

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NODO DI CATANIA**

U.O. INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

**INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA
DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL
TRATTO DI LINEA INTERESSATO.**

MACROFASE FUNZIONALE 1

LOTTO 2

Bretella CT-SR e Fascio A-P di prima fase e Collegamento Fascio A-P-Interporto - OPERE CIVILI
Opere di sostegno di linea - Relazione di calcolo delle opere provvisionali

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RS3H 02 D 78 CL MU0500 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	L.Nani	Marzo 2020	C. Toraldo <i>Catalina Toraldo</i>	Marzo 2020	S.Vanfiori <i>S. Vanfiori</i>	Marzo 2020	D.Tiberti <i>D. Tiberti</i> Marzo 2020

File: RS3H.0.2.D.78.CL.MU.05.0.0.002.A

n. Elab.:

ITA FERR S.p.A.
Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane
Direzione Regionale
UO Infrastrutture Sud
Dott. Ing. Danilo Tiberti
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10376

INDICE

1	PREMESSA	3
1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
3	MATERIALI	6
3.1	CALCESTRUZZO.....	6
3.2	ACCIAIO PER C.A. (ARMATURA ORDINARIA)	6
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	7
4.1	STRATIGRAFIA.....	8
5	CRITERI GENERALI DI MODELLAZIONE ADOTTATA.....	9
6	CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE E VERIFICA AI SENSI DEL D.M. 17-01-2018	12
6.1	METODI AGLI STATI LIMITE ED APPROCCI DI PROGETTO.....	12
6.2	CRITERI DI ANALISI E VERIFICA DELLE PARATIE	15
6.3	VERIFICHE SISMICHE	16
7	MODELLO DI CALCOLO.....	17
7.1	ANALISI DEI CARICHI.....	17
7.2	FASI DI CALCOLO.....	18
7.3	RISULTATI E VERIFICHE	20
7.3.1	<i>Risultati (combinazione SLE)</i>	20
7.3.2	<i>Risultati e verifiche SLU-STR (combinazione AI+MI+RI)</i>	21
7.3.3	<i>Sintesi sollecitazioni agenti</i>	22
7.3.4	<i>Verifiche di resistenza</i>	23
7.3.5	<i>Verifica cedimenti binario esistente</i>	24

1 PREMESSA

Il presente documento si inserisce nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici di progetto definitivo delle opere d'arte provvisionali relative alla Diretrice Ferroviaria Messina – Catania – Palermo Nodo Di Catania, Interramento Linea per pl Prolungamento Della Pista Dell' Aeroporto Di Fontanarossa e per la Messa a STI del tratto di Linea interessato, Macrofase Funzionale 1, Lotto 02.

In particolare si tratterà il dimensionamento della paratia provvisoria atta a preservare la linea storica in esercizio per la realizzazione del muro di sostegno MU05.

Si noti come sarà predisposto il monitoraggio finalizzato al controllo delle geometrie del binario durante tutto il periodo interesse dalle operazioni di scavo.

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate secondo il DM 17 gennaio 2018.

1.1 Descrizione dell'opera

Nella presente relazione sono illustrati i calcoli e le verifiche geotecniche della paratia provvisoria relativa al muro di sostegno MU05 che si sviluppa dalla progressiva 2+300.00 km alla progressiva 2+800 km circa.

Si riporta di seguito la sezione dell'opera:

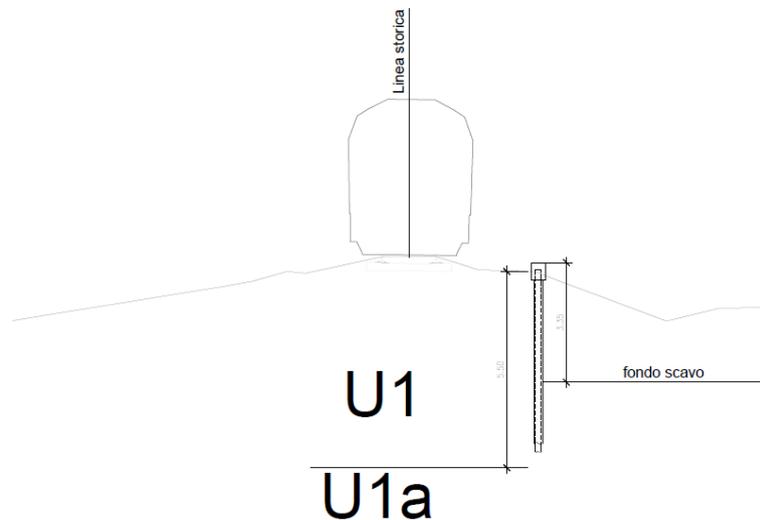


Figura 1 _ Sezione opera provvisoria.

La paratia provvisoria è costituita da micropali di diametro pari a 300 mm, posti ad un interasse di 35 cm e aventi una lunghezza di 10.00 m, con armatura tubolare $\phi 219.1$ di spessore 12.5 mm.

Si riporta di seguito la tipologia di micropalo impiegata:

Relazione di calcolo delle opere provvisionali -
 MU05 - muro di sostegno lato sx e lato dx

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	02	D78CL	MU05 00 002	A	4 di 28

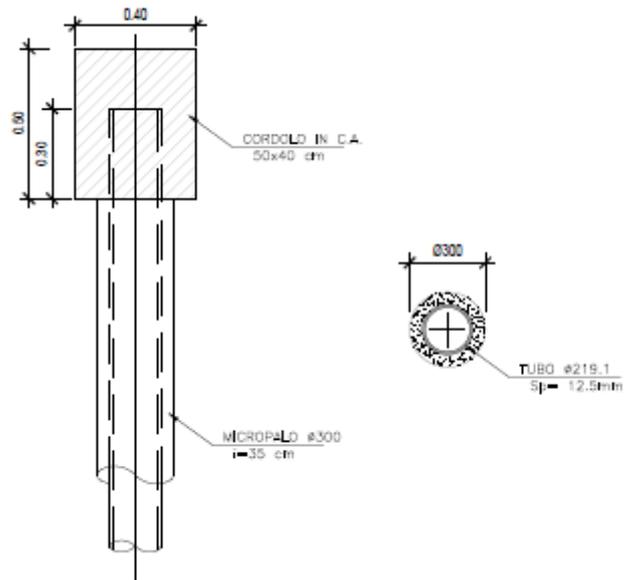


Figura 2 _ Tipologia micropali.

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

[N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);

[N.2]. Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l'Applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;

[N.3]. Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019

[N.4]. Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010 – Eurocodice 1 – Parte 2

[N.5]. RFI DTC SI MA IFS 001 C del 21-12-18 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili

3 MATERIALI

Si riportano di seguito i materiali previsti per la realizzazione delle strutture, suddivisi per elemento costruttivo.

3.1 Calcestruzzo

Classe	C25/30		
R_{ck}	30	MPa	resistenza caratteristica cubica
f_{ck}	25	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
f_{cm}	30	MPa	valor medio resistenza cilindrica
α_{cc}	0,85		coeff. rid. Per carichi di lunga durata
γ_M	1,5	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
f_{cd}	14.16	MPa	resistenza di progetto
f_{ctm}	2.56	MPa	resistenza media a trazione semplice
f_{ctm}	3,07	MPa	resistenza media a trazione per flessione
f_{ctk}	1.9	MPa	valore caratteristico resistenza a trazione
E_{cm}	30588	MPa	Modulo elastico di progetto
ν	0,2		Coefficiente di Poisson
G_c	13894	MPa	Modulo elastico Tangenziale di progetto
c	60	mm	Copriferro minimo
XC2			Classe di esposizione

3.2 Acciaio per c.a. (armatura ordinaria)

Acciaio tipo: EN 10025-S275 JR

Tensione di rottura a trazione: $f_{tk} \geq 430$ MPa

Tensione di snervamento: $f_{yk} \geq 275$ MPa

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Nel presente capitolo si riporta la caratterizzazione geotecnica per l'opera in esame, valutata sulla base dell'interpretazione delle indagini geotecniche svolte in prossimità dell'opera.

La stratigrafia di riferimento finalizzata al dimensionamento dell'opera provvisoria è rappresentata nel profilo stratigrafico longitudinale, riportato nella seguente figura:

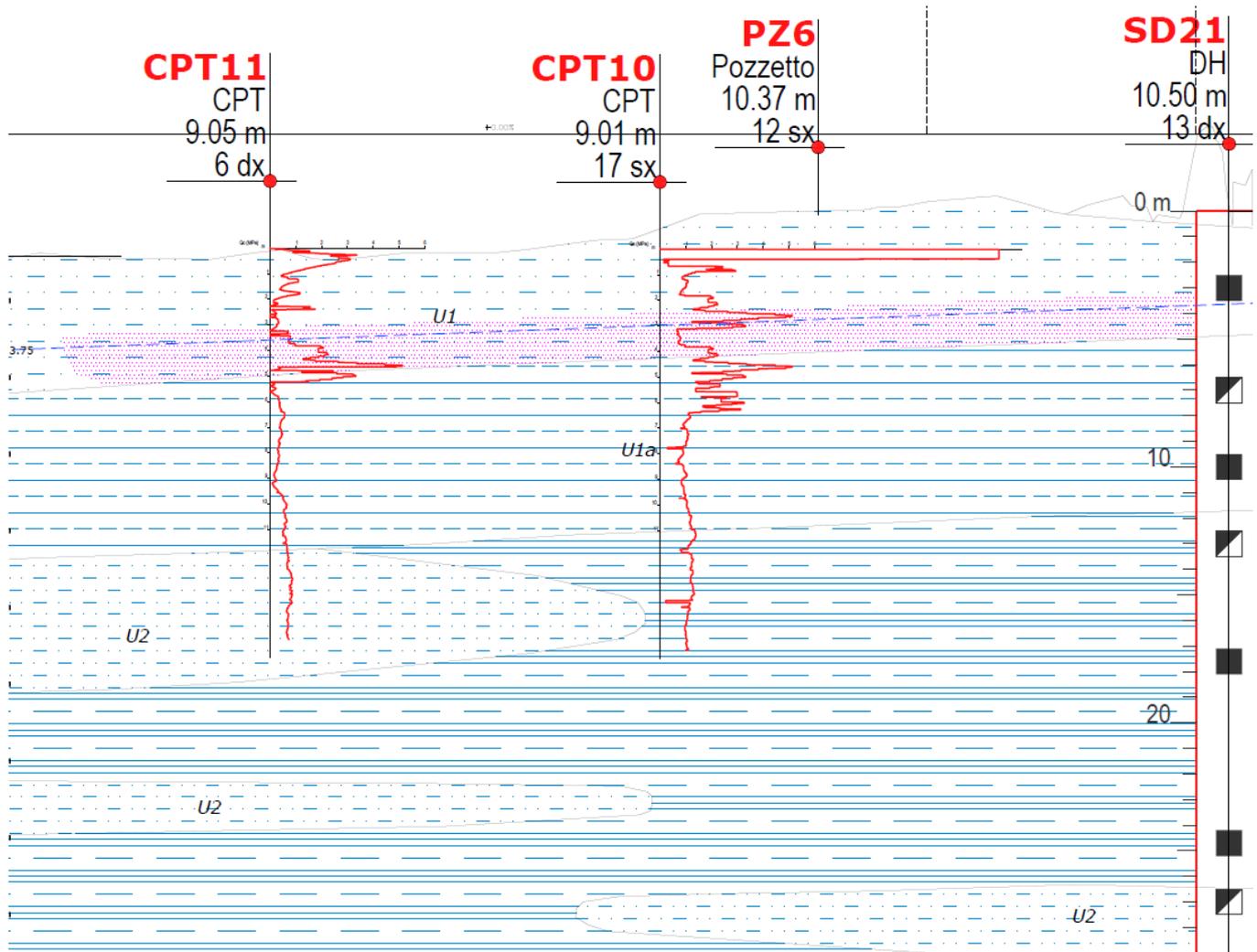


Figura 3 _ Profilo geotecnico.

Per maggiori dettagli sulla caratterizzazione geotecnica si rimanda alla Relazione geotecnica generale.

4.1 Stratigrafia

La stratigrafia utilizzata nel calcolo dell'opera provvisoria è indicata nella tabella sottostante:

Profondità da p.c. [m]	Unità geotecnica
Da 0 a 1.5	Rilevato esistente
Da 1.5 a 5.5	Unità U1
Da 5.5 a 12	Unità U1a

Tabella 1 _ Stratigrafia terreno.

mentre i parametri meccanici delle unità geotecniche sono i seguenti:

Unità geotecnica	γ [kN/m ³]	ϕ [°]	c [kPa]	cu [kPa]
Rilevato esistente	20.0	38	0	-
Unità U1	18.5	30	0	-
Unità U1a	19.0	23	15	40

Tabella 2 _ Caratteristiche meccaniche unità geotecniche.

La falda è posta a 5.0 m al di sotto del piano campagna.

5 CRITERI GENERALI DI MODELLAZIONE ADOTTATA

Al fine di rappresentare il comportamento delle paratie durante le varie fasi di lavoro (scavi e/o eventuale inserimento degli elementi di contrasto), è necessario l'impiego di un metodo di calcolo iterativo atto a simulare l'interazione in fase elasto-plastica terreno-paratia.

Lo studio del comportamento di un elemento di paratia inserito nel terreno viene effettuato tenendo conto della deformabilità dell'elemento stesso, considerato in regime elastico, e soggetto alle azioni derivanti dalla spinta dei terreni, dalle eventuali differenze di pressione idrostatiche, dalle spinte dovute ai sovraccarichi esterni e dalla presenza degli elementi di contrasto.

La paratia viene discretizzata con elementi finiti monodimensionali a due gradi di libertà per nodo (spostamento orizzontale e rotazione).

Il terreno viene schematizzato con delle molle secondo un modello elasto-plastico; esso reagisce elasticamente sino a valori limite dello spostamento, raggiunti i quali la reazione corrisponde, a seconda del segno dello stesso spostamento, ai valori limite della pressione attiva o passiva.

Gli spostamenti vengono computati a partire dalla situazione di spinta "a riposo".

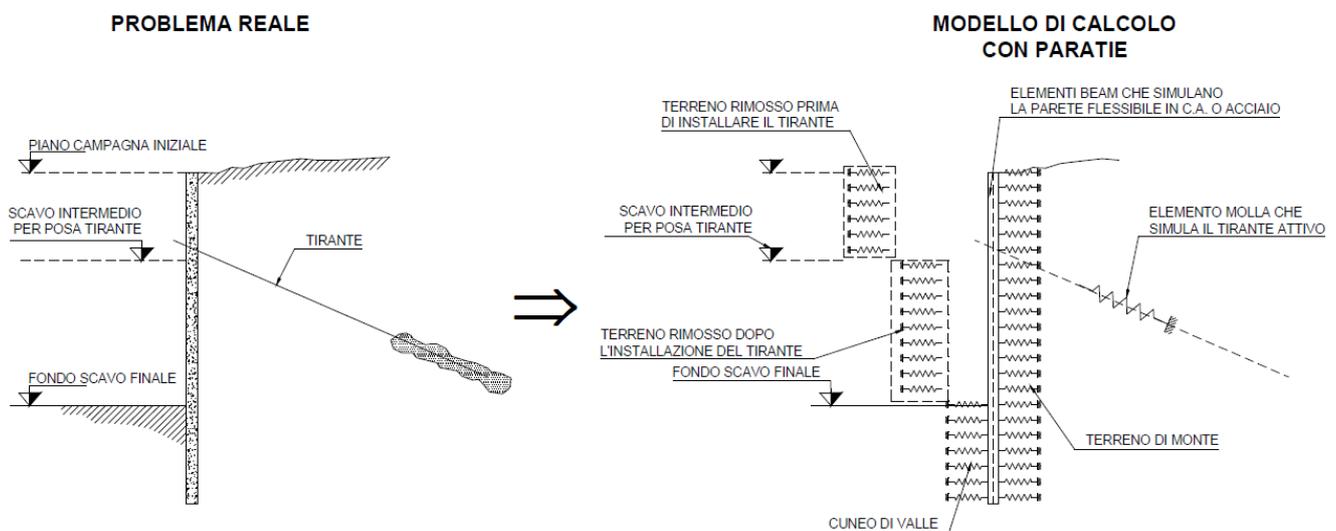


Figura 4 _ Modello di calcolo.

Al fine di ottenere informazioni attendibili sull'entità delle sollecitazioni e delle deformazioni nelle paratie è necessario poterne seguire il comportamento durante le principali fasi esecutive.

A tal riguardo, l'interazione fra la paratia e il terreno, è simulata modellando la prima con elementi finiti caratterizzati da una rigidità flessionale ed il secondo con molle elasto-plastiche connesse ai nodi della paratia di rigidità proporzionale al modulo di rigidità del terreno. Inoltre, è possibile modellare eventuali elementi di sostegno della paratia (tiranti, puntoni) con molle dotate di opportuna rigidità.

In particolare, la paratia è schematizzata attraverso un diaframma di spessore equivalente ricavato attraverso la seguente espressione:

$$s_{eq} = \sqrt[3]{12E_m J_p}$$

dove:

Em: modulo elastico del materiale costituente la paratia

Jp: inerzia della sezione della paratia

Il terreno si comporta come un mezzo elastico sino a che il rapporto tra la tensione orizzontale efficace (σ'_h) e la tensione verticale efficace (σ'_v) risulta compreso tra il coefficiente di spinta attivo (k_a) e passivo (k_p), mentre quando il rapporto è pari a k_a o a k_p il terreno si comporta come un mezzo elasto-plastico.

Questo modello, nella sua semplicità concettuale, derivato direttamente dal modello di Winkler, consente una simulazione del comportamento del terreno adeguata agli scopi progettuali. In particolare, vengono superate le limitazioni dei più tradizionali metodi dell'equilibrio limite, non idonei a seguire il comportamento della struttura al variare delle fasi esecutive.

I parametri di deformabilità del terreno compaiono nella definizione della rigidezza delle molle. Per un letto di molle distribuite la rigidezza di ciascuna di esse, k , è data da:

$$k = E / L$$

dove E è un modulo di rigidezza del terreno mentre L è una grandezza geometrica caratteristica. Poiché nel programma PARATIE le molle sono posizionate a distanze finite Δ , la rigidezza di ogni molla è: $k=E\Delta/L$

Il valore di Δ è fornito dalla schematizzazione ad elementi finiti. Il valore di L è fissato automaticamente dal programma. Esso rappresenta una grandezza caratteristica che è diversa a valle e a monte della paratia perché diversa è la zona di terreno coinvolta dal movimento in zona attiva e passiva. Si è scelto:

in zona attiva (uphill):

$$L_A = \frac{2}{3} \ell_A \tan(45^\circ - \phi' / 2)$$

in zona passiva (downhill):

$$L_P = \frac{2}{3} \ell_P \tan(45^\circ + \phi' / 2)$$

Dove: $\ell_A = \min\{l, 2H\}$;

Dove: $\ell_P = \min\{l - H, H\}$

con

l = altezza totale della paratia

H = altezza corrente dello scavo.

La logica di questa scelta è illustrata nella pubblicazione di Becci e Nova (1987). Si assume in ogni caso un valore di H non minore di 1/10 dell'altezza totale della parete.

Il programma consente di seguire le fasi evolutive degli scavi a valle dell'opera, determinando, per ciascuna fase di scavo prevista, la deformata dell'opera e le sollecitazioni e gli stati tensionali nel terreno con essa interagente.

Il software consente di tener conto anche della presenza di vincoli lungo la paratia, sia di tipo elastico (molle /tiranti) che di tipo rigido.

La presenza dei tiranti viene infine schematizzata dal software come dei vincoli elastici, la cui deformabilità dipende dalle caratteristiche della sezione resistente in acciaio dei tiranti e dalla lunghezza libera degli stessi, eventualmente incrementata di una quantità funzione dell'efficienza (≤ 1) associata al bulbo di ancoraggio.

6 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE E VERIFICA AI SENSI DEL D.M. 17-01-2018

Nel presente paragrafo sono riportate alcune indicazioni salienti della Normativa riguardanti criteri generali di progettazione e verifica delle opere strutturali e geotecniche, oltre a specifiche da adottare per il caso delle Paratie di Sostegno.

6.1 Metodi agli Stati Limite ed Approcci di Progetto

Il progetto di opere strutturali e geotecniche va effettuato, come prescritto dal DM 17/01/18, con i criteri del 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. La normativa distingue inoltre tra Stati Limite Ultimi e Stati Limite di Esercizio.

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

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

E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni.

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

Il coefficiente γ_R opera direttamente sulla resistenza del sistema. I coefficienti parziali di sicurezza, γ_{Mi} e $\gamma_{Fj} = \gamma_{Ej}$, 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.

In accordo a quanto stabilito al §2.6.1 del DM 17.01.18, la verifica della condizione $R_d \geq E_d$ 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). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo Approccio progettuale (Approccio 1) le verifiche si eseguono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti ognuna delle quali può essere critica per differenti aspetti dello stesso progetto, convenzionalmente indicate come di seguito:

A1+M1+R1

A2+M2+R2

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) le verifiche si eseguono con un'unica combinazione di gruppi di coefficienti

Gli stati limite di verifica si distinguono in genere in:

- EQU perdita di equilibrio della struttura fuori terra, considerata come corpo rigido.
- STR raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali.
- GEO raggiungimento della resistenza del terreno interagente con la struttura con sviluppo di meccanismi di collasso dell'insieme terreno-struttura;

Relazione di calcolo delle opere provvisoriale -
 MU05 - muro di sostegno lato sx e lato dx

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	02	D78CL	MU05 00 002	A	13 di 28

- UPL perdita di equilibrio della struttura o del terreno, dovuta alla spinta dell'acqua (sollevamento per galleggiamento).
- HYD erosione e sifonamento del terreno dovuta ai gradienti idraulici.

I coefficienti parziali da applicare alle azioni sono quelli definiti alla Tab 2.6.I del DM 17.01.18 di seguito riportata per chiarezza espositiva:

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		γ_F			
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Nella Tab. 2.6.I il significato dei simboli è il seguente:

- γ_{G1} coefficiente parziale dei carichi permanenti G_1 ;
- γ_{G2} coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali G_2 ;
- γ_Q coefficiente parziale delle azioni variabili Q.

Nel caso in cui l'azione sia costituita dalla spinta del terreno, per la scelta dei coefficienti parziali di sicurezza valgono le indicazioni riportate nel Capitolo 6.

I valori dei coefficienti parziali da applicare ai materiali e/o alle caratteristiche dei terreni (M) sono definiti nelle specifiche sezioni della norma, ed in particolare al Cap. 4 per ciò che concerne i coefficienti parziali da applicare ai materiali strutturali, mentre al Cap.6 sono indicati quelli da applicare alle caratteristiche meccaniche dei terreni.

I coefficienti parziali da applicare alle resistenze (R) sono infine unitari sulle capacità resistenti degli elementi strutturali, mentre assumono in genere valore diverso da 1 per ciò che concerne verifiche che attengono il controllo di meccanismi di stabilità locale o globale; i valori da adottare per ciascun meccanismo di verifica, sono definiti nelle specifiche sezioni di normativa dedicate al calcolo delle diverse opere geotecniche.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio viene effettuata invece controllando gli aspetti di funzionalità e lo stato tensionale e/o deformativo delle opere, con riferimento ad una combinazione di verifica caratterizzata da coefficienti parziali sulle azioni e sui materiali tutti unitari.

Al § 2.5.3 del DM 17.01.18, sono infine definiti i criteri con cui le diverse azioni presenti vanno combinate per ciascuno stato limite di verifica previsto dalla Normativa, di seguito riportati per completezza:

2.5.3. COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

– Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

– Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

– Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

– Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

– Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

– Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.6]$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

Nelle combinazioni si intende che vengano omessi i carichi Q_{kj} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_j .

Nell'ambito della progettazione geotecnica, la normativa definisce inoltre nella Tab 6.2.II, i valori dei coefficienti parziali M1/M2 da applicare ai parametri caratteristici dei terreni nell'ambito delle diverse combinazioni contemplate dai due approcci di progetto come già illustrati al paragrafo precedente:

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	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	γ_γ	1,0	1,0

Tali valori agiscono sulle proprietà dei terreni, condizionando sia le azioni (spinte ed incrementi di spinta), sia le resistenze nei riguardi delle verifiche di stabilità dell'insieme opere-terreno con esse interagenti da effettuare caso per caso in funzione del tipo di opera. (Paratie, Muri, Pali di Fondazione ecc..)

Inoltre, ribadisce i valori dei coefficienti da applicare alle azioni nella Tab 6.2.II di seguito riportata:

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

6.2 Criteri di Analisi e Verifica delle paratie

Per le paratie, al § 6.5.3.1.2 del DM 17.01.18 viene specificato che si devono considerare almeno i seguenti Stati Limite Ultimi, accertando che la condizione $R_d \geq E_d$ sia soddisfatta per ogni stato limite considerato:

SLU di tipo geotecnica (GEO) e di tipo idraulico (UPL e HYD)

- collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido);
- collasso per carico limite verticale;
- sfilamento di uno o più ancoraggi;
- instabilità del fondo scavo in terreni a grana fine in condizioni non drenate;
- instabilità del fondo scavo per sollevamento;
- sifonamento del fondo scavo;
- instabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;

SLU di tipo strutturale (STR)

- raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi;
- raggiungimento della resistenza in uno o più puntoni o di sistemi di contrasto;
- raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.

Per le paratie, i calcoli di progetto devono comprendere la verifica degli eventuali ancoraggi, puntoni o strutture di controventamento.

Con riferimento infine agli Stati Limite di Esercizio, bisogna controllare che gli spostamenti dell'opera di sostegno e del terreno circostante siano compatibili con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza e funzionalità di eventuali manufatti adiacenti, oltre che verificare, nei riguardi degli aspetti strutturali, la compatibilità degli stati tensionali dei materiali costituenti l'opera.

In aggiunta a quanto sopra, al § C6.5.3.1.2 della Circolare Applicativa n 7 del 21 gennaio 2019 viene inoltre specificato quanto segue:

Nelle verifiche nei confronti di stati limite ultimi geotecnici delle paratie, si considera lo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno ed eventualmente della struttura e, specificamente, dal raggiungimento delle condizioni di equilibrio limite nel terreno interagente con la paratia o con parte di essa. Le analisi devono essere condotte con la Combinazione 2 (A2+M2+R1),

Nelle verifiche nei confronti di stati limite per raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali l'analisi deve essere svolta utilizzando la Combinazione 1 (A1+M1+R1), nella quale i coefficienti sui parametri di resistenza del terreno (M1) e sulla resistenza globale del sistema (R1) sono unitari, mentre le azioni permanenti e variabili sono amplificate mediante i coefficienti parziali del gruppo A1.

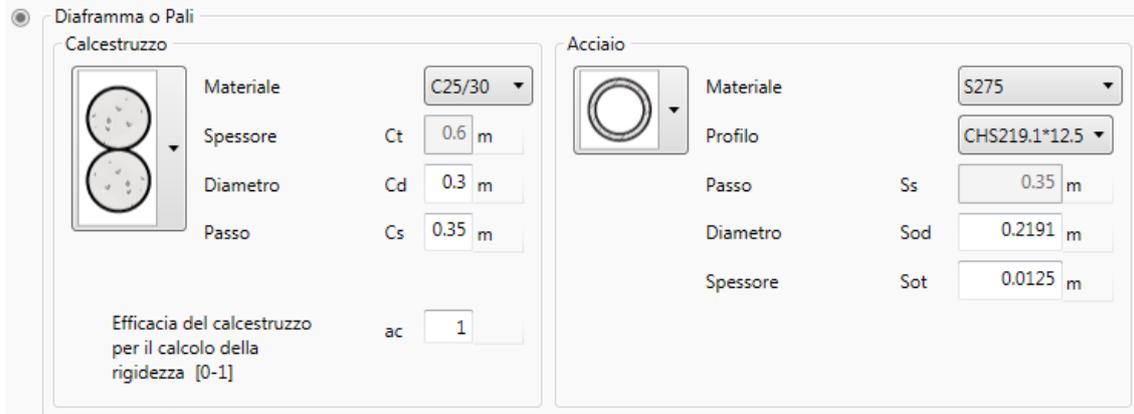
In relazione a tali specifiche integrative contenute nella Circolare Applicativa, ciascuno degli Stati Limite di verifica previsti per le Paratie, è stato esaminato riferendosi alla Combinazioni 1 per il caso deli Stati Limite STR ed alla Combinazione 2 per gli Stati Limite (GEO) e di tipo idraulico (UPL e HYD)

6.3 Verifiche sismiche

L'opera in esame è di tipo provvisoria e la sua durata in progetto risulta inferiore a 2 anni. Per tale motivo le verifiche sismiche non sono state eseguite, come specificato dalla normativa vigente.

7 MODELLO DI CALCOLO

Nell'immagine a seguire si riportano le caratteristiche della paratia implementate nel modello di calcolo.



The image shows a software interface for defining micropile characteristics. It is divided into two main sections: 'Calcestruzzo' (Concrete) and 'Acciaio' (Steel).

Calcestruzzo (Concrete):

- Materiale: C25/30
- Spessore: Ct = 0.6 m
- Diametro: Cd = 0.3 m
- Passo: Cs = 0.35 m
- Efficacia del calcestruzzo per il calcolo della rigidezza [0-1]: ac = 1

Acciaio (Steel):

- Materiale: S275
- Profilo: CHS219.1*12.5
- Passo: Ss = 0.35 m
- Diametro: Sod = 0.2191 m
- Spessore: Sot = 0.0125 m

Figura 5 _ Caratteristiche micropali.

7.1 Analisi dei carichi

È stato considerato un carico permanente dovuto alla sovrastruttura ferroviaria pari a 14.4 kN/m^2 ($=18 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.8 \text{ m}$) agente su una striscia di 5.0 m e un sovraccarico variabile dovuto al treno di carico SW2 pari a 150 kN/m . Tale sovraccarico è stato ripartito al livello del piano di regolamento considerando una larghezza di ripartizione pari alla larghezza della traversa più la larghezza dovuta alla diffusione del carico all'interno del ballast ($=150 / (2.4 + 2 \cdot 0.4/4) = 57.7 \text{ kN/m}^2$).

7.2 Fasi di calcolo

Di seguito si riportano le fasi di calcolo che sono state analizzate in successione.

FASE 1: Realizzazione paratia di micropali

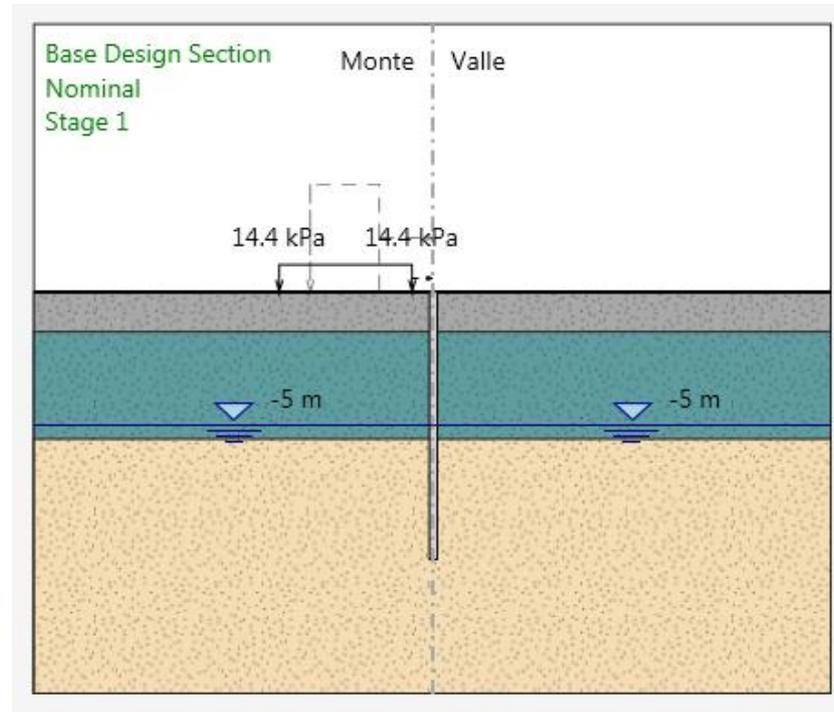


Figura 6 _ Modello di calcolo – Fase 1.

FASE 2: Scavo fino ad una profondità di 3.35 m dal p.c.

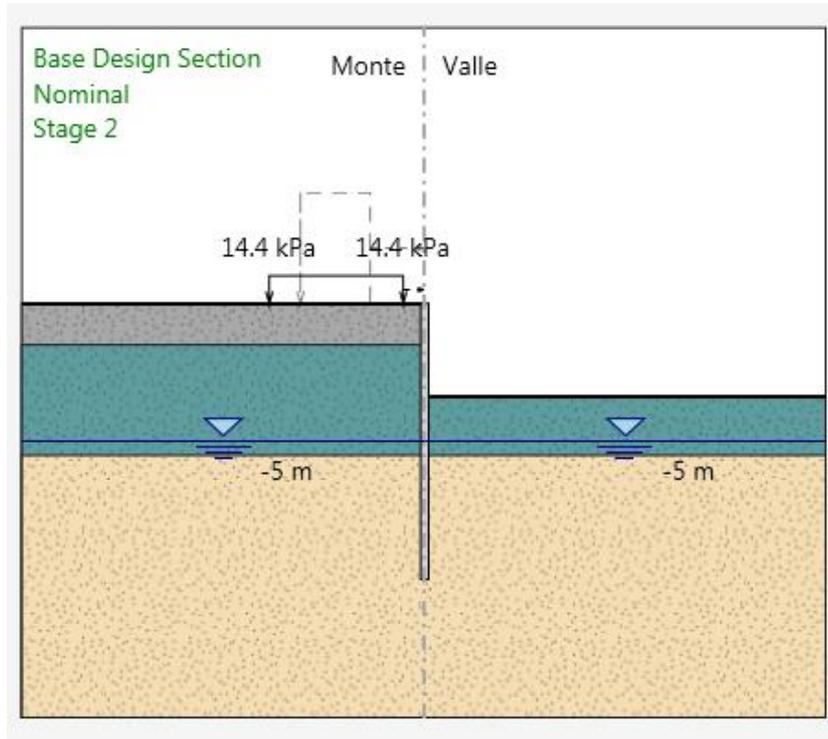


Figura 7 _ Modello di calcolo – Fase 2.

FASE 3: Applicazione sovraccarico accidentale dovuto al modello di carico SW2

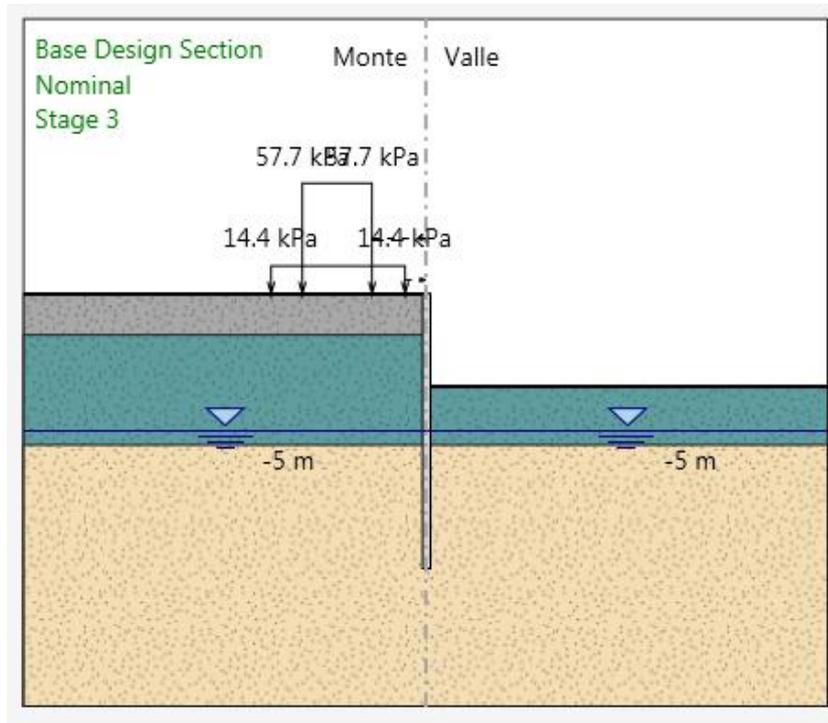


Figura 8 _ Modello di calcolo – Fase 3.

7.3 Risultati e verifiche

Nel seguito si espongono, in sintesi, i principali risultati di interesse progettuale.

7.3.1 Risultati (combinazione SLE)

Dall'involuppo degli spostamenti in combinazione SLE si osserva che lo spostamento massimo orizzontale della paratia in condizioni statiche risulta accettabile.

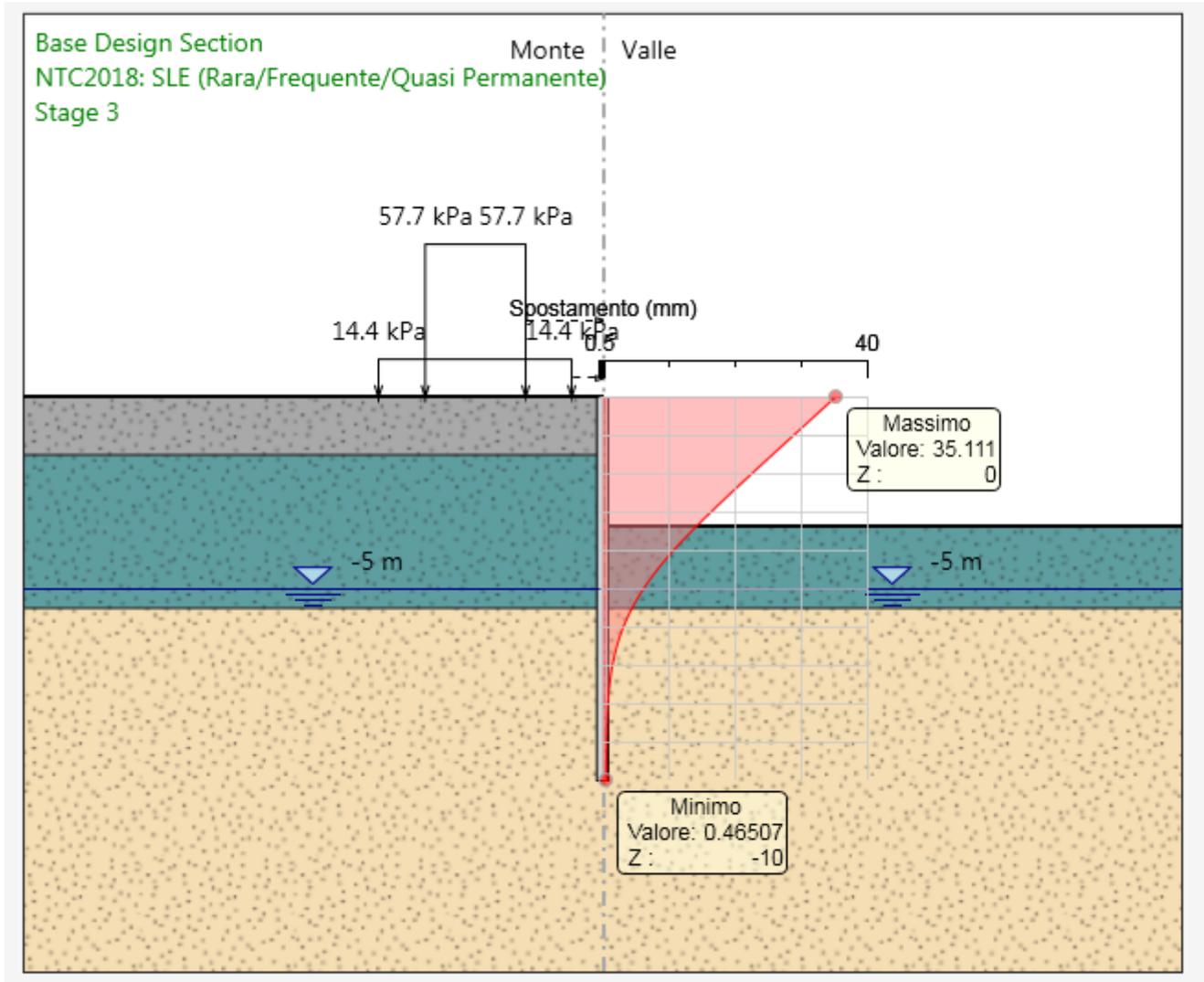


Figura 9 _ Combinazione SLE.

7.3.2 Risultati e verifiche SLU-STR (combinazione A1+M1+R1)

Momento flettente

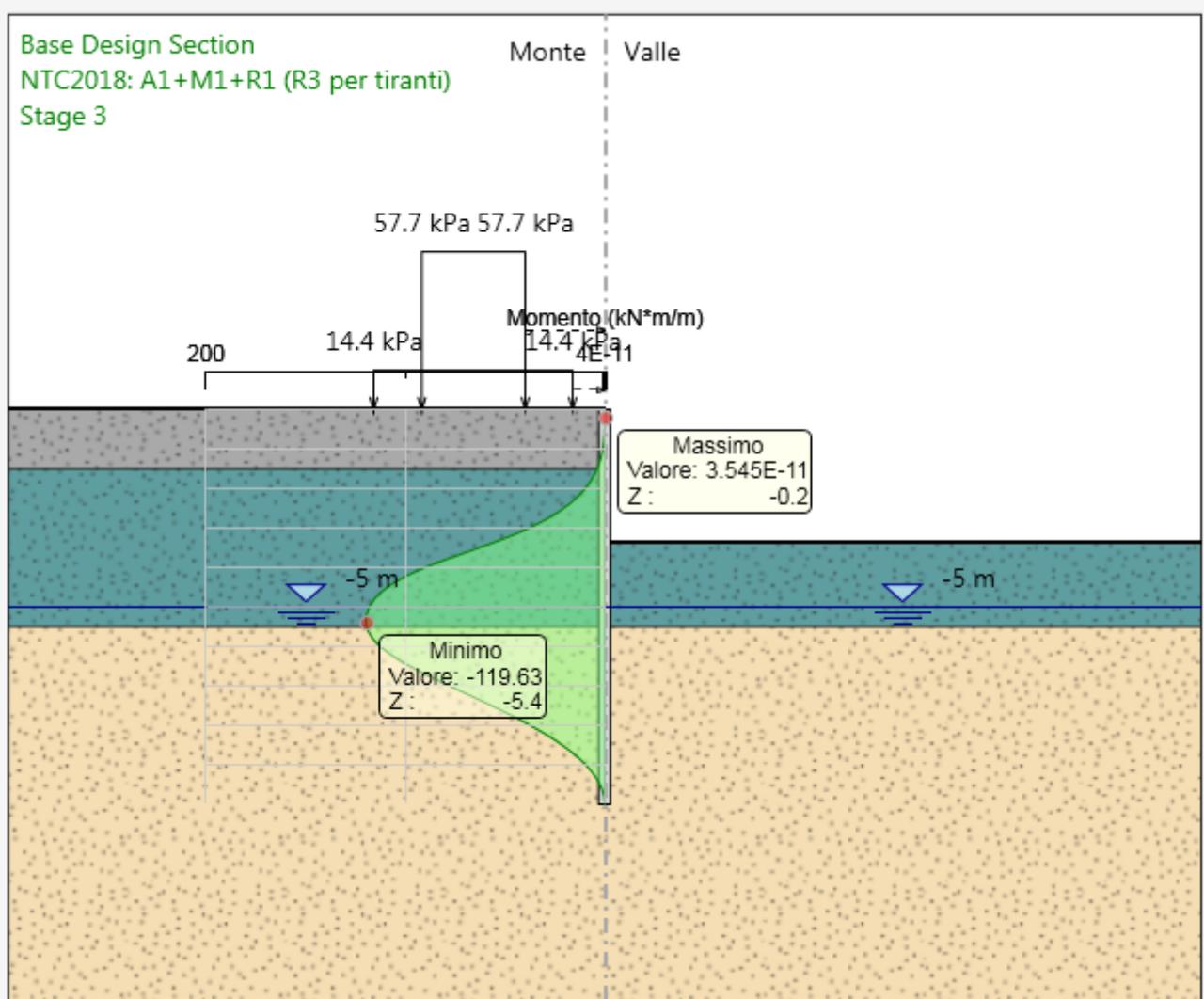


Figura 10 _ Momento flettente SLU-STR.

Taglio

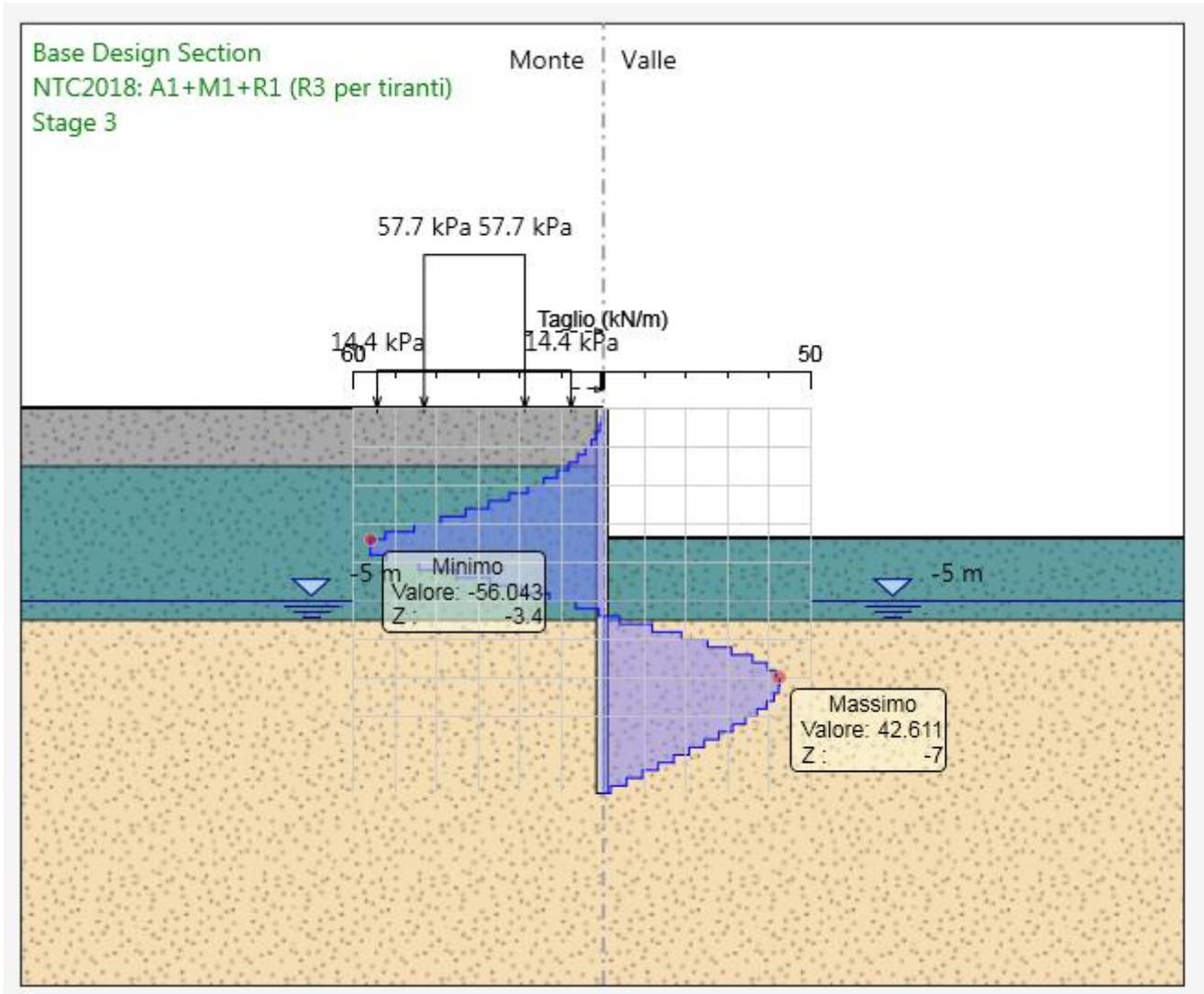


Figura 11 _ Taglio SLU-STR.

7.3.3 Sintesi sollecitazioni agenti

combinazione	fase	Sollecitazioni a metro lineare			Sollecitazioni sul singolo micropalo	
		M _{max}	z (M _{max})	V	M	V
(-)	(-)	(kNm/m)	(m)	(kN/m)	(kNm)	(kN)
SLU-STR	3	119.63	5.4	56.04	41.87	19.61

Relazione di calcolo delle opere provvisionali -
MU05 - muro di sostegno lato sx e lato dx

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	02	D78CL	MU05 00 002	A	23 di 28

7.3.4 Verifiche di resistenza

Diametro esterno nominale	D	219.10 [mm]
Spessore nominale	T	12.50 [mm]
Diametro interno nominale	d	194.10 [mm]

CARATTERISTICHE MECCANICHE

Area della sezione trasversale	A	81.1 [cm ²]
Momento d'inerzia	I	4345 [cm ⁴]
Raggio d'inerzia	i	7.32 [cm]
Modulo di resistenza elastico	W _{el,yy}	397 [cm ³]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte	W _{pl,yy}	534 [cm ³]
Momento d'inerzia torsionale	I _t	8689 [cm ⁴]
Modulo di torsione	C _t	793 [cm ³]

CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

Valore di snervamento dell'acciaio	f _y	275 [MPa]
Coefficiente ε	ε	0.92 [-]
<u>Classificazione</u>		
Diametro	d	219.10 [mm]
Spessore	t	12.50 [mm]
Rapporto tra diametro e spessore	d/t	17.53 [-]
Classificazione della sezione		CLASSE 1

VERIFICHE DI RESISTENZA per sezioni di classe 1,2

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\gamma_{M1} = 1.1$$

Sollecitazioni di progetto	N _{ed} =	0	KN
	M _{ed} =	41.87	KNm
	V _{ed} =	19.61	KN

Resistenze di calcolo	N _{c,rd} =	2124.88	KN
	M _{c,rd} =	139.91	KNm
	V _{c,rd} =	781.00	KN

Condizione
V_{ed} ≤ 0.5 · V_{c,rd} SI ⇒ taglio non influenza la resistenza a flessione

$$\Rightarrow \rho = (2V_{cd}/V_{c,rd}-1)^2 = 0$$

Compressione N_{ed}/N_{c,rd} = 0 ≤ 1

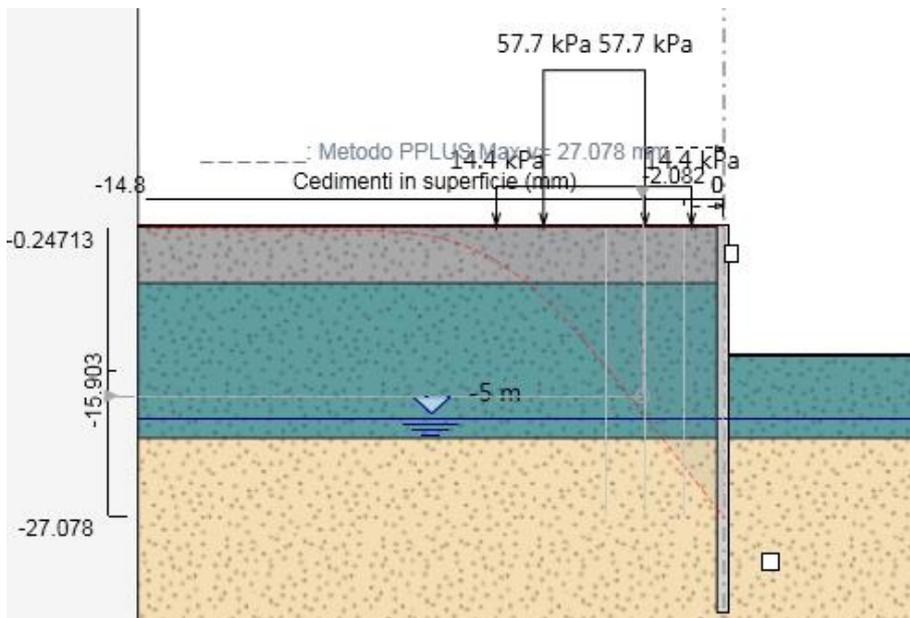
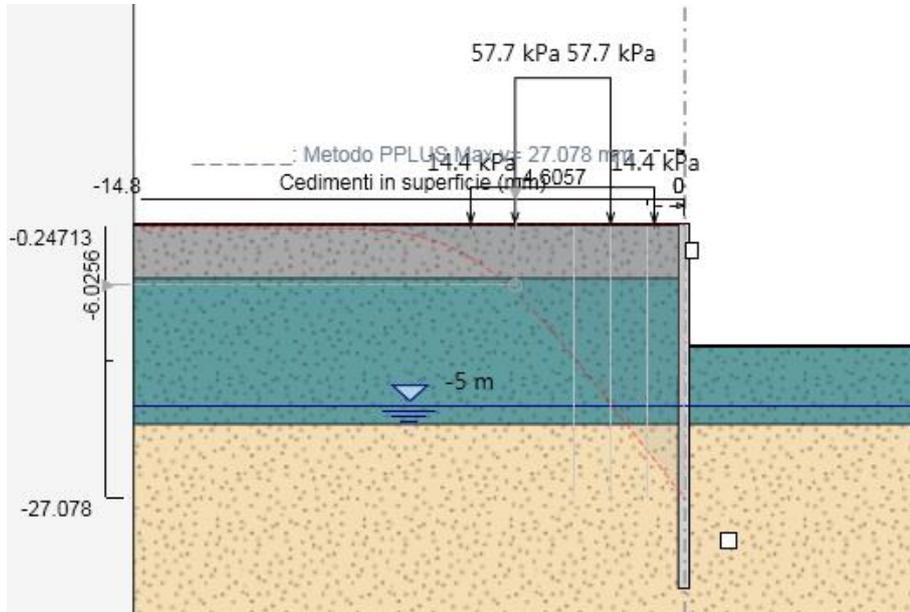
Flessione M_{ed}/M_{c,rd} = 0.30 ≤ 1

Taglio V_{ed}/V_{c,rd} = 0.03 ≤ 1

Relazione di calcolo delle opere provvisionali -
MU05 - muro di sostegno lato sx e lato dx

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	02	D78CL	MU05 00 002	A	24 di 28

7.3.5 Verifica cedimenti binario esistente



$$\delta = 1.6 - 6.0 = 1.0 \text{ cm} < \delta_{\text{max, ammissibile}} = 1.35 \text{ cm}$$

Il $\delta_{\text{max, ammissibile}}$ è stato valutato a partire dallo “Standard di qualità geometrica del binario e parametri di dinamica di marcia per linee con velocità fino a 300km/h”

Secondo questa normativa lo sghembo è definito come riportato di seguito:

Relazione di calcolo delle opere provvisionali -
MU05 - muro di sostegno lato sx e lato dx

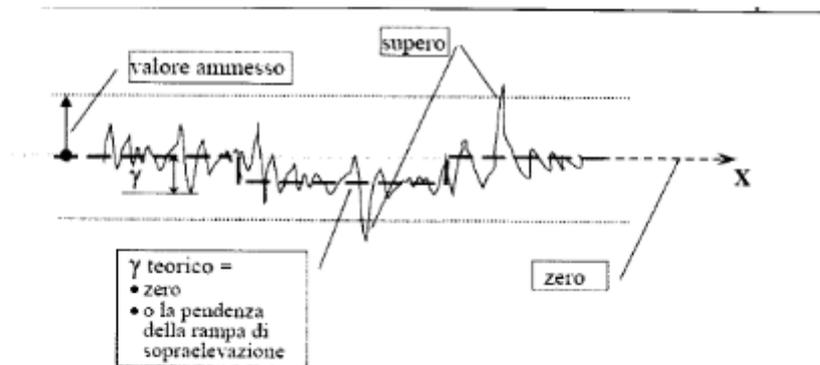
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	02	D78CL	MU05 00 002	A	25 di 28

SGHEMBO

Abbreviazione γ : è l'inclinazione, espressa in ‰, relativa di una fila di rotaia rispetto all'altra, calcolata come rapporto tra la differenza di livello trasversale XL fra due sezioni di binario poste a una distanza data, che è la base di misura dello sghembo, e la base stessa.

Nel presente Standard sono indicati i valori ammessi dello sghembo per le basi di lunghezza 3 metri e 9 metri.

Sul grafico si valutano i valori dalla linea dello zero ai picchi superiori o inferiori come da grafico di Figura 9; i superi sono gli scostamenti rispetto allo zero che eccedono il valore ammesso.



n.b. : il valore ammesso si applica rispetto allo zero, lo sghembo effettivo è comprensivo della pendenza dell'eventuale rampa di sopraelevazione.

Fig.9: singoli difetti di sghembo

Dove la dimensione XL è la seguente:

LIVELLO TRASVERSALE

Abbreviazione **XL**: è la misura, espressa in mm, della differenza in altezza tra le due tavole di rotolamento adiacenti; è espressa come l'altezza del triangolo rettangolo avente ipotenusa pari a 1500 mm ed angolo al vertice pari all'angolo tra il piano di rotolamento ed un piano orizzontale di riferimento.

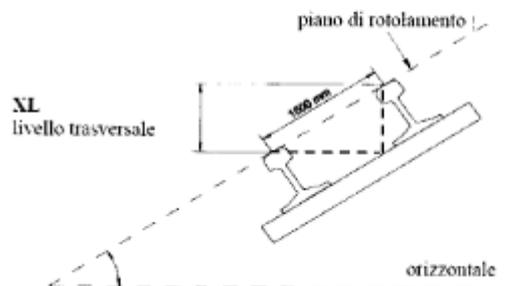


Fig.6: livello trasversale

Per cui la verifica da soddisfare è la seguente, in funzione del livello di qualità del binario:

Relazione di calcolo delle opere provvisionali -
MU05 - muro di sostegno lato sx e lato dx

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	02	D78CL	MU05 00 002	A	26 di 28

III.7 SGHEMBO

Difetti isolati.

Le seguenti prescrizioni vanno ad integrare quelle della Circolare L.41/344/7.9 del 28/09/87 sui valori limite dello sgheambo del binario, che devono essere comunque rispettate.

	V ≤ 200 km/h		200 < V ≤ 300 km/h	
	γ base 3 m	γ base 9 m	γ base 3 m	γ base 9 m
1° livello di qualità	$\gamma_{3m} < 4,5$	$\gamma_{9m} < 3,5$	$\gamma_{3m} < 3,5$	$\gamma_{9m} < 2,7$
2° livello di qualità	$4,5 \leq \gamma_{3m} < 5,8$	$3,5 \leq \gamma_{9m} < 4,0$	$3,5 \leq \gamma_{3m} < 4,5$	$2,7 \leq \gamma_{9m} < 3,0$
3° livello di qualità	Per valori di γ superiori ai limiti di cui al "2° livello di qualità" si applica quanto riportato nella Parte IV, p.to IV.6			

(1) ATTENZIONE al rispetto delle condizioni di lavorabilità del binario previste dalla Norma sulla l.r.s.

ATTENZIONE ai deviatori inseriti in curva

n.b.: Quando ci sono superi dei valori del terzo livello va consultata la Parte IV – VALORI COMPORTANTI VINCOLI ALL'ESERCIZIO.

E di seguito vengono definiti i livelli di qualità:

Relazione di calcolo delle opere provvisionali -
MU05 - muro di sostegno lato sx e lato dx

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	02	D78CL	MU05 00 002	A	27 di 28

Lo Standard è articolato in tre Parti:

- **Parte II: valori ammessi a seguito di lavori all'armamento.** Sono definite due classi di valori, per:
 - lavori di rinnovo o nuove costruzioni, o lavori assimilabili a questi
 - interventi di manutenzione per il ripristino della geometria del binario per armamento in esercizio.
- **Parte III: livelli di qualità geometrica correnti.** Sono i valori entro i quali si svolge la normale vita tecnica della geometria dell'armamento; in linea di massima, essi vengono divisi in tre "livelli di qualità":
 - un **primo livello** di qualità, entro il quale la geometria del binario non richiede alcuna programmazione di interventi correttivi
 - un **secondo livello** di qualità, entro il quale le condizioni geometriche del binario consentono il normale esercizio ferroviario senza alcun tipo di restrizione ma che comportano:
 - o l'analisi delle cause di degrado
 - o la valutazione della velocità di evoluzione del difetto
 - o la programmazione e l'eventuale esecuzione di lavori di manutenzione della geometria in funzione della velocità di evoluzione del difetto rilevata localmente.

La valutazione della velocità di evoluzione del difetto sarà, in linea di principio, effettuata tramite confronto con i rilievi geometrici precedenti o tramite l'effettuazione di rilievi ad hoc, oppure tramite il riconoscimento di zone ad evoluzione del difetto già nota; è necessario che venga fatto, in base all'esperienza, anche il riconoscimento delle zone ad evoluzione rapida, quali possono essere le transizioni opere d'arte / rilevato, i tratti con sede instabile, tratti con massicciata inquinata, ecc., al cui controllo deve essere posta massima attenzione.

Sulle linee AV/AC la valutazione della velocità di evoluzione del difetto potrà, inoltre, essere effettuata anche tramite confronto tra rilievi consecutivi dei treni AV della classe ETR500Y.
 - Un **terzo livello** di qualità, che ancora consente l'esercizio ferroviario senza alcun tipo di restrizione, a condizione che vengano programmati ed eseguiti lavori di manutenzione della geometria del binario prima del supero del massimo valore ammesso dal terzo livello di qualità, tenendo anche presente che le correzioni di geometria fatte tramite rincalzatura, quali ad esempio correzioni di difetti di livello longitudinale e trasversale, di allineamento, di sghembo, ecc., sono di problematica esecuzione nelle stagioni calde, ai sensi della vigente Normativa sulla lunga rotaia saldata (vedi limiti di lavorazione al binario).

Nel caso in esame possiamo verificare quanto segue:

Con un livello di qualità 1° il cedimento differenziale massimo può essere valutato come:

- con $b=9.00$ m

$$\gamma_{lim} < 3.5 \text{ ‰}$$

$$\text{considerando che } \gamma = \delta / b$$

$$\delta = 0.0035 \quad b = 0.0035 \quad 9 = 3.15 \text{ cm}$$

- con $b=3.00$ m

$$\gamma_{lim} < 4.5 \text{ ‰}$$

$$\text{considerando che } \gamma = \delta / b$$

$$\delta = 0.0045 \quad b = 0.0035 \quad 3 = 1.35 \text{ cm}$$

Relazione di calcolo delle opere provvisionali -
MU05 - muro di sostegno lato sx e lato dx

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	02	D78CL	MU05 00 002	A	28 di 28

Questo ragionamento è a favore di sicurezza per 2 motivi:

1. Stiamo garantendo il primo livello di qualità del binario;
2. Stiamo ipotizzando che la traversa 2 si trovi su un tombino e non subisce alcun cedimento per effetto della realizzazione del rilievo in ammorsamento e che tutto il cedimento differenziale d lo subisca la traversa 1.

Nel progetto in esame stiamo garantendo il 2° livello di sicurezza.