

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. PRODUZIONE CENTRO NORD

PROGETTO PRELIMINARE

INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI  
NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE

OPERE D'ARTE

Trincee ferroviarie

Opere di sostegno trincee - Relazione tecnica e di calcolo preliminare

SCALA:

-

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

N M 0 2   0 0   R   2 6   C L   T R 0 0 0 0   0 0 1   A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato
A	Emissione esecutiva	G. Grimaldi	Maggio 2014	A. Maran	Maggio 2014	S. Borelli	Maggio 2014	

ITALFERR S.p.A.  
 Direzione Tecnica  
 Produzione Centro Nord  
 Dott. Ing. *[Signature]*  
 Ordine degli Ingegneri della Prov. di Roma n° 66392 sez. A

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI</b> <b>NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE</b>					
	<b>Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee</b> <b>Relazione tecnica e di calcolo preliminare</b>	COMMESSA NM02	LOTTO 00	CODIFICA R26CL	DOCUMENTO TR0000001	REV. A

## INDICE

1	PREMESSA .....	5
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	11
3	MATERIALI.....	12
4	INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	14
5	CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....	15
6	SOFTWARE DI CALCOLO .....	17
	<b>- PARATIA S = 0.80 M - .....</b>	<b>19</b>
7	ANALISI DEI CARICHI E FASI.....	20
8	RISULTATI.....	22
8.1	SLE_CAR .....	22
8.2	GEO .....	24
9	VERIFICHE.....	25
9.1	MOBILITAZIONE DELLA SPINTA PASSIVA (SLU_GEO) .....	25
9.2	MASSIMO SPOSTAMENTO ORIZZONTALE DEI DIAFRAMMI (SLE_CAR / SLV).....	25
9.3	VERIFICA STRUTTURALE DEI DIAFRAMMI (SLU_STR / SLV / SLE_CAR / SLE_FREQ / SLE_QP).....	25
	<b>- PARATIA S = 1.00 M - .....</b>	<b>31</b>
10	ANALISI DEI CARICHI E FASI.....	32
11	RISULTATI.....	34
11.1	SLE_CAR .....	34
11.2	GEO .....	36

12	VERIFICHE.....	37
12.1	MOBILITAZIONE DELLA SPINTA PASSIVA (SLU_GEO) .....	37
12.2	MASSIMO SPOSTAMENTO ORIZZONTALE DEI DIAFRAMMI (SLE_CAR / SLV).....	37
12.3	VERIFICA STRUTTURALE DEI DIAFRAMMI (SLU_STR / SLV / SLE_CAR / SLE_FREQ / SLE_QP).....	37
	<b>- PARATIA PUNTONATA S = 1.00 M - .....</b>	<b>43</b>
13	ANALISI DEI CARICHI E FASI.....	44
14	RISULTATI.....	46
14.1	SLE_CAR .....	46
14.2	GEO .....	48
15	VERIFICHE.....	49
15.1	MOBILITAZIONE DELLA SPINTA PASSIVA (SLU_GEO) .....	49
15.2	MASSIMO SPOSTAMENTO ORIZZONTALE DEI DIAFRAMMI (SLE_CAR / SLV).....	49
15.3	VERIFICA STRUTTURALE DEI DIAFRAMMI (SLU_STR / SLV / SLE_CAR / SLE_FREQ / SLE_QP).....	49
	<b>- PARATIA S = 1.20 M - .....</b>	<b>55</b>
16	ANALISI DEI CARICHI E FASI.....	56
17	RISULTATI.....	58
17.1	SLE_CAR .....	58
17.2	GEO .....	60
18	VERIFICHE.....	61
18.1	MOBILITAZIONE DELLA SPINTA PASSIVA (SLU_GEO) .....	61
18.2	MASSIMO SPOSTAMENTO ORIZZONTALE DEI DIAFRAMMI (SLE_CAR / SLV).....	61

	<b>INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI</b> <b>NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE</b>					
<b>Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee</b> <b>Relazione tecnica e di calcolo preliminare</b>	<b>COMMESSA</b> NM02	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> R26CL	<b>DOCUMENTO</b> TR0000001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 4 di 66

18.3 VERIFICA STRUTTURALE DEI DIAFRAMMI (SLU\_STR / SLV / SLE\_CAR / SLE\_FREQ / SLE\_QP)..... 61

## 1 PREMESSA

La presente Relazione tecnica si colloca all'interno del progetto preliminare degli interventi previsti per il nuovo PRG di Milano Lambrate ed è relativa alle opere di sostegno delle trincee ferroviarie.

Gli obiettivi funzionali del nuovo PRG sono:

- Realizzazione di un sistema d'interconnessioni AV tra le linee Milano-Bologna e Milano-Venezia, volto a ridurre/minimizzare le interferenze a raso tra il traffico AV diretto a Torino ed i servizi AV attestati a Milano C.le provenienti da Venezia e Bologna.
- Riorganizzazione della radice lato Milano C.le dei binari da I a VI, con l'eliminazione dei tagli a raso per i servizi merci e regionali provenienti da Nord e diretti sulla linea Cintura verso Rogoredo, sulla linea Smistamento e, per effetto della nuova configurazione d'impianto, anche sulla linea Venezia LL.

Nello specifico, scopo della presente relazione è la verifica preliminare delle trincee fra paratie ubicate nella Radice Sud di Lambrate e necessarie alla realizzazione delle interconnessioni AV sopra descritte.

Le macro lavorazioni previste in corrispondenza della Radice sud di Milano Lambrate sono le seguenti:

- Realizzazione di opere di sottoattraversamento del binario dispari Cintura sotto l'attuale sedime Venezia e sotto le future linee Venezia LL e Smistamento, nonché di opere di armamento e TE relative al nuovo tracciato.
- Realizzazione di opere di sottoattraversamento per il binario d'interconnessione pari Bologna-Venezia, nonché di opere di armamento e TE relative ai nuovi tracciati.
- Riorganizzazione plano-altimetrica della sede esistente degli attuali binari Cintura da destinare al futuro binario pari Cintura ed al binario d'interconnessione dispari Bologna-Venezia, nonché di opere di armamento e TE relative ai nuovi tracciati.
- Realizzazione del nuovo sedime, compresi armamento e TE, della linea Venezia DD in posizione compatibile con l'inserimento del nuovo binario pari d'interconnessione AV Bologna-Venezia.
- Realizzazione del nuovo sedime, compresi armamento e TE, della linea Venezia LL e del binario pari Smistamento in corrispondenza dell'attuale area delle platee di lavaggio, in posizione compresa tra il nuovo binario dispari ed il nuovo binario pari Cintura.
- Riorganizzazione plano-altimetrica della sede esistente degli attuali binari Cintura da destinare al futuro binario pari Cintura ed al binario d'interconnessione dispari Bologna-Venezia, nonché di opere di armamento e TE relative ai nuovi tracciati.
- Realizzazione del nuovo sedime, compresi armamento e TE, della linea Venezia DD in posizione compatibile con l'inserimento del nuovo binario pari d'interconnessione AV Bologna-Venezia.

- Realizzazione del nuovo sedime, compresi armamento e TE, della linea Venezia LL e del binario pari Smistamento in corrispondenza dell'attuale area delle platee di lavaggio, in posizione compresa tra il nuovo binario dispari ed il nuovo binario pari Cintura.
- Demolizione di manufatti, opere di sostegno esistenti nell'area interessata dai lavori di PRG.
- Riorganizzazione dell'attuale cabina TE di Lambrate interferente con la modifica planimetrica di progetto relativa al futuro binario dispari della linea Cintura.

Nelle figure seguenti è riportato un confronto tra l'attuale e la futura organizzazione dei flussi.

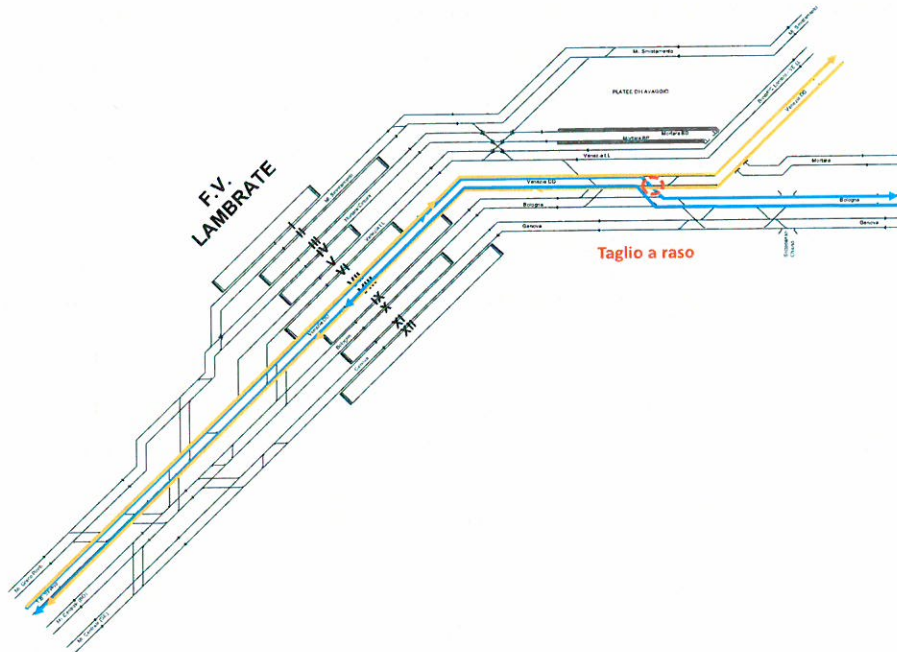


Fig. 1 - Situazione esistente innesto flussi AV Mi-To su Venezia DD 1/2

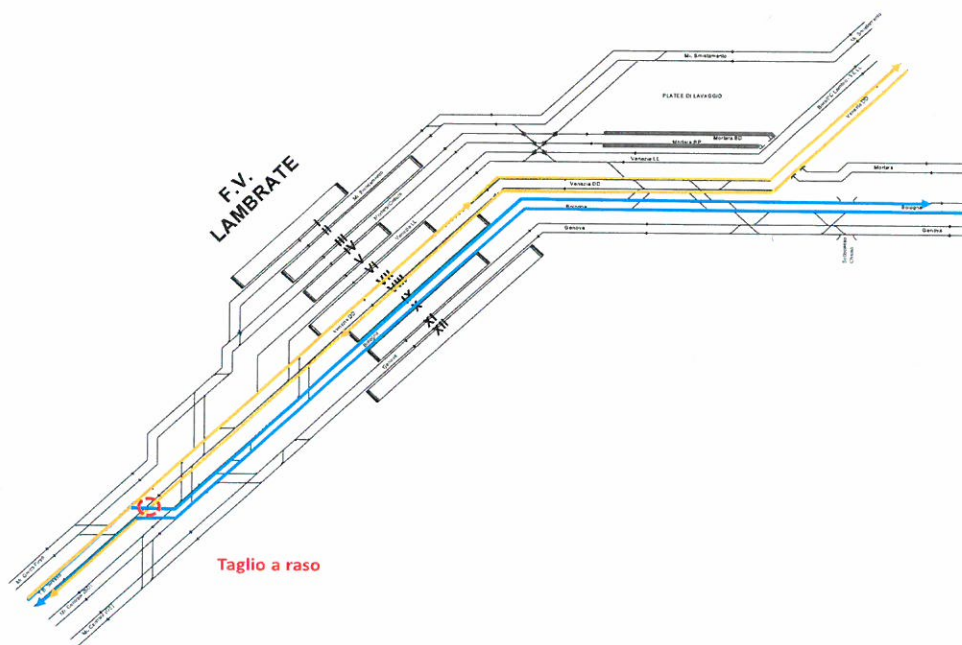


Fig. 2 – Situazione esistente innesto flussi AV Mi-To su Venezia DD 2/2

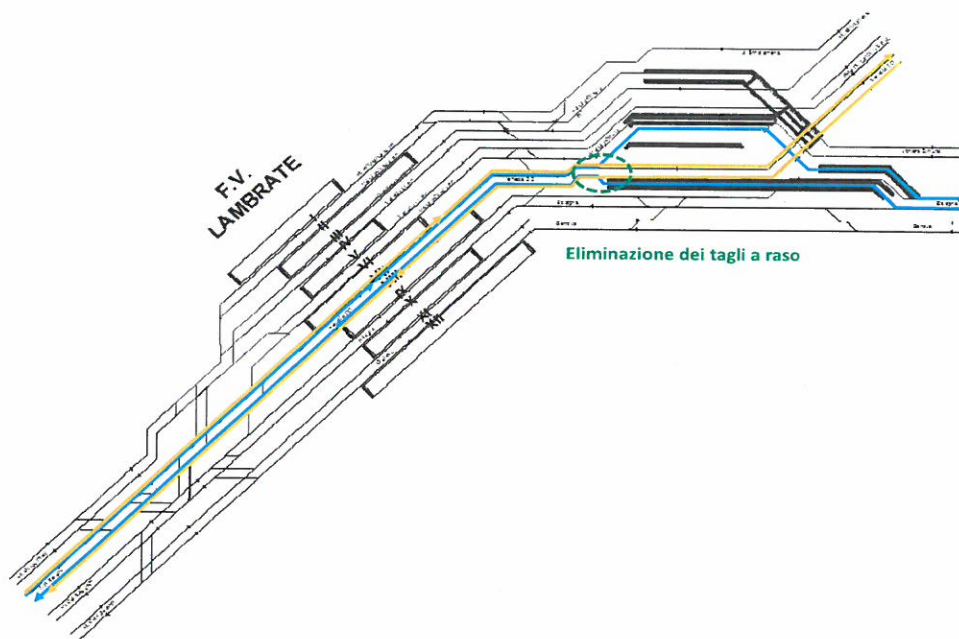


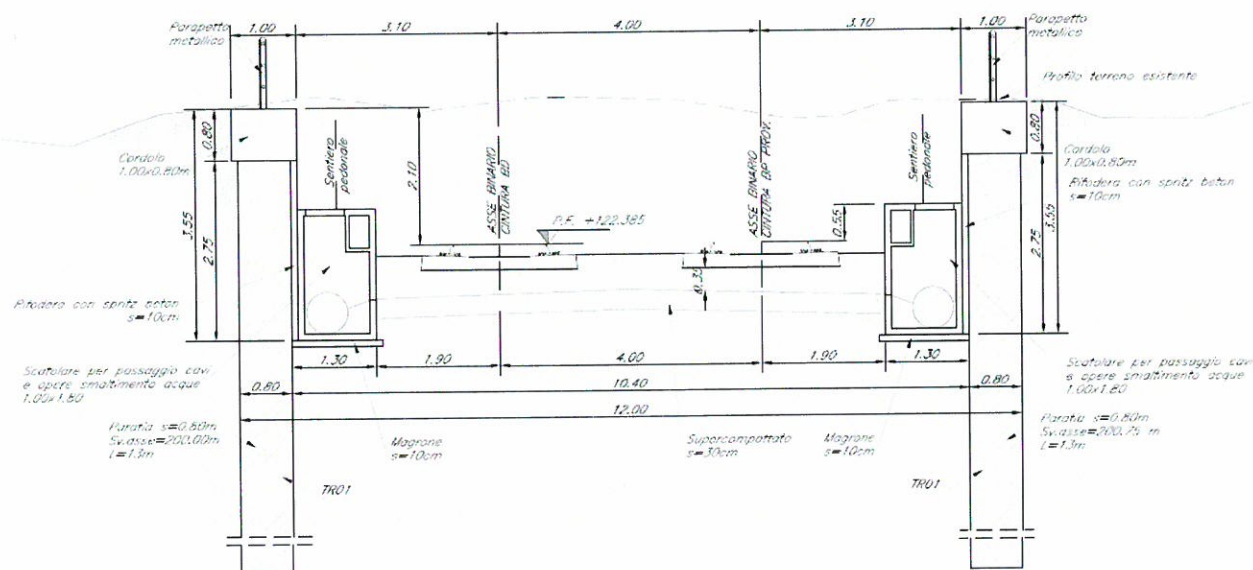
Fig. 3 – Configurazione di Progetto – innesto flussi AV su linea Venezia DD senza interferenza a raso

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI</b> <b>NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE</b>					
	<b>Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee</b> <b>Relazione tecnica e di calcolo preliminare</b>	COMMESSA NM02	LOTTO 00	CODIFICA R26CL	DOCUMENTO TR0000001	REV. A

La presente relazione riporta il dimensionamento delle opere di sostegno delle trincee ferroviarie, costituite da diaframmi, puntonati e non, di diverso spessore.

Nell'area di intervento si rende infatti necessaria la realizzazione di quattro tipologie di paratie di diversa configurazione geometrica e strutturale, con la funzione di sostenere le trincee ferroviarie su cui insistono i binari; nello specifico trattasi di quattro sistemi di diaframmi in c.a. con cordolo di testata e rifodera lato trincea, con spessore pari a: 0.80 m, 1.00 m, 1.00 m con puntone, 1.20 m.

Nel seguito si presentano alcune sezioni trasversali al fine di illustrare le strutture oggetto dei calcoli.

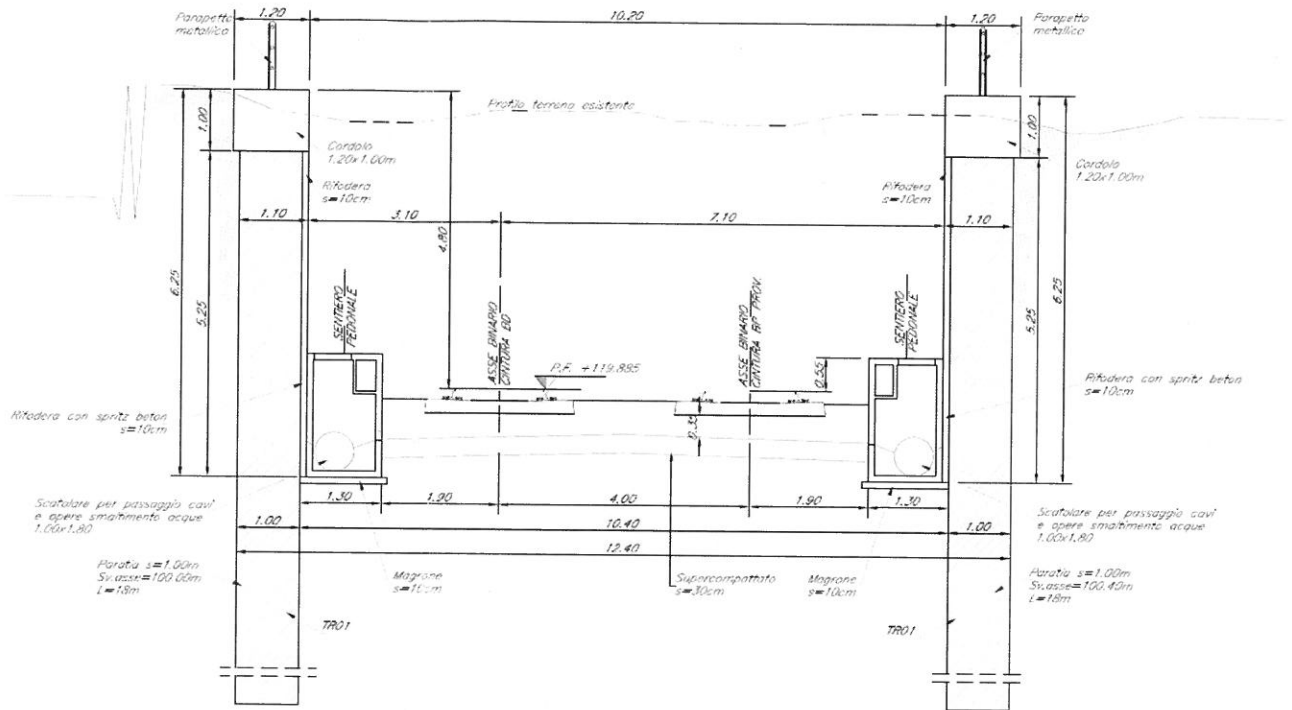


**Fig. 4 – Sezione trasversale della paratia s = 0.80 m**

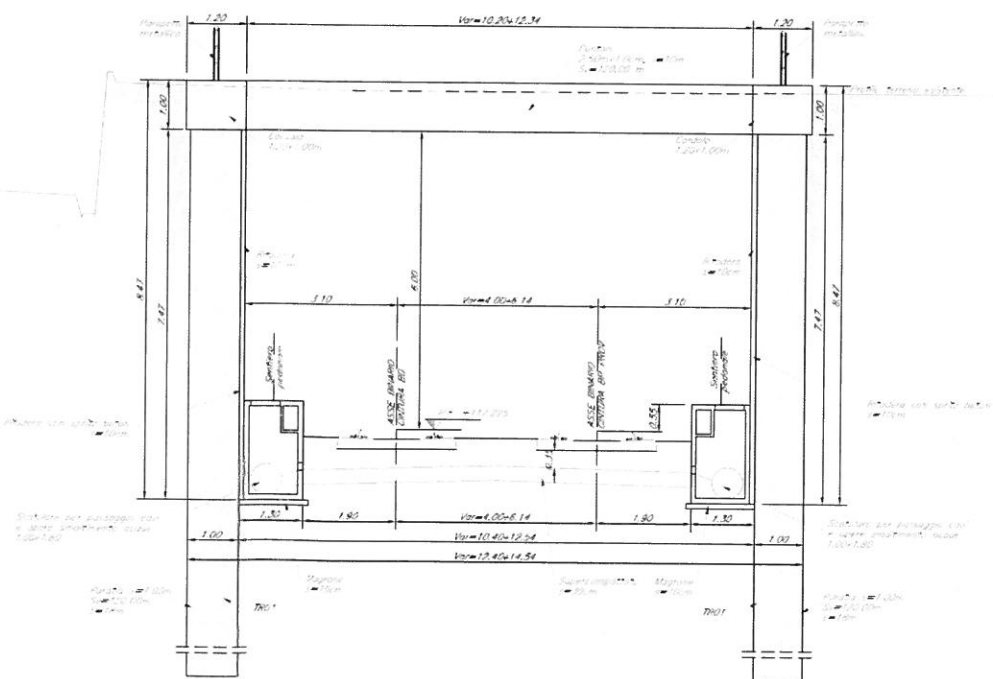


Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	9 di 66



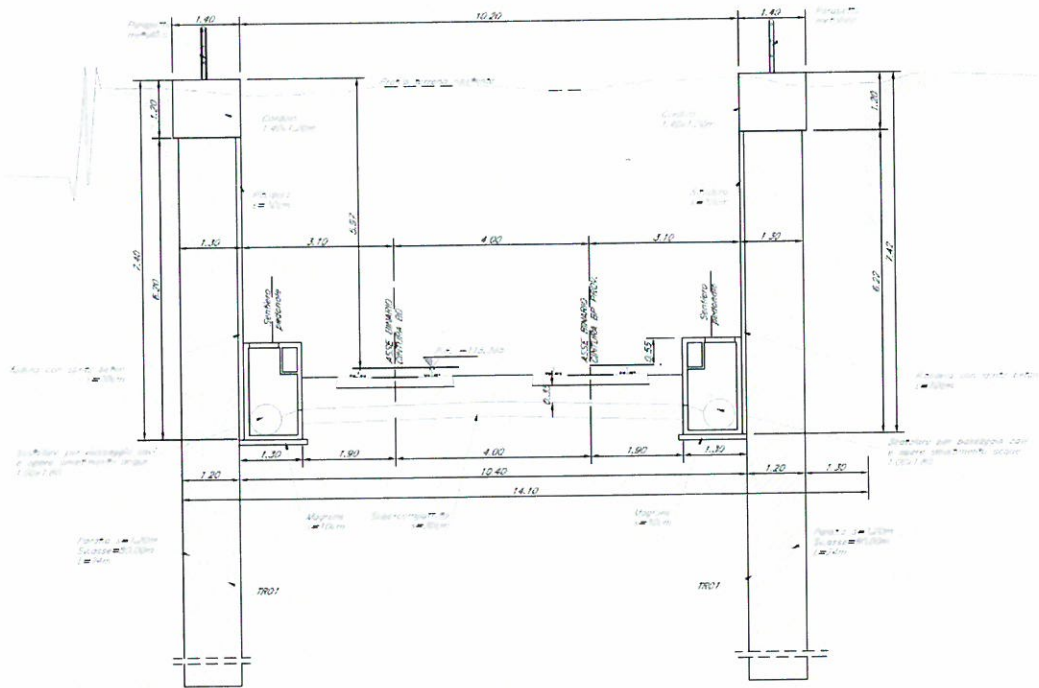
**Fig. 5 – Sezione trasversale della paratia s = 1.00 m**



**Fig. 6 – Sezione trasversale della paratia puntonata s = 1.00 m**

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	10 di 66



**Fig. 7 – Sezione trasversale della paratia s = 1.20 m**

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	11 di 66

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La progettazione è conforme alle normative vigenti nonché alle istruzioni dell'Ente FF.SS.

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- Rif. [1] “Istruzione per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari” (rif. RFI-DTC-ICI-PO-SP-INF-001-A);
- Rif. [2] - RFI DTC INC CS SP IFS 001 A Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- Rif. [3] - RFI DTC INC PO SP IFS 003 A Specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari
- Rif. [4] - RFI DTC INC CS LG IFS 001 A Linee guida per il collaudo statico delle opere in terra
- Rif. [5] - RFI DTC INC PO SP IFS 002 A Specifica per la progettazione e l’esecuzione di cavalcavia e passerelle pedonali sulla sede ferroviaria
- Rif. [6] - 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
- Rif. [7] - 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
- Rif. [8] - Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni - D.M. 14-01-08 (NTC-2008);
- Rif. [9] - Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l’Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;
- Rif. [10] - Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003 . Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- Rif. [11] - Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 21/10/2003;
- Rif. [12] - Eurocodice 2: Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Parte 1.1: Regole generali e regole per gli edifici.
- Rif. [13] - UNI ENV 1992-1-1 Parte 1-1:Regole generali e regole per gli edifici;
- Rif. [14] - UNI EN 206-1/2001 - Calcestruzzo. Specificazioni,prestazioni,produzione e conformità;
- Rif. [15] - UNI EN 1998-5 – Fondazioni ed opere di sostegno;
- Rif. [16] - 2008/217/CE Specifica Tecnica di Interoperabilità per il sottosistema “Infrastruttura” del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità;
- Rif. [17] - 2011/275/UE Specifica Tecnica di Interoperabilità sottosistema “Infrastruttura” del sistema ferroviario transeuropeo convenzionale.

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	12 di 66

### 3 MATERIALI

#### Calcestruzzo per c.a. paratie

Classe di resistenza		<b>25/30</b>
Classe di esposizione		<b>XC2</b>
Peso per unità di volume	$\gamma =$	25.00 kN/m <sup>3</sup>
Resistenza cilindrica caratteristica	$f_{ck} =$	25.00 MPa
Resistenza caratteristica cubica	$R_{ck} \geq$	30.00 MPa
Resistenza cilindrica caratteristica media	$f_{cm} =$	33.00 MPa
Resistenza media a trazione semplice (assiale)	$f_{ctm} =$	2.56 MPa
Resistenza caratteristica a trazione semplice (frattile 5%)	$f_{ctk} =$	1.80 MPa
Modulo elastico	$E_{cm} =$	31.48 GPa
Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_c =$	1.50 -
Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata	$\alpha_{cc} =$	0.85 -
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	14.17 MPa
Deformazione al raggiungimento della massima tensione	$\epsilon_{c2} =$	2.00 ‰
Deformazione ultima	$\epsilon_{cu} =$	3.50 ‰
Coefficiente di dilatazione termica	$\alpha =$	10 · 10 <sup>-6</sup> °C <sup>-1</sup>

#### Acciaio in barre per getti e reti elettrosaldate

tipo		<b>B450C</b>
Resistenza nominale di snervamento	$f_{yk} =$	450.00 MPa
Resistenza nominale di rottura	$f_{tk} =$	540.00 MPa
Modulo elastico	$E_s =$	210000.00 MPa
Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_s =$	1.15 -
resistenza di calcolo	$f_{yd} =$	391.30 MPa

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	13 di 66

## TABELLA MATERIALI

### CALCESTRUZZO

Tipo Calcestruzzo	Rapporto a/c max (UNI EN 206)	Classe di lavorabilità	Tipo di cemento	Classe di resistenza minima C(f <sub>ck</sub> /R <sub>ck</sub> ) <sub>min</sub>	Classe di esposizione ambientale (UNI EN 206)	D <sub>max</sub> inerti (mm)	Campi di Impiego	
B	1	0.45	S4-S5	CEM I-V	C35/45	XC3	25	- Elementi prefabbricati in c.a. per strutture fuori terra - Predalles con funzioni strutturali
	3	0.55	S3-S4	CEM I-V	C28/35	XA1	25	- Elementi prefabbricati senza funzioni strutturali
C	1	0.55	S4-S5	CEM I-V	C28/35	XC3	20	- Impalcati in c.a. ordinari - Solette in c.a. gettate in opera in elevazione - Predalles senza funzioni strutturali
	2	0.55	S3-S4	CEM I-V	C28/35	XC3	25	- Spalle - Strutture in c.a. in elevazione
D	0.55	S3-S4	CEM III-V	C28/35	XA1	25	- Tombini a struttura sferolare e circolare	
E	2	0.60	S3-S4	CEM III-V	C25/30	XC2	25	- Sottiloni di fondazione - Fondazioni armate
	4	0.60	S3-S4	CEM III-V	C25/30	XC2	25	- Cunette, canalette e cordoli
F	1	0.60	S4-S5	CEM III-V	C25/30	XC2	32	- Pali (di paratie o opere di sostegno), diaframmi e relativi cordoli di collegamento gettati in opera
	2	0.60	S4-S5	CEM III-V	C25/30	XC2	32	- Pali/diaframmi di fondazione gettati in opera
G	--	--	CEM I-V	C12/15	X0	--	--	- Magrone di riempimento e livellamento

### ACCIAIO

ACCIAIO IN BARRE PER GETTI E RETI ELETTROSALDATE

B450C  
f<sub>yk</sub> ≥ 450Mpa f<sub>tk</sub> ≥ 540Mpa  
1.15 < f<sub>tk</sub>/f<sub>yk</sub> < 1.35  
f<sub>yk</sub> = tensione caratteristica di snervamento  
f<sub>tk</sub> = tensione caratteristica di rottura

ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA STRUTTURE SECONDARIE

S275JR (ex FE 430 B)

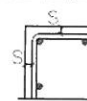
ACCIAIO PER ARMATURA MICROPALI

S275JR (ex FE 430 B)

### PRESCRIZIONI

#### COPRIFERRO NETTO

- PALI DI FONDAZIONE E PER PARATIE, DIAFRAMMI.....	s=60 mm
- SOLETTONI DI FONDAZIONE, FONDAZIONI ARMATE.....	s=40 mm
- OPERE IN ELEVAZIONE IN VISTA.....	s=40 mm
- OPERE IN ELEVAZIONE CON SUPERFICI INTERRATE O NON ISPEZIONABILI.....	s=40 mm
- SOLETTE DA PONTE - ESTRADOSSO.....	s=35 mm
- SOLETTE DA PONTE - INTRADOSSO (GETTO IN OPERA).....	s=35 mm
- SOLETTE DA PONTE - INTRADOSSO (GETTO SU PREDALLE).....	s=20 mm
- PREDALLES CON FUZIONI STRUTTURALI.....	s=25 mm
- PREDALLES SENZA FUZIONI STRUTTURALI.....	s=max(20mm; 20mm)
- CUNETTE, CANALETTE E CORDOLI.....	s=40 mm



 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE</p>					
	<p>Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee Relazione tecnica e di calcolo preliminare</p>	<p>COMMESSA NM02</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA R26CL</p>	<p>DOCUMENTO TR0000001</p>	<p>REV. A</p>

#### 4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Da p.c. a +115.00 m s.l.m.

##### RILEVATO FERROVIARIO ESISTENTE (R)


- Peso per unità di volume  $\gamma_{nat} = 20.00 \text{ kN/m}^3$
- Densità relativa  $D_r = 44 \%$
- Coesione efficace  $c' = 10.00 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito di picco  $\phi'_p = 33^\circ$
- Angolo di attrito volume cost.  $\phi'_{cv} = 28-30^\circ$
- Modulo di Young operativo  $E' = 25.00 \text{ MPa}$

Oltre +115.00 m s.l.m.

##### GHIAIE (G)

- Peso per unità di volume  $\gamma_{nat} = 20.00 \text{ kN/m}^3$
- Densità relativa  $D_r = 64 \%$
- Coesione efficace  $c' = 0.00 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito di picco  $\phi'_p = 40^\circ$
- Angolo di attrito volume cost.  $\phi'_{cv} = 32-35^\circ$
- Modulo di Young operativo  $E' = 60.00 \text{ MPa}$

In corrispondenza dell'area oggetto di studio, in riferimento ai dati piezometrici misurati nei fori di sondaggio attrezzati con piezometro, la falda freatica si colloca alla quota di 104÷105 m sul livello del mare. Cautelativamente la falda è stata ovunque considerata a quota +106.00 m s.l.m..

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI</b> <b>NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE</b>					
	<b>Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee</b> <b>Relazione tecnica e di calcolo preliminare</b>	COMMESSA NM02	LOTTO 00	CODIFICA R26CL	DOCUMENTO TR0000001	REV. A

## 5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

In ottemperanza al D.M. del 14.01.2008 (Norme tecniche per le costruzioni), le verifiche sono state condotte con il metodo semi-probabilistico agli stati limite.

Il rispetto degli stati limite si considera conseguito quando:

- nei confronti degli stati limite di esercizio siano rispettate le verifiche relative allo Stato Limite di Danno;
- nei confronti degli stati limite ultimi siano rispettate le verifiche relative allo Stato Limite di salvaguardia della Vita.

Gli stati limite, sia di esercizio sia ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni che l'opera a realizzarsi deve assolvere durante un evento sismico; nel caso di specie per la funzione che l'opera deve espletare nella sua vita utile, è significativo calcolare lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per lo stato limite ultimo.

In merito alle opere scatolari di cui trattasi, nel rispetto del punto § 7.9.2. delle NTC, assimilando l'opera alla categoria delle spalle da ponte, rientrando tra le opere che si muovono con il terreno (§ 7.9.2.1), si può ritenere che la struttura debba mantenere sotto l'azione sismica il comportamento elastico; queste categorie di opere che si muovono con il terreno non subiscono le amplificazioni dell'accelerazione del suolo.

Per la definizione dell'azione sismica occorre definire il periodo di riferimento in funzione dello S.L. considerato:

- la vita nominale ( $V_N$ ) dell'opera.
- la classe d'uso.
- il periodo di riferimento ( $V_R$ ) per l'azione sismica, data la vita nominale e la classe d'uso.

Per l'opera in esame si ha:

$V_N$	50	(vita nominale dell'opera)
$C_u$	1.5	(coefficiente d'uso dell'opera) <b>Tabella 2.4.II</b>
$V_R$	75	(periodo di riferimento) <b>2.4.3 NTC2008</b>
$T_R$	45	(valido per SLO)
$T_R$	75	<b>(valido per SLD)</b>
$T_R$	712	<b>(valido per SLV)</b>
$T_R$	1462	(valido per SLC)
SUOLO	C	
cat. topog.	T1	

Le coordinate geografiche del sito sono:

Latitudine = 45.48252°

Longitudine = 9.24105°

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI</b> <b>NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE</b>					
	Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee Relazione tecnica e di calcolo preliminare	COMMESSA NM02	LOTTO 00	CODIFICA R26CL	DOCUMENTO TR0000001	REV. A

I valori delle caratteristiche sismiche ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*_c$ ) per gli stati limite di normativa sono dunque:

(ricavati da allegato a NTC2008)							
		$a_g$	$F_0$	$T^*_c$	$S_s$	$S_{scorretto}$	$S_T$
$T_R$	45	0.024	2.555	0.188	1.66	1.50	1.00
$T_R$	75	0.030	2.559	0.210	1.65	1.50	1.00
$T_R$	712	0.059	2.658	0.290	1.61	1.50	1.00
$T_R$	1462	0.071	2.703	0.305	1.58	1.50	1.00

- $a_g \rightarrow$  accelerazione orizzontale massima del terreno su suolo di categoria A, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;
- $F_0 \rightarrow$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T^*_c \rightarrow$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $S \rightarrow$  coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ).

Le accelerazioni massime per i vari stati limite di normativa nelle condizioni di sito reali sono:

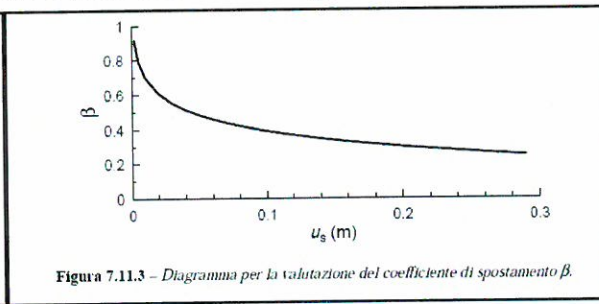
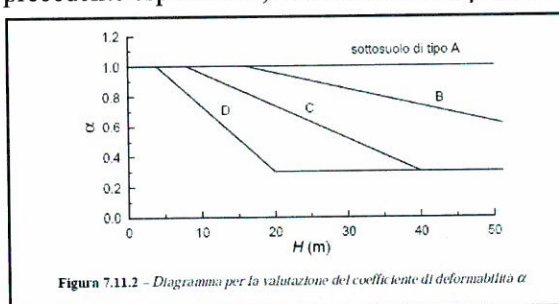
		$a_{max}$
$T_R$	45	0.036
$T_R$	75	0.045
$T_R$	712	0.089
$T_R$	1462	0.107

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico. In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

In base alle accelerazioni massime attese sul sito in esame si valutano, alla luce dei parametri valutati sopra nella condizione di S.L.V., i coefficienti di intensità sismica da utilizzarsi nelle analisi pseudo statiche, con le espressioni che seguono.

$$k_h = a_g / g \cdot S_s \cdot S_T \cdot \alpha \cdot \beta \qquad k_v = 0.5 \cdot k_h$$

Nella precedente espressione, i coefficienti  $\alpha$  e  $\beta$  assumono i valori desunti dalle Figg. 7.11.2 e 7.11.3 delle NTC.





## 6 SOFTWARE DI CALCOLO

Lo stato tenso-deformativo delle strutture è stato investigato mediante il software di calcolo PARATIE v.7.0. [Ce.A.S. s.r.l. - Milano].

Tale software è un codice agli elementi finiti che simula il problema di uno scavo sostenuto da diaframmi flessibili e permette di valutare il comportamento della parete di sostegno durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale.

Il problema è visto ad un problema piano in cui viene analizzata una “fetta” di parete di larghezza unitaria. Tale schematizzazione non è quindi idonea a studiare problemi in cui vi siano importanti effetti tridimensionali.

La modellazione numerica dell’interazione terreno-struttura è del tipo “trave su suolo elastico”: le pareti di sostegno vengono rappresentate con elementi finiti trave il cui comportamento è definito dalla rigidità flessionale EJ, mentre il terreno viene simulato attraverso elementi elastoplastici monodimensionali (molle) connessi ai nodi delle paratie: ad ogni nodo convergono uno o al massimo due elementi terreno.

Il limite di questo schema sta nell’ammettere che ogni porzione di terreno, schematizzata da una “molla”, abbia comportamento del tutto indipendente dalle porzioni adiacenti; l’interazione fra le varie regioni di terreno è affidata alla rigidità flessionale della parete.

La realizzazione dello scavo sostenuto da una o due paratie puntonate viene seguita in tutte le varie fasi attraverso un’analisi statica incrementale: ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una certa quota di scavo, da un certo insieme di puntoni applicati, da una ben precisa disposizione di carichi applicati.

Poiché il comportamento degli elementi finiti è di tipo elastoplastico, ogni configurazione dipende in generale dalle configurazioni precedenti e lo sviluppo di deformazioni plastiche ad un certo passo condiziona la risposta della struttura nei passi successivi. La soluzione ad ogni nuova configurazione (step) viene raggiunta attraverso un calcolo iterativo alla Newton-Raphson.

L’analisi ha lo scopo di indagare la risposta strutturale in termini di deformazioni laterali subite dalla parete durante le varie fasi di scavo e di conseguenza la variazione delle pressioni orizzontali nel terreno. Per far questo, in corrispondenza di ogni nodo è necessario definire due soli gradi di libertà, cioè lo spostamento orizzontale e la rotazione attorno all’asse X ortogonale al piano della struttura (positiva se antioraria).

	<b>INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI</b> <b>NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE</b>					
<b>Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee</b> <b>Relazione tecnica e di calcolo preliminare</b>	<b>COMMESSA</b> NM02	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> R26CL	<b>DOCUMENTO</b> TR0000001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 18 di 66

In questa impostazione particolare, inoltre, gli sforzi verticali nel terreno non sono per ipotesi influenzati dal comportamento deformativo orizzontale, ma sono una variabile del tutto indipendente, legata ad un calcolo basato sulle classiche ipotesi di distribuzione geostatica.

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	19 di 66

**- PARATIA  $s = 0.80$  m -**

---

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI</b> <b>NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE</b>					
	<b>Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee</b> <b>Relazione tecnica e di calcolo preliminare</b>	COMMESSA NM02	LOTTO 00	CODIFICA R26CL	DOCUMENTO TR0000001	REV. A

## 7 ANALISI DEI CARICHI E FASI

Di seguito si riportano le fasi del modello di calcolo relativo alla combinazione sismica:

**FASE 1:** si realizza l'opera di sostegno costituita da un diaframma in c.a. di spessore 0.80 m, con cordolo in testa di altezza pari a 0.80 m. La quota di testa è impostata a +124.00 m. L'altezza totale delle paratie (distanza tra estradosso cordolo di sommità ed estremità inferiore dei pali) è pari a 13.8 m. A tergo dell'opera di sostegno si ipotizza un sovraccarico accidentale caratteristico pari a 10.0 kN/m<sup>2</sup>.

**FASE 2:** si effettua uno scavo di 5.00 m, necessaria per la realizzazione dei binari cintura.

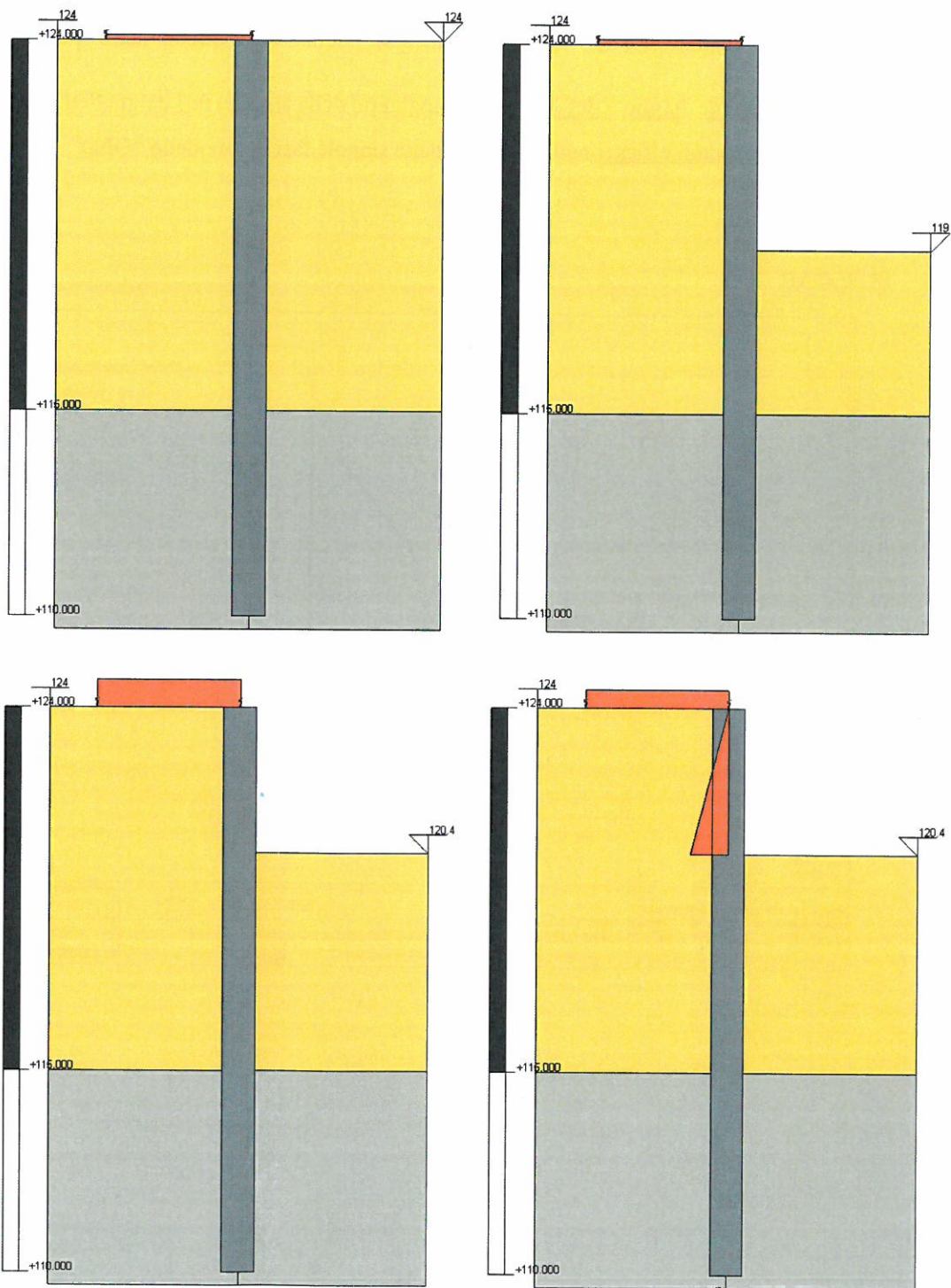
**FASE 3:** si raggiunge la configurazione finale riportando il terreno alla quota di progetto, pari a +120.40 m. A tergo dell'opera il sovraccarico accidentale precedentemente definito viene sostituito da peso di ballast+armamento ferroviario (14.4 kN/m<sup>2</sup>), oltre al sovraccarico ferroviario di 40 kN/m<sup>2</sup> per via della messa in esercizio del binario pari della linea VE\_LL.

**FASE 4:** si applicano le azioni dovute all'azione del sisma SLV. Il sisma è stato modellato con la teoria di Mononobe-Okabe. Il sovraccarico ferroviario assume valore dimezzato.

**NOTA n.1:** *Parallelamente al modello di calcolo così descritto (nel seguito chiamato "SLE\_CAR"), con valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici, e quindi rappresentativo di una condizione di esercizio caratteristica o rara, se ne realizza un altro le cui differenze sono rappresentate dalla definizione del terreno attraverso i suoi parametri valutati secondo l'approccio 1 - combinazione 2 indicato nelle NTC 2008, dall'amplificazione dei carichi agenti per un fattore cautelativo di 1.50 e dall'assenza dell'ultima fase, quella relativa al sisma. Tale modello è rappresentativo degli SLU geotecnici e se ne presenteranno i risultati esclusivamente in termini di spinta passiva mobilitata. Ci si riferirà nel seguito a tale modello con il nome di "GEO".*

**NOTA n.2:** *Il modello "SLE\_CAR" sarà impiegato per la valutazione degli spostamenti e delle sollecitazioni sugli elementi strutturali: in particolare queste ultime saranno cautelativamente valutate amplificando per un fattore pari a 1.50 i risultati ottenuti fino alla fase 3, ed ottenendo così le sollecitazioni allo SLU strutturale. Se dimensionanti saranno invece impiegate, come sollecitazioni di calcolo, quelle ottenute dalla sola fase 4 (non amplificate) corrispondenti alla condizione sismica SLV; nella stessa condizione sismica (fase 4) è valutata anche la spinta passiva mobilitata.*

Di seguito si riportano le fasi definite durante il calcolo.



**Fig. 8** – Fasi realizzative: Fase 1 (in alto a sx) – Fase 2 (in alto a dx) - Fase 3 (in basso a sx) – Fase 4 (in basso a dx)

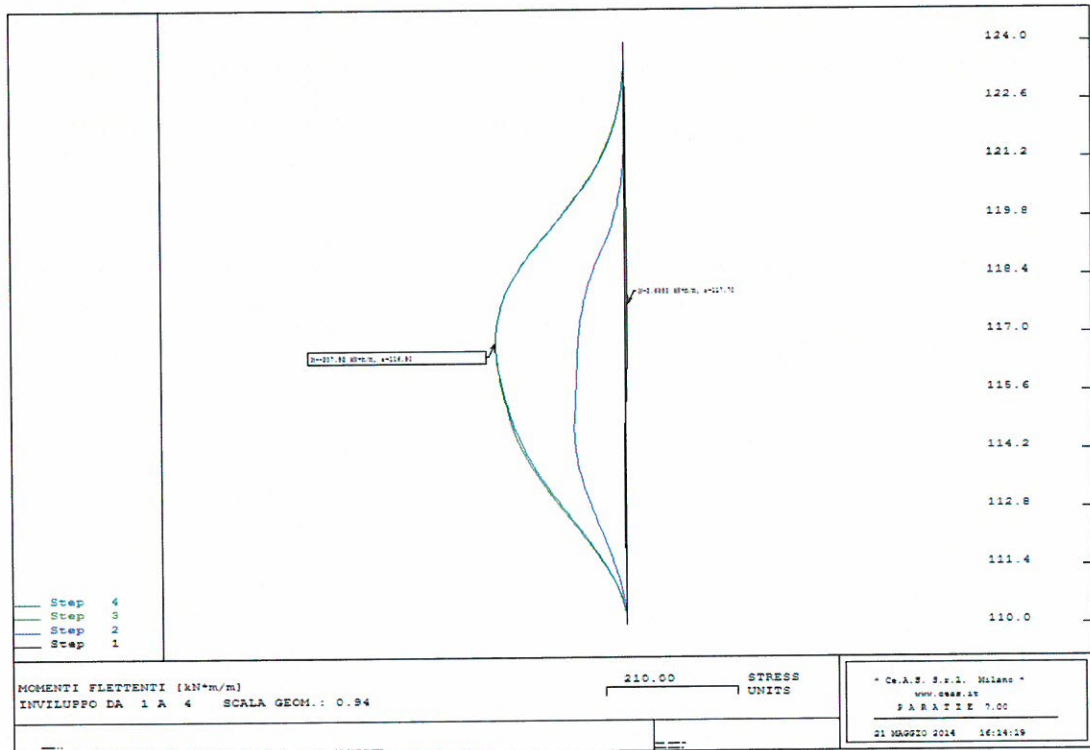
 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI</b> <b>NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE</b>					
	<b>Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee</b> <b>Relazione tecnica e di calcolo preliminare</b>	COMMESSA NM02	LOTTO 00	CODIFICA R26CL	DOCUMENTO TR0000001	REV. A

## 8 RISULTATI

Sulla base di quanto illustrato al §7, si riportano i principali risultati del modello; nello specifico:

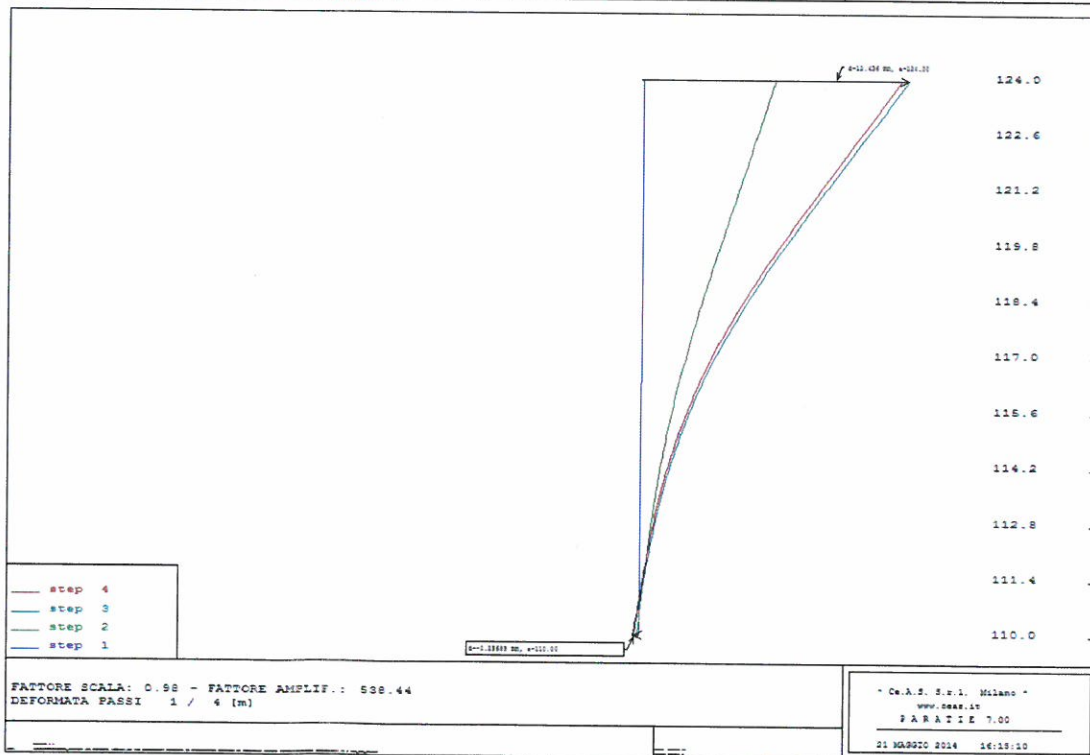
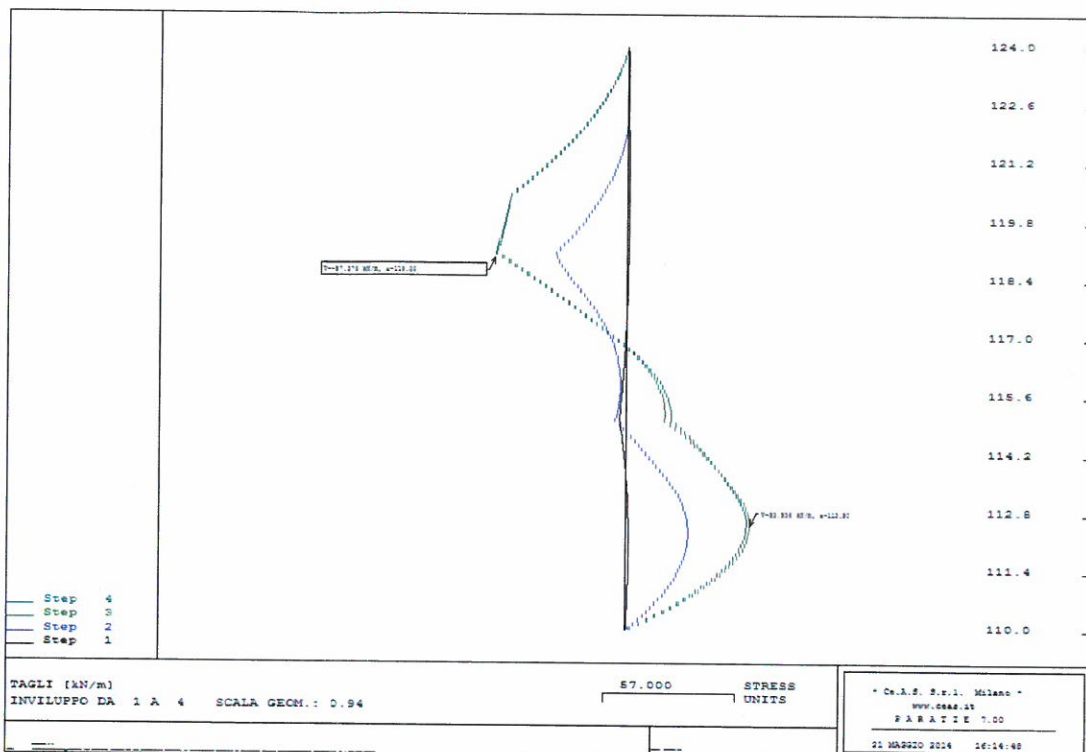
- momento flettente , taglio e deformata nell'involuppo delle singole fasi del modello "SLE\_car"
- pressioni orizzontali efficaci nell'involuppo delle singole fasi del modello "GEO"

### 8.1 SLE\_CAR



Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

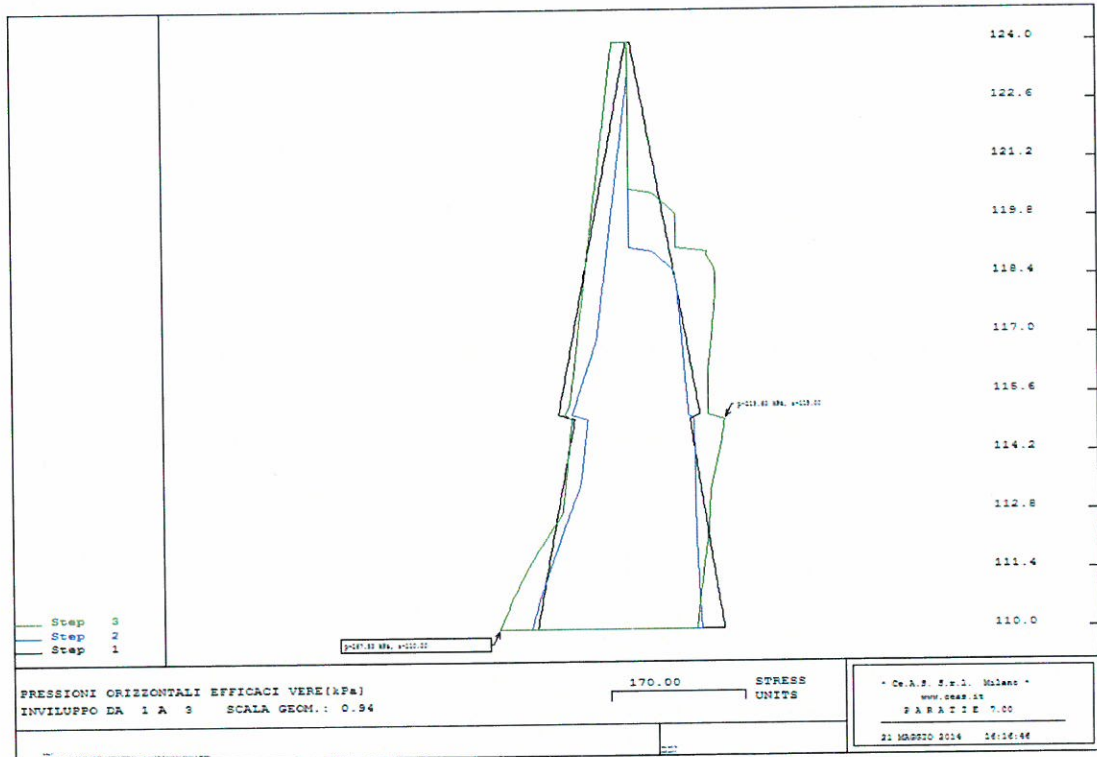
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	23 di 66




Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	24 di 66

## 8.2 GEO





 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI</b> <b>NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE</b>					
	Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee Relazione tecnica e di calcolo preliminare	COMMESSA NM02	LOTTO 00	CODIFICA R26CL	DOCUMENTO TR0000001	REV. A

## 9 VERIFICHE

Si riepilogano di seguito i principali risultati forniti in output dal codice di calcolo ed elaborati ai fini delle verifiche così come descritto al §7:

	$M_{MAX}$ [kN m]	$V_{MAX}$ [kN]	$z (M_{MAX})$ [m]	Spinta Mobilitata [%]	$\delta_{MAX}$ [cm]
SLE_car	207.9	-	7.20	-	1.24
SLU_geo	-	-	-	24	-
SLU_str + SLV	311.9	86.0	7.20	11	-

### 9.1 Mobilitazione della spinta passiva (SLU\_geo)

Si registra la massima percentuale di spinta passiva mobilitata nella Fase 4 del modello di calcolo “GEO”, pari al 24%; nella condizione sismica tale percentuale è invece pari all’11%.

### 9.2 Massimo spostamento orizzontale dei diaframmi (SLE\_car / SLV)

Per l’opera di sostegno si ottiene in fase di esercizio uno spostamento orizzontale a p.c. pari a 1.24cm nella Fase 3 del modello di calcolo “SLE\_CAR”, valore ritenuto ampiamente accettabile ed inoltre superiore a quello dovuto all’azione sismica.

### 9.3 Verifica strutturale dei diaframmi (SLU\_str / SLV / SLE\_car / SLE\_freq / SLE\_qp)

Per le verifiche strutturali sono state prese in considerazione le sollecitazioni ottenute (momento flettente massimo, e taglio) dal modello di calcolo “SLE\_CAR”. Ai fini delle verifiche di resistenza, tali sollecitazioni sono state amplificate di 1.50 e lo sforzo assiale considerato è quello associato al solo peso proprio: si verifica così la resistenza a pressoflessione ed a taglio (SLU). Se dimensionanti saranno invece impiegate, come sollecitazioni di calcolo, quelle ottenute dalla sola fase 4 (non amplificate) corrispondenti alla condizione sismica SLV.

Con le sollecitazioni (momento flettente e sforzo assiale) non amplificate si effettuano poi le verifiche di esercizio, in termini di tensioni e fessurazione (SLE): a favore di sicurezza si impostano le combinazioni frequenti e quasi permanenti, e si effettuano quindi le verifiche, con gli stessi valori di sollecitazioni determinati per la combinazione caratteristica.

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	26 di 66

Ai fine delle verifiche si assume la seguente disposizione di armatura:

$$\left\{ \begin{array}{l} B = 1.00m \\ H = 0.80m \\ L = 13.8m \end{array} \right. \quad \text{GEOMETRIA}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 10\phi 26 \\ (10 + 5)\phi 26 \\ c = 6.0cm \end{array} \right. \quad \text{ARMATURA LONGITUDINALE}$$

È presentata ora la verifica a pressoflessione (SLU) e le verifiche di esercizio (SLE), le cui sollecitazioni di progetto sono di seguito riepilogate:

Sollecitazioni di verifica	N <sub>d</sub> [kN]	M <sub>MAX</sub> [kN m]	V <sub>MAX</sub> [kN]	Sollecitazioni per RC-SEC	N <sub>d</sub> [daN]	M <sub>MAX</sub> [daN m]
SLE_car	144.0	207.9	-	SLE_car	14400	20790
SLU_str + SLV	216.0	311.9	86.0	SLU_str + SLV	21600	31185

#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: diafr\_s80

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Tipo di sollecitazione:	Retta (asse neutro sempre parallelo all'asse X)
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30	
	Resis. compr. di calcolo fcd:	141.60	daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. compr. ridotta fcd':	70.80	daN/cm <sup>2</sup>
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	314750	daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. media a trazione fctm:	26.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	150.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400	mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	112.50	daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.300	mm

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	27 di 66

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. rottura ftk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di calcolo ftd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	
	Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	3600.0	daN/cm <sup>2</sup>

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C25/30

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	80.0
3	50.0	80.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N° Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ [mm]
1	-42.7	7.3	26
2	-42.7	72.7	26
3	42.7	72.7	26
4	42.7	7.3	26
5	-42.7	11.9	26
6	42.7	11.9	26

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N° Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N° Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N° Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N° Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N° Gen.	N° Barra Ini.	N° Barra Fin.	N° Barre	Ø
1	2	3	8	26
2	1	4	8	26
3	5	6	3	26

#### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.		
Vy	Componente del Taglio [daN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate		
N° Comb.	N	Mx	Vy
1	21600	31185	10

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	28 di 66

### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	14400	20790	0

### COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	14400	20790 (46812)	0 (0)

### COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	14400	20790 (46812)	0 (0)

### RISULTATI DEL CALCOLO

#### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.0 cm

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate  
N ult Sforzo normale ultimo [daN] baricentrico (positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [daNm] intorno all'asse X di riferimento della sezione  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
As Tesa Area armature [cm<sup>2</sup>] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	21600	31185	21578	208551	6.619	—

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee

Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	29 di 66

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.00520	-50.0	80.0	0.00165	-42.7	72.7	-0.01494	-42.7	7.3

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000253622	-0.016789770	---	---

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm<sup>2</sup>]  
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm<sup>2</sup>]  
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure  
D barre Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure  
Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1\*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	18.5	-50.0	80.0	-349	-33.2	7.3	2400	79.6	9.5	1.00

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	18.5	-50.0	80.0	-349	-33.2	7.3	2400	79.6	9.5	0.50

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$

Ver. Esito della verifica  
S1 Massima tensione [daN/cm<sup>2</sup>] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata  
S2 Minima tensione [daN/cm<sup>2</sup>] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata  
k2 = 0.4 per barre ad aderenza migliorata  
k3 = 0.125 per flessione e presso-flessione;  $=(e1 + e2)/(2*e1)$  per trazione eccentrica  
Ø Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff  
Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
Psi =  $1-Beta12*(Ssr/Ss)^2 = 1-Beta12*(fctm/S2)^2 = 1-Beta12*(Mfess/M)^2$  [B.6.6 DM96]  
e sm Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite =  $0.4*Ss/Es$  è tra parentesi  
srm Distanza media tra le fessure [mm]  
wk Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure =  $1.7 * e * srm$ . Valore limite tra parentesi  
MX fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]  
MY fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-11.5	0	0.125	26	60.0	-1.535	0.00007 (0.00007)	178	0.021 (0.40)	46812	0

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	18.5	-50.0	80.0	-349	-33.2	7.3	2400	79.6	9.5	0.50

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI</b> <b>NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE</b>					
	<b>Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee</b> <b>Relazione tecnica e di calcolo preliminare</b>	COMMESSA NM02	LOTTO 00	CODIFICA R26CL	DOCUMENTO TR0000001	REV. A

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]**

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-11.5	0	0.125	26	60.0	-1.535	0.00007 (0.00007)	178	0.021 (0.30)	46812	0

Infine si dettaglia nel seguito la verifica a taglio (SLU):

<b>T =</b>	<b>86.0</b>	<b>KN</b>	azione di calcolo
------------	-------------	-----------	-------------------

sezione e materiali:

$R_{ck} =$	<b>30.0</b>	$N/mm^2$	resistenza caratteristica cubica
<b>B450C</b>	<b>450</b>		tipologia barre d'acciaio
$B =$	<b>100.0</b>	cm	base sezione rettangolare
$H =$	<b>80.0</b>	cm	altezza sezione rettangolare
$c =$	<b>7.3</b>	cm	copriferro

staffe:

$\alpha =$	<b>90.0</b>	°	inclinazione staffe
$\phi_{st} =$	<b>0.0</b>	mm	diametro staffe
$n_b =$	<b>0</b>		numero di bracci
$A_{sw} =$	<b>0.0</b>	$mm^2$	area armatura trasversale
$s =$	<b>15</b>	cm	passo armatura trasversale

armatura a taglio rialzata  (inserire S per si o N per no)

armatura long. a trazione:

	$\phi$	n
I° strato	<b>26</b>	<b>10</b>
II° strato	<b>26</b>	<b>5</b>

$A_{sl} = 7963.9$   $mm^2$  area armatura longitudinale a trazione  
 $1+(200/d)^{0.5} = 1.5245$

**Verifica a taglio sezione senza armatura resistente a taglio**

$b_w =$	100.0	cm	larghezza sezione resistente a taglio
$H =$	80.0	cm	altezza sezione
$d = H - c =$	72.7	cm	altezza utile della sezione
$k =$	1.525		k deve essere $\leq 2$
$A_{sl} =$	7963.9	$mm^2$	armature di trazione
$\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d) \leq 0.02 =$	0.01095		
$N_{sd} =$	<b>234000.0</b>	N	
$A_c =$	<b>800000.0</b>	$mm^2$	
$\sigma_{cp} =$	0.3	$N/mm^2$	
$v_{min} =$	0.3		
$V_{Rd} \geq (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d =$	270.9	KN	
$V_{Rd} = [(0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}) / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d =$	<b>432.25</b>	KN	<b>c.s. = 5.03 &gt; 1 verifica soddisfatta</b>

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	31 di 66

**- PARATIA  $s = 1.00$  m -**

---

	<b>INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI</b> <b>NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE</b>					
	<b>Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee</b> <b>Relazione tecnica e di calcolo preliminare</b>	COMMESSA NM02	LOTTO 00	CODIFICA R26CL	DOCUMENTO TR0000001	REV. A

## 10 ANALISI DEI CARICHI E FASI

Di seguito si riportano le fasi del modello di calcolo relativo alla combinazione sismica:

**FASE 1:** si realizza l'opera di sostegno costituita da un diaframma in c.a. di spessore 1.00 m, con cordolo in testa di altezza pari a 1.00 m. La quota di testa è impostata a +124.00 m. L'altezza totale delle paratie (distanza tra estradosso cordolo di sommità ed estremità inferiore dei pali) è pari a 19.0 m. A tergo dell'opera di sostegno si ipotizza un sovraccarico accidentale caratteristico pari a 10.0 kN/m<sup>2</sup>.

**FASE 2:** si effettua uno scavo di 7.00 m, necessaria per la realizzazione dei binari cintura.

**FASE 3:** si raggiunge la configurazione finale riportando il terreno alla quota di progetto, pari a +118.40 m. A tergo dell'opera il sovraccarico accidentale precedentemente definito viene sostituito da peso di ballast+armamento ferroviario (14.4 kN/m<sup>2</sup>), oltre al sovraccarico ferroviario di 40 kN/m<sup>2</sup> per via della messa in esercizio del binario pari della linea VE\_LL.

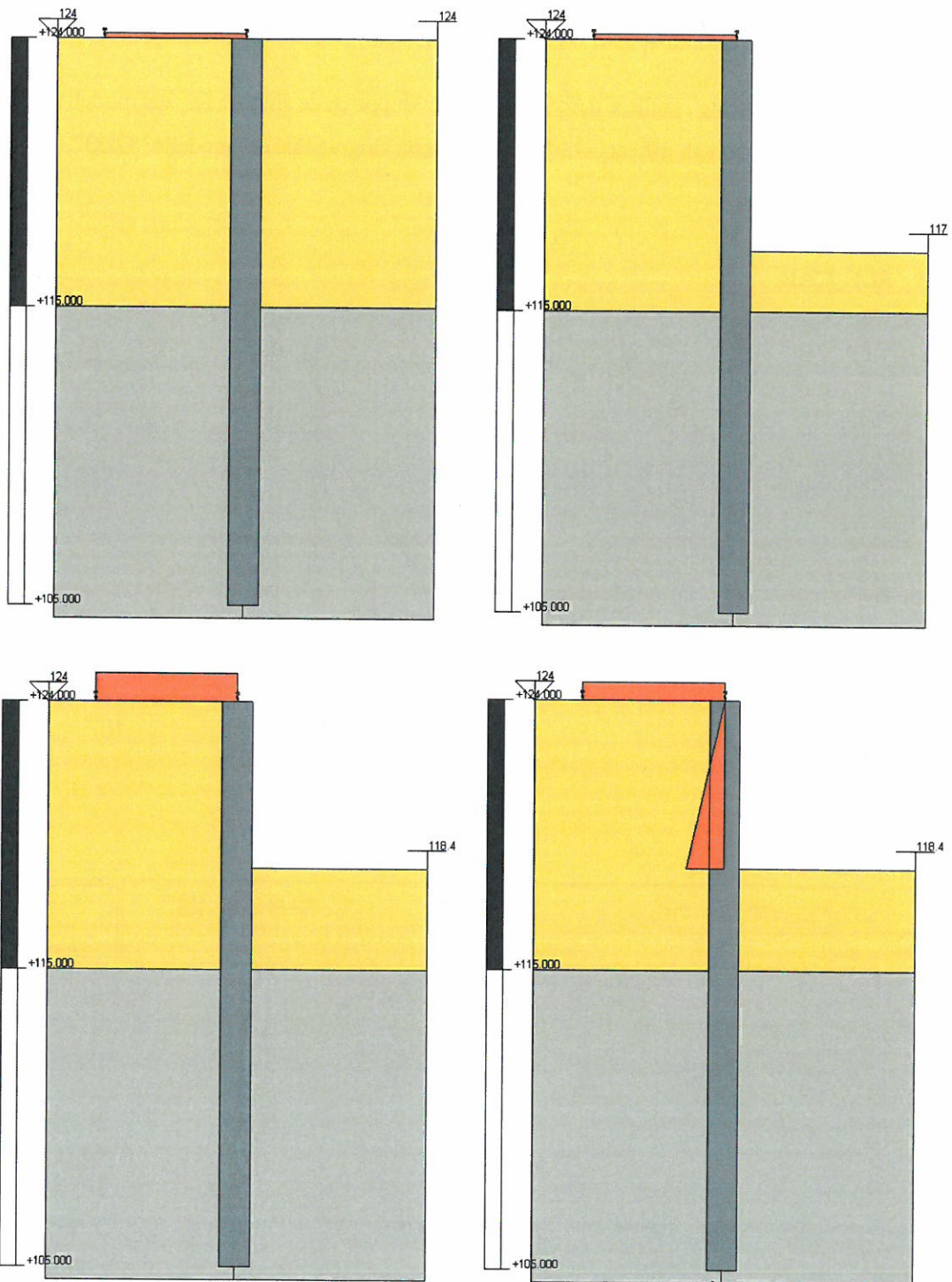
**FASE 4:** si applicano le azioni dovute all'azione del sisma SLV. Il sisma è stato modellato con la teoria di Mononobe-Okabe. Il sovraccarico ferroviario assume valore dimezzato.

**NOTA n.1:** *Parallelamente al modello di calcolo così descritto (nel seguito chiamato "SLE\_CAR"), con valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici, e quindi rappresentativo di una condizione di esercizio caratteristica o rara, se ne realizza un altro le cui differenze sono rappresentate dalla definizione del terreno attraverso i suoi parametri valutati secondo l'approccio 1 - combinazione 2 indicato nelle NTC 2008, dall'amplificazione dei carichi agenti per un fattore cautelativo di 1.50 e dall'assenza dell'ultima fase, quella relativa al sisma. Tale modello è rappresentativo degli SLU geotecnici e se ne presenteranno i risultati esclusivamente in termini di spinta passiva mobilitata. Ci si riferirà nel seguito a tale modello con il nome di "GEO".*

**NOTA n.2:** *Il modello "SLE\_CAR" sarà impiegato per la valutazione degli spostamenti e delle sollecitazioni sugli elementi strutturali: in particolare queste ultime saranno cautelativamente valutate amplificando per un fattore pari a 1.50 i risultati ottenuti fino alla fase 3, ed ottenendo così le sollecitazioni allo SLU strutturale. Se dimensionanti saranno invece impiegate, come sollecitazioni di calcolo, quelle ottenute dalla sola fase 4 (non amplificate) corrispondenti alla condizione sismica SLV; nella stessa condizione sismica (fase 4) è valutata anche la spinta passiva mobilitata.*



Di seguito si riportano le fasi definite durante il calcolo.



**Fig. 9** – Fasi realizzative: Fase 1 (in alto a sx) – Fase 2 (in alto a dx) - Fase 3 (in basso a sx) – Fase 4 (in basso a dx)

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

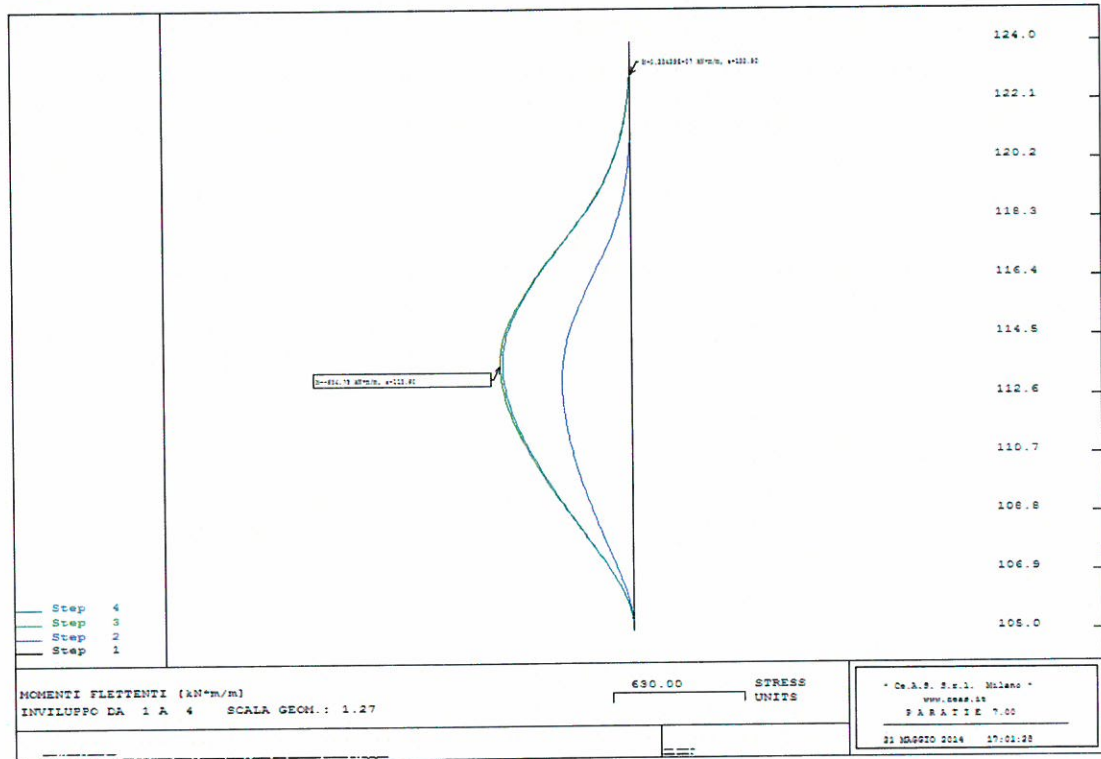
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	34 di 66

## 11 RISULTATI

Sulla base di quanto illustrato al §10, si riportano i principali risultati del modello; nello specifico:

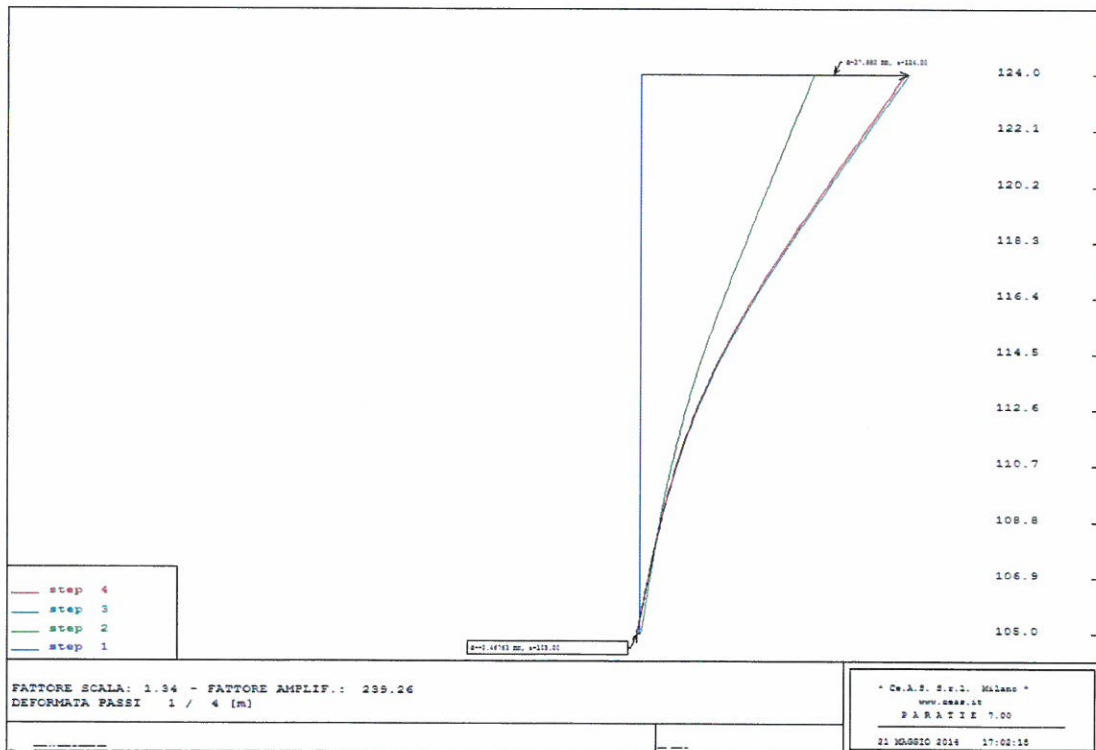
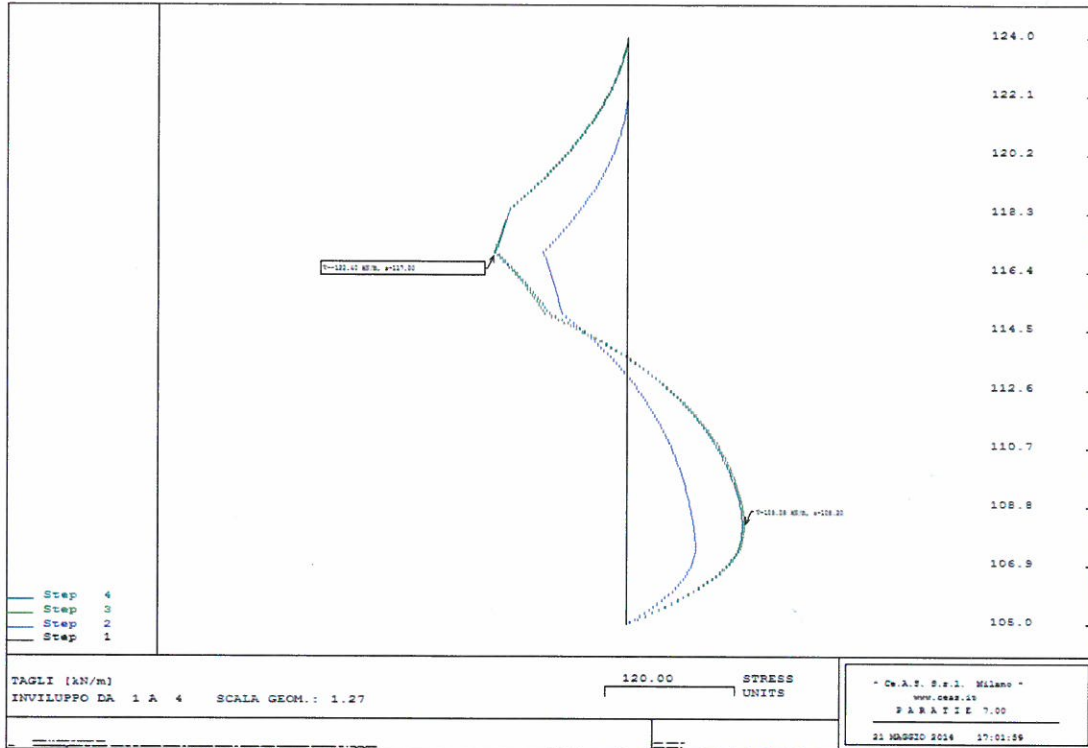
- momento flettente, taglio e deformata nell'involuppo delle singole fasi del modello "SLE\_car"
- pressioni orizzontali efficaci nell'involuppo delle singole fasi del modello "GEO"

### 11.1 SLE\_CAR



Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

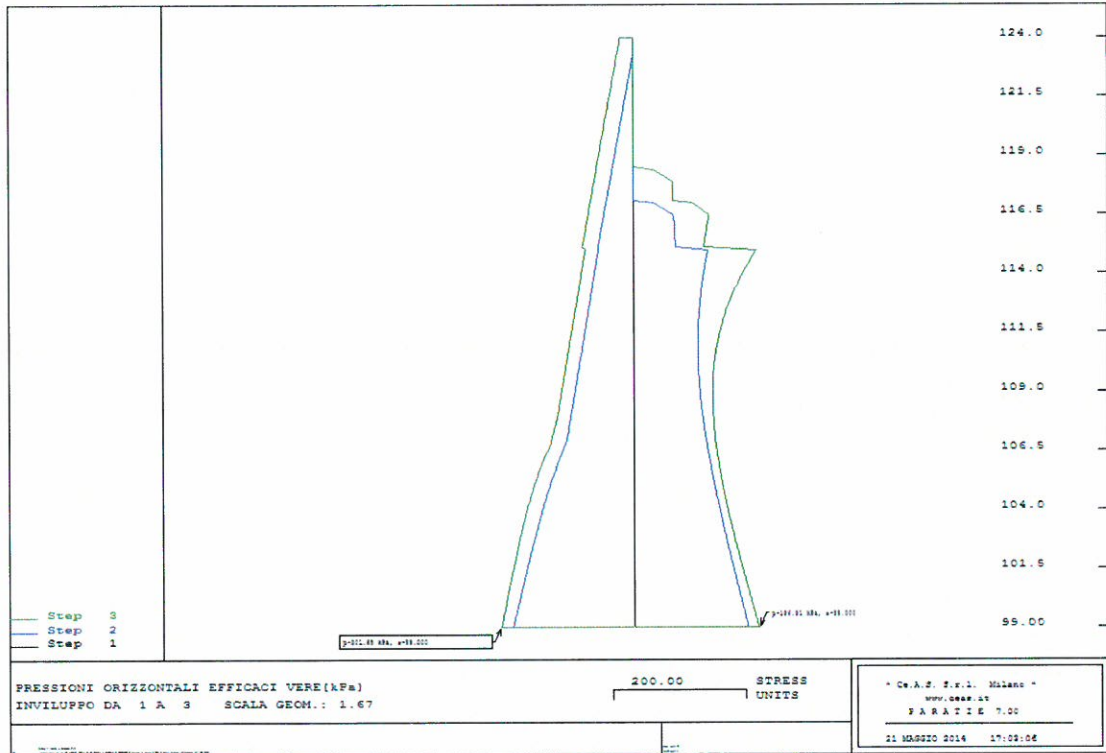
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	35 di 66



Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	36 di 66

## 11.2 GEO



 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI</b> <b>NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE</b>					
	<b>Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee</b> <b>Relazione tecnica e di calcolo preliminare</b>	COMMESSA NM02	LOTTO 00	CODIFICA R26CL	DOCUMENTO TR0000001	REV. A

## 12 VERIFICHE

Si riepilogano di seguito i principali risultati forniti in output dal codice di calcolo ed elaborati ai fini delle verifiche così come descritto al §10:

	$M_{MAX}$ [kN m]	$V_{MAX}$ [kN]	$z (M_{MAX})$ [m]	Spinta Mobilitata [%]	$\delta_{MAX}$ [cm]
SLE_car	634.8	-	10.40	-	3.80
SLU_geo	-	-	-	17	-
SLU_str + SLV	952.1	183.6	10.40	10	-

### 12.1 Mobilitazione della spinta passiva (SLU\_geo)

Si registra la massima percentuale di spinta passiva mobilitata nella Fase 4 del modello di calcolo “GEO”, pari al 17%; nella condizione sismica tale percentuale è invece pari all’10%.

### 12.2 Massimo spostamento orizzontale dei diaframmi (SLE\_car / SLV)

Per l’opera di sostegno si ottiene in fase di esercizio uno spostamento orizzontale a p.c. pari a 3.80 cm nella Fase 3 del modello di calcolo “SLE\_CAR”, valore ritenuto ampiamente accettabile ed inoltre superiore a quello dovuto all’azione sismica.

### 12.3 Verifica strutturale dei diaframmi (SLU\_str / SLV / SLE\_car / SLE\_freq / SLE\_qp)

Per le verifiche strutturali sono state prese in considerazione le sollecitazioni ottenute (momento flettente massimo, e taglio) dal modello di calcolo “SLE\_CAR”. Ai fini delle verifiche di resistenza, tali sollecitazioni sono state amplificate di 1.50 e lo sforzo assiale considerato è quello associato al solo peso proprio: si verifica così la resistenza a pressoflessione ed a taglio (SLU). Se dimensionanti saranno invece impiegate, come sollecitazioni di calcolo, quelle ottenute dalla sola fase 4 (non amplificate) corrispondenti alla condizione sismica SLV.

Con le sollecitazioni (momento flettente e sforzo assiale) non amplificate si effettuano poi le verifiche di esercizio, in termini di tensioni e fessurazione (SLE): a favore di sicurezza si impostano le combinazioni frequenti e quasi permanenti, e si effettuano quindi le verifiche, con gli stessi valori di sollecitazioni determinati per la combinazione caratteristica.

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR000001	A	38 di 66

Ai fine delle verifiche si assume la seguente disposizione di armatura:

$$\left\{ \begin{array}{l} B = 1.00m \\ H = 1.00m \\ L = 19.0m \end{array} \right. \quad \text{GEOMETRIA}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 10\phi 26 \\ (10+5)\phi 26 \\ c = 6.0cm \end{array} \right. \quad \text{ARMATURA LONGITUDINALE}$$

È presentata ora la verifica a pressoflessione (SLU) e le verifiche di esercizio (SLE), le cui sollecitazioni di progetto sono di seguito riepilogate:

Sollecitazioni di verifica	$N_d$	$M_{MAX}$	$V_{MAX}$	Sollecitazioni per RC-SEC	$N_d$	$M_{MAX}$
	[kN]	[kN m]	[kN]		[daN]	[daN m]
SLE_car	260.0	634.8	-	SLE_car	26000	63475
SLU_str + SLV	390.0	952.1	183.6	SLU_str + SLV	39000	95213

#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: diafr\_s100

Descrizione Sezione:	Stati Limite Ultimi
Metodo di calcolo resistenza:	Sezione generica
Tipologia sezione:	N.T.C.
Normativa di riferimento:	A Sforzo Norm. costante
Percorso sollecitazione:	Poco aggressive
Condizioni Ambientali:	Retta (asse neutro sempre parallelo all'asse X)
Tipo di sollecitazione:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento Sforzi assegnati:	

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di calcolo fcd:	141.60 daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. compr. ridotta fcd':	70.80 daN/cm <sup>2</sup>
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	314750 daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. media a trazione fctm:	26.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	150.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	112.50 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.300 mm

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	39 di 66

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. rottura ftk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di calcolo ftd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	
	Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	3600.0	daN/cm <sup>2</sup>

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C25/30	
N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	100.0
3	50.0	100.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N° Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ [mm]
1	-42.7	7.3	26
2	-42.7	92.7	26
3	42.7	92.7	26
4	42.7	7.3	26
5	-42.7	11.9	26
6	42.7	11.9	26

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N° Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
 N° Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
 N° Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
 N° Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N° Gen.	N° Barra Ini.	N° Barra Fin.	N° Barre	Ø
1	2	3	8	26
2	1	4	8	26
3	5	6	3	26

#### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.		
Vy	Componente del Taglio [daN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate		
N° Comb.	N	Mx	Vy
1	39000	95213	10

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	40 di 66

#### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N° Comb.	N	Mx	My
1	26000	63475	0

#### COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N° Comb.	N	Mx	My
1	26000	63475 (68220)	0 (0)

#### COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N° Comb.	N	Mx	My
1	26000	63475 (68220)	0 (0)

#### RISULTATI DEL CALCOLO

##### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.0 cm

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate  
N ult Sforzo normale ultimo [daN] baricentrico (positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [daNm] intorno all'asse X di riferimento della sezione  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N° Comb	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	39000	95213	38977	280104	2.926	---

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)



Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	41 di 66

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.00685	-50.0	100.0	0.00174	-42.7	92.7	-0.01889	-42.7	7.3

#### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000241506	-0.020650571	---	---

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm<sup>2</sup>]  
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm<sup>2</sup>]  
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure  
D barre Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure  
Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1\*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	37.4	-50.0	100.0	-857	-33.2	7.3	2550	79.6	9.5	1.00

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	37.4	-50.0	100.0	-857	-33.2	7.3	2550	79.6	9.5	0.50

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$

Ver. Esito della verifica  
S1 Massima tensione [daN/cm<sup>2</sup>] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata  
S2 Minima tensione [daN/cm<sup>2</sup>] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata  
k2 = 0.4 per barre ad aderenza migliorata  
k3 = 0.125 per flessione e presso-flessione;  $=(e1 + e2)/(2*e1)$  per trazione eccentrica  
Ø Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff  
Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
Psi =  $1 - \text{Beta}12^2 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12^2 * (f_{ctm}/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12^2 * (M_{fess}/M)^2$  [B.6.6 DM96]  
e sm Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite =  $0.4 * Ss/Es$  è tra parentesi  
srm Distanza media tra le fessure [mm]  
wk Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure =  $1.7 * e * srm$ . Valore limite tra parentesi  
MX fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]  
MY fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-24.2	0	0.125	26	60.0	0.422	0.00018 (0.00017)	181	0.056 (0.40)	68220	0

#### COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	37.4	-50.0	100.0	-857	-33.2	7.3	2550	79.6	9.5	0.50

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	42 di 66

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]**

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-24.2	0	0.125	26	60.0	0.422	0.00018 (0.00017)	181	0.056 (0.30)	68220	0

Infine si dettaglia nel seguito la verifica a taglio (SLU):

**T = 183.6 KN** azione di calcolo

sezione e materiali:

$R_{ck} = 30.0$  N/mm<sup>2</sup> resistenza caratteristica cubica  
B450C **450** tipologia barre d'acciaio  
 $B = 100.0$  cm base sezione rettangolare  
 $H = 100.0$  cm altezza sezione rettangolare  
 $c = 7.3$  cm copriferro

staffe:

$\alpha = 90.0$  ° inclinazione staffe  
 $\phi_{st} = 0.0$  mm diametro staffe  
 $n_b = 0$  numero di bracci  
 $A_{sw} = 0.0$  mm<sup>2</sup> area armatura trasversale  
 $s = 15$  cm passo armatura trasversale

armatura a taglio rialzata **N** (inserire S per si o N per no)

armatura long. a trazione:

	$\phi$	n
I° strato	<b>26</b>	<b>10</b>
II° strato	<b>26</b>	<b>5</b>

$A_{sl} = 7963.9$  mm<sup>2</sup> area armatura longitudinale a trazione  
 $1+(200/d)^{0.5} = 1.4645$

**Verifica a taglio sezione senza armatura resistente a taglio**

$b_w = 100.0$  cm larghezza sezione resistente a taglio  
 $H = 100.0$  cm altezza sezione  
 $d = H - c = 92.7$  cm altezza utile della sezione  
 $k = 1.464$  k deve essere  $\leq 2$   
 $A_{sl} = 7963.9$  mm<sup>2</sup> armature di trazione  
 $\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d) \leq 0.02 = 0.00859$   
 $N_{sd} = 390000.0$  N  
 $A_c = 1000000.0$  mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{cp} = 0.4$  N/mm<sup>2</sup>  
 $v_{min} = 0.3$   
 $V_{Rd} \geq (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 341.2$  KN  
 $V_{Rd} = [(0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}) / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d = 506.46$  KN **c.s. = 2.76 > 1 verifica soddisfatta**

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	43 di 66

**- PARATIA PUNTONATA  $s = 1.00$  m -**

---

	<b>INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI          NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE</b>					
<b>Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee</b> <b>Relazione tecnica e di calcolo preliminare</b>	COMMESSA NM02	LOTTO 00	CODIFICA R26CL	DOCUMENTO TR0000001	REV. A	FOGLIO 44 di 66

### 13 ANALISI DEI CARICHI E FASI

Di seguito si riportano le fasi del modello di calcolo relativo alla combinazione sismica:

**FASE 1:** si realizza l’opera di sostegno costituita da due diaframmi in c.a. di spessore 1.00 m, con cordoli in testa di altezza pari a 1.00 m. La quota di testa è impostata a +124.00 m. L’altezza totale delle paratie (distanza tra estradosso cordolo di sommità ed estremità inferiore dei pali) è pari a 19.0 m. A tergo dell’opera di sostegno si ipotizza un sovraccarico accidentale caratteristico pari a 10.0 kN/m<sup>2</sup>.

**FASE 2:** si effettua uno scavo di 1.50 m, necessario all’inserimento del puntone.

**FASE 3:** si inserisce il puntone.

**FASE 4:** si effettua lo scavo al di sotto del puntone fino a scendere alla quota di +115.40 m, necessaria per la realizzazione dei binari cintura.

**FASE 5:** si raggiunge la configurazione finale riportando il terreno al di sotto della soletta alla quota di progetto, pari a +116.75 m. Il carico accidentale definito precedentemente viene quindi rimosso.

**FASE 6:** si applicano le azioni dovute all’azione del sisma SLV. Il sisma è stato modellato con la teoria di Mononobe-Okabe.

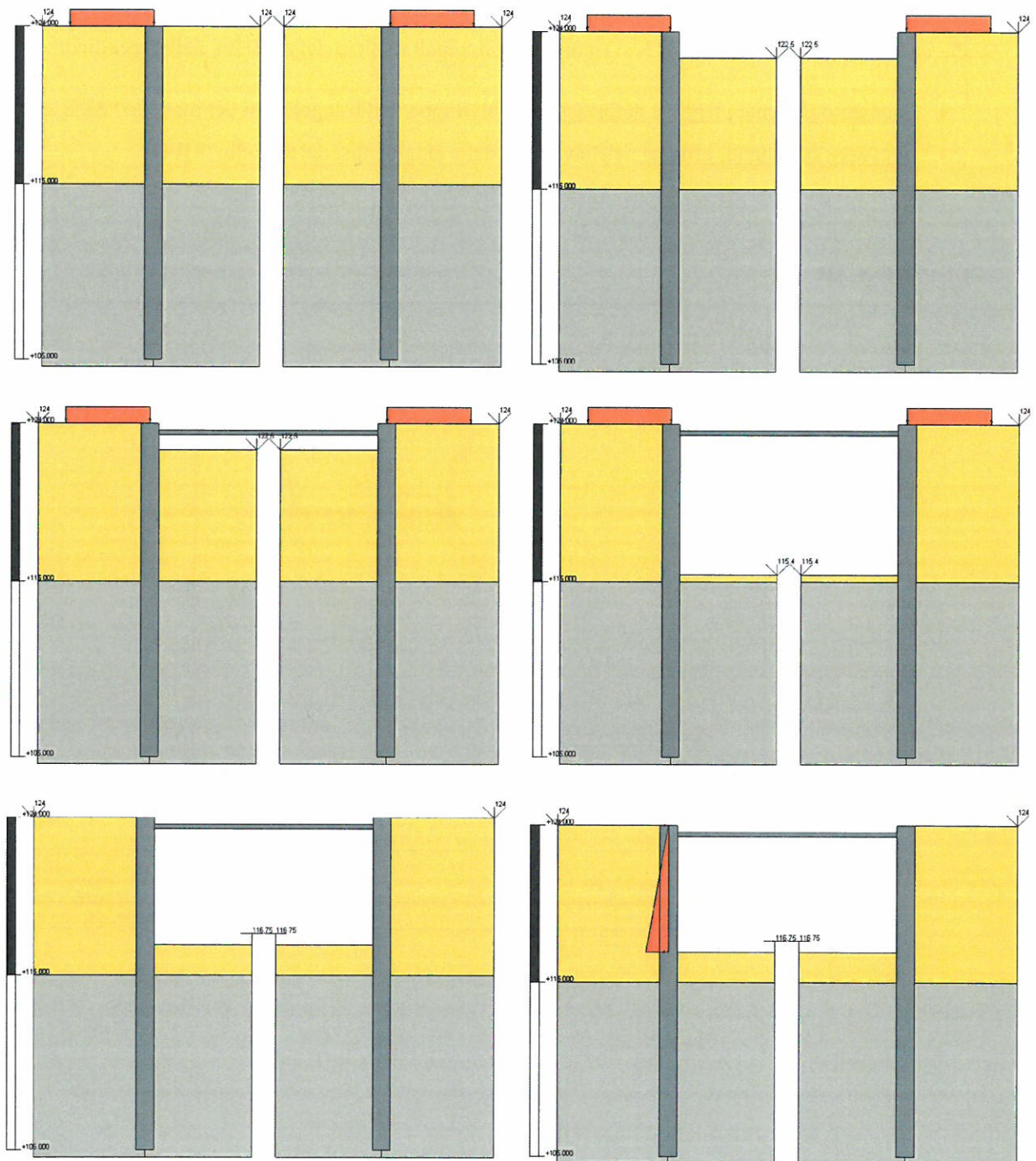
**NOTA n.1:** *Parallelamente al modello di calcolo così descritto (nel seguito chiamato “SLE\_CAR”), con valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici, e quindi rappresentativo di una condizione di esercizio caratteristica o rara, se ne realizza un altro le cui differenze sono rappresentate dalla definizione del terreno attraverso i suoi parametri valutati secondo l’approccio 1 - combinazione 2 indicato nelle NTC 2008, dall’amplificazione dei carichi agenti per un fattore cautelativo di 1.50 e dall’assenza dell’ultima fase, quella relativa al sisma. Tale modello è rappresentativo degli SLU geotecnici e se ne presenteranno i risultati esclusivamente in termini di spinta passiva mobilitata. Ci si riferirà nel seguito a tale modello con il nome di “GEO”.*

**NOTA n.2:** *Il modello “SLE\_CAR” sarà impiegato per la valutazione degli spostamenti e delle sollecitazioni sugli elementi strutturali: in particolare queste ultime saranno cautelativamente valutate amplificando per un fattore pari a 1.50 i risultati ottenuti fino alla fase 5, ed ottenendo così le sollecitazioni allo SLU strutturale. Se dimensionanti saranno invece impiegate, come sollecitazioni di calcolo, quelle ottenute dalla sola fase 6 (non amplificate) corrispondenti alla condizione sismica SLV; nella stessa condizione sismica (fase 6) è valutata anche la spinta passiva mobilitata.*

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	45 di 66

Di seguito si riportano le fasi definite durante il calcolo.



**Fig. 10** – Fasi realizzative: Fase 1 (in alto a sx) – Fase 2 (in alto a dx) - Fase 3 (centrale a sx) – Fase 4 (centrale a dx)  
- Fase 5 (in basso a sx) – Fase 6 (in basso a dx)

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

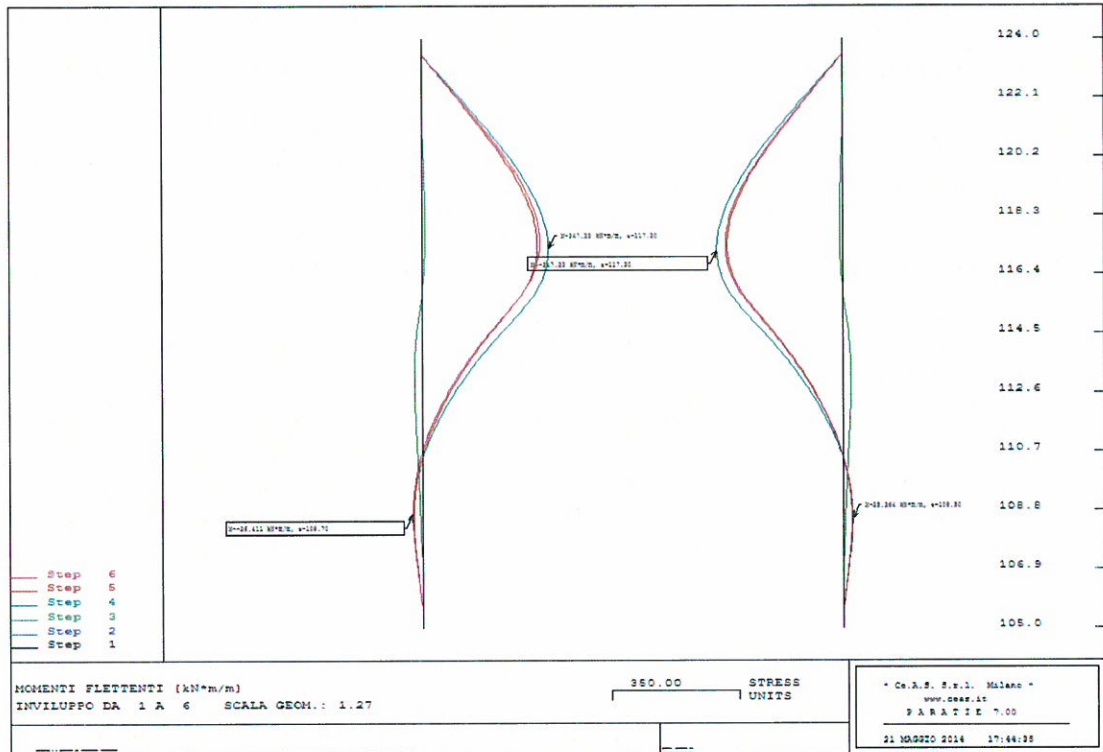
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	46 di 66

## 14 RISULTATI

Sulla base di quanto illustrato al §13, si riportano i principali risultati del modello; nello specifico:

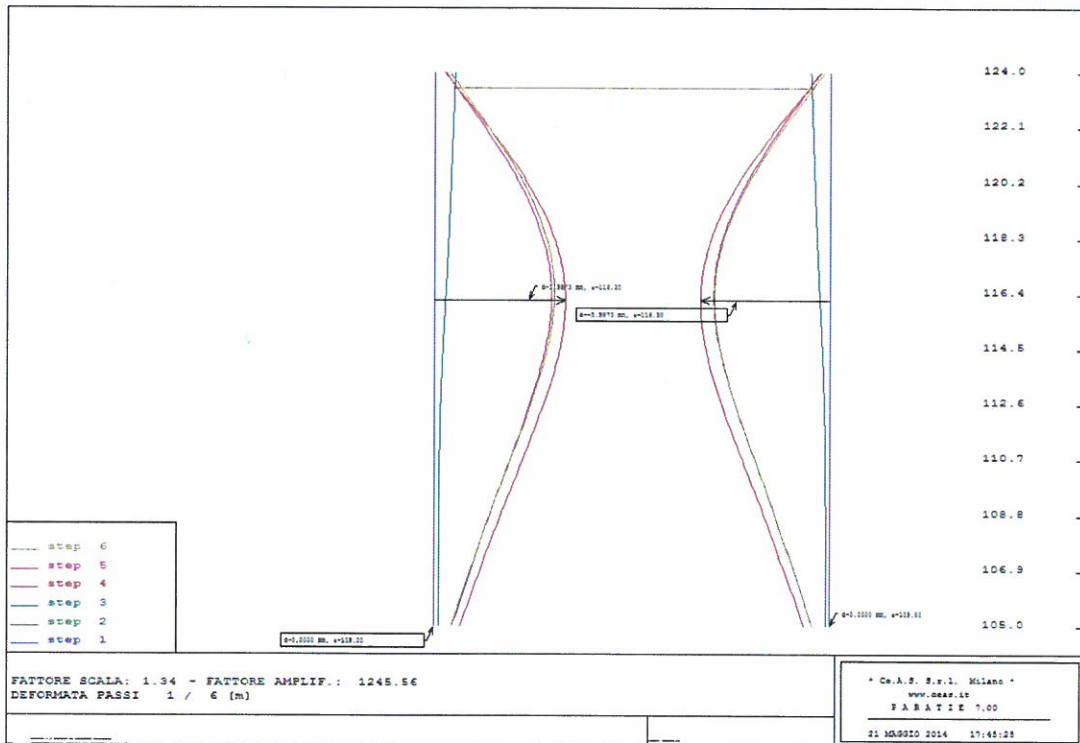
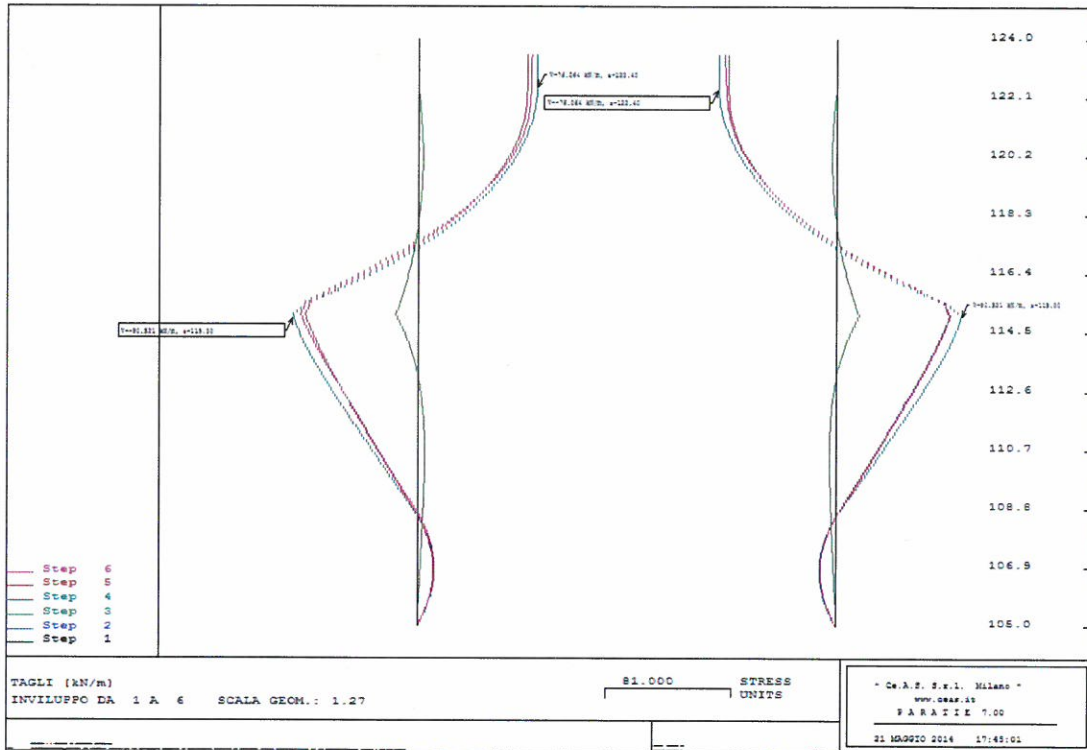
- momento flettente , taglio e deformata nell'involuppo delle singole fasi del modello "SLE\_car"
- pressioni orizzontali efficaci nell'involuppo delle singole fasi del modello "GEO"

### 14.1 SLE\_CAR



Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

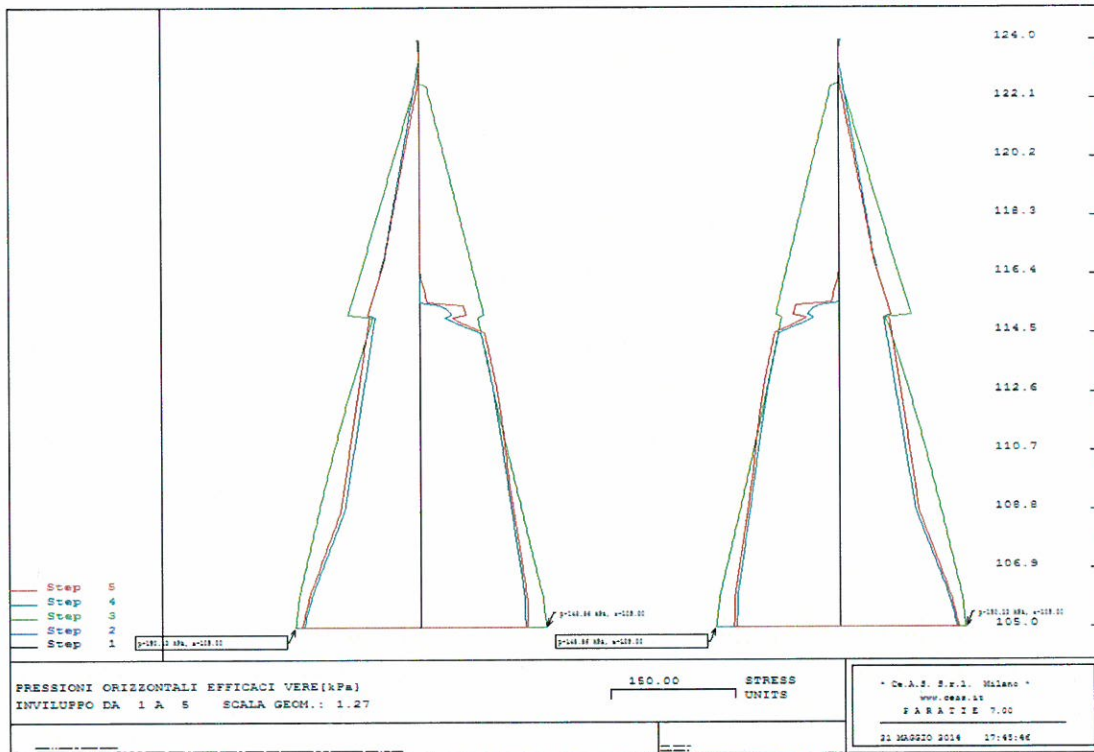
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	47 di 66



Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	48 di 66

## 14.2 GEO





 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI</b> <b>NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE</b>					
	<b>Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee</b> <b>Relazione tecnica e di calcolo preliminare</b>	COMMESSA NM02	LOTTO 00	CODIFICA R26CL	DOCUMENTO TR0000001	REV. A

## 15 VERIFICHE

Si riepilogano di seguito i principali risultati forniti in output dal codice di calcolo ed elaborati ai fini delle verifiche così come descritto al §13:

	$M_{MAX}$ [kN m]	$V_{MAX}$ [kN]	$z (M_{MAX})$ [m]	Spinta Mobilitata [%]	$\delta_{MAX}$ [cm]
SLE_car	347.3	-	6.80	-	0.36
SLU_geo	-	-	-	22	-
SLU_str + SLV	521.0	120.8	6.80	12	-

### 15.1 Mobilitazione della spinta passiva (SLU\_geo)

Si registra la massima percentuale di spinta passiva mobilitata nella Fase 4 del modello di calcolo “GEO”, pari al 22%; nella condizione sismica tale percentuale è invece pari all’12%.

### 15.2 Massimo spostamento orizzontale dei diaframmi (SLE\_car / SLV)

Per l’opera di sostegno si ottiene in fase di esercizio uno spostamento orizzontale a p.c. pari a 0.36cm nella Fase 5 del modello di calcolo “SLE\_CAR”, valore ritenuto ampiamente accettabile ed inoltre superiore a quello dovuto all’azione sismica.

### 15.3 Verifica strutturale dei diaframmi (SLU\_str / SLV / SLE\_car / SLE\_freq / SLE\_qp)

Per le verifiche strutturali sono state prese in considerazione le sollecitazioni ottenute (momento flettente massimo, e taglio) dal modello di calcolo “SLE\_CAR”. Ai fini delle verifiche di resistenza, tali sollecitazioni sono state amplificate di 1.50 e lo sforzo assiale considerato è quello associato al solo peso proprio: si verifica così la resistenza a pressoflessione ed a taglio (SLU). Se dimensionanti saranno invece impiegate, come sollecitazioni di calcolo, quelle ottenute dalla sola fase 6 (non amplificate) corrispondenti alla condizione sismica SLV.

Con le sollecitazioni (momento flettente e sforzo assiale) non amplificate si effettuano poi le verifiche di esercizio, in termini di tensioni e fessurazione (SLE): a favore di sicurezza si impostano le combinazioni frequenti e quasi permanenti, e si effettuano quindi le verifiche, con gli stessi valori di sollecitazioni determinati per la combinazione caratteristica.

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	50 di 66

Ai fine delle verifiche si assume la seguente disposizione di armatura:

$$\left\{ \begin{array}{l} B = 1.00m \\ H = 1.20m \\ L = 19.0m \end{array} \right. \quad \text{GEOMETRIA}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 10\phi 26 \\ (10+5)\phi 26 \\ c = 6.0cm \end{array} \right. \quad \text{ARMATURA LONGITUDINALE}$$

È presentata ora la verifica a pressoflessione (SLU) e le verifiche di esercizio (SLE), le cui sollecitazioni di progetto sono di seguito riepilogate:

Sollecitazioni di verifica	N <sub>d</sub> [kN]	M <sub>MAX</sub> [kN m]	V <sub>MAX</sub> [kN]	Sollecitazioni per RC-SEC	N <sub>d</sub> [daN]	M <sub>MAX</sub> [daN m]
SLE_car	170.0	347.3	-	SLE_car	17000	34730
SLU_str + SLV	255.0	521.0	120.8	SLU_str + SLV	25500	52095

#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: diafr\_s100punt

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Tipo di sollecitazione:	Retta (asse neutro sempre parallelo all'asse X)
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di calcolo fcd:	141.60 daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. compr. ridotta fcd':	70.80 daN/cm <sup>2</sup>
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	314750 daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. media a trazione fctm:	26.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	150.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	112.50 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.300 mm

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	51 di 66

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. rottura ftk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di calcolo ftd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	
	Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	3600.0	daN/cm <sup>2</sup>

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C25/30

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	100.0
3	50.0	100.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N° Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ [mm]
1	-42.7	7.3	26
2	-42.7	92.7	26
3	42.7	92.7	26
4	42.7	7.3	26
5	-42.7	11.9	26
6	42.7	11.9	26

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N° Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N° Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N° Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N° Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N° Gen.	N° Barra Ini.	N° Barra Fin.	N° Barre	Ø
1	2	3	8	26
2	1	4	8	26
3	5	6	3	26

#### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
Vy Componente del Taglio [daN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate

N° Comb.	N	Mx	Vy
1	25500	52095	10

**Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee**  
**Relazione tecnica e di calcolo preliminare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	52 di 66

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N° Comb.	N	Mx	My
1	17000	34730	0

**COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N° Comb.	N	Mx	My
1	17000	34730 (69357)	0 (0)

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N° Comb.	N	Mx	My
1	17000	34730 (69357)	0 (0)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.0 cm

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate  
N ult Sforzo normale ultimo [daN] baricentrico (positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [daNm] intorno all'asse X di riferimento della sezione  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1,000  
As Tesa Area armature [cm<sup>2</sup>] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N° Comb	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	25500	52095	25509	274635	5.229	---

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee Relazione tecnica e di calcolo preliminare	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NM02	00	R26CL	TR0000001	A	53 di 66

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.00725	-50.0	100.0	0.00167	-42.7	92.7	-0.01976	-42.7	7.3

#### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c      Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d          Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
C.Rid.        Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000250874	-0.021587408	---	---

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver            S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max        Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm<sup>2</sup>]  
Xc max, Yc max    Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min        Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm<sup>2</sup>]  
Xs min, Ys min    Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff.        Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
As eff.        Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure  
D barre        Distanza tre le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure  
Beta12        Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1\*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	20.7	-50.0	100.0	-454	-33.2	7.3	2550	79.6	9.5	1.00

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	20.7	-50.0	100.0	-454	-33.2	7.3	2550	79.6	9.5	0.50

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$

Ver.            Esito della verifica  
S1            Massima tensione [daN/cm<sup>2</sup>] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata  
S2            Minima tensione [daN/cm<sup>2</sup>] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata  
k2            = 0.4 per barre ad aderenza migliorata  
k3            = 0.125 per flessione e presso-flessione;  $= (e1 + e2)/(2 * e1)$  per trazione eccentrica  
Ø            Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff  
Cf            Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
Psi            =  $1 - \text{Beta}12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (f_{ctm}/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (M_{fess}/M)^2$  [B.6.6 DM96]  
e sm        Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite =  $0.4 * Ss/Es$  è tra parentesi  
srm        Distanza media tra le fessure [mm]  
wk        Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure =  $1.7 * e * srm$ . Valore limite tra parentesi  
MX fess.    Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]  
MY fess.    Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-13.0	0	0.125	26	60.0	-0.994	0.00009 (0.00009)	181	0.028 (0.40)	69357	0

#### COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	20.7	-50.0	100.0	-454	-33.2	7.3	2550	79.6	9.5	0.50

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	54 di 66

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]**

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-13.0	0	0.125	26	60.0	-0.994	0.00009 (0.00009)	181	0.028 (0.30)	69357	0

Infine si dettaglia nel seguito la verifica a taglio (SLU):

**T = 120.8** KN azione di calcolo

sezione e materiali:

$R_{ck} = 30.0$  N/mm<sup>2</sup> resistenza caratteristica cubica  
B450C **450** tipologia barre d'acciaio  
 $B = 100.0$  cm base sezione rettangolare  
 $H = 100.0$  cm altezza sezione rettangolare  
 $c = 7.3$  cm copriferro

staffe:

$\alpha = 90.0$  ° inclinazione staffe  
 $\phi_{st} = 0.0$  mm diametro staffe  
 $n_b = 0$  numero di bracci  
 $A_{sw} = 0.0$  mm<sup>2</sup> area armatura trasversale  
 $s = 15$  cm passo armatura trasversale

armatura a taglio rialzata **N** (inserire S per si o N per no)

armatura long. a trazione:

	$\phi$	n
I° strato	<b>26</b>	<b>10</b>
II° strato	<b>26</b>	<b>5</b>

$A_{sl} = 7963.9$  mm<sup>2</sup> area armatura longitudinale a trazione  
 $1+(200/d)^{0.5} = 1.4645$

**Verifica a taglio sezione senza armatura resistente a taglio**

$b_w = 100.0$  cm larghezza sezione resistente a taglio  
 $H = 100.0$  cm altezza sezione  
 $d = H - c = 92.7$  cm altezza utile della sezione  
 $k = 1.464$  k deve essere  $\leq 2$   
 $A_{sl} = 7963.9$  mm<sup>2</sup> armature di trazione  
 $\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d) \leq 0.02 = 0.00859$   
 $N_{sd} = 236000.0$  N  
 $A_c = 1000000.0$  mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{cp} = 0.2$  N/mm<sup>2</sup>  
 $v_{min} = 0.3$   
 $V_{Rd} \geq (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 319.7$  KN  
 $V_{Rd} = [(0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}) / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d = 485.05$  KN **c.s. = 4.02 >1 verifica soddisfatta**

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	55 di 66

**- PARATIA  $s = 1.20$  m -**

---

	<b>INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI</b> <b>NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE</b>					
	<b>Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee</b> <b>Relazione tecnica e di calcolo preliminare</b>	COMMESSA NM02	LOTTO 00	CODIFICA R26CL	DOCUMENTO TR0000001	REV. A

## 16 ANALISI DEI CARICHI E FASI

Di seguito si riportano le fasi del modello di calcolo relativo alla combinazione sismica:

**FASE 1:** si realizza l'opera di sostegno costituita da un diaframma in c.a. di spessore 1.20 m, con cordolo in testa di altezza pari a 1.20 m. La quota di testa è impostata a +124.00 m. L'altezza totale delle paratie (distanza tra estradosso cordolo di sommità ed estremità inferiore dei pali) è pari a 25.0 m. A tergo dell'opera di sostegno si ipotizza un sovraccarico accidentale caratteristico pari a 10.0 kN/m<sup>2</sup>.

**FASE 2:** si effettua uno scavo di 8.85 m, necessario per la realizzazione dei binari cintura.

**FASE 3:** si raggiunge la configurazione finale riportando il terreno alla quota di progetto, pari a +115.45 m. A tergo dell'opera il sovraccarico accidentale precedentemente definito viene sostituito da peso di ballast+armamento ferroviario (14.4 kN/m<sup>2</sup>), oltre al sovraccarico ferroviario di 40 kN/m<sup>2</sup> per via della messa in esercizio del binario pari della linea VE\_LL.

**FASE 4:** si applicano le azioni dovute all'azione del sisma SLV. Il sisma è stato modellato con la teoria di Mononobe-Okabe. Il sovraccarico ferroviario assume valore dimezzato.

**NOTA n.1:** *Parallelamente al modello di calcolo così descritto (nel seguito chiamato "SLE\_CAR"), con valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici, e quindi rappresentativo di una condizione di esercizio caratteristica o rara, se ne realizza un altro le cui differenze sono rappresentate dalla definizione del terreno attraverso i suoi parametri valutati secondo l'approccio 1 - combinazione 2 indicato nelle NTC 2008, dall'amplificazione dei carichi agenti per un fattore cautelativo di 1.50 e dall'assenza dell'ultima fase, quella relativa al sisma. Tale modello è rappresentativo degli SLU geotecnici e se ne presenteranno i risultati esclusivamente in termini di spinta passiva mobilitata. Ci si riferirà nel seguito a tale modello con il nome di "GEO".*

**NOTA n.2:** *Il modello "SLE\_CAR" sarà impiegato per la valutazione degli spostamenti e delle sollecitazioni sugli elementi strutturali: in particolare queste ultime saranno cautelativamente valutate amplificando per un fattore pari a 1.50 i risultati ottenuti fino alla fase 3, ed ottenendo così le sollecitazioni allo SLU strutturale. Se dimensionanti saranno invece impiegate, come sollecitazioni di calcolo, quelle ottenute dalla sola fase 4 (non amplificate) corrispondenti alla condizione sismica SLV; nella stessa condizione sismica (fase 4) è valutata anche la spinta passiva mobilitata.*



Di seguito si riportano le fasi definite durante il calcolo.

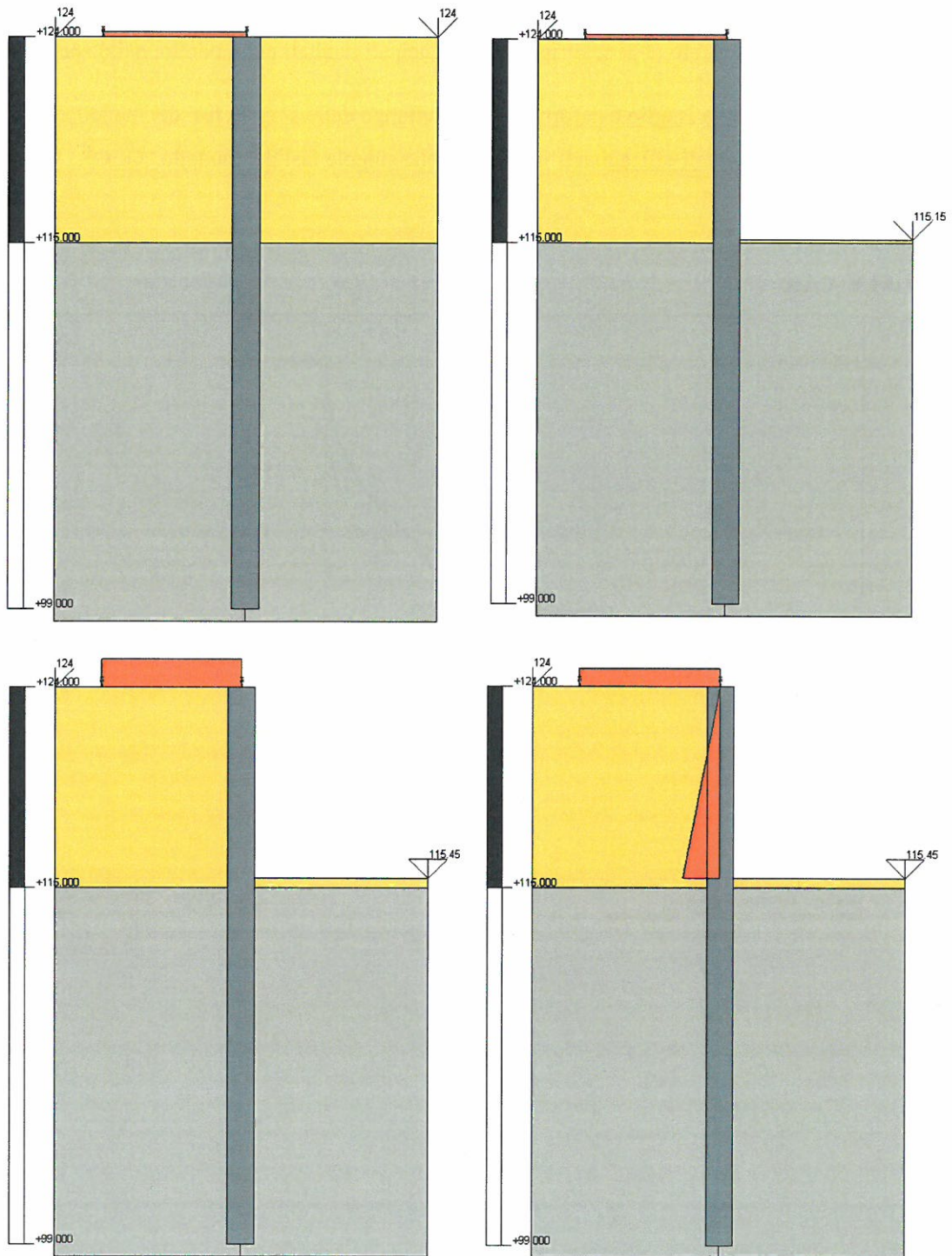


Fig. 11 – Fasi realizzative: Fase 1 (in alto a sx) – Fase 2 (in alto a dx) - Fase 3 (in basso a sx) – Fase 4 (in basso a dx)

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

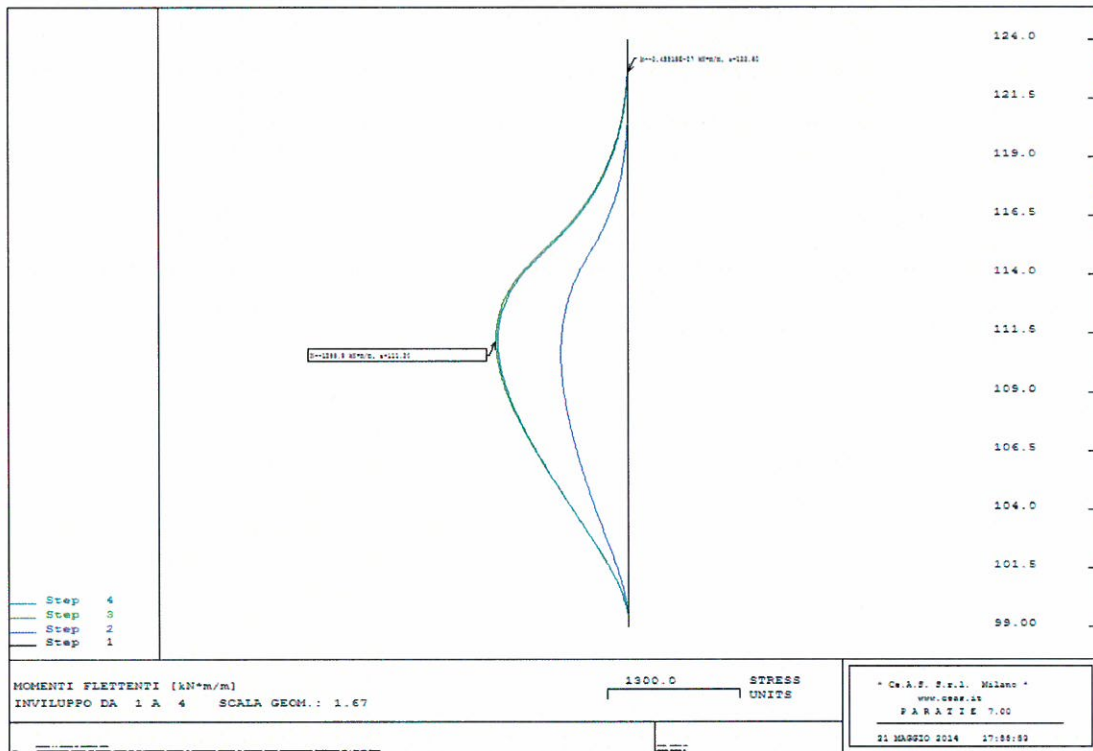
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	58 di 66

## 17 RISULTATI

Sulla base di quanto illustrato al §16, si riportano i principali risultati del modello; nello specifico:

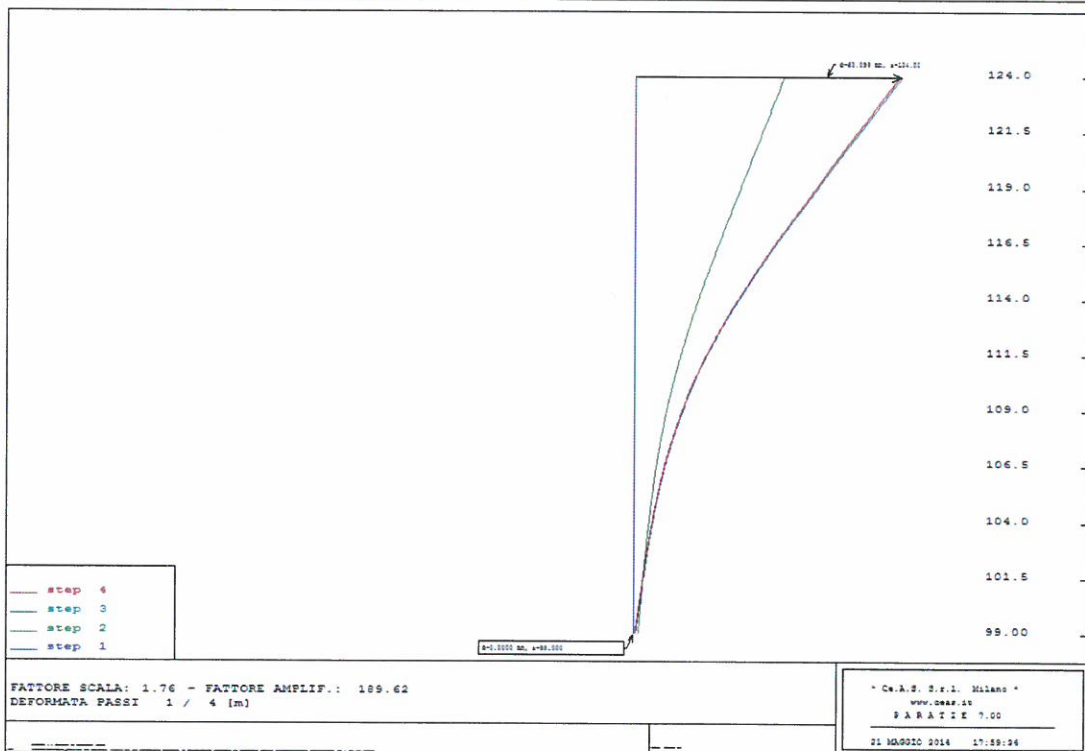
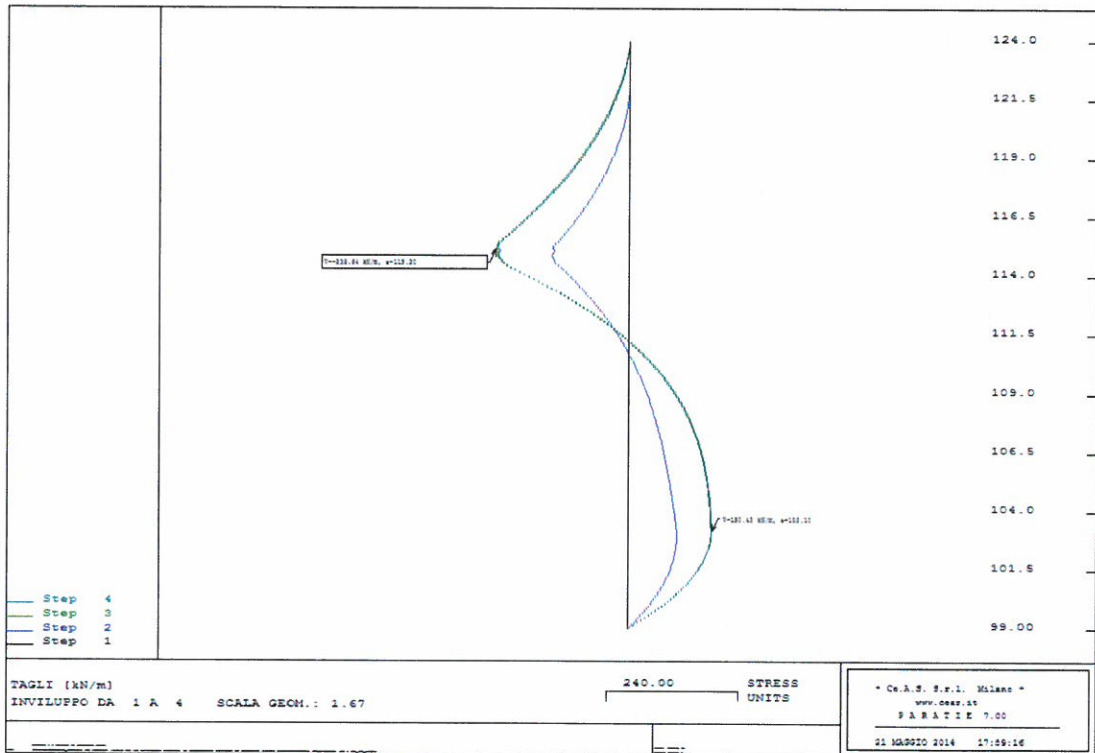
- momento flettente , taglio e deformata nell'involuppo delle singole fasi del modello "SLE\_car"
- pressioni orizzontali efficaci nell'involuppo delle singole fasi del modello "GEO"

### 17.1 SLE\_CAR



Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

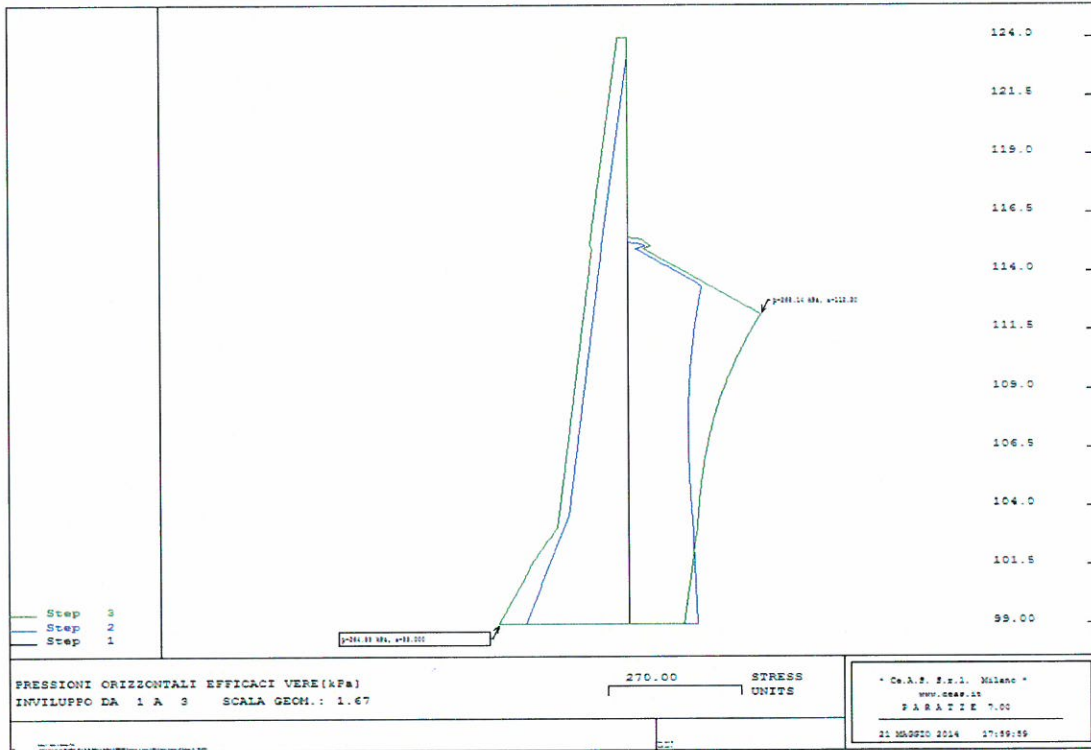
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	59 di 66



Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	60 di 66

## 17.2 GEO



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI</b> <b>NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE</b>					
	<b>Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee</b> <b>Relazione tecnica e di calcolo preliminare</b>	COMMESSA NM02	LOTTO 00	CODIFICA R26CL	DOCUMENTO TR0000001	REV. A

## 18 VERIFICHE

Si riepilogano di seguito i principali risultati forniti in output dal codice di calcolo ed elaborati ai fini delle verifiche così come descritto al §16:

	$M_{MAX}$	$V_{MAX}$	$z (M_{MAX})$	Spinta Mobilitata	$\delta_{MAX}$
	[kN m]	[kN]	[m]	[%]	[cm]
SLE_car	1289.2	-	12.80	-	6.30
SLU_geo	-	-	-	24	-
SLU_str + SLV	1933.8	357.9	12.80	11	-

### 18.1 Mobilitazione della spinta passiva (SLU\_geo)

Si registra la massima percentuale di spinta passiva mobilitata nella Fase 4 del modello di calcolo “GEO”, pari al 24%; nella condizione sismica tale percentuale è invece pari all’11%.

### 18.2 Massimo spostamento orizzontale dei diaframmi (SLE\_car / SLV)

Per l’opera di sostegno si ottiene in fase di esercizio uno spostamento orizzontale a p.c. pari a 6.30 cm nella Fase 3 del modello di calcolo “SLE\_CAR”, valore ritenuto ampiamente accettabile ed inoltre superiore a quello dovuto all’azione sismica.

### 18.3 Verifica strutturale dei diaframmi (SLU\_str / SLV / SLE\_car / SLE\_freq / SLE\_qp)

Per le verifiche strutturali sono state prese in considerazione le sollecitazioni ottenute (momento flettente massimo, e taglio) dal modello di calcolo “SLE\_CAR”. Ai fini delle verifiche di resistenza, tali sollecitazioni sono state amplificate di 1.50 e lo sforzo assiale considerato è quello associato al solo peso proprio: si verifica così la resistenza a pressoflessione ed a taglio (SLU). Se dimensionanti saranno invece impiegate, come sollecitazioni di calcolo, quelle ottenute dalla sola fase 4 (non amplificate) corrispondenti alla condizione sismica SLV.

Con le sollecitazioni (momento flettente e sforzo assiale) non amplificate si effettuano poi le verifiche di esercizio, in termini di tensioni e fessurazione (SLE): a favore di sicurezza si impostano le combinazioni frequenti e quasi permanenti, e si effettuano quindi le verifiche, con gli stessi valori di sollecitazioni determinati per la combinazione caratteristica.

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	62 di 66

Ai fine delle verifiche si assume la seguente disposizione di armatura:

$$\left\{ \begin{array}{l} B = 1.00m \\ H = 1.20m \\ L = 25.0m \end{array} \right. \quad \text{GEOMETRIA}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 10\phi 26 \\ (10+5)\phi 26 \\ c = 6.0cm \end{array} \right. \quad \text{ARMATURA LONGITUDINALE}$$

È presentata ora la verifica a pressoflessione (SLU) e le verifiche di esercizio (SLE), le cui sollecitazioni di progetto sono di seguito riepilogate:

Sollecitazioni di verifica	$N_d$ [kN]	$M_{MAX}$ [kN m]	$V_{MAX}$ [kN]	Sollecitazioni per RC-SEC	$N_d$ [daN]	$M_{MAX}$ [daN m]
SLE_car	384.0	1289.2	-	SLE_car	38400	128920
SLU_str + SLV	576.0	1933.8	357.9	SLU_str + SLV	57600	193380

**DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.**  
**NOME SEZIONE: diafr\_s120**

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Tipo di sollecitazione:	Retta (asse neutro sempre parallelo all'asse X)
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di calcolo fcd:	141.60 daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. compr. ridotta fcd':	70.80 daN/cm <sup>2</sup>
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	314750 daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. media a trazione fctm:	26.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	150.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap,Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	112.50 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap,Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.300 mm

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	63 di 66

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. rottura ftk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di calcolo ftd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	
	Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	3600.0	daN/cm <sup>2</sup>

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C25/30	
N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	120.0
3	50.0	120.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N° Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ [mm]
1	-42.7	7.3	26
2	-42.7	112.7	26
3	42.7	112.7	26
4	42.7	7.3	26
5	-42.7	11.9	26
6	42.7	11.9	26

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N° Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre			
N° Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione			
N° Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione			
N° Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione			
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione			

N° Gen.	N° Barra Ini.	N° Barra Fin.	N° Barre	Ø
1	2	3	8	26
2	1	4	8	26
3	5	6	3	26

#### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.		
Vy	Componente del Taglio [daN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate		
N° Comb.	N	Mx	Vy
1	57600	193380	10

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	64 di 66

#### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	38400	128920	0

#### COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	38400	128920 (93775)	0 (0)

#### COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	38400	128920 (93775)	0 (0)

#### RISULTATI DEL CALCOLO

##### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.0 cm

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate  
N ult Sforzo normale ultimo [daN] baricentrico (positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [daNm] intorno all'asse X di riferimento della sezione  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature [cm<sup>2</sup>] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	57600	193380	57625	355701	1.834	—

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)



Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	65 di 66

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.00828	-50.0	120.0	0.00183	-42.7	112.7	-0.02231	-42.7	7.3

#### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c      Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d          Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
C.Rid.        Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000229026	-0.023983105	---	---

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver            S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max        Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm<sup>2</sup>]  
Xc max, Yc max    Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min        Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm<sup>2</sup>]  
Xs min, Ys min    Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff.        Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
As eff.        Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure  
D barre        Distanza tre le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure  
Beta12        Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1\*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	55.2	-50.0	120.0	-1433	-33.2	7.3	2550	79.6	9.5	1.00

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	55.2	-50.0	120.0	-1433	-33.2	7.3	2550	79.6	9.5	0.50

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$

Ver.            Esito della verifica  
S1            Massima tensione [daN/cm<sup>2</sup>] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata  
S2            Minima tensione [daN/cm<sup>2</sup>] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata  
k2            = 0.4 per barre ad aderenza migliorata  
k3            = 0.125 per flessione e presso-flessione;  $= (e1 + e2)/(2 * e1)$  per trazione eccentrica  
Ø            Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff  
Cf            Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
Psi            =  $1 - \text{Beta}12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (f_{ctm}/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (M_{fess}/M)^2$  [B.6.6 DM96]  
e sm        Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite =  $0.4 * Ss/Es$  è tra parentesi  
srm        Distanza media tra le fessure [mm]  
wk        Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure =  $1.7 * e * srm$ . Valore limite tra parentesi  
MX fess.    Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]  
MY fess.    Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-35.7	0	0.125	26	60.0	0.735	0.00053 (0.00029)	181	0.162 (0.40)	93775	0

#### COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	55.2	-50.0	120.0	-1433	-33.2	7.3	2550	79.6	9.5	0.50

Trincee ferroviarie – Opere di sostegno trincee  
Relazione tecnica e di calcolo preliminare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26CL	TR0000001	A	66 di 66

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]**

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-35.7	0	0.125	26	60.0	0.735	0.00053 (0.00029)	181	0.162 (0.30)	93775	0

Infine si dettaglia nel seguito la verifica a taglio (SLU):

**T = 357.9** KN azione di calcolo

sezione e materiali:

$R_{ck} = 30.0$  N/mm<sup>2</sup> resistenza caratteristica cubica  
B450C **450** tipologia barre d'acciaio  
 $B = 100.0$  cm base sezione rettangolare  
 $H = 120.0$  cm altezza sezione rettangolare  
 $c = 7.3$  cm copriferro

staffe:

$\alpha = 90.0$  ° inclinazione staffe  
 $\phi_{st} = 0.0$  mm diametro staffe  
 $n_b = 0$  numero di bracci  
 $A_{sw} = 0.0$  mm<sup>2</sup> area armatura trasversale  
 $s = 15$  cm passo armatura trasversale

armatura a taglio rialzata **N** (inserire S per si o N per no)

armatura long. a trazione:

	$\phi$	n
I° strato	<b>26</b>	<b>10</b>
II° strato	<b>26</b>	<b>5</b>

$A_{sl} = 7963.9$  mm<sup>2</sup> area armatura longitudinale a trazione  
 $1+(200/d)^{0.5} = 1.4213$

**Verifica a taglio sezione senza armatura resistente a taglio**

$b_w = 100.0$  cm larghezza sezione resistente a taglio  
 $H = 120.0$  cm altezza sezione  
 $d = H - c = 112.7$  cm altezza utile della sezione  
 $k = 1.421$  k deve essere  $\leq 2$   
 $A_{sl} = 7963.9$  mm<sup>2</sup> armature di trazione  
 $\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d) \leq 0.02 = 0.00707$   
 $N_{sd} = 572000.0$  N  
 $A_c = 1200000.0$  mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{cp} = 0.5$  N/mm<sup>2</sup>  
 $v_{min} = 0.3$   
 $V_{Rd} \geq (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 414.1$  KN  
 $V_{Rd} = [(0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}) / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d = 580.52$  KN **c.s. = 1.62 > 1 verifica soddisfatta**