ N/mm}^2$



LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	8 di 35

4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Il progetto della viabilità di accesso alla nuova stazione A.V. Campania-Afragola ricade nel territorio comunale della città di Afragola e si estende interamente su un'area subpianeggiante.

Sulla base dei risultati delle indagini (in sito ed in laboratorio) delle campagne geognostiche eseguite nell'area in esame, si perviene ad una caratterizzazione geotecnica dei terreni e quindi alla definizione della stratigrafia ed ai parametri geotecnici di progetto.

Nel seguito viene prima brevemente descritta la successione stratigrafica lungo il tracciato con individuazione delle unità geotecniche intercettate dalle indagini; successivamente vengono presentate le caratteristiche litologiche ed i valori dei parametri geotecnici delle unità di interesse progettuale.

Lungo il tracciato in esame sono distinguibili essenzialmente le seguenti unità geotecniche:

Unità R - Terreni di riporto e coltre vegetale. Si tratta di terreno di riporto antropico (**Ra**) che costituisce il corpo dei rilevati esistenti e del terreno vegetale (**Rv**) costituito prevalentemente da limo sabbioso debolmente argilloso con resti vegetali e inclusi clasti.

Unità DI: Depositi piroclastici rimaneggiati. Si tratta di sabbie limose piroclastiche rimaneggiate in ambiente continentale per azione di acque fluviali e di antiche conche lacuali e palustri, talora con presenza di orizzonti torbosi e tracce di paleosuoli. L'unità si rinviene in genere al di sotto del riporto.

Unità Po: Depositi piroclastici recenti. Si tratta di depositi piroclastici sabbiosi di età eruttiva flegrea e vesuviana (Olocene storico e recente) formati da lapilli, ceneri vulcaniche, pomice con locali tracce di paleosuoli. Sono costituiti da sabbie da fini a medie a grossolane in matrice limosa debolmente argillosa con presenza di locali livelli ghiaiosi. Si trovano lungo tutto il tracciato sotto il riporto e sotto gli eventuali spessori di depositi piroclastici rimaneggiati e poggiano sull'Ignimbrite Campana.

Unità TL: Tufo litoide e Unità TS – Tufo sfatto: si tratta di tufo eruttato durante il Primo Periodo Flegreo, anche detto "Ignimbrite Campana"; si presenta da litoide con struttura vacuolare (**unità TL**) a sfatto/pseudo litoide (**Unità TS**), costituito da sabbia limosa con clasti.

Unità Pb: Depositi piroclastici di base: si tratta di depositi piroclastici alla base dell'Ignimbrite Campana, sono terreni tufacei scarsamente litoidi in facies cineritica e pomicea, costituiti da sabbie da fini a medie localmente grossolane, in matrice limosa con locale ghiaia.

Nelle vicinanze dell'opera sono stata eseguita la prova DPSH3. Nella figura è riportato il profilo geotecnico del ramo 5B.

RAMO 5B

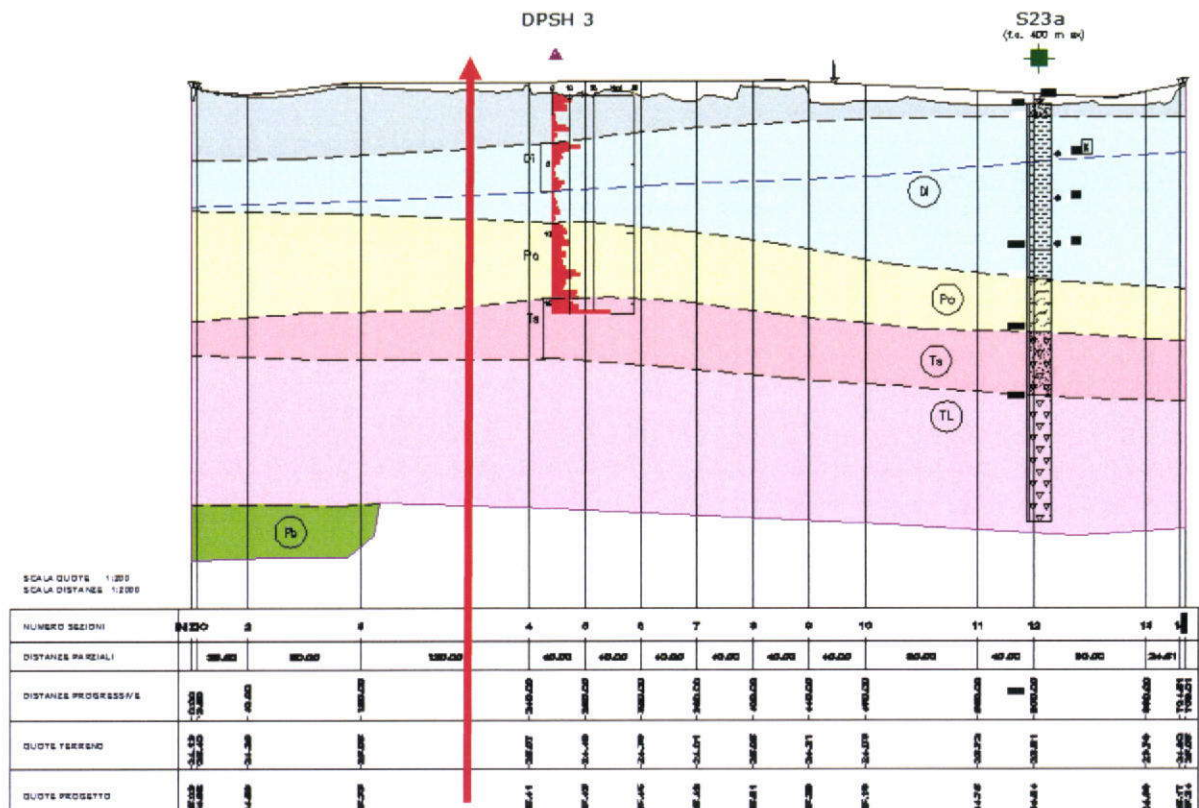


Figura 3 – Profilo con ubicazione dell'opera in esame e dei sondaggi eseguiti

Nella successiva tabella sono riportati i parametri geotecnici medi dei terreni che interagiscono con l'opera in esame:

	Unità	γ_n (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ (°)	k m/s	E_0 (MPa)
1	R	Ra	19-20	0	30 - 35	200-400
		Rv	17 - 19	0	25 - 30	50-200
2	DI	15-17	5 - 15	27 - 32	1e-6 - 1e-7	120-170
3	Po	15-17	0 - 5	32 - 37	1e-5 - 1e-6	170-340
4	TS	15 - 17	0 - 10	35 - 38	-	300 - 600
5	TL	16 - 18	50 - 100	35 - 40	-	1300 - 1500
6	Pb	15-17	0 - 5	35-37	-	600-1280



LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	10 di 35

Dove:

γ = peso di volume naturale

c' = coesione drenata

ϕ' = angolo di resistenza al taglio

E = modulo di elasticità (ottenuto da correlazioni con prove SPT)

E_0 = modulo di deformazione elastico iniziale, ovvero a piccole deformazioni

$E'_{op,1} = E_0/3 - E_0/5$ modulo di deformazione operativo per il calcolo dei cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni dirette

$E'_{op,2} = E_0/10$ modulo di deformazione operativo per il calcolo dei cedimenti dei rilevati.

La falda è posizionata ad una profondità da piano campagna pari a 5m

La categoria di sottosuolo del sito interesse è di tipo C.

	LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO PROCEDIMENTALE RFI – COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione acquedotto Serino	COMMESSA N7D2	LOTTO 01	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO OC 00 00 002	REV. A	FOGLIO 11 di 35

5 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Il valore dell'accelerazione orizzontale massima in condizioni sismiche è stato definito in accordo con le norme vigenti [NTC – 3.2]. Secondo tali norme, l'entità dell'azione sismica è innanzitutto funzione della sismicità dell'area in cui viene costruita l'opera e del periodo di ritorno dell'azione sismica.

L'opera viene progettata in funzione di una vita nominale pari a 75 anni [NTC – 2.4.1] relativa a “opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale” e rientra nella classe d'uso III [NTC – 2.4.2] relativa a “reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza”. Moltiplicando la vita nominale per il coefficiente di classe d'uso [definito in NTC – Tabella 2.4.II] si valuta il periodo di riferimento per l'azione sismica:

$$V_R = V_N \cdot C_u = 75 \cdot 1.5 = 112.5 \text{ anni}$$

In funzione dello stato limite rispetto al quale viene verificata l'opera si definisce una probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento. Per il progetto dell'opera in esame si farà essenzialmente riferimento allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV), a cui è associata una P_{VR} pari al 10% [NTC – Tabella 3.2.I]. Nota la probabilità di superamento nel periodo di riferimento è possibile valutare il periodo di ritorno T_R , come previsto nell'allegato A alle norme tecniche per le costruzioni, secondo la seguente espressione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = - \frac{112.5}{\ln(1 - 0.10)} = 1068 \text{ anni}$$

Per il calcolo dell'azione sismica si è utilizzato il metodo dell'analisi pseudostatica [NTC – 7.11.6.2.1] in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico k , dipendente dall'accelerazione massima al sito a_g in condizioni rocciose e topografia orizzontale; tale parametro è uno dei tre indicatori che caratterizza la pericolosità sismica del sito ed è tanto più alto tanto più è ampio il periodo di ritorno al quale si riferisce. Nel caso in esame, per il comune di Catenanuova (EN), allo SLV risulta:

$$a_g = 0.214 g$$

[NTC – 3.2.2] Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione dei categorie di sottosuolo e categorie topografiche di riferimento. Nel caso in esame, la categoria di suolo di fondazione è stata definita sulla base della conoscenza di $V_{s,30}$, ricavato dalle indagini sismiche eseguite nelle campagne geognostiche. In particolare, nel caso in esame si considera una categoria di suolo di tipo C: “*Depositi di terreno a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*”. Per quanto riguarda le condizioni topografiche, si può far riferimento ad una superficie pianeggiante (categoria T1). In definitiva, il sito in esame è caratterizzato solo da amplificazioni di carattere stratigrafico e, per tale motivo, in fase di progetto, i coefficienti stratigrafico e topografico previsti dalla norma possono essere considerati unitari [NTC – Tabelle 3.2.V e 3.2.VI]:

$$S_S = 1.5$$

$$S_T = 1.0$$



LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
 VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
 VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
 PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
 acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	12 di 35

6 PROCEDURA DI CALCOLO AI SENSI DEL D.M. 14-01-2008

Per la valutazione della sicurezza delle costruzioni, come prescritto dal DM 14/01/08, si sono adottati criteri probabilistici scientificamente comprovati in accordo al **metodo semiprobabilistico agli stati limite** basati sull'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza.

Nel metodo semiprobabilistico agli stati limite, la sicurezza strutturale è verificata tramite il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni. Per la sicurezza strutturale, la *resistenza* dei materiali e le *azioni* sono rappresentate dai valori caratteristici, R_{ki} e F_{kj} definiti, rispettivamente, come il frattile inferiore delle resistenze e il frattile (superiore o inferiore) delle azioni che minimizzano la sicurezza. I frattili sono stati assunti pari al 5%.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli **stati limite di esercizio** è stata effettuata controllando gli aspetti di funzionalità e lo stato tensionale.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli **stati limite ultimi** di resistenza è stata effettuata con il "metodo dei coefficienti parziali" di sicurezza espresso dalla equazione formale:

$$R_d \geq E_d$$

dove:

R_d è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

Il coefficiente γ_R opera direttamente sulla resistenza del sistema. I coefficienti parziali di sicurezza, γ_{Mi} e γ_{Fj} , associati rispettivamente al materiale *i*-esimo e all'azione *j*-esima, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e all'affidabilità del modello di calcolo.

E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto $F_{dj} = F_{kj} \gamma_{Fj}$ delle azioni, dei parametri di progetto X_k/γ_M e della geometria di progetto a_d :

$$E_d = E \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come $E_d = E_k \gamma_E$ con $\gamma_E = \gamma_F$:

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left[F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

La verifica della relazione $R_d \geq E_d$ è stata 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).

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione acquedotto Serino	COMMESSA N7D2	LOTTO 01	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO OC 00 00 002	REV. A	FOGLIO 13 di 35

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono stati scelti nell'ambito dei due **approcci progettuali distinti e alternativi** consentiti dal DM 14/01/08 per la progettazione geotecnica.

Nel primo approccio progettuale (**Approccio 1**) sono previste due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti: la prima combinazione è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale (STR) delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico (GEO).

Nel secondo approccio progettuale (**Approccio 2**) è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

L'analisi di interazione opera-terreno è stata eseguita modellando opportunamente l'articolata successione delle previste fasi esecutive attraverso un **codice di calcolo agli elementi finiti** nell'ipotesi di stato piano di deformazione.

Le analisi, le verifiche strutturali e geotecniche sono state effettuate sulla base del diagramma di flusso di Figura 4. Tale diagramma è coerente con le indicazioni riportate da Bauduin (2005) e Bauduin et Al (2005)¹ a proposito dell'applicazione dell'Eurocodice 7.

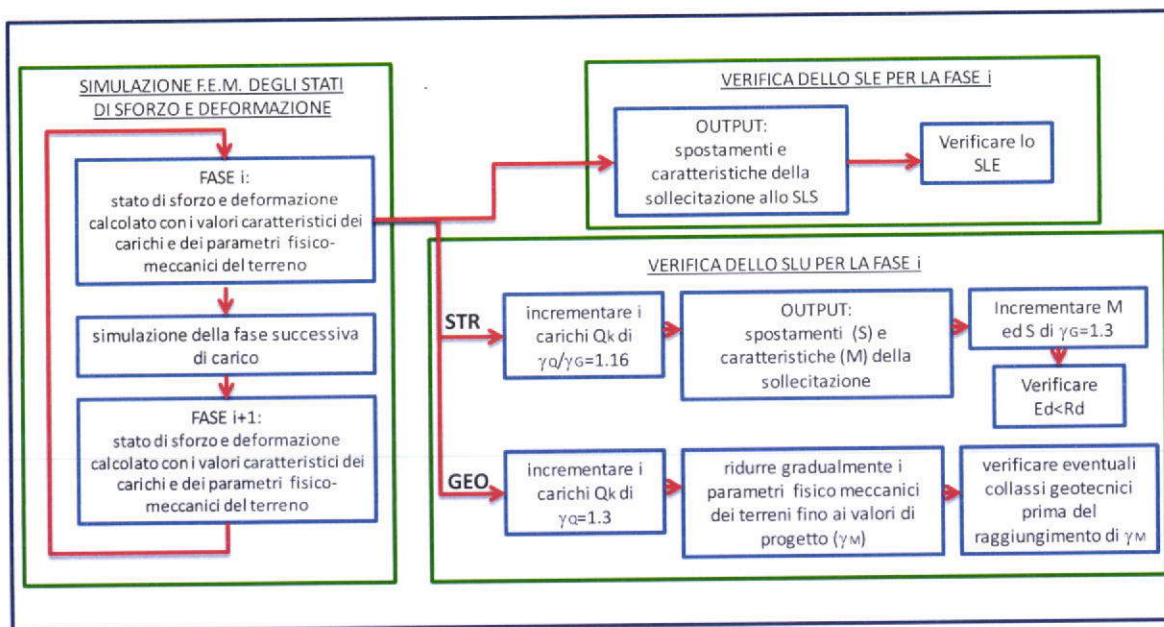


Figura 4 Diagramma di flusso per le analisi FEM d'interazione opera-terreno e per le verifiche strutturali e geotecniche

¹ Bauduin et Al (2005) Use of Finite Element Methods in Geotechnical Ultimate Limit State, *Design Proc XVI ICSMGE*, Osaka pp 2775-2779
 Bauduin (2005), Possibilities yield by Eurocode 7 for design of geotechnical structures in urban areas



LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
 VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
 VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
 PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
 acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	14 di 35

Gli stati di sforzo e deformazione derivanti dall'interazione opera-terreno sono stati calcolati considerando valori caratteristici per i carichi e per i parametri fisico-meccanici dei terreni. In tal modo si è modellato in maniera efficace e quanto più realisticamente possibile l'interazione opera-terreno durante le varie fasi esecutive.

Per ogni fase di calcolo si ottengono come output spostamenti e sollecitazioni allo SLE che sono stati confrontati con i limiti prestazionali indicati dal DM 14/01/08.

In definitiva, le verifiche allo SLU sono state effettuate secondo l'Approccio Progettuale 1 illustrato in precedenza. Si sono considerati quindi due gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente per il dimensionamento degli elementi strutturali (STR) e per il dimensionamento geotecnico (GEO):

STR → A1; M1

GEO → A2; M2

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{G3}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tabella 1 Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni [DM 14/01/08]

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	γ_φ	1,0	1,25
Coazione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_r	1,0	1,0

Tabella 2 Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno [DM 14/01/08]

Le verifiche agli Stati limite ultimi degli elementi strutturali e della stabilità geotecnica del sistema opera-terreno sono state effettuate nelle fasi di costruzione dell'opera che determinano nei vari elementi lo stato di sollecitazione e di spostamento più gravosi. In particolare si è verificato, per ogni fase di scavo la resistenza dei materiali costituenti l'opera (STR) e la stabilità geotecnica del sistema opera-terreno (GEO)

	LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione acquedotto Serino	COMMESSA N7D2	LOTTO 01	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO OC 00 00 002	REV. A	FOGLIO 15 di 35

Come illustrato in precedenza, le analisi FEM sono state condotte utilizzando valori caratteristici per carichi e parametri meccanici del terreno e solamente nelle fasi in cui si intende verificare uno SLU si sono introdotti i coefficienti parziali sui carichi, materiali e resistenze specificati nel DM 14/01/08.

In particolare, nella condizione STR (A1; M1) si è proceduto, nella fase relativa allo SLU di interesse, all'amplificazione dei carichi accidentali Q_k di $\gamma_Q/\gamma_G=1.5/1.3=1.16$. I risultati del calcolo FEM (spostamenti e sollecitazioni) di questa fase sono stati poi amplificati di $\gamma_G=1.3$ raggiungendo in tal modo i moltiplicatori prescritti nel DM 14/01/08 sia per i carichi permanenti $\gamma_G=1.3$ che per i carichi accidentali $\gamma_Q=1.5$. Le sollecitazioni e gli spostamenti (E_d) così ottenuti sono stati confrontati con i valori ultimi di resistenza e deformazione (R_d) secondo la relazione:

$$E_d \geq R_d$$

Nella condizione GEO (A2; M2) si è proceduto, nella fase relativa allo SLU di interesse, all'amplificazione dei carichi accidentali Q_k di $\gamma_Q = 1.3$. Successivamente si è proceduto alla riduzione dei parametri fisico-meccanici dei terreni applicando i coefficienti parziali γ_M specificati nel DM 14/01/08 ai valori caratteristici di resistenza dei terreni. Si è infine verificato che in corrispondenza dei moltiplicatori γ_M sia garantita la stabilità del sistema geotecnico nei confronti di collassi sia locali che globali.

6.1 Analisi strutturale

La verifica di resistenza delle sezioni nei vari elementi strutturali, viene condotta tenendo conto delle condizioni più gravose che si individuano dall'involuppo delle sollecitazioni agenti nelle diverse combinazioni di carico.

Le combinazioni e i coefficienti moltiplicativi delle singole azioni vengono definiti in base a quanto indicato al paragrafo 6.2.3.1.1 del D.M.14/01/08.

Verifica a pressoflessione

La verifica sugli elementi viene condotta calcolando il momento resistente massimo della sezione in presenza o meno di sforzo assiale di compressione. Il calcolo si basa sull'assunzione dei diagrammi di calcolo a tensione-deformazione del calcestruzzo e dell'acciaio previsti dalla normativa.

Con riferimento alla sezione presso inflessa, sotto rappresentata assieme ai diagrammi di deformazione e di sforzo così come dedotti dalle ipotesi e dai modelli $\sigma - \epsilon$ di definiti ai paragrafi 4.1.2.1.2.2 e 4.1.2.1.2.3 del D.M.14/01/08, la verifica di resistenza (SLU) si esegue controllando che:

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

dove:

N_{Ed} è il valore di calcolo della componente assiale (sforzo normale) dell'azione;



LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
 VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
 VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
 PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
 acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	16 di 35

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

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

Verifica a taglio

La verifica a taglio viene condotta per gli elementi senza armature trasversali resistenti a taglio mediante l'espressione fornita dalla normativa:

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

dove:

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

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

d altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_l = A_{sl} / (bwd)$ rapporto geometrico di armatura longitudinale ($\leq 0,02$);

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

b_w larghezza minima della sezione (in mm).

Nel caso in cui tale verifica non sia soddisfatta, occorre procedere alla seconda verifica, quella prevista per gli elementi con armatura trasversali resistenti a taglio.

In tal caso la resistenza a taglio ultima è fornita dal valore minore delle due resistenza secondo il meccanismo taglio-trazione o taglio-compressione forniti da normativa. Più precisamente:

per la resistenza a "taglio trazione":

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (ctg(\alpha) + ctg(\theta)) \cdot \sin(\alpha)$$

per la resistenza a "taglio compressione":

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (ctg(\alpha) + ctg(\theta)) / (1 + ctg^2(\theta))$$

La resistenza al taglio della trave è la minore delle due sopra definite:

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

dove d, b_w e σ_{cp} hanno il significato già visto e inoltre si è posto:

A_{sw} area dell'armatura trasversale;



LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	17 di 35

s interasse tra due armature trasversali consecutive;

α angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;

f'_{cd} resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ($f'_{cd} = 0,5 f_{cd}$);

α_c coefficiente maggiorativo pari a: 1 per membrature 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 $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$

L'inclinazione θ dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti: $1 \leq \text{ctg } \theta \leq 2,5$.

Verifica agli stati limite di esercizio

In tutti i casi, nelle condizioni di esercizio, gli spostamenti dell'opera di sostegno e del terreno circostante devono essere valutati per verificarne la compatibilità con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza e funzionalità e di manufatti adiacenti, anche a seguito di modifiche indotte sul regime delle acque sotterranee.

In presenza di manufatti particolarmente sensibili agli spostamenti dell'opera di sostegno, deve essere sviluppata una specifica analisi dell'interazione tra opere e terreno, tenendo conto della sequenza delle fasi costruttive.

Verifiche di fessurazione

Si valuterà lo stato limite di apertura delle fessure; 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:

$w_1 = 0,2 \text{ mm}$

$w_2 = 0,3 \text{ mm}$

$w_3 = 0,4 \text{ mm}$

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione.

Di seguito si riporta la tabella del paragrafo 4.1.2.2.4.3 del DM 14/01/2008, con i limiti di fessure per lo stato limite di esercizio considerato,

Tabella 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

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	≤ w ₂	ap. fessure	≤ w ₃
		quasi permanente	ap. fessure	≤ w ₁	ap. fessure	≤ w ₂
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	≤ w ₁	ap. fessure	≤ w ₂
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤ w ₁
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	≤ w ₁
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤ w ₁

Il valore di calcolo di apertura delle fessure (w_d) non deve superare i valori nominali w₁, w₂, w₃ secondo quanto riportato nella Tab. 4.1.IV. Il valore di calcolo è dato da:

$$1,7 w_m$$

dove w_m, rappresenta l'ampiezza media delle fessure, calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d'armatura ε_{sm} per la distanza media delle fessure Δ_{sm}:

$$w_m = \varepsilon_{sm} * \Delta_{sm}$$

ε_{sm} e Δ_{sm} sono calcolati secondo le disposizioni della letteratura tecnica. In alternativa il valore di w_d può essere calcolato con la seguente espressione:

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{sm,max}$$

dove:

Δ_{sm,max} è la distanza massima tra le fessure.

La deformazione unitaria media delle ε_{sm} può essere calcolata con l'espressione:

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} (1 + \alpha_e \rho_{eff})}{E_s} \leq \frac{\sigma_s}{E_s}$$

σ_s è la tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata;

α_e è il rapporto E_s/E_{cm};

ρ_{eff} è pari a A_s / A_{c,eff}

A_{c,eff} è l'area efficace di calcestruzzo teso attorno all'armatura, di altezza h_{c,e_f}, dove h_{c,e_f} è

il minore tra 2,5 (h - d), (h - x) / 3 o h / 2 (vedere figura C4.1.9);

k_t è un fattore dipendente dalla durata del carico e vale:

k_t = 0,6 per carichi di breve durata,



LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	19 di 35

$k_t = 0,4$ per carichi di lunga durata.

La distanza massima tra le fessure, Δ_{smax} , può essere valutata con l'espressione:

$$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \frac{\phi}{\rho_{eff}}$$

Dove ϕ è il diametro delle barre.

Se nella sezione considerata sono impiegate barre di diametro diverso, si raccomanda di adottare un opportuno diametro equivalente, ϕ_{eq} . Se n_1 è il numero di barre di diametro ϕ_1 ed n_2 è il numero di barre di diametro ϕ_2 , si raccomanda di utilizzare l'espressione seguente:

$$\phi_{eq} = \frac{n_1 \phi_1^2 + n_2 \phi_2^2}{n_1 \phi_1 + n_2 \phi_2}$$

c è il ricoprimento dell'armatura;

$k_1 = 0,8$ per barre ad aderenza migliorata,

$= 1,6$ per barre lisce;

$k_2 = 0,5$ nel caso di flessione semplice,

$= 1,0$ nel caso di trazione semplice.

In caso di trazione eccentrica, o per singole parti di sezione, si raccomanda di utilizzare valori intermedi di k_2 , che possono essere calcolati con la relazione:

$$k_2 = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) / 2\varepsilon_1$$

in cui ε_1 ed ε_2 sono rispettivamente la più grande e la più piccola deformazione di trazione alle estremità della sezione considerata, calcolate per sezione fessurata.

$k_3 = 3,4$;

$k_4 = 0,425$.

Verifiche delle tensioni di esercizio

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni caratteristica e quasi permanente delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo sia nelle armature; si deve verificare che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti di seguito riportati.

Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio

Per calcestruzzo classe (25/30)



LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	20 di 35

combinazione rara

$$\sigma_{c,ad} = 0.60f_{ck} = 14,94 \text{ MPa}$$

combinazione quasi permanente

$$\sigma_{c,ad} = 0.45f_{ck} = 11,21 \text{ MPa}$$

Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio

la tensione massima σ_s , per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s < 0.80f_{yk} = 0,80 \cdot 450 = 360 \text{ MPa}$$

	LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione acquedotto Serino	COMMESSA N7D2	LOTTO 01	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO OC 00 00 002	REV. A	FOGLIO 21 di 35

7 VERIFICHE DELLE STRUTTURE DI SOSTEGNO

7.1 Criteri di calcolo

Le analisi sono state effettuate secondo le NTC 08 tenendo conto di possibili SLU di tipo geotecnico e di tipo strutturale.

Nello specifico sono state effettuate le verifiche dei seguenti stati limite:

SLU di tipo geotecnico (GEO)

- collasso per raggiungimento della resistenza del terreno con rotazione attorno ad un punto della paratia stessa;
- instabilità globale dell'insieme terreno-opera;

SLU di tipo strutturale (STR)

- raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.

Le verifiche per il dimensionamento strutturale sono state effettuate con la Combinazione 1 (A1+M1+R1) che prevede coefficienti unitari sui parametri del terreno e sulle resistenze globali del sistema, mentre vengono amplificate le azioni permanenti e variabili con i coefficienti del gruppo A1. Nel caso in esame i suddetti coefficienti del gruppo A1 sono stati applicati direttamente alle sollecitazioni, ossia agli effetti delle azioni.

Le verifiche relative al dimensionamento geotecnico, nei confronti del meccanismo di collasso determinato dal raggiungimento della resistenza del terreno sono state effettuate con la combinazione 2 dell'approccio 1 (A2+M2+R1) che prevede l'amplificazione delle azioni variabili ($\gamma_q=1.3$) e la riduzione dei parametri di resistenza a taglio ($\gamma_\phi=1.25$), mentre risultano unitari i coefficienti γ_r sulla resistenza globale del terreno.

La verifica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera è stata effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1 tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II e 6.8.I delle NTC 2008.

Le verifiche sono state condotte facendo riferimento alla sezione più gravosa presente lungo l'estensione dell'opera, con altezza massima di scavo pari a 5m. Nella tabella sottostante sono descritte le principali caratteristiche geometriche della sezione analizzata.



LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	22 di 35

Caratteristiche geometriche sezioni di calcolo

Lunghezza Micropalo (m)	16
Diametro micropali (mm)	300
Tubo di armatura	Φ 219.1, sp. 10mm
Altezza di scavo (m)	4.70
Interasse micropali (m)	0.25

7.2 Analisi dei carichi

I carichi di cui si è tenuto conto nelle analisi sono:

Spinta del terreno

Le sollecitazioni e le deformazioni che si generano nella struttura di sostegno degli scavi, sia nelle fasi di costruzione sia in esercizio, dipendono dalle caratteristiche di resistenza e deformabilità relativa tra la struttura ed il terreno, le une in rapporto alle altre.

Il codice di calcolo utilizzato (Plaxis 2D) consente di analizzare in dettaglio il complesso fenomeno dell'interazione terreno-struttura tenendo conto della sequenza temporale della costruzione e delle condizioni idrauliche nel terreno. Le spinte della terra sulle opere di sostegno vengono pertanto determinate in ciascuna fase della costruzione a partire dall'analisi di deformazione del sistema "terreno-struttura".

Sovraccarico accidentale

A monte della paratia è stato considerato un sovraccarico accidentale di 20 kPa, uniformemente distribuito, che schematizza la presenza di eventuali mezzi di lavoro.

Carichi sismici

Trattandosi di strutture con carattere provvisorio e durata inferiore a 2 anni, nelle analisi non sono state considerate le azioni sismiche.

7.3 Schematizzazione di calcolo

Le analisi sono state effettuate in condizioni di deformazione piana utilizzando il codice di calcolo PLAXIS.

La sezione di calcolo analizzata è quella che presenta il massimo sbalzo pari a 4.70m. Il modello di calcolo utilizzato per valutare lo stato di sforzo e di deformazione nel terreno e nelle strutture consente di simulare ogni



LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
 VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
 VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
 PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
 acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	23 di 35

fase di lavoro, tenendo conto, quindi, dell'evoluzione del regime tensionale e deformativo in ogni "passo" dell'analisi. In particolare nelle analisi svolte sono state schematizzate le seguenti fasi costruttive:

Fase 1: Condizione iniziale geostatica;

Fase 2: Esecuzione dei micropali;

Fase 3: Scavo fino a quota -4.70m da testa micropalo;

Per la sezione analizzata sono state svolte due distinte analisi. La prima (A1-M1), volta al dimensionamento strutturale della paratia, è stata effettuata utilizzando nel modello i parametri caratteristici del terreno e i valori caratteristici delle azioni. I coefficienti amplificati del gruppo A1 previsti dalle NTC 08 sono stati applicati direttamente alle sollecitazioni ricavate dalle analisi.

La seconda analisi (A2-M2), volta alla valutazione dell'instabilità dell'opera per il raggiungimento della resistenza del terreno, è stata effettuata prevedendo l'amplificazione delle azioni variabili ($\gamma_q=1.3$) e la riduzione dei parametri di resistenza a taglio del terreno ($\gamma_\phi=1.25$).

7.4 Schematizzazione geotecnica e parametri di calcolo

I calcoli sono stati condotti utilizzando i parametri caratteristici del terreno per le analisi STR ed parametri di resistenza ridotti tramite i coefficienti parziali del gruppo M2, per le analisi GEO.

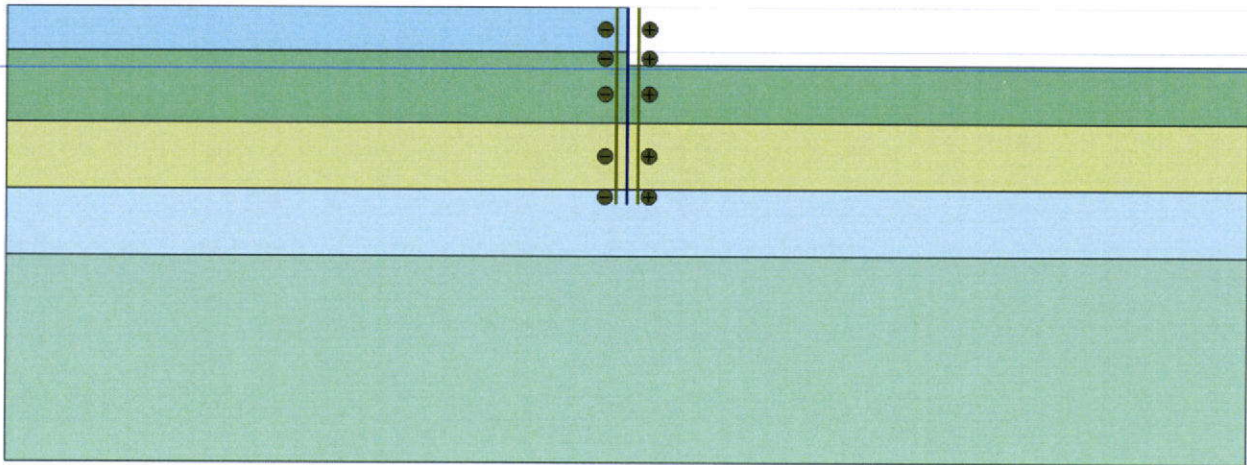
Nel modello il terreno è stato schematizzato mediante elementi finiti triangolari a 15 nodi. Per il terreno è stato adottato un modello elasto plastico, caratterizzato da un criterio di resistenza di Mohr-Coulomb.

Nelle tabelle sottostanti sono riportate le stratigrafie di calcolo ed i valori caratteristici dei parametri utilizzati nei calcoli di dimensionamento per le diverse sezioni tipo.

Stratigrafia e parametri caratteristici del terreno

TERRENO	Prof. m	γ kN/m ³	c' kPa	ϕ' °	E MPa
Riporto	0 ÷ -3.6	18	0	28	25
DI	-3.6 ÷ -9.6	16	5	30	30
P0	-9.6 ÷ -15	16	0	35	50
Ts	-15--20	16	0	36	90
FALDA -5m da testa cordolo					

Nella figura sottostante è rappresentato il modello di calcolo con la stratigrafia di progetto.



Le strutture di sostegno degli scavi sono state schematizzate mediante elementi “trave” caratterizzati da un comportamento di tipo elastico lineare, a cui sono state assegnate la rigidezza assiale e flessionale (a metro lineare) dell’elemento strutturale corrispondente. Nella tabella seguente sono riportate le caratteristiche geometriche e meccaniche degli elementi strutturali schematizzati nelle analisi.

Tabella 3: Caratteristiche elementi strutturali

ELEMENTI STRUTTURALI	A	J'	E	Interasse
	[m ²]	[m ⁴]	[kPa]	[m]
Micropalo	0.0707	0.0003976	4.67e ⁷	0.25



LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
 VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
 VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
 PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
 acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	25 di 35

7.5 Risultati delle analisi

Nelle tabelle che sono riportati i valori massimi delle sollecitazioni nei pali ottenuti dalle analisi A1-M1

Tabella 4: Sollecitazioni nei pali – Analisi A1M1

	Valori caratteristici a metro lineare			Valori caratteristici per singolo micropalo		
	Mmax kNm	Tmax kN	Nmax kN	Mmax kNm	Tmax kN	Nmax kN
Paratia micropali – palo verticale	129.2	55.7	55.43	32.3	13.92	13.85

N: sforzo assiale
 M: momento flettente
 T: forza di taglio

Per illustrare più in dettaglio la situazione statica, vengono riportate le seguenti rappresentazioni grafiche:

- diagrammi con involucro delle sollecitazioni a metro lineare che agiscono sui pali;
- spostamenti orizzontali nel terreno e nelle paratie per la situazione di scavo alla massima profondità;
- risultato dell'analisi di stabilità dei diaframmi in termini di rapporto tra la tensione di taglio mobilizzata e quella resistente (analisi A2-M2)

Lo stato di sollecitazione nella paratia sono compatibili con le caratteristiche delle strutture previste in progetto. Le analisi svolte per la verifica della stabilità dell'opera nei confronti del collasso per il raggiungimento della resistenza del terreno (A2-M2), mostrano la convergenza delle analisi numeriche, che garantisce le condizioni di equilibrio della paratia.



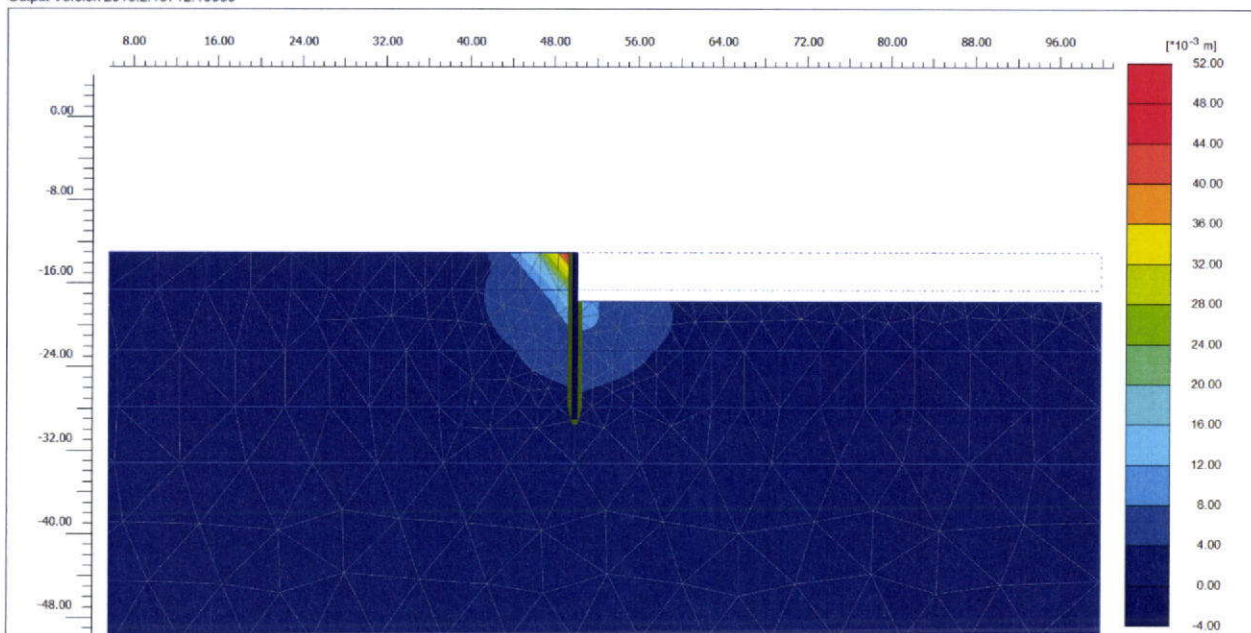
LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
 VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
 VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
 PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
 acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	26 di 35

Output Version 2013.2.16712.10959



Total displacements u_x

Maximum value = 0.05139 m (Element 31 at Node 840)

Minimum value = 0.000 m (Element 3 at Node 1)

PLAXIS	Project description		Date
	Paratia micropali_falda_qui ...		28/04/2016
	Step	User name	
	26	3TI ITALIA spa	

Figura 5- Spostamenti orizzontali del terreno



LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
 VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
 VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
 PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
 acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	27 di 35

Output Version 2013.2.16712.10959

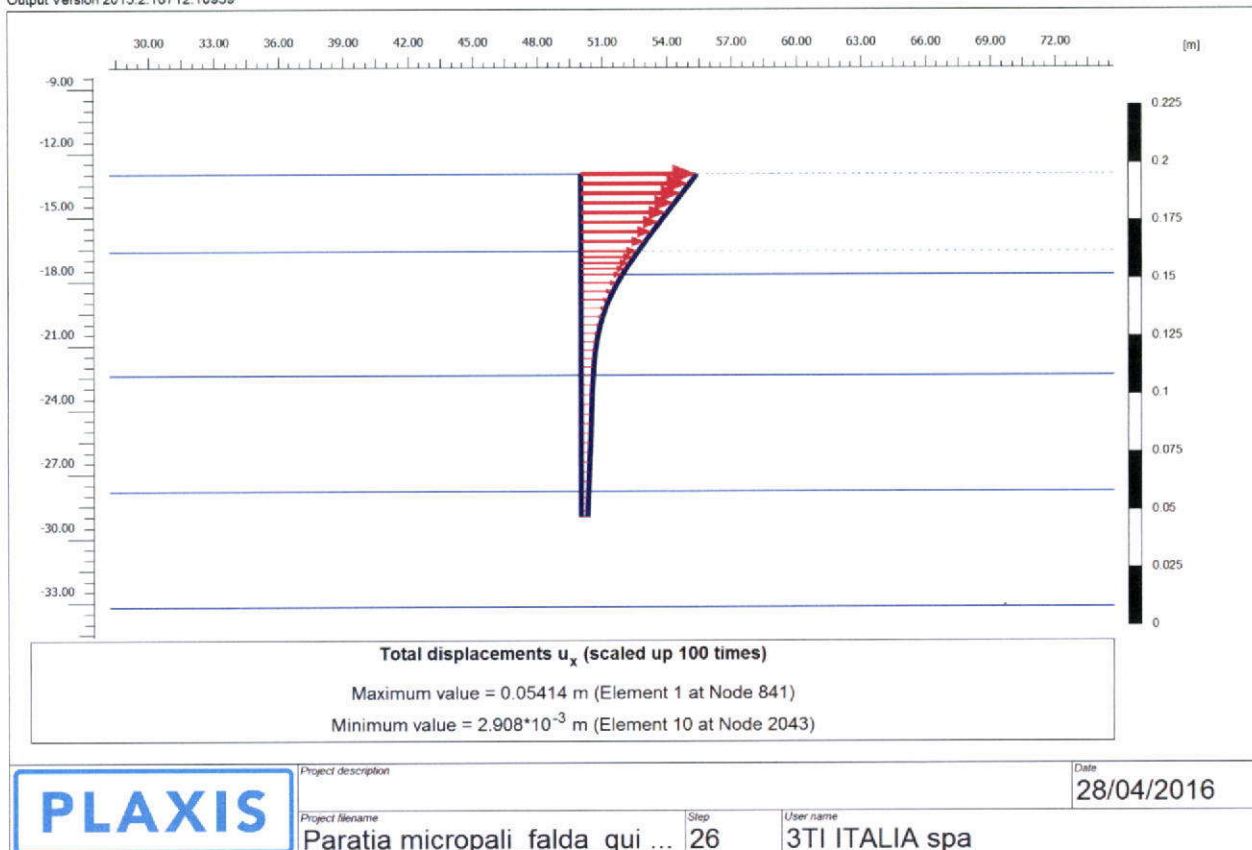


Figura 6– Spostamenti orizzontali della paratia



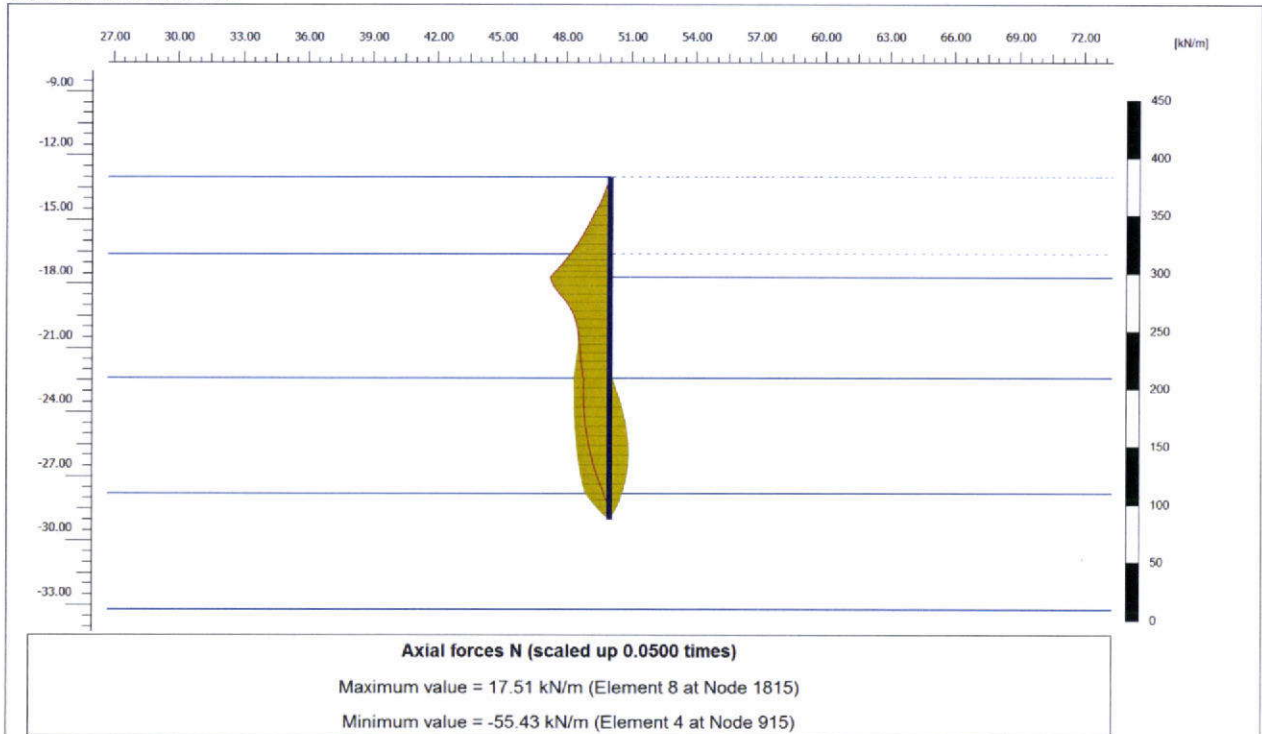
LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
 VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
 VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
 PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
 acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	28 di 35

Output Version 2013.2.16712.10959



PLAXIS	Project description		Date
	Paratia micropali_falda_qui ...		28/04/2016
	Project filename	Step	User name
	Paratia micropali_falda_qui ...	26	3TI ITALIA spa

Figura 7- Micropalo verticale involucro sforzo assiale



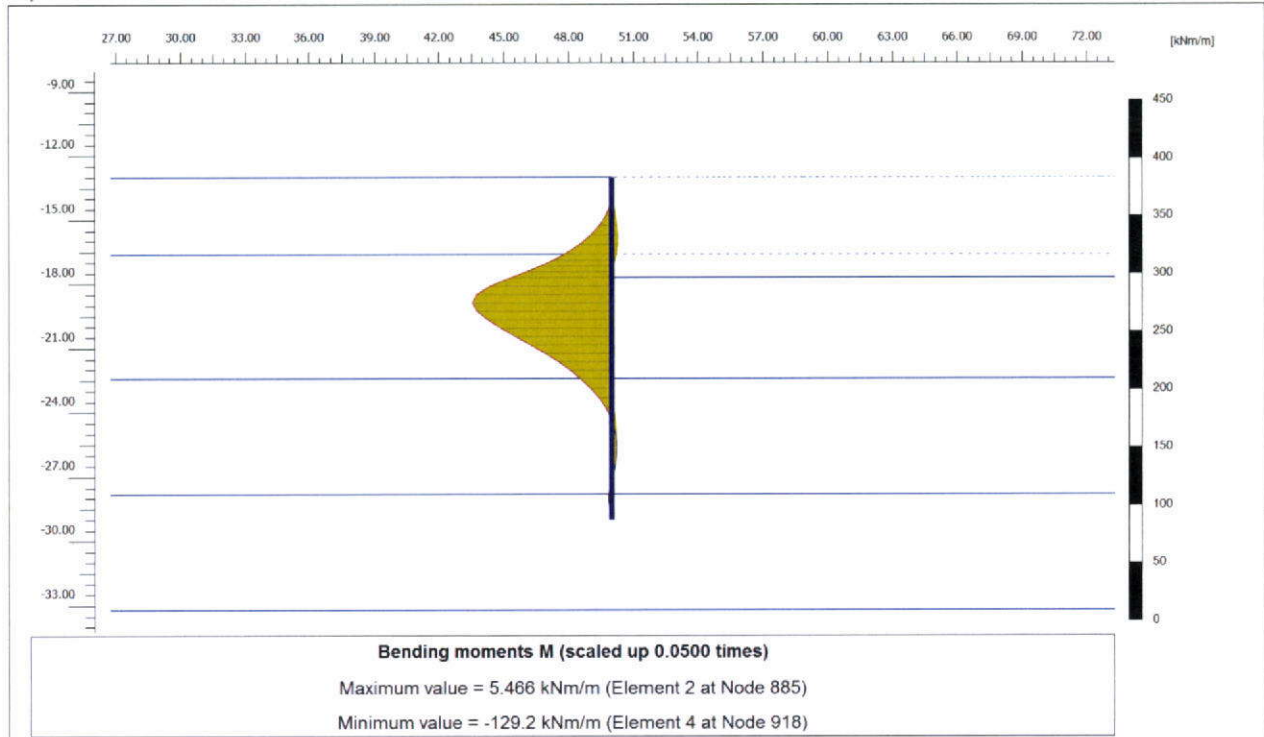
LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
 VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
 VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
 PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
 acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	29 di 35

Output Version 2013.2.16712.10959



PLAXIS	Project description		Date
	Paratia micropali_falda_qui ...		28/04/2016
	Project filename	Step	User name
	Paratia micropali_falda_qui ...	26	3TI ITALIA spa

Figura 8- Micropalo verticale – Involuppo momento flettente



LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
 VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
 VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
 PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
 acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	30 di 35

Output Version 2013.2.16712.10959

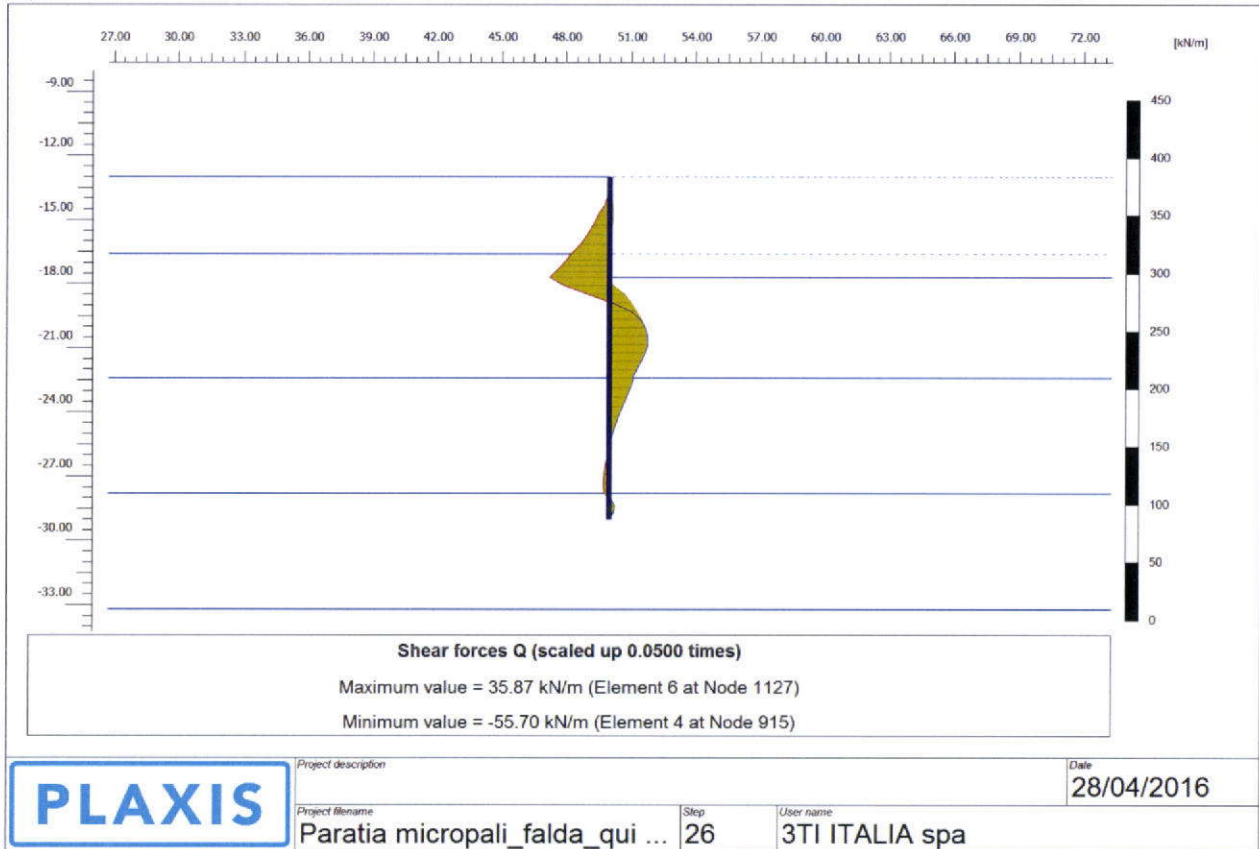


Figura 9– Micropalo verticale – Involuppo taglio



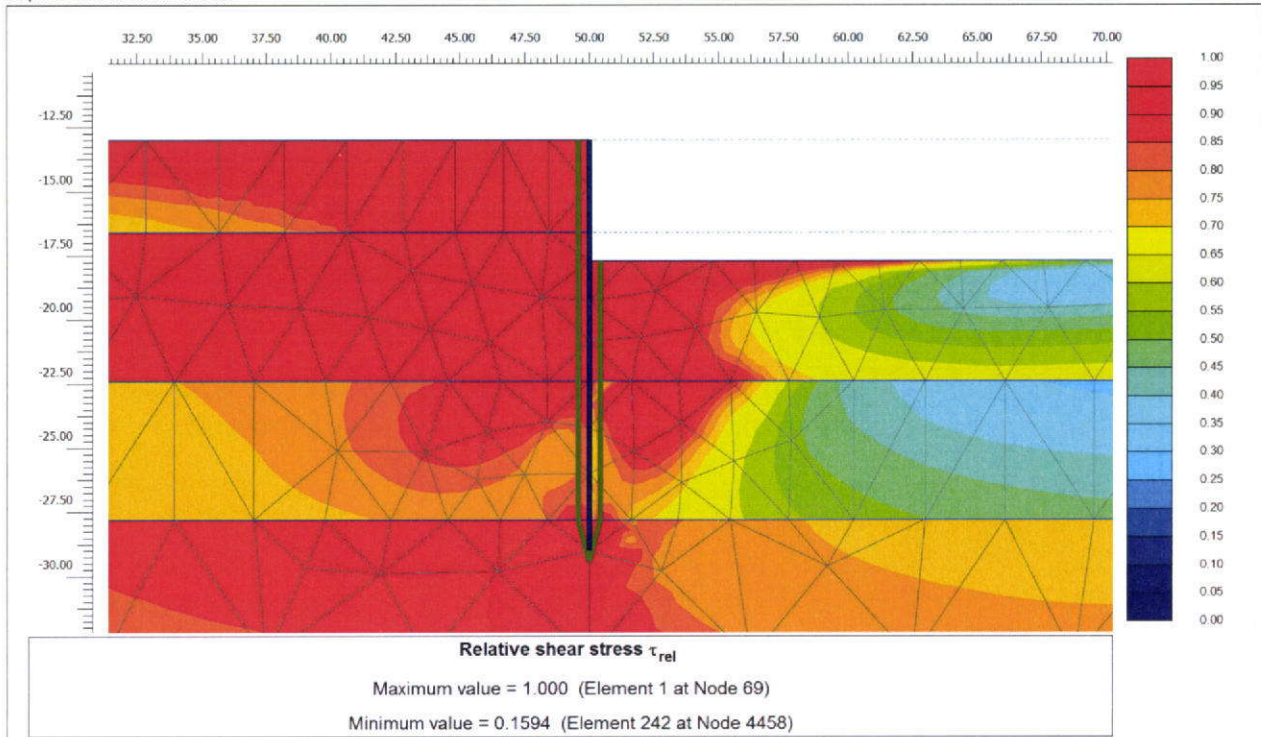
LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
 VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
 VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
 PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
 acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	31 di 35

Output Version 2013.2.16712.10959



PLAXIS	Project description		Date
	Project filename		28/04/2016
	Paratia micropali_falda_qui ...	Step 155	User name 3TI ITALIA spa

Figura 10- Rapporto tra la tensione di taglio mobilata e quella resistente (analisi A2-M2)



LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	32 di 35

8 VERIFICHE DELLE STRUTTURE IN ACCIAIO

Le verifiche di resistenza dei tubolari sono state effettuate con il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

Le sollecitazioni di calcolo sono state ottenute amplificando, tramite i coefficienti parziali di sicurezza $\gamma_G = \gamma_Q = 1.3$, le sollecitazioni determinate mediante l'analisi dell'interazione terreno-struttura in cui sono stati considerati i valori nominali delle azioni ed i valori caratteristici delle caratteristiche del terreno. La resistenza di calcolo è definita mediante l'espressione:

$$f_d = f_y / \gamma_m$$

In cui

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2 \quad \text{tensione di snervamento acciaio S355}$$

$$\gamma_m = 1.05 \quad \text{coefficiente parziale di sicurezza del materiale}$$

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche di resistenza dei micropali e dei puntoni.



LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
 VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
 VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
 PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
 acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	33 di 35

8.1 Micropalo verticale

Le massime sollecitazioni di calcolo agenti sul singolo micropalo risultano:

Nd = 18 kN; Md = 42 kNm; Td = 18.1 kN

Caratteristiche della Sezione																							
T_cavi	dimensioni principali						peso	area	Altre dimensioni/dettagli costruttivi/caratteristiche						superfici		classe EC3						
	De	s	Di	-	-	-	G	A	t	-	-	-	-	-	A _L	A _S	flessione		compressione				
Designazione	mm	mm	mm	-	-	-	[Kg/m]	[cm ²]	[cm ²]	-	-	-	-	-	-	-	20	30	40	20	30	40	
0 28,1x 10	219.1	10	199.1	10	-	-	51.57	65.69	343.40	-	-	-	-	-	-	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Vedi Tabella	caratteristiche statiche												
	asse qualsiasi												
crea DXF	I	W	W _{pl}	i	A _{ca}	-	-	-	-	-	-	-	-
SolidEdge Part	(cm ⁴)	(cm ³)	(cm ³)	(cm)	cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-
	3598.44	328.47	437.56	7.40	65.69	3598.44	328.47	437.56	7.40	-	-	-	-

Dati Generali	
Qualità Acciaio	S 355
Classe della Sezione	0
Ger delle Resistenze	NO
Luce Libera	cm
Numero Forature	n°
Diametro Forature	cm
Area Fazzoletti agg	cm ²

Sollecitazioni agenti sulla Sezione	
Sforzo Normale	1800.00 kg
Momento yy	420000.00 kgcm
Momento zz	kgcm
Taglio yy	1800.00 kg
Taglio zz	kg
Momento Torcente	kgcm

Verifiche			
Trazione	Non Necessaria	0.00	≤ 1 Non Necessaria
Compressione	Ned/NcRd ≤ 1	0.01	≤ 1 Verificata
Flessione retta yy	Med/McRd ≤ 1	0.28	≤ 1 Verificata
Flessione retta zz	Non Necessaria	0.00	≤ 1 Non Necessaria
Taglio yy	Ved/VcRd ≤ 1	0.01	≤ 1 Verificata
Taglio zz	Non Necessaria	0.00	≤ 1 Non Necessaria
Torsione			
Flessione e Taglio yy	Non Necessaria	0.00	≤ 1 Non Necessaria
Flessione e Taglio zz	Non Necessaria	0.00	≤ 1 Non Necessaria
Presso/Tenso Flessione retta yy	Med/MNyRd ≤ 1	0.21	≤ 1 Verificata
Presso/Tenso Flessione retta zz	Med/MNzRd ≤ 1	0.00	≤ 1 Non Necessaria
Presso/Tenso Flessione biassiale	Non Necessaria	0.21	≤ 1 Verificata

Sfruttamento	
Sfruttamento della Sezione	28 %



LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
 VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
 VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
 PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
 acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	34 di 35

9 VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE DELL'INSIEME TERRENO-OPERA

La verifica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera è stata effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II e 6.8.I delle NTC 2008.

Le condizioni di stabilità sono state valutate utilizzando un modello basato sulla teoria dell'equilibrio limite. Il programma di calcolo utilizzato è SLOPE/W della GEOSLOPE International Ltd.

Per i terreni che costituiscono il versante è stato assunto un legame costitutivo rigido-plastico con criterio di rottura di Mohr-Coulomb, per le analisi in termini di sforzi efficaci, ed il criterio di Tresca per le analisi in termini di sforzi totali. Tale approccio consente di definire un semplice fattore di sicurezza, convenzionalmente valutato come rapporto tra le forze di taglio potenzialmente mobilitabili lungo la superficie di rottura analizzata e le forze di taglio effettivamente mobilitate sotto l'azione delle forze agenti (pesi propri, carichi esterni, ecc.).

Il codice di calcolo consente di tener conto di eventuali elementi di rinforzo presenti nel terreno. Tali elementi vengono schematizzati come delle linee di carico, inserite poi nella formulazione delle equazioni dell'equilibrio.

Nelle analisi il rinforzo può essere visto come riduzione delle forze destabilizzanti o, alternativamente, come incremento della resistenza tangenziale lungo la superficie di scorrimento.

In SLOPE/W le equazioni di equilibrio sono basate sul taglio mobilitato alla base di ogni striscia, calcolato come la resistenza tangenziale divisa per il fattore di sicurezza:

$$S_m = \frac{S_{soil}}{FS}$$

Se il rinforzo viene considerato come incremento della resistenza tangenziale, il taglio mobilitato è dato da:

$$S_m = \frac{S_{soil}}{FS} + \frac{S_{reinf}}{FS}$$

In questo modo si ipotizza che la resistenza tangenziale e la resistenza dovuta al rinforzo si mobilitano contemporaneamente e, sia il taglio mobilitato che la resistenza tangenziale dovuta al rinforzo vengono entrambe divise per il coefficiente di sicurezza globale.

Se il rinforzo viene invece considerato come riduzione delle forze destabilizzanti, si assume che le forze dovute al rinforzo vengono mobilitate immediatamente; con questa ipotesi la resistenza dovuta al rinforzo non viene divisa per il coefficiente di sicurezza globale.

La prima ipotesi viene utilizzata per schematizzare rinforzi duttili (geogriglie), mentre la seconda è appropriata per schematizzare tiranti, chiodi e pali. Nel caso in esame il contributo resistente fornito dai pali è stato assunto pari al valore del taglio resistente del palo in calcestruzzo privo di armatura.



LINEA AV MILANO NAPOLI - TRATTA ROMA-NAPOLI
VIABILITA' DI ACCESSO ALLA STAZIONE AV NAPOLI-AFRAGOLA
VIABILITA' DI CUI ALLA LETTERA b) DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO
PROCEDIMENTALE RFI - COMUNE DI AFRAGOLA DEL 22/06/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo paratie micropali opera di protezione
acquedotto Serino

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
N7D2	01	D 78 CL	OC 00 00 002	A	35 di 35

Trattandosi di una struttura provvisoria la verifica di stabilità globale è stata effettuata solo nelle condizioni statiche. Il risultato del calcolo, riportato nella figura sottostante, fornisce un coefficiente di sicurezza minimo pari a 1.8 e dunque la verifica risulta soddisfatta.

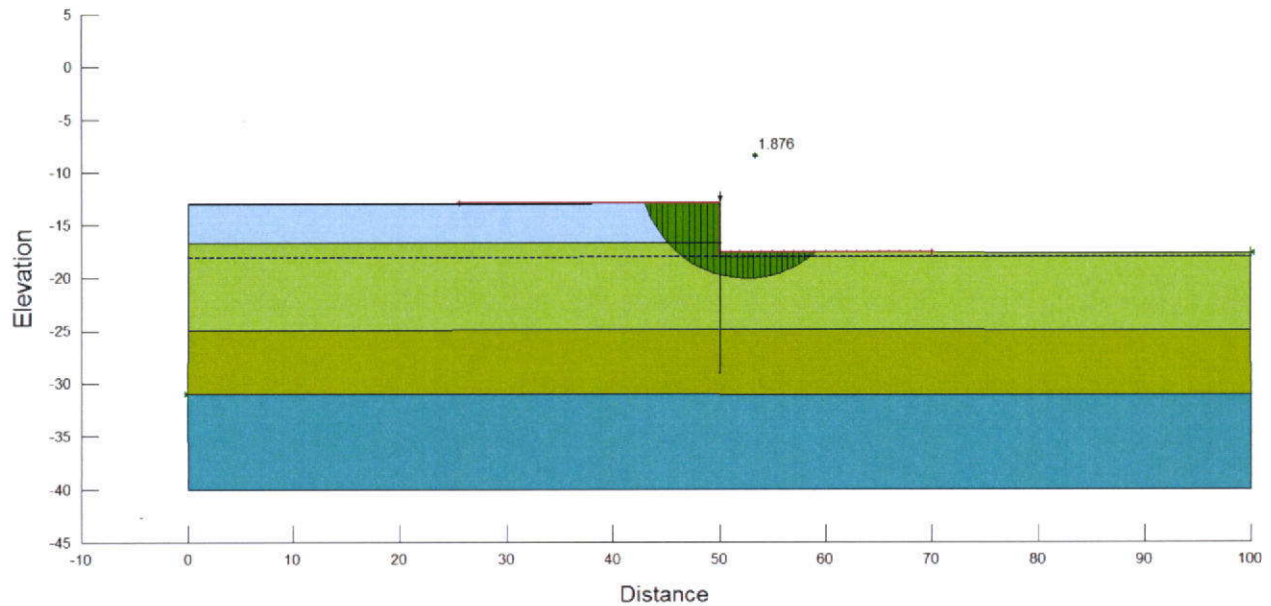


Figura 11 – Risultati analisi di stabilità globale terreno-paratia (A2+M2+R2)