

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO

FABBRICATI VIAGGIATORI

Posto di incrocio S.Leonardo - Sottopasso

Relazione di calcolo muro scale

SCALA:

-

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

NN1X 00 D 78 CL SL0200 003 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	F.Durastanti	Ott-2020	G.Romano	Ott-2020	M.D'Avino	Ott-2020	D.Tiberti Gen-2021
B	Emissione Esecutiva	F.Durastanti	Gen-2021	G.Romano	Gen-2021	M.D'Avino	Gen-2021	ITALFERR S.p.A. Gruppo Ferrovie dello Stato Direzione Generale UO Infrastrutture Sud Dott. Ing. David Tiberti Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10876

NN1X.0.0.D.78.CL.SL.02.0.0.003.B

n. Elab.:

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	4
3. PROGETTO NUOVI VANI SCALE.....	6
3.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
3.2. UNITA' DI MISURA E SIMBOLOGIA.....	7
3.3. MATERIALI.....	7
3.4. INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	8
3.5. INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA.....	9
4. SEZIONE 1: SEZIONE A "U".....	10
4.1. GEOMETRIA.....	10
4.2. MODELLAZIONE ADOTTATA.....	11
4.3. ANALISI DEI CARICHI.....	12
4.4. COMBINAZIONI DI CARICO.....	19
4.5. CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI.....	23
4.5.1. INVILUPPO SLU/SLV.....	23
4.5.2. INVILUPPO SLE (RARA).....	27
4.6. VERIFICHE SLU/SLV/SLE.....	30
4.7. ARMATURE DI RIPARTIZIONE.....	35
4.8. RIEPILOGO E INCIDENZA ARMATURE.....	38
5. SEZIONE 2 - SEZIONE SCATOLARE.....	39
5.1. GEOMETRIA.....	39
5.2. MODELLAZIONE ADOTTATA.....	39
5.3. ANALISI DEI CARICHI.....	41
5.4. COMBINAZIONI DI CARICO.....	48
5.5. CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI.....	53
5.5.1. INVILUPPO SLU/SLV.....	53
5.5.2. INVILUPPO SLE (RARA).....	57

5.6. VERIFICHE SLU/SLV/SLE.....	60
5.7. ARMATURE DI RIPARTIZIONE	66
5.8. RIEPILOGO E INCIDENZA ARMATURE.....	69

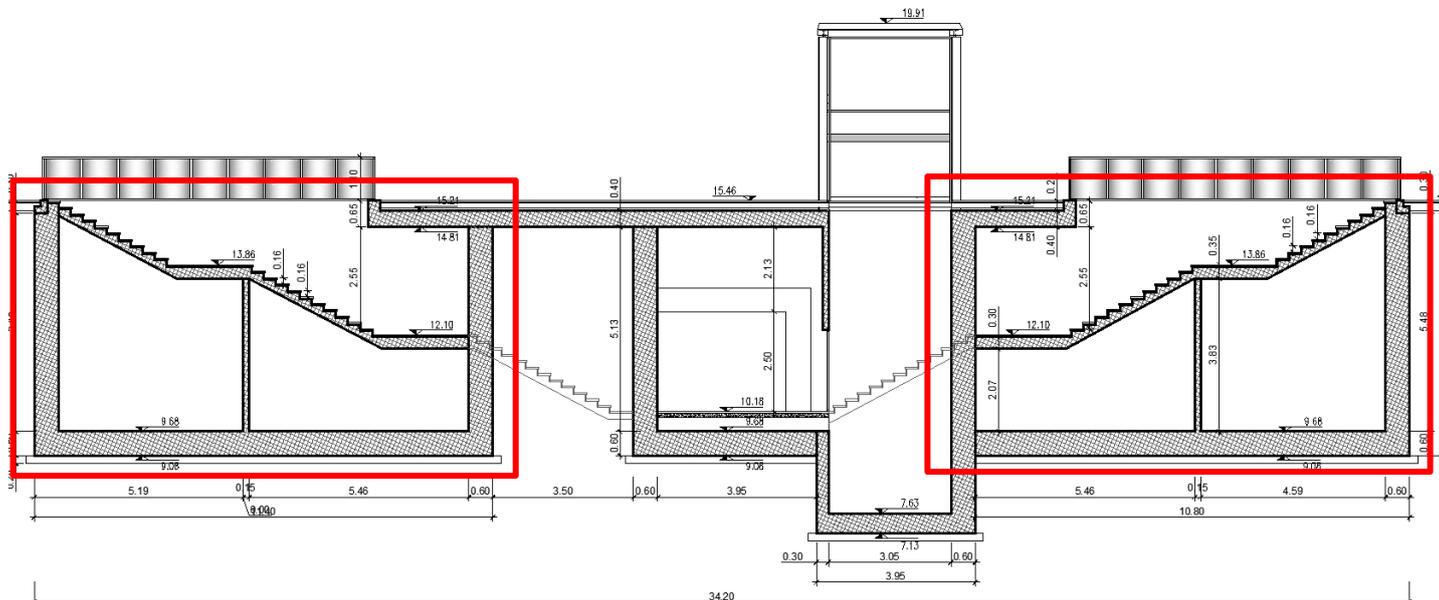


Figura 1b. Sezione longitudinale dell'opera con individuazione dei vani scala

2. DESCRIZIONE DELL'OPERA

Nell'ambito del progetto per il completamento della metropolitana di Salerno è prevista la realizzazione di un incrocio in località S. Leonardo. In tale incrocio sono previsti due vani scala per consentire il raggiungimento del piano dei binari dal sottopasso realizzato al di sotto della linea metropolitana.

Nel seguito si riportano i calcoli necessari al dimensionamento delle strutture che costituiscono tali vani. Si è scelto di dimensionare due sezioni notevoli, una sezione a U in corrispondenza delle parti aperte in sommità (sezione 1 in Figura 2b) e una sezione SCATOLARE in corrispondenza delle parti chiuse (sezione 2 in Figura 2b).

L'opera ha dimensioni interne $L_{int} \times H_{int}$, con muri di spessore S_p e soletta inferiore di spessore S_f . Nel seguito verrà esaminata una striscia avente lunghezza 1.00 m. per ognuna delle due sezioni:

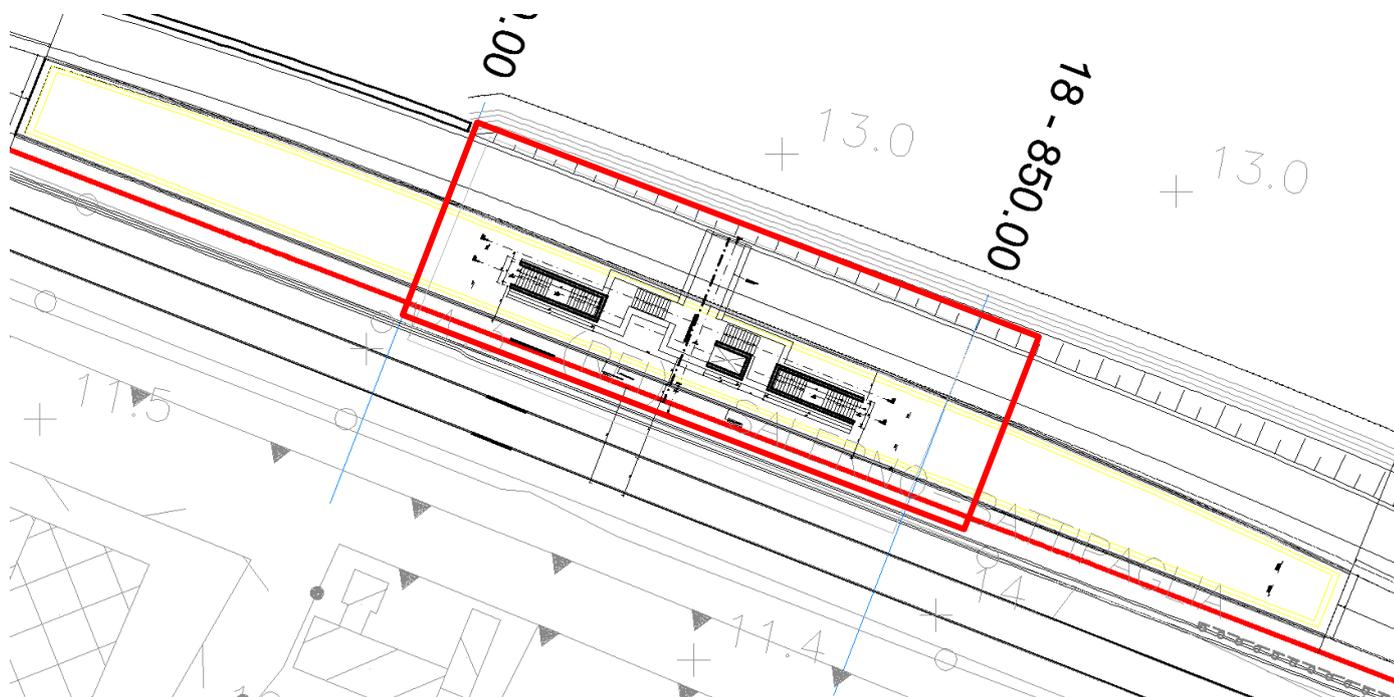


Figura 2a. Configurazione di progetto nuova stazione

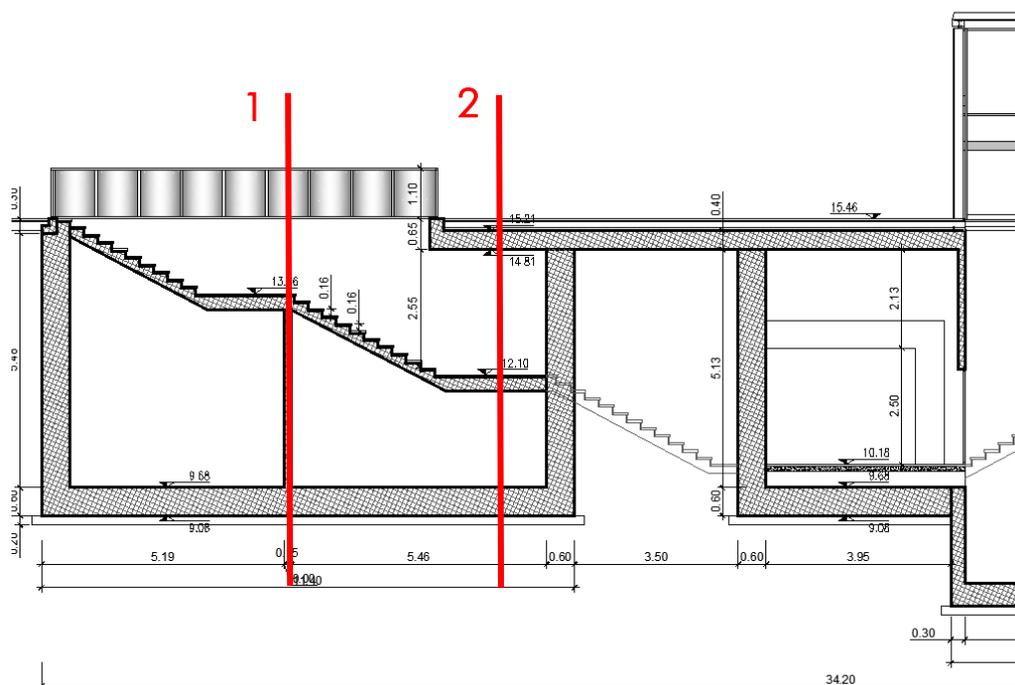


Figura 2b. Individuazione sezioni dimensionate

3. PROGETTO NUOVI VANI SCALE

Nel presente paragrafo si riportano i calcoli volti alla progettazione delle strutture in oggetto nel rispetto della norma attualmente vigente NTC18.

3.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Tutte le calcolazioni sono state eseguite nel rispetto delle normativa NTC18 attualmente vigente.. In particolare si è fatto riferimento:

- L. n. 64 del 2/2/1974 - Provvedimento per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- L. n. 1086 del 5/11/1971 Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica;
- D.M. 17.01.2018 Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circolare 21 Gennaio 2019, n. 7 Istruzione per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 17 gennaio 2018;
- RFI DTC INC PO SP IFS 001 A Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sottobinario ;
- RFI DTC INC CS SP IFS 001 A Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie;
- EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules of building;
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 C Manuale di progettazione delle opere civili - Parte II - Sezione 2 Ponti e Strutture;
- RFI DTC SI SP IFS 001 C Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili;
- EC08 Eurocodice 8;
- Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea Specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione Europea.

3.2. UNITA' DI MISURA E SIMBOLOGIA

Si utilizza il Sistema Internazionale (SI):

Unità di misura principali

- N (Newton) unità di forza
- m (metro) unità di lunghezza
- kg (kilogrammo) unità di massa
- s (secondo) unità di tempo

Unità di misura derivate da N

- (kiloNewton) 10^3 N

Si utilizzano i seguenti principali simboli con le relative unità di misura normalmente adottate:

γ (gamma)	peso dell'unità di volume	(kN/m ³)	
σ (sigma)	tensione normale	(N/mm ²)	
τ (tau)	tensione tangenziale	(N / mm ²)	
ϵ (epsilon)	deformazione	(m/m)	-
ϕ (fi)	angolo di resistenza	(° sessagesimali)	

3.3. MATERIALI

Per le opere in c.a. si adotta:

Calcestruzzo **C30/37** le cui caratteristiche principali sono:

- Resistenza cilindrica caratteristica: $f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione semplice: $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_m$, dove:
 - $\alpha_{cc} = 0.85$ e $\gamma_m = 1.5$;
 - $f_{cd} = 17 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a trazione semplice: $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_m$, dove :
 - $\gamma_m = 1.5$;
 - $f_{ctd} = 1,35 \text{ N/mm}^2$.
- Modulo elastico: $E_c = 32836 \text{ N/mm}^2$.
- Tolleranza di posa del copriferro = **10 mm**;

Posto di incrocio S. Leonardo:
Sottopasso - Relazione di calcolo muro scale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00 D 78	CL	SL.02.0.0.003	B	8 di 69

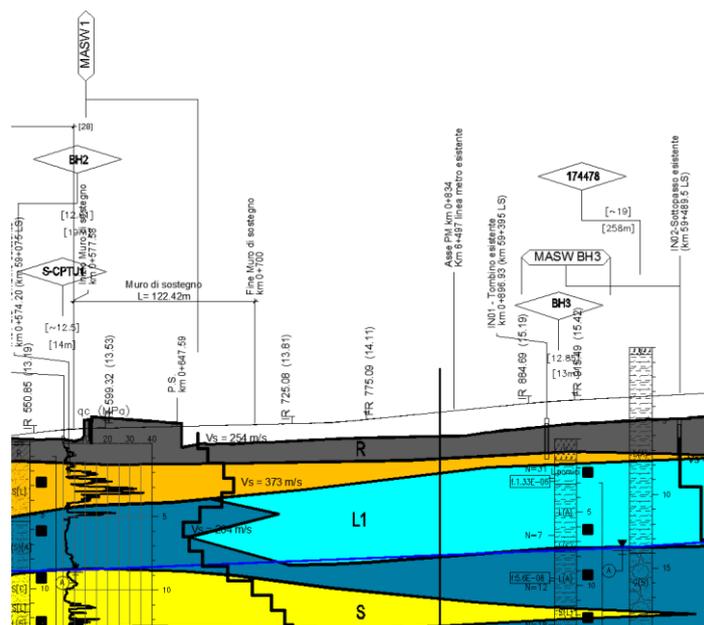
- Classe di esposizione **XA1**
- Copriferro = **40 mm**
- Condizioni ambientali: **aggressive**
- Apertura fessure limite: **w1 = 0.2 mm**

Acciaio da cemento armato normale **B450C** controllato in stabilimento. Le barre sono ad aderenza migliorata. Le caratteristiche meccaniche sono:

- Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} = 450 \text{ Nmm}^2$
- Resistenza di calcolo dell'acciaio: $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$ dove:
- $\gamma_s = 1.15$
- $f_{yd} = 391 \text{ Nmm}^2$
- Allungamento **D1 > 12%**
- Modulo di elasticità: **$E_s = 206000 \text{ Nmm}^2$**
- Sovrapposizioni barre **$\geq 40\varphi$**

3.4. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Si riporta di seguito la stratigrafia in corrispondenza della zona di riferimento:



Per l'inquadramento geotecnico si fa riferimento alla relazione geotecnica, della quale si riportano gli stralci significativi del profilo geotecnico e dei parametri geotecnici del terreno di fondazione, del rinterro e del rinfianco.

Lo strato significativo del profilo geotecnico è l'unità
la cui descrizione nella relazione geotecnica è:

1) L1

Limo scarsa consistenza

Peso specifico terreno	γ_t	18.0 kN/m ³
angolo d'attrito terreno	ϕ	22.0 [°]
coesione efficace terreno	c'	2.0 kN/m ²
coesione non drenata terreno	c_u	70.0 kN/m ²

I parametri geotecnici del rinterro e del terreno di rinfianco sono i seguenti:

Peso specifico rinterro	FERROVIARIO	γ_t	20.0 kN/m ³	
angolo di attrito rinterro		ϕ'	38.0 [°]	0.663 [rad]
coesione rinterro		c_u	0.0 kN/m ²	
Peso specifico terreno di rinfianco		γ_t	20.0 kN/m ³	
angolo di attrito terreno di rinfianco		ϕ'	38.0 [°]	0.663 [rad]
coesione terreno di rinfianco		c_u	0.0 kN/m ²	

FALDA

Quota falda dal p.c.	q_w	9.75 m
Peso specifico	γ_w	10.00 kN/m ³

3.5. INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA

Per la determinazione della costante di sottofondo si può fare riferimento alle seguenti formulazioni assimilando il comportamento del terreno a quello di un mezzo elastico omogeneo:

$$s = B \cdot c_t \cdot (q - \sigma_{v0}) \cdot (1 - \nu^2) / E'_{op}$$

dove:

- s = cedimento elastico totale;
- B = lato minore della fondazione;
- c_t = coefficiente adimensionale di forma ottenuto dalla interpolazione dei valori dei coefficienti proposti dal Bowles, 1960 (L = lato maggiore della fondazione):

$$ct = 0.853 + 0.534 \ln(L / B) \text{ rettangolare con } L / B \leq 10$$

$$ct = 2 + 0.0089 (L / B) \text{ rettangolare con } L / B > 10$$

- q = pressione media agente sul terreno;
- σ_v0 = tensione litostatica verticale alla quota di posa della fondazione;
- ν = coefficiente di Poisson del terreno;
- E'_{op} = modulo elastico operativo del terreno sottostante.

Il valore della costante di sottofondo k_w è valutato attraverso il rapporto tra il carico applicato ed il corrispondente cedimento pertanto, si ottiene:

$$\bullet k_w = E'_{op} / [(1-\nu^2) \cdot B \cdot ct]$$

Di seguito si riportano in forma tabellare i risultati delle valutazioni effettuate per il caso in esame, avendo considerato per E'_{op} il valore minimo tra quelli indicati per l'Unità Geotecnica in esame ed una dimensione longitudinale della fondazione ritenuta potenzialmente collaborante nella diffusione dei carichi:

Unità stratigrafica	1) L1	
Descrizione unità stratigrafica	Limo scarsa consistenza	
Modulo elastico medio terreno	E'_{op}	17000 kN/m ² <i>(il minore tra i valori proposti)</i>
Coefficiente di Poisson medio terreno	ν	0.3
Lato minore della fondazione	B	3.2 m
Lato maggiore della fondazione	L	9.0 m
Rapporto dei lati	L/B	2.8
Coefficiente adimensionale	ct	1.405
Costante di sottofondo	k_w	4155 kN/m ³

4. SEZIONE 1: SEZIONE A “U”

4.1. GEOMETRIA

Larghezza utile	L_{int}	2.00 m	<i>luce interna scatolare</i>
Altezza libera	H_{int}	5.80 m	<i>altezza interna scatolare</i>
Spessore piedritti	Sp	0.60 m	<i>(consigliato: Sp = Ss)</i>
Spessore fondazione	Sf	0.60 m	<i>(consigliato: Sf = Ss + 10cm.)</i>
Larghezza totale	L_{tot}	3.20 m	<i>$L_{int} + 2 \times SPp$</i>
Altezza totale	H_{tot}	6.40 m	<i>$H_{int} + SPs + SPf$</i>

4.2. MODELLAZIONE ADOTTATA

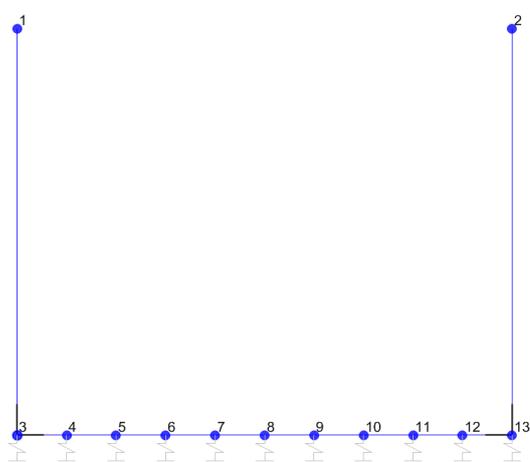
Il modello di calcolo attraverso il quale viene schematizzata la struttura è quello di telaio chiuso su letto di molle alla Winkler. Il programma di calcolo utilizzato è un programma ad elementi finiti, il Sap 2000.

Le caratteristiche delle aste modellate con elementi frame sono le seguenti:

<i>asta</i>	<i>base</i>	<i>altezza</i>	<i>descrizione</i>
Asta 1	100 cm	60 cm	(soletta inferiore)
Aste 2, 4	100 cm	60 cm	(Piedritti)

Le caratteristiche geometriche del modello e le coordinate dei nodi sono le seguenti:

Linterasse	2.60 m
Hinterasse	6.10 m
N.nodi	13
N.nodi sup	2
N.nodi inf	11
N.spazi inf	10



<i>Nodo</i>	<i>X</i>	<i>Z</i>
1	0.000	6.100
2	2.600	6.100
3	0.000	0.000
4	0.260	0.000
5	0.520	0.000
6	0.780	0.000
7	1.040	0.000
8	1.300	0.000
9	1.560	0.000
10	1.820	0.000
11	2.080	0.000
12	2.340	0.000
13	2.600	0.000

Figura 3. Numerazione nodi modello SAP

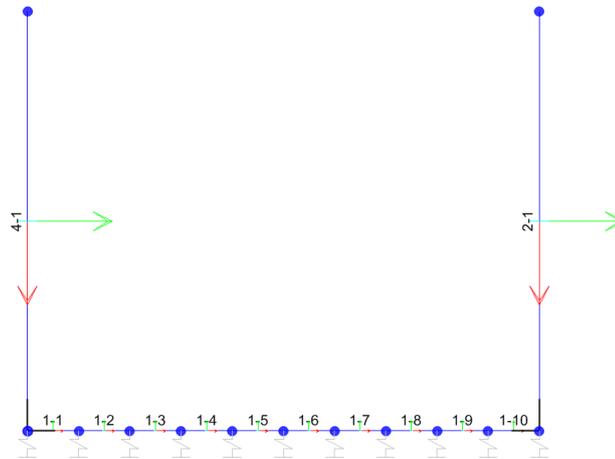


Figura 4: Individuazione elementi modello SAP

L'opera è stata considerata vincolata alla base mediante dei vincoli cedevoli in funzione delle caratteristiche elastiche del terreno di sottofondo.

La soletta inferiore viene divisa in 10 elementi per poter schematizzare, tramite le molle applicate, l'interazione terreno-struttura. Per la rigidità delle molle, nel il caso in esame, si assume il valore del Modulo di reazione verticale desunto dai parametri della relazione geotecnica:

Rigidità molle nodali SAP

ks		4155 kN/m ³
nodi centrali (6,7,8,9,10)		
Linfl		0.260 m
Kcentrale	ks x Linfl x 1	1080 kN/m
nodi intermedi (4,5,11,12)		
Linfl		0.260 m
Kintermedio	1,5 x ks x Linfl x 1	1620 kN/m
nodi estremità (3,13)		
Linfl		0.430 m
Kestremità	2,0 x ks x Linfl x 1	3573 kN/m

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche delle sezioni della struttura in esame.

Peso proprio della struttura (condizione DEAD)

Il peso proprio delle solette e dei piedritti viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato considerando per il calcestruzzo $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$.

Peso specifico calcestruzzo armato	γ_{cls}	25 kN/m ³	
peso singolo piedritto	Pp	15.00 kN/m	$\gamma_{cls} \times Sp$
peso fondazione	Psf	15.00 kN/m	$\gamma_{cls} \times Sf$

Spinta del terreno (condizioni SPTSX e SPTDX)

angolo di attrito rinterro	\varnothing'	38.0 [°]	0.663 [rad]
coefficiente spinta attiva k_a	k_a	0.238	$(1 - \text{sen}\varnothing) / (1 + \text{sen}\varnothing)$
coefficiente spinta riposo k_o	k_o	0.384	$(1 - \text{sen}\varnothing)$
coefficiente spinta passiva k_p	k_p	4.204	$(1 + \text{sen}\varnothing) / (1 - \text{sen}\varnothing)$
Pressione asse soletta superiore	P2	0.00 kN/m ²	Z=0
Pressione asse soletta inferiore	P3	46.89 kN/m ²	$k_o \times \gamma t \times (H_{int} + Sf / 2)$
Pressione intradosso soletta inferiore	P4	49.20 kN/m ²	$k_o \times (P_b + P_r + P_m + \gamma_r \times H_{tot})$
Forza concentrata asse soletta inferiore	F2	14.41 kN/m	$(P_3 + P_4) / 2 \times Sf / 2$

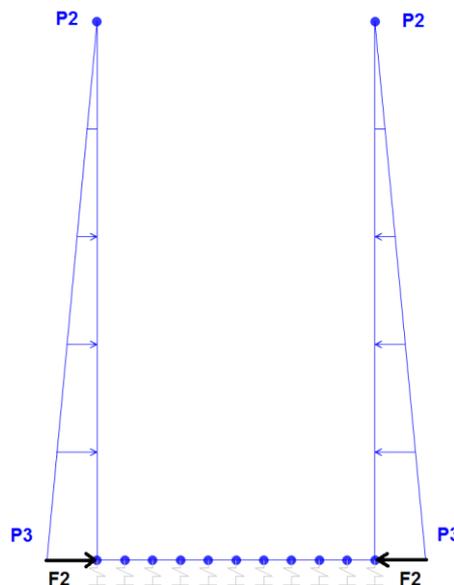


Figura 6. Condizione di carico SPTDX-SPTSX da SAP2000

Il carico concentrato nel nodo 3 (per la SPTSX) oppure 13 (per la SPTDX) rappresentano la parte di spinta del terreno esercitata su 1/2 spessore della soletta inferiore.

Carichi accidentali, ripartizione carichi verticali (condizione ACCM)

Il carico del treno di riferimento è il più gravoso tra LM71 e SW/2.

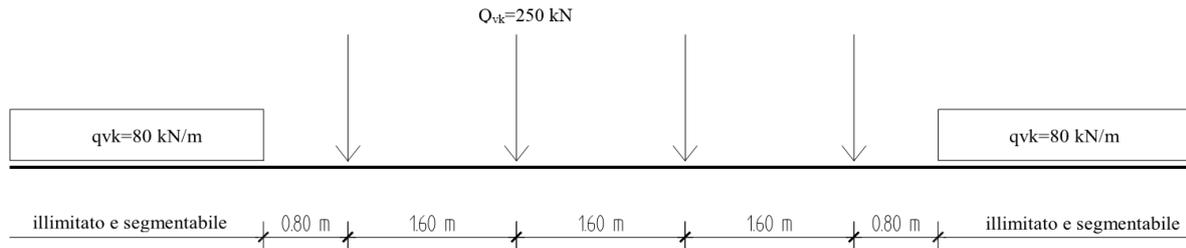


Figura 7. Treno LM71

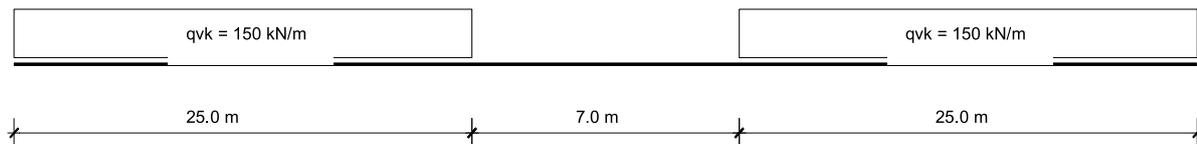


Figura 8. Treno SW/2

In funzione delle caratteristiche geometriche dell'opera risulta più sfavorevole il carico dovuto al treno SW/2 rispetto al carico dovuto al treno LM 71. Nei calcoli pertanto sarà utilizzato il valore del SW2.

CARICO TRENO (ACCMSW/02)

Carico distribuito per treno SW/2	q	150.00 kN/m
Larghezza di ripartizione del carico	Ld	3.00 m
Carico distribuito per treno SW/2 diffuso	qv	50.00 kN/m ²

Inoltre si considera il carico accidentale dovuto alla presenza di persone sui marciapiedi così come prescritto nelle NTC2018 §5.2.2.2.2

CARICO FOLLA (ACCMQ)

Carico manutenzione	q'	10.00 kN/m ²
---------------------	----	-------------------------

I Carichi accidentali sopra riportati (ACCMSW/02 e ACCMQ) non sono stati assegnati al modello come carichi verticali agenti sulla soletta, in quanto quest'ultima risulta assente, ma sono stati utilizzati per il calcolo delle spinte sui muri laterali dovuti alla presenza dei treni e della folla sul lato del vano scala (condizioni SPACCSXSW/02, SPACDXSW/02, SPACCSXQ e SPACDXQ).

Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico (condizioni SPACCSXSW/02 e SPACCDXSW/02)

Carico distrib treno SW/2 su piedritto sx	SQ1	19.22 kN/m ²	$qv \times K_0$
spinta semispessore soletta inferiore	Fq1inf	5.77 kN/m	$SPQ1 \times SPi / 2$

Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico (condizioni SPACCSXQ e SPACCDXQ)

Carico distrib FOLLA su piedritto sx	SQ1	3.84 kN/m ²	$qv \times K_0$
spinta semispessore soletta inferiore	Fq1inf	1.15 kN/m	$SPQ1 \times SPi / 2$

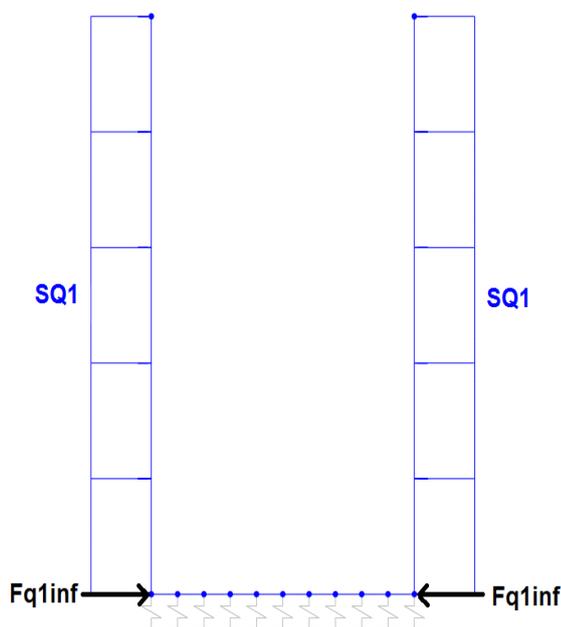


Figura 9. Condizione di carico SPACCSX e SPACCDX da SAP2000

Le ultime due condizioni di carico sopra riportate (SPACCSXSW/02, SPACCDXSW/02 e SPACCDXQ, SPACCSXQ), vista la configurazione prevista per la stazione (vedi figura 2a), sono state applicate simmetricamente su entrambi i muri laterali, questo perché su entrambi i lati è prevista la presenza di treni in transito e banchine per il transito dei passeggeri.

Per meglio comprendere tale aspetto si rimanda ai relativi elaborati grafici.

CONDIZIONI DI CARICO SISMICHE

Per il calcolo dell'azione sismica si utilizza il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico k . Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

Forza sismica orizzontale $F_h = k_h \cdot W$

Forza sismica verticale $F_v = k_v \cdot W$

I valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v

$k_h = a_{max} / g$

$k_v = \pm 0,5 \times k_h$

Con riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale, ai fini del calcolo dell'azione sismica secondo il DM 17/01/2018 viene assegnata all'opera una vita nominale V_N ed una classe d'uso C_U ; segue un periodo di riferimento $V_R = V_N \cdot C_U$.

A seguito di tale assunzione si ottiene allo stato limite ultimo SLV in funzione della Latitudine e Longitudine del sito in esame un valore dell'accelerazione pari ad a_g , il cui valore è di seguito riportato, come desunto anche dalla relazione geotecnica.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima per la determinazione delle forze di inerzia può essere valutata con la relazione:

$a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$

Le forze di inerzia sullo **scatolare** (masse di peso proprio soletta superiore e piedritti, rinterro e ballast, 20% treno di carico,..) sono pari alle masse moltiplicate per k_h e k_v ove: $k_h = \beta M \cdot S \cdot a_g / g$ e $k_v = k_h / 2$. Essendo lo scatolare non libero di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, $\beta M = 1$.

vita nominale	V_N	75 anni
classe d'uso	CL	III
coefficiente d'uso	C_U	1.50
vita di riferimento = $C_U \cdot V_N$	V_R	112.5 anni
probabilità di superamento nel periodo di riferimento	P_{VR}	10%
periodo di ritorno del sisma	T_R	1068 anni

Spettro di risposta in accelerazione della componente orizzontale

Coordinate del sito in oggetto:

Latitudine	40.64541
Longitudine	14.83342

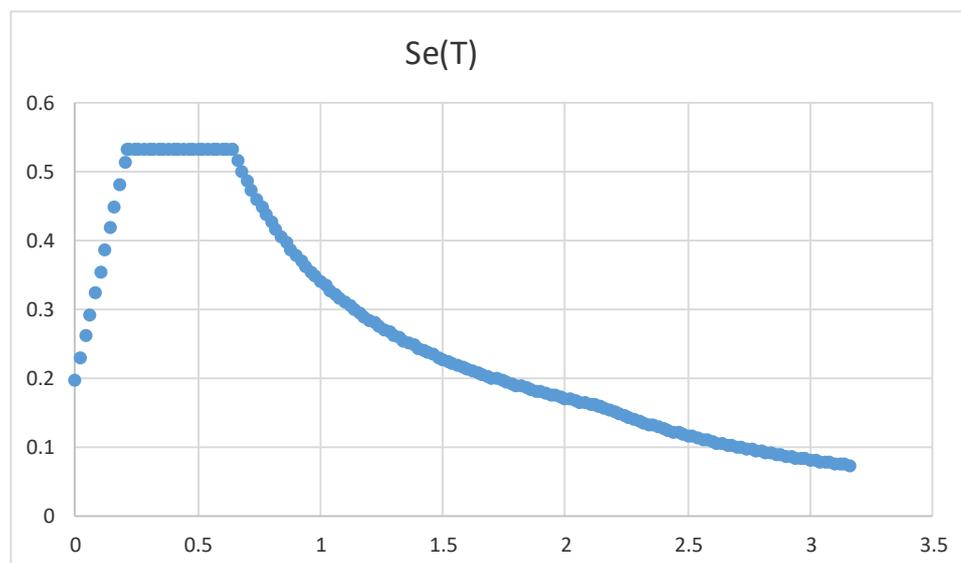
Parametri sismici di progetto

accelerazione massima orizzontale al bedrock	ago	0.128 g
fattore amplificazione massima spettro accelerazione	Fo	2.719 sec
periodo inizio tratto a velocità costante spettro acc. orizz.	T*c	0.475
categoria sottosuolo		C
categoria topografica		T1
amplificazione topografica	S _T	1.000
smorzamento viscoso convenzionale	ξ	5%
fattore di correzione per ξ <> 5%	η	1.000

Tab.3.2.V	S _S	C _C	S _S	C _C
A	1.00	1.00	1.49	1.34
B	1.20	1.28		
C	1.49	1.34		
D	1.80	1.81		
E	1.60	1.55		

coefficiente amplificazione stratigrafica	S _S	1.491
coefficiente di amplificazione	S	1.491
coefficiente categoria sottosuolo	C _C	1.342
periodo inizio tratto a accelerazione costante = T _c / 3	T _B	0.213 sec
periodo inizio tratto a velocità costante = C _c * T*c	T _C	0.638 sec
periodo inizio tratto a spostamento costante = 4 * ag/g + 1,6	T _D	2.112 sec
accelerazione massima orizzontale al suolo = S _s x S _t x ag/g	ago,max	0.191 g

SPETTRO ORIZZONTALE ELASTICO SLV



Accelerazioni per il calcolo delle forze di inerzia agenti sullo struttura

Coefficiente di riduzione dell'acc max attesa al sito	β	1.000
$a_o = k_h = a_{g0,max} = S \times a_g/g$	valore $PGA \times$ scatolare	$a_o = k_h$ 0.1909 g
$a_v = k_v = k_h / 2$	valore $PGA \times$ scatolare	$a_v = k_v$ 0.0954 g

Forze di inerzia (condizione SismaH)

Forza di inerzia treno di carico - (%)	%	20%
Forza orizzontale su singolo piedritto	F''_h	2.86 kN/m ² $P_p \times k_b$

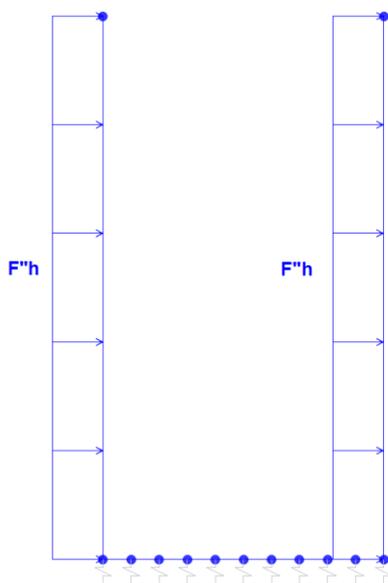


Figura 10. Condizione di carico SismaH e SismaV da SAP2000

Spinta sismica terreno - Teoria di WOOD (condizioni SPSPDX e SPSSX)

Forza distribuita sui piedritti	qW	28.25 kN/m ² $(\%q_v + q' + \gamma_r \times H_{tot}) \times (a_{g0,max})$
Forza concentrata nodo inferiore piedritti	QW_{inf}	8.47 kN $qW \times S_f / 2$

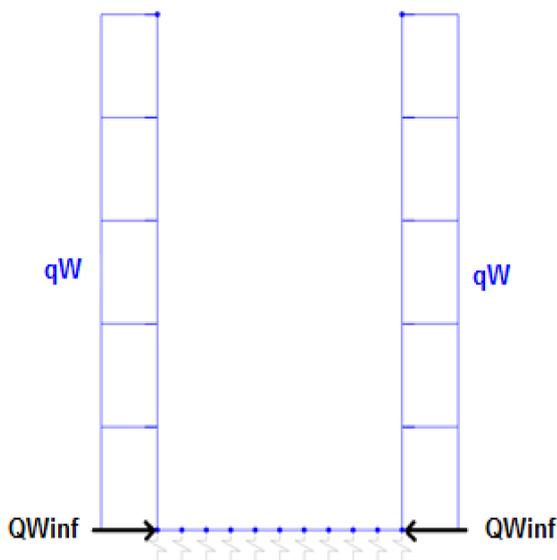


Figura 11. Condizione di carico SPSPDX e SPSSX da SAP2000

4.4. COMBINAZIONI DI CARICO

Gli effetti dei carichi verticali, dovuti alla presenza dei convogli, vengono sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti di cui alla Tabella 5.2.IV del DM 17/01/2018 di seguito riportata, In particolare, per ogni gruppo viene individuata una azione dominante che verrà considerata per intero; per le altre azioni, vengono definiti diversi coefficienti di combinazione. Ogni gruppo massimizza una particolare condizione alla quale la struttura dovrà essere verificata.

Tab. 5.2.III - Carichi mobili in funzione del numero di binari presenti sul ponte

Numero di binari	Binari Carichi	Traffico normale		Traffico pesante ⁽²⁾
		caso a ⁽¹⁾	caso b ⁽¹⁾	
1	Primo	1,0 (LM 71''+''SW/0)	-	1,0 SW/2
2	Primo	1,0 (LM 71''+''SW/0)	-	1,0 SW/2
	secondo	1,0 (LM 71''+''SW/0)	-	1,0 (LM 71''+''SW/0)
≥3	Primo	1,0 (LM 71''+''SW/0)	0,75 (LM 71''+''SW/0)	1,0 SW/2
	secondo	1,0 (LM 71''+''SW/0)	0,75 (LM 71''+''SW/0)	1,0 (LM 71''+''SW/0)
	Altri	-	0,75 (LM 71''+''SW/0)	-

⁽¹⁾ LM71 ''+'' SW/0 significa considerare il più sfavorevole fra i treni LM 71, SW/0

⁽²⁾ Salvo i casi in cui sia esplicitamente escluso

Tab. 5.2.IV - Valutazione dei carichi da traffico

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,0	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,0	0,0	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,0	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0,8 (0,6;0,4)	-	0,8 (0,6;0,4)	0,8 (0,6;0,4)	0,8 (0,6;0,4)	Fessurazione

(1) Includendo tutti i valori (F; a; etc..)

(2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1.0), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1,2 e 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali

I valori campiti in grigio rappresentano l'azione dominante.

Nelle tabelle sopra riportate è indicato un coefficiente per gli effetti a sfavore di sicurezza e, tra parentesi, un coefficiente, minore del precedente, per gli effetti a favore di sicurezza.

In fase di combinazione, ai fini delle verifiche degli SLU e SLE per la verifica delle tensioni, si sono

considerati i soli Gruppo 1 e 3, mentre per la verifica a fessurazione è stato utilizzato il Gruppo 4. Nella tabella 5.2.III vengono riportati i carichi da utilizzare in caso di impalcati con due, tre o più binari caricati. I Gruppi definiscono le azioni che nelle diverse combinazioni sono generalmente definite come Q_{ki} . I coefficienti di amplificazione dei carichi g e i coefficienti di combinazione ψ sono riportati nelle tabelle seguenti.

In particolare nel calcolo della struttura scatolare si fa riferimento alla combinazione A1 STR.

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Coefficiente			EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁵⁾	1,00 ⁽⁶⁾	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	γ_{Ce}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole	d	1,20	1,20	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

⁽²⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

⁽³⁾ Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

⁽⁴⁾ Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.

⁽⁵⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

⁽⁶⁾ 1,20 per effetti locali

Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione Ψ delle azioni

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
	gr_1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
Gruppi di	gr_2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
carico	gr_3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr_4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T_k	0,60	0,60	0,50

⁽¹⁾ 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

⁽²⁾ Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Le azioni descritte nel paragrafo precedente ed utilizzate nelle combinazioni di carico vengono di seguito riassunte:

Peso proprio	DEAD
Spinta del terreno sulla parete sinistra	SPTSX
Spinta del terreno sulla parete destra	SPTDX
Spinta del carico acc. (SW/2) sulla parete Sx	SPACCSXSW/02
Spinta del carico acc. (Q) sulla parete Dx	SPACCDXQ
Azione sismica orizzontale	Sisma H
Incremento sismico della spinta sul terreno	SPSDX/SX

Si riportano di seguito le combinazioni allo SLU di carico ritenute più significative in base all'esperienza.

Combinazione fondamentale:

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

Nelle tabelle seguenti sono riportate le combinazioni di carico SLU, SLV e SLE utilizzate.

Combinazioni di carico SLU (non sismiche)									
	1slu	2slu	3slu	4slu	5slu	6slu	7slu	8slu	9slu
DEAD	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1.35	1.35	1.35
SPTSX	1	1	1.35	1	1.35	1	1.35	1.35	1.35
SPTDX	1	1	1	1.35	1.35	1.35	1	1	1
SPACCSXSW/2	1.45	0	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.16	1.015
SPACCDXSW/2	1.45	0	0	1.45	1.45	1.45	1.45	1.16	1.015
SPACCSXQ	1.35	0	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0.945	0.945
SPACCDXQ	1.35	0	0	1.35	1.35	1.35	1.35	0.945	0.945

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

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

Combinazioni di Carico Sismiche					
	sism1	sism2	sism3	sism4	sism5
DEAD	1	1	1	1	1
SPTSX	1	1	1	1	1
SPTDX	1	1	1	1	1
SPACCSXSW/2	0.2	0.2	0.2	0	0.2
SPACCDXSW/2	0.2	0	0.2	0	0.2
SPACCSXQ	0.6	0.6	0.6	0.6	0
SPACCDXQ	0.6	0	0.6	0.6	0
Sisma H	1	1	1	1	1
SPSDX	0	0	1	1	0
SPSSX	1	1	0	0	1

Si riportano infine, le combinazioni di carico agli stati limite di esercizio SLE ritenute più significative.

Combinazione rara

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

Combinazioni di carico SLE			
	1sle	2sle	2sle
DEAD	1	1	1
SPTSX	1	1	1
SPTDX	0.8	0.8	0.8
SPACCSXSW/2	0.8	0.8	0
SPACCDXSW/2	0.8	0	0
SPACCSXQ	0.7	0.7	0
SPACCDXQ	0.7	0	0

4.5. CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI

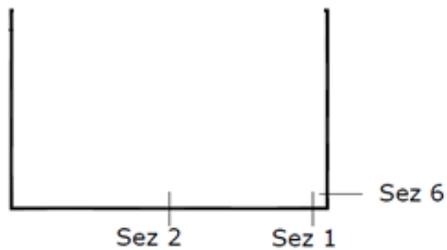
4.5.1. Inviluppo SLU/SLV

USCITA SAP - INVILUPPO SLU SLV							
Text Frame	m Station	Text OutputCase	Text CaseType	Text StepType	KN P	KN V2	KN-m M3
1	0.26	ENVELOPE SLU	Combination	Max	0.00	296.64	988.81
1	0.37	ENVELOPE SLU	Combination	Max	0.00	298.86	983.29
1	0.48	ENVELOPE SLU	Combination	Max	0.00	301.08	977.54
1	0.59	ENVELOPE SLU	Combination	Max	0.00	331.91	973.31
1	0.70	ENVELOPE SLU	Combination	Max	0.00	333.55	969.91
1	0.81	ENVELOPE SLU	Combination	Max	0.00	345.09	966.75
1	0.92	ENVELOPE SLU	Combination	Max	0.00	346.74	964.80
1	1.03	ENVELOPE SLU	Combination	Max	0.00	348.38	962.60
1	1.14	ENVELOPE SLU	Combination	Max	0.00	348.37	961.86
1	1.25	ENVELOPE SLU	Combination	Max	0.00	350.01	961.13
1	1.35	ENVELOPE SLU	Combination	Max	0.00	338.54	961.13
1	1.46	ENVELOPE SLU	Combination	Max	0.00	340.19	961.86
1	1.57	ENVELOPE SLU	Combination	Max	0.00	317.33	962.60
1	1.68	ENVELOPE SLU	Combination	Max	0.00	318.97	964.80
1	1.79	ENVELOPE SLU	Combination	Max	0.00	320.61	966.75
1	1.90	ENVELOPE SLU	Combination	Max	0.00	286.42	969.91
1	2.01	ENVELOPE SLU	Combination	Max	0.00	288.06	973.31
1	2.12	ENVELOPE SLU	Combination	Max	0.00	219.04	977.54
1	2.23	ENVELOPE SLU	Combination	Max	0.00	220.68	983.29
1	2.34	ENVELOPE SLU	Combination	Max	0.00	222.32	988.81
1	0.26	ENVELOPE SLU	Combination	Min	0.00	-109.03	272.49
1	0.37	ENVELOPE SLU	Combination	Min	0.00	-107.39	267.16
1	0.48	ENVELOPE SLU	Combination	Min	0.00	-105.74	261.59
1	0.59	ENVELOPE SLU	Combination	Min	0.00	-152.19	257.53
1	0.70	ENVELOPE SLU	Combination	Min	0.00	-150.55	254.28
1	0.81	ENVELOPE SLU	Combination	Min	0.00	-174.70	251.26
1	0.92	ENVELOPE SLU	Combination	Min	0.00	-173.06	249.40
1	1.03	ENVELOPE SLU	Combination	Min	0.00	-171.42	247.30
1	1.14	ENVELOPE SLU	Combination	Min	0.00	-189.26	246.61
1	1.25	ENVELOPE SLU	Combination	Min	0.00	-187.62	245.91
1	1.35	ENVELOPE SLU	Combination	Min	0.00	-199.10	245.91
1	1.46	ENVELOPE SLU	Combination	Min	0.00	-197.46	246.61
1	1.57	ENVELOPE SLU	Combination	Min	0.00	-202.53	247.30
1	1.68	ENVELOPE SLU	Combination	Min	0.00	-200.88	249.40
1	1.79	ENVELOPE SLU	Combination	Min	0.00	-199.24	251.26
1	1.90	ENVELOPE SLU	Combination	Min	0.00	-197.76	254.28
1	2.01	ENVELOPE SLU	Combination	Min	0.00	-196.12	257.53
1	2.12	ENVELOPE SLU	Combination	Min	0.00	-184.77	261.59
1	2.23	ENVELOPE SLU	Combination	Min	0.00	-183.13	267.16
1	2.34	ENVELOPE SLU	Combination	Min	0.00	-181.48	272.49

Posto di incrocio S. Leonardo:
Sottopasso - Relazione di calcolo muro scale

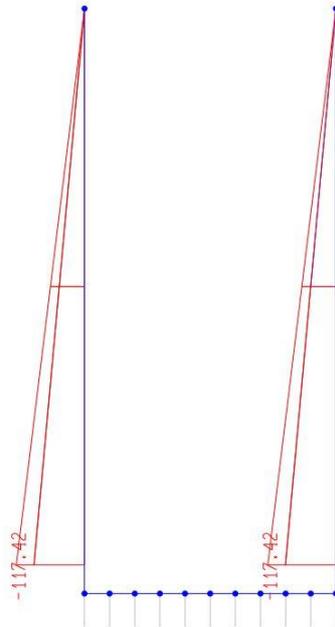
COMMESSA NN1X	LOTTO 00 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL.02.0.0.003	REV. B	FOGLIO 24 di 69
------------------	------------------	----------------	----------------------------	-----------	--------------------

2	0.00	ENVELOPE SLU	ΣCombination	Max	0.00	0.00	0.00
2	2.90	ENVELOPE SLU	ΣCombination	Max	-43.49	139.49	-19.22
2	5.80	ENVELOPE SLU	ΣCombination	Max	-86.97	366.25	-201.86
2	0.00	ENVELOPE SLU	ΣCombination	Min	0.00	0.00	0.00
2	2.90	ENVELOPE SLU	ΣCombination	Min	-58.71	24.03	-181.17
2	5.80	ENVELOPE SLU	ΣCombination	Min	-117.42	112.71	-893.41
4	0.00	ENVELOPE SLU	ΣCombination	Max	0.00	0.00	0.00
4	2.90	ENVELOPE SLU	ΣCombination	Max	-43.49	-32.32	187.92
4	5.80	ENVELOPE SLU	ΣCombination	Max	-86.97	-129.29	893.41
4	0.00	ENVELOPE SLU	ΣCombination	Min	0.00	0.00	0.00
4	2.90	ENVELOPE SLU	ΣCombination	Min	-58.71	-140.37	31.25
4	5.80	ENVELOPE SLU	ΣCombination	Min	-117.42	-366.25	249.97

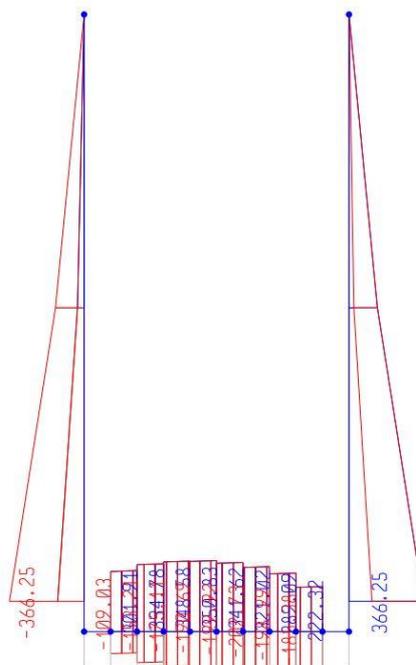


SEZIONE	P	V2	M3
01	0.0	350.0	988.8
02	0.0	0.0	245.9
06	-87.0	366.3	893.4

Diagrammi di involucro delle sollecitazioni: ENVELOPE SLU/SLV



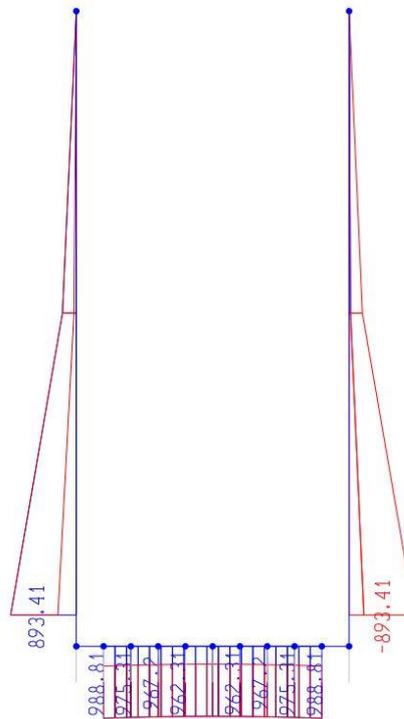
Sforzo normale



Taglio

Posto di incrocio S. Leonardo:
Sottopasso - Relazione di calcolo muro scale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00 D 78	CL	SL.02.0.0.003	B	26 di 69



Momento Flettente

I valori V e M dei diagrammi corrispondono a quelli riportati nella tabella, mentre il valore dello sforzo normale P nei diagrammi (valore massimo) differisce da quello di verifica della tabella, pari a quello di compressione minimo.

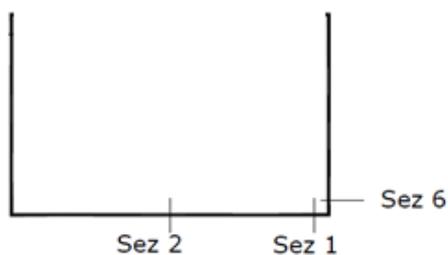
4.5.2. Inviluppo SLE (rara)

USCITA SAP - INVILUPPO SLE							
Text Frame	m Station	Text OutputCase	Text CaseType	Text StepType	KN P	KN V2	KN-m M3
1	0.26	ENVELOPE SLER	Combination	Max	0.00	172.28	609.25
1	0.37	ENVELOPE SLER	Combination	Max	0.00	173.92	603.00
1	0.48	ENVELOPE SLER	Combination	Max	0.00	175.57	596.57
1	0.59	ENVELOPE SLER	Combination	Max	0.00	185.31	591.00
1	0.70	ENVELOPE SLER	Combination	Max	0.00	186.96	585.86
1	0.81	ENVELOPE SLER	Combination	Max	0.00	187.82	580.86
1	0.92	ENVELOPE SLER	Combination	Max	0.00	189.46	576.59
1	1.03	ENVELOPE SLER	Combination	Max	0.00	191.11	572.14
1	1.14	ENVELOPE SLER	Combination	Max	0.00	185.86	568.68
1	1.25	ENVELOPE SLER	Combination	Max	0.00	187.50	565.21
1	1.35	ENVELOPE SLER	Combination	Max	0.00	176.19	562.27
1	1.46	ENVELOPE SLER	Combination	Max	0.00	177.83	559.87
1	1.57	ENVELOPE SLER	Combination	Max	0.00	160.51	557.48
1	1.68	ENVELOPE SLER	Combination	Max	0.00	162.16	556.25
1	1.79	ENVELOPE SLER	Combination	Max	0.00	163.80	554.84
1	1.90	ENVELOPE SLER	Combination	Max	0.00	140.51	554.46
1	2.01	ENVELOPE SLER	Combination	Max	0.00	142.15	554.30
1	2.12	ENVELOPE SLER	Combination	Max	0.00	97.51	554.92
1	2.23	ENVELOPE SLER	Combination	Max	0.00	99.15	556.94
1	2.34	ENVELOPE SLER	Combination	Max	0.00	100.79	558.78
1	0.26	ENVELOPE SLER	Combination	Min	0.00	55.49	273.37
1	0.37	ENVELOPE SLER	Combination	Min	0.00	57.13	267.20
1	0.48	ENVELOPE SLER	Combination	Min	0.00	58.77	260.86
1	0.59	ENVELOPE SLER	Combination	Min	0.00	45.42	255.36
1	0.70	ENVELOPE SLER	Combination	Min	0.00	47.06	250.30
1	0.81	ENVELOPE SLER	Combination	Min	0.00	37.74	245.36
1	0.92	ENVELOPE SLER	Combination	Min	0.00	39.38	241.14
1	1.03	ENVELOPE SLER	Combination	Min	0.00	41.02	236.73
1	1.14	ENVELOPE SLER	Combination	Min	0.00	30.76	233.29
1	1.25	ENVELOPE SLER	Combination	Min	0.00	32.41	229.84
1	1.35	ENVELOPE SLER	Combination	Min	0.00	21.10	226.90
1	1.46	ENVELOPE SLER	Combination	Min	0.00	22.74	224.48
1	1.57	ENVELOPE SLER	Combination	Min	0.00	10.43	222.07
1	1.68	ENVELOPE SLER	Combination	Min	0.00	12.07	220.80
1	1.79	ENVELOPE SLER	Combination	Min	0.00	13.71	219.34
1	1.90	ENVELOPE SLER	Combination	Min	0.00	0.61	218.89
1	2.01	ENVELOPE SLER	Combination	Min	0.00	2.25	218.67
1	2.12	ENVELOPE SLER	Combination	Min	0.00	-19.29	219.21
1	2.23	ENVELOPE SLER	Combination	Min	0.00	-17.65	221.14
1	2.34	ENVELOPE SLER	Combination	Min	0.00	-16.00	222.90

Posto di incrocio S. Leonardo:
Sottopasso - Relazione di calcolo muro scale

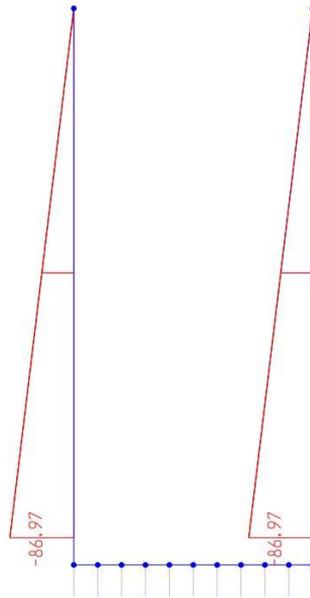
COMMESSA NN1X	LOTTO 00 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL.02.0.0.003	REV. B	FOGLIO 28 di 69
------------------	------------------	----------------	----------------------------	-----------	--------------------

2	0.00	ENVELOPE SLER Combination	Max	0.00	0.00	0.00
2	2.90	ENVELOPE SLER Combination	Max	-43.49	78.24	-25.00
2	5.80	ENVELOPE SLER Combination	Max	-86.97	208.21	-199.97
2	0.00	ENVELOPE SLER Combination	Min	0.00	0.00	0.00
2	2.90	ENVELOPE SLER Combination	Min	-43.49	25.86	-100.96
2	5.80	ENVELOPE SLER Combination	Min	-86.97	103.44	-503.81
4	0.00	ENVELOPE SLER Combination	Max	0.00	0.00	0.00
4	2.90	ENVELOPE SLER Combination	Max	-43.49	-32.32	107.21
4	5.80	ENVELOPE SLER Combination	Max	-86.97	-129.29	553.80
4	0.00	ENVELOPE SLER Combination	Min	0.00	0.00	0.00
4	2.90	ENVELOPE SLER Combination	Min	-43.49	-84.71	31.25
4	5.80	ENVELOPE SLER Combination	Min	-86.97	-234.07	249.97

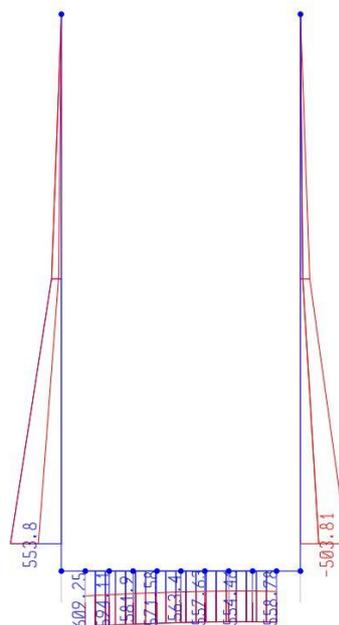


SEZIONE	P	V2	M3
01	0.0	191.1	609.3
02	0.0	0.0	218.7
06	-87.0	234.1	503.8

Diagrammi di involuppo delle sollecitazioni: ENVELOPE SLE (rara)



Sforzo normale



Momento Flettente

Il valore M dei diagrammi corrisponde a quello riportato nella tabella, mentre il valore dello sforzo normale P nei diagrammi (valore massimo) differisce da quello di verifica della tabella, pari a quello di compressione minimo.

Posto di incrocio S. Leonardo:
Sottopasso - Relazione di calcolo muro scale

COMMESSA
NN1X

LOTTO
00 D 78

CODIFICA
CL

DOCUMENTO
SL.02.0.0.003

REV.
B

FOGLIO
30 di 69

.4.6. VERIFICHE SLU/SLV/SLE

Oggetto:

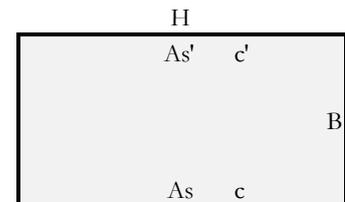
Incrocio S.Leonardo - Scala

Sezione n°. 01

Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000 mm		
H	Altezza sezione rettangolare	600 mm		
c'	Copriferro armatura sup. compressa	100 mm		
c	Copriferro armatura inf. Tesa	100 mm		
d	Altezza utile = H-c	500 mm		
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa		
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa		
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	0.0 kN		
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	988.8 kNm		
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	350.0 kN		
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm		
Fi1	1° diametro armatura tesa	28		
Fi2	2° diametro armatura tesa	28		
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10 Armatura tesa filante	6158 mmq	
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	10 Armatura di raffittim.	6158 mmq	
As'	Armatura superiore compressa	10619 mmq		
As	Armatura inferiore tesa	12315 mmq		
Fi Staffe	Diametro staffe	mm		
s. Staffe	Passo staffe	150 mm		
bracci	Numero Bracci staffe	2		
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2.0 [range: 1,0-2,5]		
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90.0°		
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m	0.00 cmq/m	
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R		
Msle	Momento di esercizio [(+)]	609.3 kNm		
Nsle	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	0.0 kN		
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq,Perm)	0.20 mm		
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0.60 fck		
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0.45 fck		
sigsR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0.80 fyk		

Geometria della Sezione:



Dati di Output:

SLU - Momento e Taglio resistenti

<S-N>	Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N>	S	Coeff.Sfrutt.Max	86%
Mrd	Momento ultimo resistente	2003 kNm	Coeff.Sfrutt.	49%
Vrd	Taglio ultimo resistente senza staffe	411 kN	Coeff.Sfrutt.	85%
Vrd	Taglio ultimo resistente	411 kN	Coeff.Sfrutt.	85%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff.Sfrutt.	

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-61 Mpa	Coeff.Sfrutt.	17%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	120 Mpa	Coeff.Sfrutt.	33%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-7 Mpa	Coeff.Sfrutt.	39%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	266 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.17 mm	Coeff.Sfrutt.	86%

Oggetto:

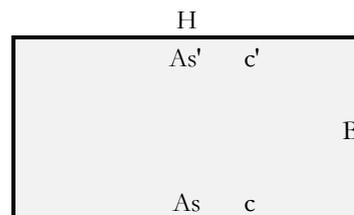
Incrocio S.Leonardo - Scala

Sezione n°. 02

Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000 mm	
H	Altezza sezione rettangolare	600 mm	
c'	Copriferro armatura sup. compressa	100 mm	
c	Copriferro armatura inf. Tesa	100 mm	
d	Altezza utile = H-c	500 mm	
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa	
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa	
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	0.0 kN	
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	245.9 kNm	
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	0.0 kN	
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm	
Fi1	1° diametro armatura tesa	26	
Fi2	2° diametro armatura tesa	26	
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10 Armatura tesa filante	5309 mmq
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	10 Armatura di raffittim.	5309 mmq
As'	Armatura superiore compressa	12315 mmq	
As	Armatura inferiore tesa	10619 mmq	
Fi Staffe	Diametro staffe	mm	
s. Staffe	Passo staffe	150 mm	
bracci	Numero Bracci staffe	2	
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2.5 [range: 1,0-2,5]	
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90.0°	
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m	0.00 cmq/m
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R	
Msle	Momento di esercizio [(+)]	218.7 kNm	
Nsle	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	0.0 kN	
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20 mm	
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0.60 fck	
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0.45 fck	
sigsR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0.80 fyk	

Geometria della Sezione:



Dati di Output:

SLU - Momento e Taglio resistenti

<S-N>	Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N>	S	Coeff.Sfrutt.Max	26%
Mrd	Momento ultimo resistente	1743 kNm	Coeff.Sfrutt.	14%
Vrd	Taglio ultimo resistente senza staffe	391 kN	Coeff.Sfrutt.	0%
Vrd	Taglio ultimo resistente	391 kN	Coeff.Sfrutt.	0%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff.Sfrutt.	

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-21 Mpa	Coeff.Sfrutt.	6%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	50 Mpa	Coeff.Sfrutt.	14%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-3 Mpa	Coeff.Sfrutt.	14%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	257 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.05 mm	Coeff.Sfrutt.	26%

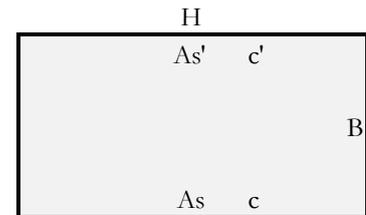
Oggetto:

Incrocio S.Leonardo - Scala
Sezione n°. 03

Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000 mm	
H	Altezza sezione rettangolare	600 mm	
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70 mm	
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70 mm	
d	Altezza utile = H-c	530 mm	
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa	
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa	
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	-43.5 kN	
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	187.9 kNm	
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	140.4 kN	
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm	
Fi1	1° diametro armatura tesa	16	
Fi2	2° diametro armatura tesa		
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10 Armatura tesa filante	2011 mmq
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0 Armatura di raffittim.	0 mmq
As'	Armatura superiore compressa	2011 mmq	
As	Armatura inferiore tesa	2011 mmq	
Fi Staffe	Diametro staffe	mm	
s. Staffe	Passo staffe	150 mm	
bracci	Numero Bracci staffe	2	
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2.0 [range: 1,0-2,5]	
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90.0°	
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m	0.00 cmq/m
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R	
Mslc	Momento di esercizio [(+)]	107.2 kNm	
Nslc	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	-43.5 kN	
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20 mm	
sigR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0.60 fck	
sigP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0.45 fck	
sigsR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0.80 fyk	

Geometria della Sezione:



Dati di Output:

SLU - Momento e Taglio resistenti

<S-N>	Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N>	S	Coeff.Sfrutt.Max	65%
Mrd	Momento ultimo resistente	411 kNm	Coeff.Sfrutt.	46%
Vrd	Taglio ultimo resistente senza staffe	237 kN	Coeff.Sfrutt.	59%
Vrd	Taglio ultimo resistente	237 kN	Coeff.Sfrutt.	59%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff.Sfrutt.	

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-22 Mpa	Coeff.Sfrutt.	6%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	101 Mpa	Coeff.Sfrutt.	28%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-3 Mpa	Coeff.Sfrutt.	15%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	195 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.13 mm	Coeff.Sfrutt.	65%

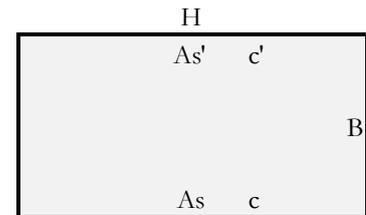
Oggetto:

Incrocio S.Leonardo - Scala

Sezione n°. 06

Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000 mm	
H	Altezza sezione rettangolare	600 mm	
c'	Copriferro armatura sup. compressa	100 mm	
c	Copriferro armatura inf. Tesa	100 mm	
d	Altezza utile = H-c	500 mm	
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa	
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa	
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	-87.0 kN	
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	893.4 kNm	
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	366.3 kN	
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm	
Fi1	1° diametro armatura tesa	26	
Fi2	2° diametro armatura tesa	24	
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10	Armatura tesa filante 5309 mmq
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	10	Armatura di raffittim. 4524 mmq
As'	Armatura superiore compressa	9833 mmq	
As	Armatura inferiore tesa	9833 mmq	
Fi Staffe	Diametro staffe	mm	
s. Staffe	Passo staffe	150 mm	
bracci	Numero Bracci staffe	2	
cot θ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2.0 [range: 1,0-2,5]	
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90.0°	
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m	0.00 cmq/m
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R	
Msle	Momento di esercizio [(+)]	553.8 kNm	
Nsle	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	-87.0 kN	
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20 mm	
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0.60 fck	
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0.45 fck	
sigsR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0.80 fyk	

Geometria della Sezione:

Dati di Output:
SLU - Momento e Taglio resistenti

<S-N>	Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N>	S	Coeff.Sfrutt.Max	96%
Mrd	Momento ultimo resistente	1637 kNm	Coeff.Sfrutt.	55%
Vrd	Taglio ultimo resistente senza staffe	392 kN	Coeff.Sfrutt.	93%
Vrd	Taglio ultimo resistente	392 kN	Coeff.Sfrutt.	93%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff.Sfrutt.	

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-59 Mpa	Coeff.Sfrutt.	16%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	131 Mpa	Coeff.Sfrutt.	36%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-7 Mpa	Coeff.Sfrutt.	40%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	259 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.19 mm	Coeff.Sfrutt.	96%

Si riportano i coefficienti di sfruttamento nelle sezioni notevoli per le verifiche SLU/SLV/SLE:

SINTESI VERIFICHE SEZIONI NOTEVOLI:					
SL	VERIF	SEZ01	SEZ02	SEZ03	SEZ06
SLU	Med/Mrd	49%	14%	46%	55%
SLU	Ved/Vrd	85%	0%	59%	93%
SLE	(sigse/sigst)s	17%	6%	6%	16%
SLE	(sigse/sigst)i	33%	14%	28%	36%
SLE	(sigα/sigα)s	39%	14%	15%	40%
SLE	wk/wklim	86%	26%	65%	96%
	MAX	86%	26%	65%	96%
	MAX	96%			

I coefficienti di sfruttamento sono tutti inferiori all'unità e pertanto le verifiche risultano soddisfatte.

Come visibile dalle verifiche sopra riportate, i ferri dei piedritti sono stati diversificati lungo lo sviluppo verticale.

Più precisamente sono state considerate due sezioni notevoli dimensionanti: una alla base in corrispondenza dell'incastro (SEZ.06) la cui armatura è stata mantenuta costante fino alla quota di mezzeria; una seconda sezione dalla mezzeria alla cima (SEZ.03) in cui si ha un notevole abbattimento delle sollecitazioni e quindi l'armatura necessaria risulta notevolmente inferiore.

Tale operazione è stata svolta al fine di cercare di ridurre l'incidenza dell'armatura per l'opera in oggetto.

4.7. ARMATURE DI RIPARTIZIONE

Le armature di ripartizione delle pareti e della soletta vengono dimensionate per sostenere gli effetti del ritiro igrometrico i quali generano una trazione pura per deformazioni impedita a causa della soletta inferiore gettata precedentemente e che può aver dissipato tali effetti.

La ϵ ritiro induce nel calcestruzzo una tensione di trazione superiore alla sua resistenza a trazione, ne deriva la fessurazione e il trasferimento di tutta la trazione sull'acciaio teso. Per ottenere delle fessure uniformemente distribuite e non concentrate in alcuni punti con ampiezze macroscopiche, si applica un principio di non plasticizzazione delle armature. Per limitare l'ampiezza delle fessure, pur distribuite, che si ottengono applicando tale principio, si applica quanto previsto al § 7.3.2 dell'Eurocodice 2 - UNI EN 1992 1-1: "Aree minime di armatura", in particolare la formula (7.1):

$$A_{s,min} \cdot \sigma_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}$$

dove:

$A_{s,min}$ è l'area minima di armatura nella zona tesa;

A_{ct} è l'area di calcestruzzo nella zona tesa. La zona tesa è quella parte della sezione che risulta in trazione subito dopo la formazione della prima fessura; è pari a tutta l'area della sezione per trazione pura, alla metà per flessione;

σ_s è la massima tensione ammessa nell'armatura subito dopo la formazione della fessura. Tale tensione può essere assunta pari alla tensione di snervamento f_{yk} dell'armatura. Può essere però necessario fissare un valore minore per soddisfare i limiti di apertura delle fessure secondo il massimo diametro o la massima spaziatura tra le barre (vedere punto 7.3.3).

$f_{ct,eff}$ è il valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo al momento in cui si suppone insorgano le prime fessure;

$f_{ct,eff} = f_{ctm}$ se la formazione delle fessure è prevista prima di 28d;

k è il coefficiente che tiene conto degli effetti di tensioni auto-equilibrate non uniformi, $k=1$

k_c è il coefficiente che tiene conto del tipo di distribuzione delle tensioni all'interno della sezione subito prima della fessurazione e della variazione del braccio di leva; $k_c=1$ per trazione, $k_c=0,4$ per flessione, $k_c = 0,4 \cdot (1 - \text{funz}(\sigma_c))$ nel caso flessione combinata con sforzo normale.

base della sezione		1000 mm
altezza della sezione		600 mm
area sezione calcestruzzo	A_{ct}	600000 mm ²
tensione di snervamento acciaio	f_{yk}	450 Mpa
resist. Caratt. Cilindrica cls a compressione	f_{ck}	30 Mpa
tensione resistente cls a trazione	$f_{ct,eff}=0,3(f_{ck})^{2/3}$	2.90 Mpa
coefficiente k_c	k_c	1.00
coefficiente k	k	1.00
area minima acciaio teso nella sezione	$A_{s,min}$	3862 mm ²

P.to 7.3.3 EC2 1992:1-1): Dove è disposta l'armatura minima indicata al punto 7.3.2, le ampiezze delle fessure non dovrebbero essere eccessive se: per fessurazione causata principalmente da deformazioni impedito, il diametro delle barre non eccede quello dato nel prospetto 7.2N, dove la tensione nell'acciaio è quella che si ha subito dopo la fessurazione [cioè il termine σ_s nell'espressione (7.1)];

prospetto 7.2N **Diametri massimi delle barre ϕ^*_s per il controllo della fessurazione¹⁾**

Tensione nell'acciaio ²⁾ [MPa]	Diametro massimo delle barre [mm]		
	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

1) I valori nel prospetto sono basati sulle seguenti assunzioni:
 $c = 25$ mm; $f_{ct,eff} = 2,9$ MPa; $h_{cr} = 0,5$; $(h - d) = 0,1 h$; $k_1 = 0,8$; $k_2 = 0,5$; $k_c = 0,4$; $k = 1,0$; $k_t = 0,4$ e $k' = 1,0$.
2) Sotto la combinazione di carico pertinente.

Il diametro massimo delle barre si raccomanda sia modificato come segue:

Trazione (la sezione è tutta tesa):

$$\phi_s = \phi^*_s (f_{ct,eff} / 2,9) h_{cr} / (8(h-d)) \quad (7.7N)$$

dove:

ϕ_s è il diametro massimo "modificato" delle barre;

ϕ^*_s è il diametro massimo dato nel prospetto 7.2N;

h è l'altezza totale della sezione;

h_{cr} è l'altezza della zona tesa subito prima della fessurazione, considerando i valori caratteristici della forza di precompressione e delle forze assiali sotto la combinazione di azioni quasi-permanente;

d è l'altezza utile valutata rispetto al baricentro dello strato più esterno di armatura ordinaria.

Se tutta la sezione è tesa $h-d$ è la minima distanza tra il baricentro dello strato di armatura e il lembo esterno della sezione (considerare ciascun lembo se la barra non è disposta simmetricamente).

Verifica armatura trasversale:

diametro barre trasversali	Φ trasv	16 mm	< Fs	Verifica soddisfatta
passo barre trasversali	passo	100 mm		
N.strati barre trasvers. (sup.+inf.+intermedi)	n.strati	2		
Area barre trasversali	A_s	4021 mm ²		
stato tensionale barre dopo fessurazione	σ_s	432 mm ²	< fyk	Verifica soddisfatta
ϕ barre da tabella 7.2N x σ_s e $w_k=0,2$ mm	ϕ^*_s	6 mm		
altezza zona tesa prima della fessurazione	h_{cr}	600 mm		
altezza totale sezione	h	600 mm		
copriferro (asse barre)	c	100 mm		
altezza utile sezione	d	500 mm		
diametro massimo modificato utilizzabile	ϕ_s	18 mm	(= Fs)	

4.8. RIEPILOGO E INCIDENZA ARMATURE

A seguire il riepilogo delle armature del tombino:

Pareti di spessore 60 cm

Sezione d'incastro

con armatura principale esterna	F26 /100	+	F24 /100	9833 mm ²
con armatura principale interna	F26 /100	+	F24 /100	9833 mm ²

Sezione di mezzeria

con armatura principale esterna	F16 /100			2011 mm ²
con armatura principale interna	F16 /100			2011 mm ²

Soletta inferiore di spessore 60 cm

con armatura principale superiore	F26 /100	+	F26 /100	10619 mm ²
con armatura principale inferiore	F28 /100	+	F28 /100	12315 mm ²

Le pareti non necessitano di armatura a taglio.

La soletta inferiore non necessita di armatura a taglio.

(Le armature a taglio sono state disposte ove non risultano soddisfatte le verifiche con V_{rd} senza armatura a taglio)

Le armature di ripartizione sono:

	Armature di ripartizione:	Area:	% Arm. principale:		
Pareti	F16 /100 2 strati	4021.2 mm ²	20%	di	19666 mm ²
Soletta inferiore	F16 /100 2 strati	4021.2 mm ²	18%	di	22934 mm ²

Incidenza armature:

Larghezza utile	Lint	2.00 m	Spessore piedritti	Sp	0.60 m
Altezza libera	Hint	5.80 m	Spessore fondazione	Sf	0.60 m
incidenza sovrapp.		20%	copriferro	c	0.10 m

Elem.	Ø1 sup/int [mm]	pass1 [mm]	Ø2 sup/int [mm]	pass2 [mm]	Ø3 inf/ext [mm]	pass3 [mm]	Ø4 inf/ext [mm]	pass4 [mm]	Øleg [mm]	Øleg pass1 [mm]	Øleg pass2 [mm]
piedritto incastro	26	100	24	100	26	100	24	100	0	1000	1000
piedritto mezzeria	16	100	0	1000	16	100	0	1000	0	1000	1000
fondaz.	26	100	26	100	28	100	28	100	0	1000	1000
ripartiz.	16	100	x	2 strati							
Elem.	LØ [m]	Lleg [mm]	Vol [m ³]	Peso [kg]	incd [kg/m ³]	Inc%					
piedritto incastro	7.60	0.60	3.5	1408	405	58%					
piedritto mezzeria	7.60	0.60	3.5	288	83	12%					
fondaz.	3.80	0.60	1.9	821	428	17%					
ripartiz.			8.9	682	77	14%					
TOTALE			8.9	4894	551	100%					

5. SEZIONE 2 - SEZIONE SCATOLARE

5.1. GEOMETRIA

Larghezza utile	Lint	2.00 m	luce interna scatolare
Altezza libera	Hint	5.15 m	altezza interna scatolare
Spessore piedritti	Sp	0.60 m	(consigliato: $Sp = Ss$)
Spessore soletta	Ss	0.40 m	(consigliato: $Ss = Lint / 10 + 10cm.$)
Spessore fondazione	Sf	0.60 m	(consigliato: $Sf = Ss + 10cm.$)
Larghezza totale	Ltot	3.20 m	$Lint + 2 \times Sp$
Altezza totale	Htot	6.15 m	$Hint + Sp_s + Sp_f$

5.2. MODELLAZIONE ADOTTATA

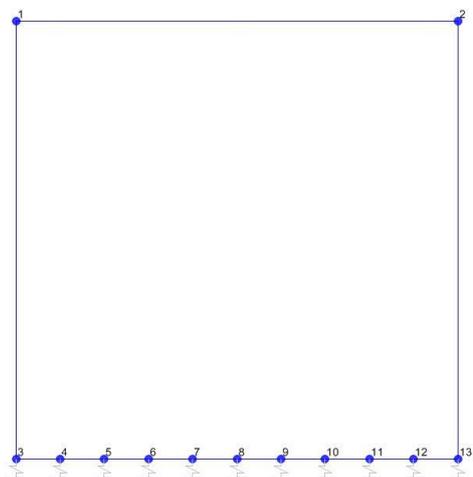
Il modello di calcolo attraverso il quale viene schematizzata la struttura è quello di telaio chiuso su letto di molle alla Winkler. Il programma di calcolo utilizzato è un programma ad elementi finiti, il Sap 2000.

Le caratteristiche delle aste modellate con elementi frame sono le seguenti:

asta	base	altezza	descrizione
Asta 1	100 cm	60 cm	(soletta inferiore)
Aste 2, 4	100 cm	60 cm	(Piedritti)

Le caratteristiche geometriche del modello e le coordinate dei nodi sono le seguenti:

Linterasse	2.60 m
Hinterasse	5.65 m
N.nodi	13
N.nodi sup	2
N.nodi inf	11
N.spazi inf	10



Nodo	X	Z
1	0.000	5.650
2	2.600	5.650
3	0.000	0.000
4	0.260	0.000
5	0.520	0.000
6	0.780	0.000
7	1.040	0.000
8	1.300	0.000
9	1.560	0.000
10	1.820	0.000
11	2.080	0.000
12	2.340	0.000
13	2.600	0.000

Figura 3. Numerazione nodi modello SAP

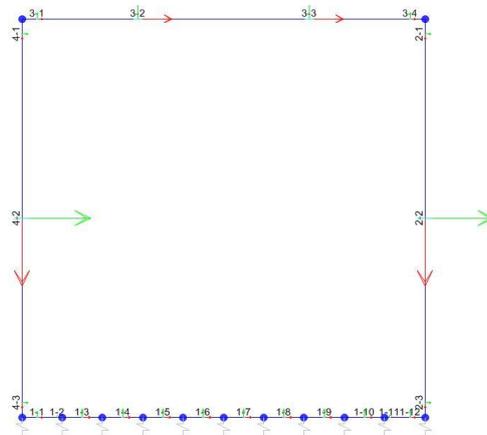


Figura 4: Individuazione elementi modello SAP

L'opera è stata considerata vincolata alla base mediante dei vincoli cedevoli in funzione delle caratteristiche elastiche del terreno di sottofondo.

La soletta inferiore viene divisa in 10 elementi per poter schematizzare, tramite le molle applicate, l'interazione terreno-struttura. Per la rigidità delle molle, nel caso in esame, si assume il valore del Modulo di reazione verticale desunto dai parametri della relazione geotecnica:

Rigidità molle nodali SAP

ks		4155 kN/m ³
nodi centrali (6,7,8,9,10)		
Linfl		0.260 m
Kcentrale	ks x Linfl x 1	1080 kN/m
nodi intermedi (4,5,11,12)		
Linfl		0.260 m
Kintermedio	1,5 x ks x Linfl x 1	1620 kN/m
nodi estremità (3,13)		
Linfl		0.430 m
Kestremità	2,0 x ks x Linfl x 1	3573 kN/m

5.3. ANALISI DEI CARICHI

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche delle sezioni della struttura in esame.

Peso proprio della struttura (condizione DEAD)

Il peso proprio delle solette e dei piedritti viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato considerando per il calcestruzzo $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$.

Peso specifico calcestruzzo armato	γ_{cls}	25 kN/m ³	
peso soletta superiore	P_{ss}	10.00 kN/m	$\gamma_{cls} \times S_s$
peso singolo piedritto	P_p	15.00 kN/m	$\gamma_{cls} \times S_p$
peso fondazione	P_{sf}	15.00 kN/m	$\gamma_{cls} \times S_f$

Spinta del terreno (condizioni SPTSX e SPTDX)

angolo di attrito rinterro	ϕ'	38.0 [°]	0.663 [rad]
coefficiente spinta attiva k_a	k_a	0.238	$(1 - \tan\phi) / (1 + \tan\phi)$
coefficiente spinta riposo k_o	k_o	0.384	$(1 - \tan\phi)$
coefficiente spinta passiva k_p	k_p	4.204	$(1 + \tan\phi) / (1 - \tan\phi)$
Pressione asse soletta superiore	P_2	0.00 kN/m ²	$Z=0$
Pressione asse soletta inferiore	P_3	41.89 kN/m ²	$k_o \times \gamma t \times (H_{int} + S_f / 2)$
Pressione intradosso soletta inferiore	P_4	44.20 kN/m ²	$k_o \times (P_b + P_r + P_m + \gamma_r \times H_{tot})$
Forza concentrata asse soletta inferiore	F_2	12.91 kN/m	$(P_3 + P_4) / 2 \times S_f / 2$

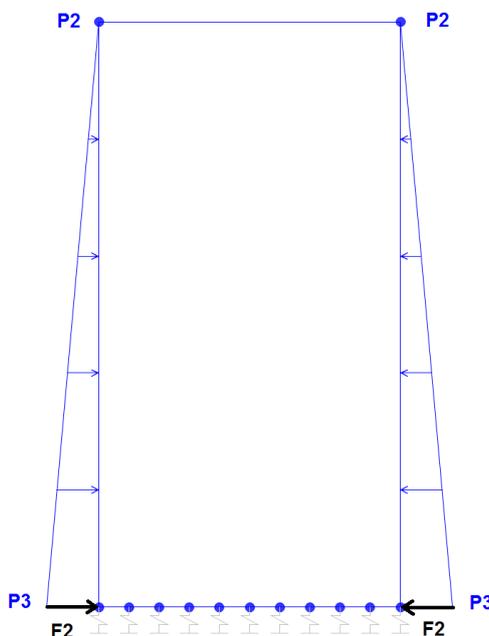


Figura 6. Condizione di carico SPTDX-SPTSX da SAP2000

Il carico concentrato nel nodo 3 (per la SPTSX) oppure 13 (per la SPTDX) rappresentano la parte di spinta del terreno esercitata su 1/2 spessore della soletta inferiore.

Carichi accidentali, ripartizione carichi verticali (condizione ACCM)

Il carico del treno di riferimento è il più gravoso tra LM71 e SW/2

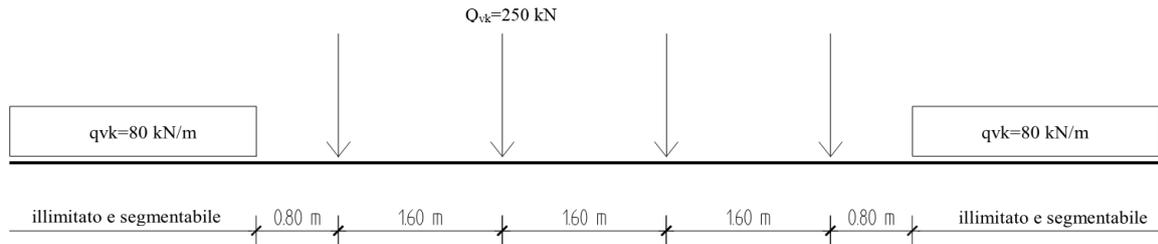


Figura 7. Treno LM71

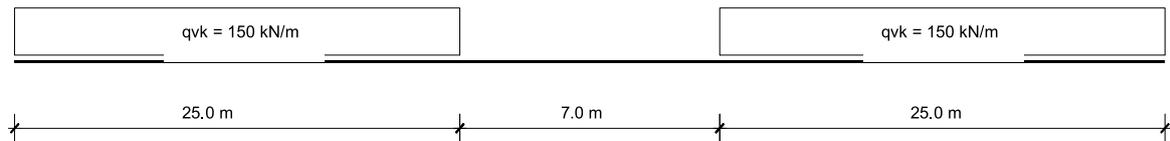


Figura 8. Treno SW/2

In funzione delle caratteristiche geometriche dell'opera risulta più sfavorevole il carico dovuto al treno SW/2 rispetto al carico dovuto al treno LM71. Nei calcoli pertanto sarà utilizzato il valore del SW/2

CARICO TRENO (ACCM SW/02)

Carico treno SW/2	q	150.00 kN/m
Larghezza di diffusione del carico	Ld	3.50 m
Carico distribuito per treno SW/2 diffuso	qv	42.86 kN/m ²

Inoltre si considera il carico accidentale dovuto alla presenza di persone sui marciapiedi così come prescritto nelle NTC2018 §5.2.2.2.2

CARICO FOLLA (ACCMQ)

Carico distribuito su soletta superiore	PQ1	10.00 kN/m ²
---	-----	-------------------------

Il carico accidentale dovuto alla presenza delle persone è stato applicato sulla soletta superiore come carico verticale distribuito; il carico accidentale dovuto al transito dei treni, invece, è stato utilizzato solo per il calcolo della spinta sui muri laterali.

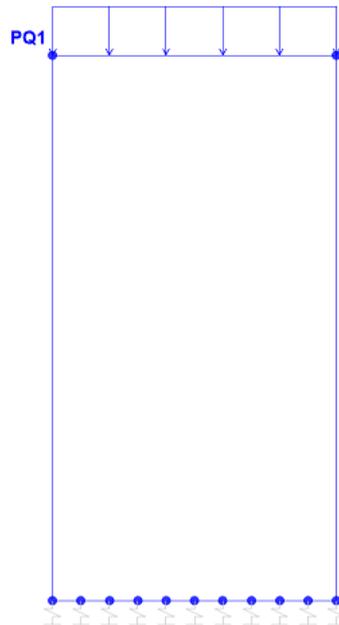


Figura 9. Condizione di carico ACCM da SAP2000

Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico (condizioni SPACCSXSW/02 e SPACCDXSW/02)

Carico distrib treno SW/2 sui piedritti	Sqv	16.47 kN/m ²	$qv \times Ko$
Spinta semispessore soletta superiore	Fq1sup	3.29 kN/m	$Sqv \times SPs / 2$
spinta semispessore soletta inferiore	Fq1inf	4.94 kN/m	$Sqv \times SPi / 2$

Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico (condizioni SPACCSXQ e SPACCDXQ)

Carico distrib folla sui piedritti	SQ1	3.84 kN/m ²	$PQ1 \times Ko$
Spinta semispessore soletta superiore	Fq1sup	0.77 kN/m	$SQ1 \times SPs / 2$
Spinta semispessore soletta inferiore	Fq1inf	1.15 kN/m	$SQ1 \times SPi / 2$

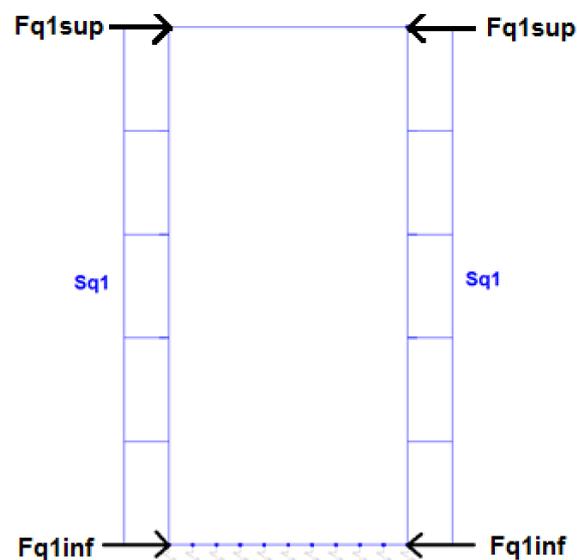


Figura 10. Condizione di carico SPACCSXQ/SW02 e SPACCDXQ/SW02 da SAP2000

Azioni termiche (condizione TERM)

Alla soletta superiore si applica una variazione termica uniforme pari a $\Delta t = \pm 15^{\circ}\text{C}$ ed una variazione nello spessore tra estradosso ed intradosso pari a $\Delta t = \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Variazione termica uniforme	ΔT_{unif}	+ -15.00 [°]	<i>Sulla soletta superiore</i>
Variazione termica differenziale	ΔT_{diff}	+ -5.00 [°]	<i>Sulla soletta superiore</i>
	Gradiente	+ -12.50 [°/m]	$\Delta T_{diff} / S_s$

Ritiro igrometrico (condizione RITIRO)

Gli effetti del ritiro vanno valutati a “lungo termine” attraverso il calcolo dei coefficienti di ritiro finale $\epsilon_{cs}(t, t_0)$ e di viscosità $\phi(t, t_0)$, come definiti nell'EUROCODICE 2- UNI EN 1992-1-1 Novembre 2005 e D. M. 17-01-2018.

I fenomeni di ritiro vengono considerati agenti solo sulla soletta di copertura ed applicati nel modello come una variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro:

Variazione termica uniforme equivalente	ΔT_{ritiro}	-[11.59°]	<i>Sulla soletta superiore</i>
---	---------------------	------------------	--------------------------------

CONDIZIONI DI CARICO SISMICHE

Per il calcolo dell'azione sismica si utilizza il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico k . Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

Forza sismica orizzontale $F_h = k_h \cdot W$

Forza sismica verticale $F_v = k_v \cdot W$

I valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v

$$k_h = a_{\max} / g$$

$$k_v = \pm 0,5 \times k_h$$

Con riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale, ai fini del calcolo dell'azione sismica secondo il DM 17/01/2018 viene assegnata all'opera una vita nominale V_N ed una classe d'uso C_u ; segue un periodo di riferimento $V_R = V_N \cdot C_u$.

A seguito di tale assunzione si ottiene allo stato limite ultimo SLV in funzione della Latitudine e Longitudine del sito in esame un valore dell'accelerazione pari ad a_g , il cui valore è di seguito riportato, come desunto anche dalla relazione geotecnica.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima per la determinazione delle forze di inerzia può essere valutata con la relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$$

*Le forze di inerzia sullo **scatolare** (masse di peso proprio soletta superiore e piedritti, rinterro e ballast, 20% treno di carico,...) sono pari alle masse moltiplicate per k_h e k_v ove: $k_h = \beta M \cdot S \cdot a_g / g$ e $k_v = k_h / 2$. Essendo lo scatolare non libero di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, $\beta M = 1$.*

vita nominale	V_N	75 anni
classe d'uso	CL	III
coefficiente d'uso	C_U	1.50
vita di riferimento = $C_U \cdot V_N$	V_R	112.5 anni
probabilità di superamento nel periodo di riferimento	P_{VR}	10%
periodo di ritorno del sisma	T_R	1068 anni

Spettro di risposta in accelerazione della componente orizzontale

Coordinate del sito in oggetto:

Latitudine	40.64541
Longitudine	14.83342

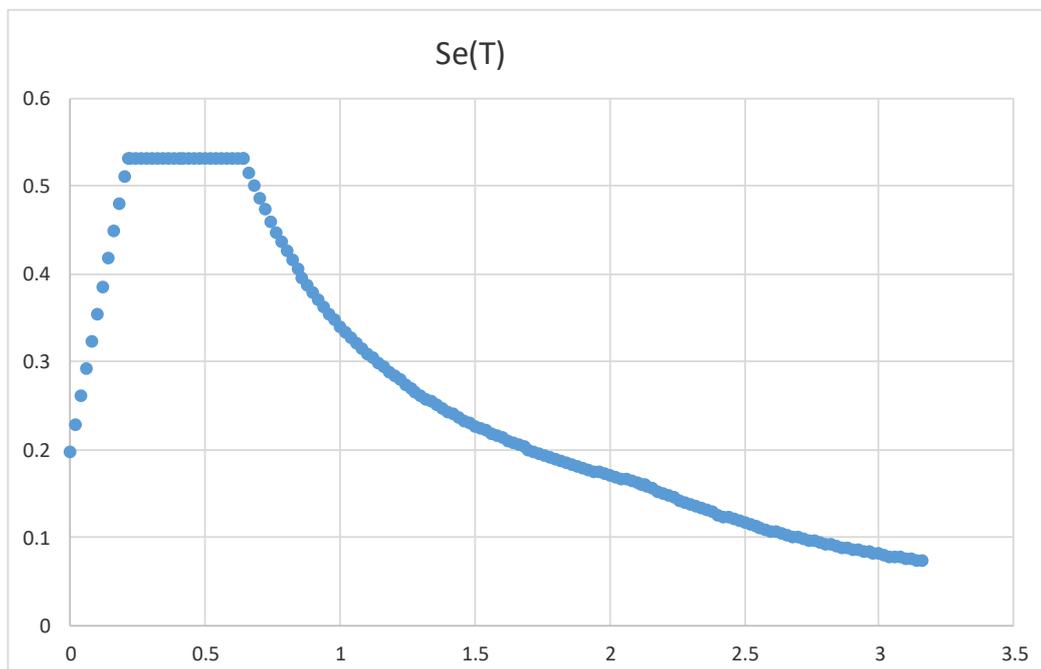
Parametri sismici di progetto

accelerazione massima orizzontale al bedrock	ago	0.128 g
fattore amplificazione massima spettro accelerazione	Fo	2.719 sec
periodo inizio tratto a velocità costante spettro acc. orizz.	T*c	0.475
categoria sottosuolo		C
categoria topografica		T1
amplificazione topografica	S _T	1.000
smorzamento viscoso convenzionale	ξ	5%
fattore di correzione per ξ <> 5%	η	1.000

Tab.3.2.V	S _S	C _C	S _S	C _C
A	1.00	1.00	1.49	1.34
B	1.20	1.28		
C	1.49	1.34		
D	1.80	1.81		
E	1.60	1.55		

coefficiente amplificazione stratigrafica	S _S	1.491
coefficiente di amplificazione	S	1.491
coefficiente categoria sottosuolo	C _C	1.342
periodo inizio tratto a accelerazione costante = T _c / 3	T _B	0.213 sec
periodo inizio tratto a velocità costante = C _c * T*c	T _C	0.638 sec
periodo inizio tratto a spostamento costante = 4 * ag/g + 1,6	T _D	2.112 sec
accelerazione massima orizzontale al suolo = S _s x S _t x ag/g	ago,max	0.191 g

SPETTRO ORIZZONTALE ELASTICO SLV



Accelerazioni per il calcolo delle forze di inerzia agenti sullo scatolare

Coefficiente di riduzione dell'acc max attesa al sito		β	1.000
$a_o = k_h = a_{g,max} = S \times a_{g/g}$	valore $PGA \times$ scatolare	$a_o = k_h$	0.1909 g
$a_v = k_v = k_h / 2$	valore $PGA \times$ scatolare	$a_v = k_v$	0.0954 g

Forze di inerzia (condizione SismaH)

Forza di inerzia treno di carico - (%)	%	20%	
Forza orizzontale sulla soletta di copertura	F''_h	3.82 kN/m	$(P_{ss}+P_{Q1}) \times k_b$
Forza orizzontale su singolo piedritto	F'''_h	2.86 kN/m²	$P_p \times k_b$

Forze di inerzia (condizione SismaV)

Forza di inerzia treno di carico - (%)	%	20%	
Forza verticale sulla soletta di copertura	F''_v	2.39 kN/m²	$(P_{ss}+P_{Q1}) \times k_v$

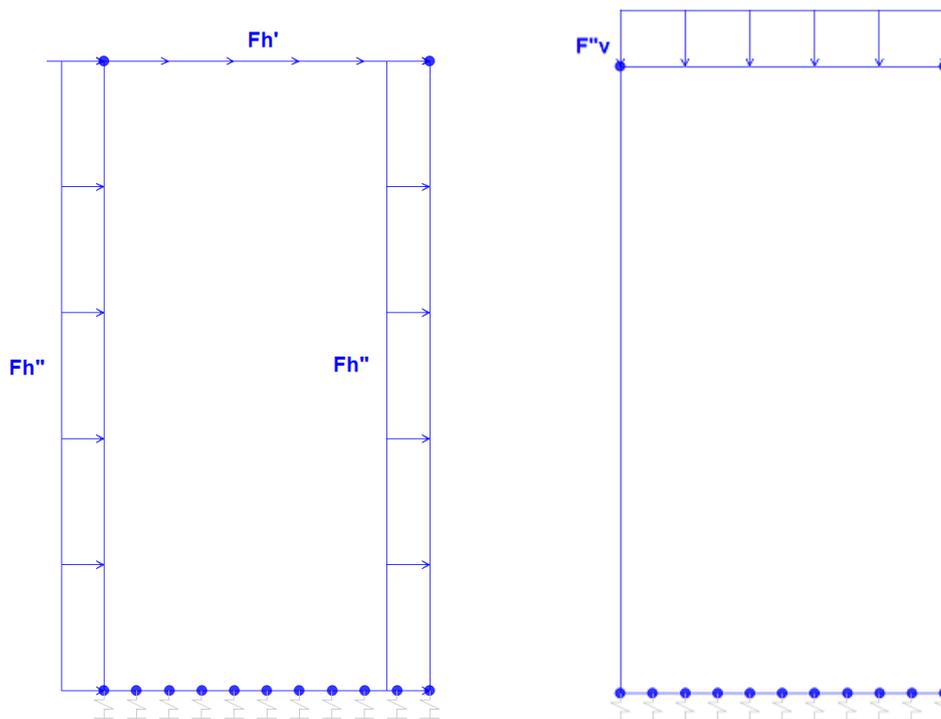
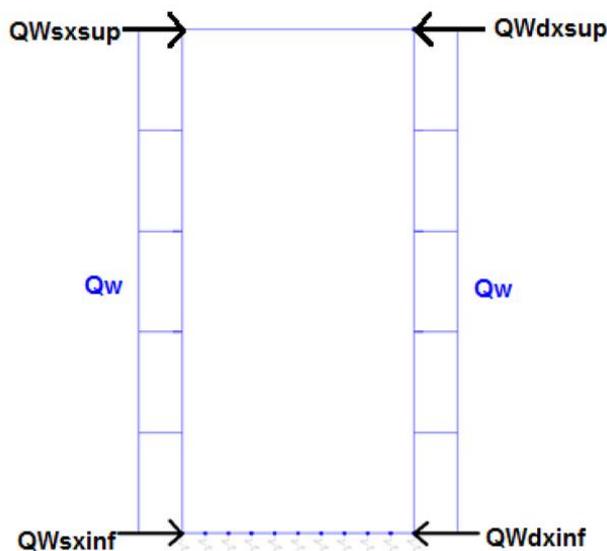


Figura 11. Condizione di carico SismaH e SismaV da SAP2000

Spinta sismica terreno - Teoria di WOOD (condizioni SPSSX e SPSSX)

Forza distribuita sui piedritti	Q_w	27.02 kN/m²	$(\%q_v+P_{Q1} + \gamma_r \times H_{tot}) \times (a_{g,max})$
Forza concentrata nodo superiore piedritti	Q_{Wsup}	5.40 kN	$q_{Wsx} \times S_f / 2$
Forza concentrata nodo inferiore piedritti	Q_{Winf}	8.11 kN	$q_{Wsx} \times S_f / 2$



5.4. COMBINAZIONI DI CARICO

Gli effetti dei carichi verticali, dovuti alla presenza dei convogli, vengono sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti di cui alla Tabella 5.2.IV del DM 17/01/2018 di seguito riportata. In particolare, per ogni gruppo viene individuata una azione dominante che verrà considerata per intero; per le altre azioni, vengono definiti diversi coefficienti di combinazione. Ogni gruppo massimizza una particolare condizione alla quale la struttura dovrà essere verificata.

Tab. 5.2.III - Carichi mobili in funzione del numero di binari presenti sul ponte

Numero di binari	Binari Carichi	Traffico normale		Traffico pesante ⁽²⁾
		caso a ⁽¹⁾	caso b ⁽¹⁾	
1	Primo	1,0 (LM 71"++SW/0)	-	1,0 SW/2
2	Primo	1,0 (LM 71"++SW/0)	-	1,0 SW/2
	secondo	1,0 (LM 71"++SW/0)	-	1,0 (LM 71"++SW/0)
≥3	Primo	1,0 (LM 71"++SW/0)	0,75 (LM 71"++SW/0)	1,0 SW/2
	secondo	1,0 (LM 71"++SW/0)	0,75 (LM 71"++SW/0)	1,0 (LM 71"++SW/0)
	Altri	-	0,75 (LM 71"++SW/0)	-

⁽¹⁾ LM71 "++" SW/0 significa considerare il più sfavorevole fra i treni LM 71, SW/0

⁽²⁾ Salvo i casi in cui sia esplicitamente escluso

Tab. 5.2.IV - Valutazione dei carichi da traffico

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,0	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,0	0,0	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,0	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0,8 (0,6;0,4)	-	0,8 (0,6;0,4)	0,8 (0,6;0,4)	0,8 (0,6;0,4)	Fessurazione

(1) Includendo tutti i valori (F; a; etc..)

(2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1.0), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1,2 e 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali

I valori campiti in grigio rappresentano l'azione dominante.

Nelle tabelle sopra riportate è indicato un coefficiente per gli effetti a sfavore di sicurezza e, tra parentesi, un coefficiente, minore del precedente, per gli effetti a favore di sicurezza.

In fase di combinazione, ai fini delle verifiche degli SLU e SLE per la verifica delle tensioni, si sono considerati i soli Gruppo 1 e 3, mentre per la verifica a fessurazione è stato utilizzato il Gruppo 4. Nella tabella 5.2.III vengono riportati i carichi da utilizzare in caso di impalcati con due, tre o più binari carichi.

I Gruppi definiscono le azioni che nelle diverse combinazioni sono generalmente definite come Q_{ki} .

I coefficienti di amplificazione dei carichi g e i coefficienti di combinazione ψ sono riportati nelle tabelle seguenti.

In particolare nel calcolo della struttura scatolare si fa riferimento alla combinazione A1 STR.

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Coefficiente			EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁵⁾	1,00 ⁽⁶⁾	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	γ_{Ce}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole	d	1,20	1,20	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

⁽²⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

⁽³⁾ Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

⁽⁴⁾ Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.

⁽⁵⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

⁽⁶⁾ 1,20 per effetti locali

 Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione Ψ delle azioni

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr_1	0,80 ⁽¹⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr_2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	gr_3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr_4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione SLU e SLE	0,80 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0
Azioni termiche	T_k	0,60	0,60	0,50

⁽¹⁾ 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

⁽²⁾ Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Le azioni descritte nel paragrafo precedente ed utilizzate nelle combinazioni di carico vengono di seguito riassunte:

Peso proprio	DEAD
Spinta del terreno sulla parete sinistra	SPTSX
Spinta del terreno sulla parete destra	SPTDX
Carico Accidentale Q	ACCMQ
Spinta del carico acc. (SW/2) sulla parete Sx	SPACCSXSW/2
Spinta del carico acc. (Q) Sulla parete Dx	SPACCDXQ
Variazione termica sulla soletta superiore	ENV_TERM
Ritiro	RITIRO
Azione sismica orizzontale	Sisma H
Azione sismica Verticale	Sisma V
Incremento sismico della spinta sul terreno	SPSDX/SX

La 4 condizioni di carico termiche:

$$\Delta T_{\text{uniforme}} = \pm 15^\circ$$

$$\Delta T_{\text{differenziale}} = \pm 5^\circ$$

e le loro 4 combinazioni sono state preventivamente inviluppate nella condizione ENV_TERM, la quale viene impiegata nelle successive combinazioni di carico per massimizzare gli effetti termici.

Si riportano di seguito le combinazioni allo SLU di carico ritenute più significative in base all'esperienza.

Combinazione fondamentale:

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

Nelle tabelle seguenti sono riportate le combinazioni di carico SLU, SLV e SLE utilizzate.

Combinazioni di carico SLU (non sismiche)											
	1slu	2slu	3slu	4slu	5slu	6slu	7slu	8slu	9slu	10slu	11slu
DEAD	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
SPTSX	1	1	1	1	1.35	1	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
SPTDX	1	1	1	1.35	1.35	1.35	1	1	1	1	1
ACCMQ	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	1.5	1.5	1.2	1.2	1.5
SPACCSXSW/2	0	0	0	0	0	0	1.45	1.45	0	0	0
SPACCDXSW/2	1.45	0	0	1.45	1.45	1.45	0	0	1.16	1.16	1.015
SPACCSXQ	0	0	0	0	0	0	1.35	1.35	0	0	0
SPACCDXQ	1.35	0	0	1.35	1.35	1.35	0	0	1.08	1.08	0.945
ENV_TERM	0	-0.9	0	0	0	0	0.9	-0.9	-1.5	1.5	0.9
RITIRO	0	1.2	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2

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

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

dove:

$$E = \pm 1.00 \times E_Y \pm 0.30 \times E_Z \quad \text{oppure} \quad E = \pm 0.30 \times E_Y \pm 1.00 \times E_Z$$

Combinazioni di Carico Sismiche								
	sh1	sh2	sh3	sh4	sv1	sv2	sv3	sv4
DEAD	1	1	1	1	1	1	1	1
SPTSX	1	1	1	1	1	1	1	1
SPTDX	1	1	1	1	1	1	1	1
ACCMQ	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
SPACCSXSW/2	0	0	0	0	0	0	0	0
SPACCDXSW/2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
SPACCSXQ	0	0	0	0	0	0	0	0
SPACCDXQ	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
EMV_TERM	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
RITIRO	0	0	0	0	0	0	0	0
Sisma H	1	1	1	1	0.3	0.3	0.3	0.3
Sisma V	0.3	-0.3	0.3	-0.3	-1	1	-1	1
SPSDX	0	0	1	1	0	0	0.3	0.3
SPSSX	1	1	0	0	0.3	0.3	0	0

Le combinazioni sismiche vanno eseguite in entrambe le direzioni pertanto le combinazioni SH vanno ripetute per Sisma H = -1 e le combinazioni SV per Sisma V=-0.3.

Si riportano infine,le combinazioni di carico agli stati limite di esercizio SLE ritenute più significative.

Combinazione rara

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

Combinazioni di carico SLE			
	1sle	2sle	2sle
DEAD	1	1	1
SPTSX	1	1	1
SPTDX	0.8	0.8	0.8
ACCMQ	0.7	0.7	0.7
SPACCSXSW/2	0.8	0.8	0.8
SPACCDXSW/2	0.8	0.8	0
SPACCSXQ	0.7	0.7	0.7
SPACCDXQ	0.7	0.7	0
EMV_TERM	-0.6	0.6	-0.6
RITIRO	0	0	1

5.5. CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI

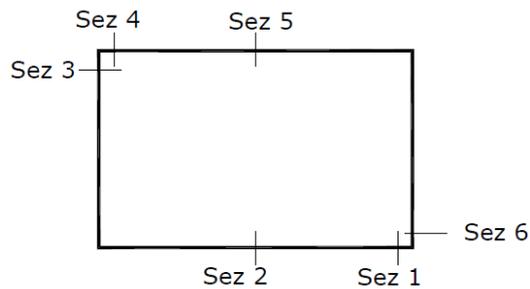
5.5.1. Inviluppo SLU/SLV

USCITA SAP - INVILUPPO SLU SLV							
Text Frame	m Station	Text OutputCase	Text CaseType	Text StepType	KN P	KN V2	KN-m M3
1	0.26	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	0.0	184.4	270.5
1	0.37	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	0.0	186.6	250.2
1	0.48	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	0.0	188.8	229.6
1	0.59	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	0.0	198.4	208.3
1	0.70	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	0.0	200.6	186.5
1	0.81	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	0.0	199.5	164.5
1	0.92	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	0.0	201.7	142.5
1	1.03	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	0.0	203.9	120.3
1	1.14	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	0.0	194.6	99.0
1	1.25	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	0.0	196.8	79.4
1	1.35	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	0.0	179.3	76.4
1	1.46	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	0.0	181.5	94.2
1	1.57	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	0.0	155.7	115.2
1	1.68	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	0.0	157.9	136.4
1	1.79	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	0.0	160.2	157.6
1	1.90	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	0.0	126.2	178.2
1	2.01	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	0.0	128.4	198.6
1	2.12	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	0.0	64.0	218.0
1	2.23	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	0.0	66.3	236.1
1	2.34	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	0.0	68.5	254.1
1	0.26	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	0.0	-90.0	-92.0
1	0.37	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	0.0	-88.3	-84.6
1	0.48	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	0.0	-86.7	-77.5
1	0.59	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	0.0	-141.5	-66.0
1	0.70	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	0.0	-139.9	-52.1
1	0.81	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	0.0	-167.7	-37.4
1	0.92	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	0.0	-166.0	-20.0
1	1.03	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	0.0	-164.4	-3.8
1	1.14	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	0.0	-184.0	4.3
1	1.25	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	0.0	-182.3	3.4
1	1.35	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	0.0	-196.8	3.4
1	1.46	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	0.0	-194.6	4.3
1	1.57	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	0.0	-203.9	-11.3
1	1.68	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	0.0	-201.7	-25.2
1	1.79	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	0.0	-199.5	-41.7
1	1.90	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	0.0	-200.6	-56.4
1	2.01	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	0.0	-198.4	-70.3
1	2.12	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	0.0	-188.8	-81.8
1	2.23	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	0.0	-186.6	-88.9
1	2.34	ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	0.0	-184.4	-96.3

Posto di incrocio S. Leonardo:
Sottopasso - Relazione di calcolo muro scale

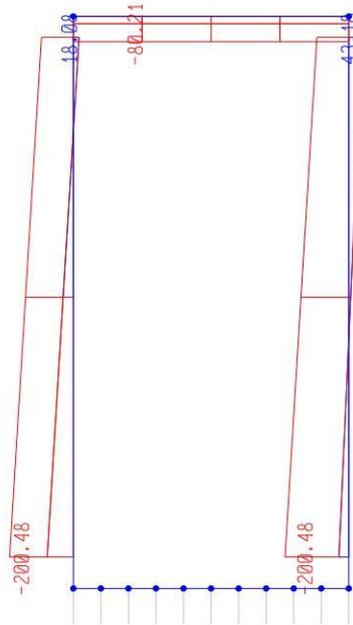
COMMESSA NN1X	LOTTO 00 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL.02.0.0.003	REV. B	FOGLIO 54 di 69
------------------	------------------	----------------	----------------------------	-----------	--------------------

2	0.20 ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	43.2	-22.9	59.2
2	2.68 ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	6.1	45.6	96.2
2	5.15 ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	-31.0	218.0	102.9
2	0.20 ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	-100.3	-78.9	-113.4
2	2.68 ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	-150.4	-51.6	26.0
2	5.15 ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	-200.5	22.9	-223.1
3	0.00 ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	-23.1	22.1	64.3
3	0.65 ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	-23.1	40.7	48.9
3	1.30 ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	-23.1	59.2	23.2
3	1.95 ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	-23.1	77.7	40.7
3	2.60 ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	-23.1	96.2	48.0
3	0.00 ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	-80.2	-96.2	-114.8
3	0.65 ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	-80.2	-77.7	-68.6
3	1.30 ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	-80.2	-59.2	-39.8
3	1.95 ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	-80.2	-52.7	-76.8
3	2.60 ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	-80.2	-46.2	-129.2
4	0.20 ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	18.1	80.0	99.7
4	2.68 ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	-32.0	48.1	-26.0
4	5.15 ENVELOPE SLUSLV	Combination	Max	-82.1	-26.3	241.2
4	0.20 ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	-100.3	22.9	-74.1
4	2.68 ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	-150.4	-53.1	-93.8
4	5.15 ENVELOPE SLUSLV	Combination	Min	-200.5	-225.5	-103.8

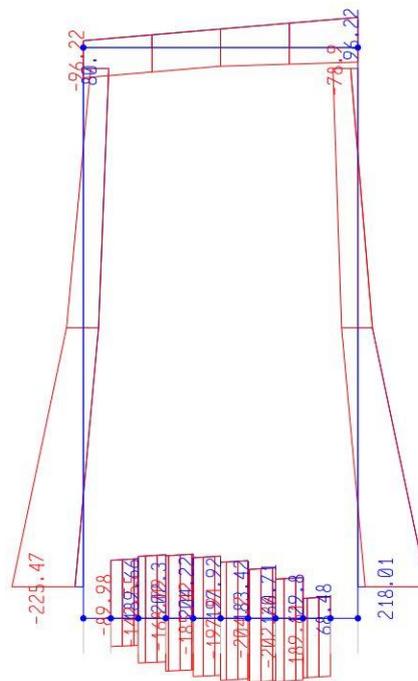


SEZIONE	P	V2	M3
01	0.0	203.9	270.5
02	0.0	0.0	96.3
03	43.2	225.5	113.4
04	0.0	96.2	129.2
05	0.0	0.0	64.3
06	-31.0	225.5	241.2

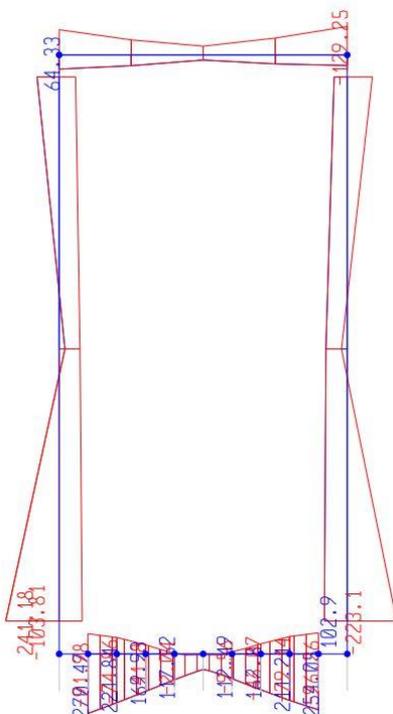
Diagrammi di involuppo delle sollecitazioni: ENVELOPE SLU/SLV



Sforzo normale



Taglio



Momento Flettente

I valori V e M dei diagrammi corrispondono a quelli riportati nella tabella, mentre il valore dello sforzo normale P nei diagrammi (valore massimo) differisce da quello di verifica della tabella, pari a quello di compressione minimo.

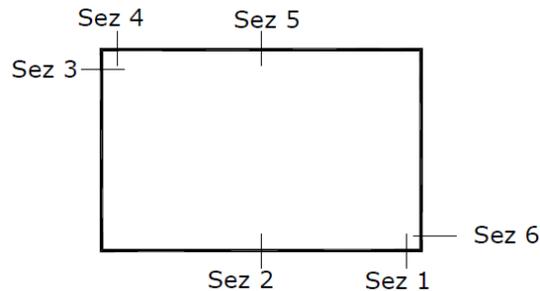
5.5.2. Inviluppo SLE (rara)

USCITA SAP - INVILUPPO SLE RARA							
Text Frame	m Station	Text OutputCase	Text CaseType	Text StepType	KN P	KN V2	KN-m M3
1	0.26	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	110.0	163.6
1	0.36947	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	111.6	151.5
1	0.47895	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	113.3	139.2
1	0.58842	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	114.2	126.7
1	0.69789	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	115.9	114.1
1	0.80737	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	112.5	101.5
1	0.91684	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	114.1	89.1
1	1.02632	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	115.8	76.5
1	1.13579	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	107.9	64.7
1	1.24526	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	109.5	58.0
1	1.35474	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	97.1	56.3
1	1.46421	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	98.8	55.2
1	1.57368	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	81.9	54.1
1	1.68316	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	83.5	54.2
1	1.79263	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	85.2	54.2
1	1.90211	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	63.8	55.2
1	2.01158	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	65.4	56.5
1	2.12105	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	25.7	58.6
1	2.23053	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	27.4	62.1
1	2.34	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	29.0	65.4
1	0.26	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	51.3	77.5
1	0.36947	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	52.9	71.7
1	0.47895	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	54.6	65.9
1	0.58842	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	38.0	61.0
1	0.69789	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	39.7	56.8
1	0.80737	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	28.6	52.7
1	0.91684	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	30.2	49.5
1	1.02632	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	31.8	46.1
1	1.13579	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	20.1	43.8
1	1.24526	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	21.7	36.3
1	1.35474	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	9.3	25.0
1	1.46421	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	11.0	14.3
1	1.57368	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-2.1	3.6
1	1.68316	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-0.4	-5.4
1	1.79263	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	1.2	-14.7
1	1.90211	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-12.5	-22.2
1	2.01158	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-10.8	-29.3
1	2.12105	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-33.1	-34.8
1	2.23053	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-31.4	-37.7
1	2.34	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-29.8	-40.8

Posto di incrocio S. Leonardo:
Sottopasso - Relazione di calcolo muro scale

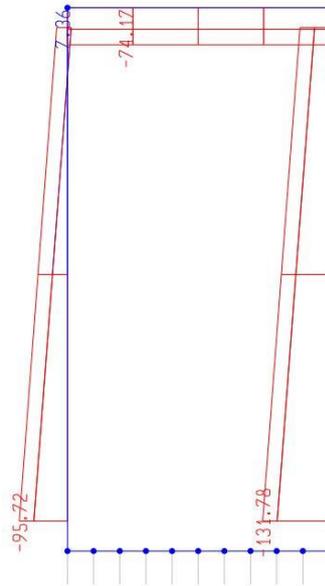
COMMESSA NN1X	LOTTO 00 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL.02.0.0.003	REV. B	FOGLIO 58 di 69
------------------	------------------	----------------	----------------------------	-----------	--------------------

2	0.2	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-28.7	-43.3	-10.7
2	2.675	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-65.8	1.1	72.4
2	5.15	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-102.9	99.9	47.0
2	0.2	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-57.6	-67.7	-65.5
2	2.675	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-94.7	-29.0	38.8
2	5.15	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-131.8	30.5	-47.0
3	0	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-43.4	10.4	33.7
3	0.65	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-43.4	21.4	23.3
3	1.3	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-43.4	32.5	5.8
3	1.95	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-43.4	43.5	-9.9
3	2.6	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-43.4	54.6	-23.1
3	0	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-74.2	-18.5	-38.7
3	0.65	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-74.2	-7.4	-30.3
3	1.3	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-74.2	3.6	-29.0
3	1.95	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-74.2	14.6	-43.9
3	2.6	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-74.2	25.7	-75.7
4	0.2	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	7.4	67.7	24.8
4	2.675	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-29.8	1.1	-53.0
4	5.15	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-66.9	-112.6	144.6
4	0.2	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-21.5	36.9	-41.4
4	2.675	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-58.6	-29.7	-76.9
4	5.15	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-95.7	-143.4	58.4

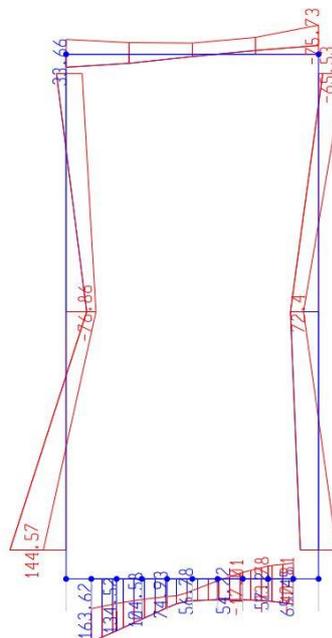


SEZIONE	P	V2	M3
01	0.0	115.9	163.6
02	0.0	0.0	40.8
03	7.4	143.4	65.5
04	0.0	54.6	75.7
05	0.0	0.0	33.7
06	-66.9	143.4	144.6

Diagrammi di involuppo delle sollecitazioni: ENVELOPE SLE (rara)



Sforzo normale



Momento Flettente

Il valore M dei diagrammi corrisponde a quello riportato nella tabella, mentre il valore dello sforzo normale P nei diagrammi (valore massimo) differisce da quello di verifica della tabella, pari a quello di compressione minimo.

5.6. VERIFICHE SLU/SLV/SLE

Oggetto:

Incrocio S. Leonardo - Scala - SEZIONE SCATOLARE

Sezione n°. 01

Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000 mm	Geometria della Sezione:	
H	Altezza sezione rettangolare	600 mm	H	
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70 mm	As' c'	
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70 mm	B	
d	Altezza utile = H-c	530 mm	As c	
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa		
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa		
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	0.0 kN		
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	270.5 kNm		
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	203.9 kN		
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm		
Fi1	1° diametro armatura tesa	20		
Fi2	2° diametro armatura tesa			
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10	Armatura tesa filante	3142 mmq
n2	N°. Barre 2° armatura tesa		Armatura di raffittim.	0 mmq
As'	Armatura superiore compressa	3142 mmq		
As	Armatura inferiore tesa	3142 mmq		
Fi Staffe	Diametro staffe	mm		
s. Staffe	Passo staffe	200 mm		
bracci	Numero Bracci staffe	2		
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2.5 [range: 1,0-2,5]		
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90.0°		
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m	0.00 cmq/m	
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R		
Msle	Momento di esercizio [(+)]	163.6 kNm		
Nsle	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	0.0 kN		
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20 mm		
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0.60 fck		
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0.45 fck		
sigsR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0.80 fyk		

Dati di Output:

SLU - Momento e Taglio resistenti

<S-N>	Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N>	S	Coeff.Sfrutt.Max	76%
Mrd	Momento ultimo resistente	606 kNm	Coeff.Sfrutt.	45%
Vrd	Taglio ultimo resistente senza staffe	268 kN	Coeff.Sfrutt.	76%
Vrd	Taglio ultimo resistente	268 kN	Coeff.Sfrutt.	76%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff.Sfrutt.	

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-27 Mpa	Coeff.Sfrutt.	8%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	110 Mpa	Coeff.Sfrutt.	31%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-3 Mpa	Coeff.Sfrutt.	18%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	200 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.13 mm	Coeff.Sfrutt.	63%

Oggetto:

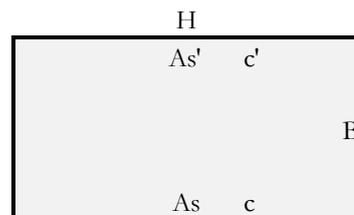
Incrocio S. Leonardo - Scala - SEZIONE SCATOLARE

Sezione n° 02

Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000 mm	
H	Altezza sezione rettangolare	600 mm	
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70 mm	
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70 mm	
d	Altezza utile = H-c	530 mm	
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa	
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa	
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	0.0 kN	
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	96.3 kNm	
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	0.0 kN	
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm	
Fi1	1° diametro armatura tesa	20	
Fi2	2° diametro armatura tesa		
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10 Armatura tesa filante	3142 mmq
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0 Armatura di raffittim.	0 mmq
As'	Armatura superiore compressa	3142 mmq	
As	Armatura inferiore tesa	3142 mmq	
Fi Staffe	Diametro staffe	mm	
s. Staffe	Passo staffe	150 mm	
bracci	Numero Bracci staffe	2	
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2.5 [range: 1,0-2,5]	
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90.0°	
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m	0.00 cmq/m
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R	
Msle	Momento di esercizio [(+)]	40.8 kNm	
Nsle	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	0.0 kN	
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20 mm	
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0.60 fck	
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0.45 fck	
sigsR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0.80 fyk	

Geometria della Sezione:



Dati di Output:

SLU - Momento e Taglio resistenti

<S-N>	Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N>	S	Coeff.Sfrutt.Max	16%
Mrd	Momento ultimo resistente	606 kNm	Coeff.Sfrutt.	16%
Vrd	Taglio ultimo resistente senza staffe	268 kN	Coeff.Sfrutt.	0%
Vrd	Taglio ultimo resistente	268 kN	Coeff.Sfrutt.	0%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff.Sfrutt.	

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-7 Mpa	Coeff.Sfrutt.	2%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	28 Mpa	Coeff.Sfrutt.	8%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-1 Mpa	Coeff.Sfrutt.	4%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	200 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.03 mm	Coeff.Sfrutt.	16%

Oggetto:

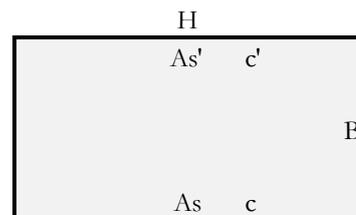
Incrocio S. Leonardo - Scala - SEZIONE SCATOLARE

Sezione n°. 03

Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000 mm		
H	Altezza sezione rettangolare	600 mm		
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70 mm		
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70 mm		
d	Altezza utile = H-c	530 mm		
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa		
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa		
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	43.2 kN		
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	113.4 kNm		
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	225.5 kN		
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm		
Fi1	1° diametro armatura tesa	20		
Fi2	2° diametro armatura tesa			
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10 Armatura tesa filante	3142 mmq	
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0 Armatura di raffittim.	0 mmq	
As'	Armatura superiore compressa	3142 mmq		
As	Armatura inferiore tesa	3142 mmq		
Fi Staffe	Diametro staffe			
s. Staffe	Passo staffe	200 mm		
bracci	Numero Bracci staffe	2		
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2.5 [range: 1,0-2,5]		
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90.0°		
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m	0.00 cmq/m	
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R		
Mslc	Momento di esercizio [(+)]	65.5 kNm		
Nslc	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	7.4 kN		
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20 mm		
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0.60 fck		
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0.45 fck		
sigsR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0.80 fyk		

Geometria della Sezione:



Dati di Output:

SLU - Momento e Taglio resistenti

<S-N>	Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N>	S	Coeff.Sfrutt.Max	86%
Mrd	Momento ultimo resistente	596 kNm	Coeff.Sfrutt.	19%
Vrd	Taglio ultimo resistente senza staffe	262 kN	Coeff.Sfrutt.	86%
Vrd	Taglio ultimo resistente	262 kN	Coeff.Sfrutt.	86%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff.Sfrutt.	

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-11 Mpa	Coeff.Sfrutt.	3%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	45 Mpa	Coeff.Sfrutt.	13%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-1 Mpa	Coeff.Sfrutt.	7%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	199 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.06 mm	Coeff.Sfrutt.	32%

Oggetto:

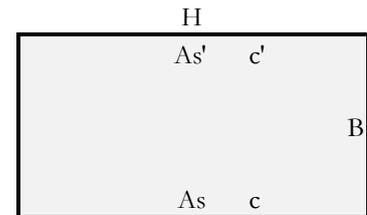
Incrocio S. Leonardo - Scala - SEZIONE SCATOLARE

Sezione n°. 04

Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000 mm	
H	Altezza sezione rettangolare	400 mm	
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70 mm	
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70 mm	
d	Altezza utile = H-c	330 mm	
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa	
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa	
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	0.0 kN	
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	129.2 kNm	
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	96.2 kN	
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm	
Fi1	1° diametro armatura tesa	20	
Fi2	2° diametro armatura tesa		
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10	Armatura tesa filante 3142 mmq
n2	N°. Barre 2° armatura tesa		Armatura di raffittim. 0 mmq
As'	Armatura superiore compressa	3142 mmq	
As	Armatura inferiore tesa	3142 mmq	
Fi Staffe	Diametro staffe	mm	
s. Staffe	Passo staffe	150 mm	
bracci	Numero Bracci staffe	2	
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2.5 [range: 1,0-2,5]	
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90.0°	
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m	0.00 cmq/m
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R	
Msle	Momento di esercizio [(+)]	75.7 kNm	
Nsle	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	0.0 kN	
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20 mm	
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0.60 fck	
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0.45 fck	
sigsR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0.80 fyk	

Geometria della Sezione:



Dati di Output:

SLU - Momento e Taglio resistenti

<S-N>	Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N>	S	Coeff.Sfrutt.Max	45%
Mrd	Momento ultimo resistente	360 kNm	Coeff.Sfrutt.	36%
Vrd	Taglio ultimo resistente senza staffe	215 kN	Coeff.Sfrutt.	45%
Vrd	Taglio ultimo resistente	215 kN	Coeff.Sfrutt.	45%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff.Sfrutt.	

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-21 Mpa	Coeff.Sfrutt.	6%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	85 Mpa	Coeff.Sfrutt.	24%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-3 Mpa	Coeff.Sfrutt.	18%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	93 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.08 mm	Coeff.Sfrutt.	41%

Oggetto:

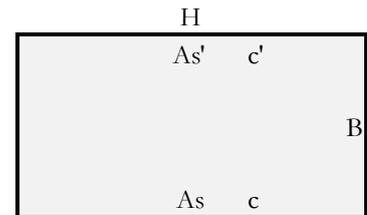
Incrocio S. Leonardo - Scala - SEZIONE SCATOLARE

Sezione n° 05

Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000 mm		
H	Altezza sezione rettangolare	400 mm		
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70 mm		
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70 mm		
d	Altezza utile = H-c	330 mm		
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa		
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa		
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	0.0 kN		
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	64.3 kNm		
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	0.0 kN		
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm		
Fi1	1° diametro armatura tesa	20		
Fi2	2° diametro armatura tesa			
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10	Armadura tesa filante	3142 mmq
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0	Armadura di raffittim.	0 mmq
As'	Armadura superiore compressa	3142 mmq		
As	Armadura inferiore tesa	3142 mmq		
Fi Staffe	Diametro staffe	mm		
s. Staffe	Passo staffe	150 mm		
bracci	Numero Bracci staffe	2		
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2.5 [range: 1,0-2,5]		
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90.0°		
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m	0.00 cmq/m	
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R		
Msle	Momento di esercizio [(+)]	33.7 kNm		
Nsle	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	0.0 kN		
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20 mm		
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0.60 fck		
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0.45 fck		
sigsR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0.80 fyk		

Geometria della Sezione:



Dati di Output:

SLU - Momento e Taglio resistenti

<S-N>	Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N>	S	Coeff.Sfrutt.Max	18%
Mrd	Momento ultimo resistente	360 kNm	Coeff.Sfrutt.	18%
Vrd	Taglio ultimo resistente senza staffe	215 kN	Coeff.Sfrutt.	0%
Vrd	Taglio ultimo resistente	215 kN	Coeff.Sfrutt.	0%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff.Sfrutt.	

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-9 Mpa	Coeff.Sfrutt.	3%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	38 Mpa	Coeff.Sfrutt.	11%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-1 Mpa	Coeff.Sfrutt.	8%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	93 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.04 mm	Coeff.Sfrutt.	18%

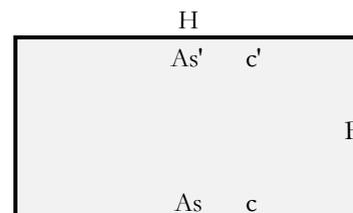
Oggetto:

Incrocio S. Leonardo - Scala - SEZIONE SCATOLARE

Sezione n°. 06

Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000 mm	
H	Altezza sezione rettangolare	600 mm	
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70 mm	
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70 mm	
d	Altezza utile = H-c	530 mm	
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa	
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa	
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	-31.0 kN	
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	241.2 kNm	
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	225.5 kN	
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm	
Fi1	1° diametro armatura tesa	20	
Fi2	2° diametro armatura tesa	0	
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10 Armatura tesa filante	3142 mmq
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0 Armatura di raffittim.	0 mmq
As'	Armatura superiore compressa	3142 mmq	
As	Armatura inferiore tesa	3142 mmq	
Fi Staffe	Diametro staffe	0 mm	
s. Staffe	Passo staffe	200 mm	
bracci	Numero Bracci staffe	2	
cot θ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2.5 [range: 1,0-2,5]	
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90.0°	
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m	0.00 cmq/m
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R	
Mslc	Momento di esercizio [(+)]	144.6 kNm	
Nslc	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	-66.9 kN	
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20 mm	
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0.60 fck	
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0.45 fck	
sigsR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0.80 fyk	

Geometria della Sezione:

Dati di Output:
SLU - Momento e Taglio resistenti

<S-N>	Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N>	S	Coeff.Sfrutt.Max	83%
Mrd	Momento ultimo resistente	613 kNm	Coeff.Sfrutt.	39%
Vrd	Taglio ultimo resistente senza staffe	272 kN	Coeff.Sfrutt.	83%
Vrd	Taglio ultimo resistente	272 kN	Coeff.Sfrutt.	83%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff.Sfrutt.	

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-26 Mpa	Coeff.Sfrutt.	7%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	87 Mpa	Coeff.Sfrutt.	24%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-3 Mpa	Coeff.Sfrutt.	16%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	207 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.10 mm	Coeff.Sfrutt.	50%

Si riportano i coefficienti di sfruttamento nelle sezioni notevoli per le verifiche SLU/SLV/SLE:

SINTESI VERIFICHE SEZIONI NOTEVOLI:							
SL	VERIF	SEZ01	SEZ02	SEZ03	SEZ04	SEZ05	SEZ06
SLU	Med/Mrd	45%	16%	19%	36%	18%	39%
SLU	Ved/Vrd	76%	0%	86%	45%	0%	83%
SLE	(sigse/sigsr)s	8%	2%	3%	6%	3%	7%
SLE	(sigse/sigsr)i	31%	8%	13%	24%	11%	24%
SLE	(sigce/sigce)s	18%	4%	7%	18%	8%	16%
SLE	wk/wklim	63%	16%	32%	41%	18%	50%
	MAX	76%	16%	86%	45%	18%	83%
	MAX	86%					

I coefficienti di sfruttamento sono tutti inferiori all'unità e pertanto le verifiche risultano soddisfatte.

5.7. ARMATURE DI RIPARTIZIONE

Le armature di ripartizione delle pareti e della soletta vengono dimensionate per sostenere gli effetti del ritiro igrometrico i quali generano una trazione pura per deformazioni impedita a causa della soletta inferiore gettata precedentemente e che può aver dissipato tali effetti.

La ϵ ritiro induce nel calcestruzzo una tensione di trazione superiore alla sua resistenza a trazione, ne deriva la fessurazione e il trasferimento di tutta la trazione sull'acciaio teso. Per ottenere delle fessure uniformemente distribuite e non concentrate in alcuni punti con ampiezze macroscopiche, si applica un principio di non plasticizzazione delle armature. Per limitare l'ampiezza delle fessure, pur distribuite, che si ottengono applicando tale principio, si applica quanto previsto al § 7.3.2 dell'Eurocodice 2 - UNI EN 1992 1-1: "Aree minime di armatura", in particolare la formula (7.1):

$$A_{s,min} \cdot \sigma_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}$$

dove:

$A_{s,min}$ è l'area minima di armatura nella zona tesa;

A_{ct} è l'area di calcestruzzo nella zona tesa. La zona tesa è quella parte della sezione che risulta in trazione subito dopo la formazione della prima fessura; è pari a tutta l'area della sezione per trazione pura, alla metà per flessione;

σ_s è la massima tensione ammessa nell'armatura subito dopo la formazione della fessura. Tale tensione può essere assunta pari alla tensione di snervamento f_{yk} dell'armatura. Può essere però necessario fissare un valore minore per soddisfare i limiti di apertura delle fessure secondo il massimo diametro o la massima spaziatura tra le barre (vedere punto 7.3.3).

$f_{ct,eff}$ è il valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo al momento in cui si suppone insorgano le prime fessure;

$f_{ct,eff} = f_{ctm}$ se la formazione delle fessure è prevista prima di 28d;

k è il coefficiente che tiene conto degli effetti di tensioni auto-equilibrate non uniformi, $k=1$

k_c è il coefficiente che tiene conto del tipo di distribuzione delle tensioni all'interno della sezione subito prima della fessurazione e della variazione del braccio di leva; $k_c=1$ per trazione, $k_c=0,4$ per flessione, $k_c = 0,4 \cdot (1 - \text{funz}(\sigma_c))$ nel caso flessione combinata con sforzo normale.

base della sezione		1000 mm
altezza della sezione		400 mm
area sezione calcestruzzo	A_{ct}	400000 mm ²
tensione di snervamento acciaio	f_{yk}	450 Mpa
resist. Caratt. Cilindrica cls a compressione	f_{ck}	30 Mpa
tensione resistente cls a trazione	$f_{ct,eff}=0,3(f_{ck})^{2/3}$	2.90 Mpa
coefficiente k_c	k_c	1.00
coefficiente k	k	1.00
area minima acciaio teso nella sezione	$A_{s,min}$	2575 mm ²

P.to 7.3.3 EC2 1992:1-1): Dove è disposta l'armatura minima indicata al punto 7.3.2, le ampiezze delle fessure non dovrebbero essere eccessive se: per fessurazione causata principalmente da deformazioni impedito, il diametro delle barre non eccede quello dato nel prospetto 7.2N, dove la tensione nell'acciaio è quella che si ha subito dopo la fessurazione [cioè il termine σ_s nell'espressione (7.1)];

prospetto 7.2N **Diametri massimi delle barre ϕ^*_s per il controllo della fessurazione¹⁾**

Tensione nell'acciaio ²⁾ [MPa]	Diametro massimo delle barre [mm]		
	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

1) I valori nel prospetto sono basati sulle seguenti assunzioni:
 $c = 25$ mm; $f_{ct,eff} = 2,9$ MPa; $h_{cr} = 0,5$; $(h - d) = 0,1 h$; $k_1 = 0,8$; $k_2 = 0,5$; $k_c = 0,4$; $k = 1,0$; $k_t = 0,4$ e $k' = 1,0$.

2) Sotto la combinazione di carico pertinente.

Il diametro massimo delle barre si raccomanda sia modificato come segue:

Trazione (la sezione è tutta tesa):

$$\phi_s = \phi^*_s (f_{ct,eff} / 2,9) h_{cr} / (8(h-d)) \quad (7.7N)$$

dove:

ϕ_s è il diametro massimo "modificato" delle barre;

ϕ^*_s è il diametro massimo dato nel prospetto 7.2N;

h è l'altezza totale della sezione;

h_{cr} è l'altezza della zona tesa subito prima della fessurazione, considerando i valori caratteristici della forza di precompressione e delle forze assiali sotto la combinazione di azioni quasi-permanente;

d è l'altezza utile valutata rispetto al baricentro dello strato più esterno di armatura ordinaria.

Se tutta la sezione è tesa $h-d$ è la minima distanza tra il baricentro dello strato di armatura e il lembo esterno della sezione (considerare ciascun lembo se la barra non è disposta simmetricamente).

Verifica armatura trasversale:

diametro barre trasversali	Φ_{trav}	14 mm	< F_s	Verifica soddisfatta
passo barre trasversali	passo	100 mm		
N.strati barre trasvers. (sup.+inf.+intermedi)	n.strati	2		
Area barre trasversali	A_s	3079 mm ²		
stato tensionale barre dopo fessurazione	σ_s	376 mm ²	< f_{yk}	Verifica soddisfatta
ϕ barre da tabella 7.2N x σ_s e $w_k=0,2$ mm	ϕ^*_s	6 mm		
altezza zona tesa prima della fessurazione	h_{cr}	400 mm		
altezza totale sezione	h	400 mm		
copriferro (asse barre)	c	50 mm		
altezza utile sezione	d	350 mm		
diametro massimo modificato utilizzabile	ϕ_s	24 mm	(= F_s)	

5.8. RIEPILOGO E INCIDENZA ARMATURE

A seguire il riepilogo delle armature del tombino:

Pareti di spessore	60 cm		
con armatura principale esterna	F20 /100		3142 mm ²
con armatura principale interna	F20 /100		3142 mm ²
Soletta superiore di spessore	40 cm		
con armatura principale superiore	F20 /100		3142 mm ²
con armatura principale inferiore	F20 /100		3142 mm ²
Soletta inferiore di spessore	60 cm		
con armatura principale superiore	F20 /100		3142 mm ²
con armatura principale inferiore	F20 /100		3142 mm ²

Le pareti non necessitano di armatura a taglio.

La soletta superiore non necessita di armatura a taglio.

La soletta inferiore non necessita di armatura a taglio.

(Le armature a taglio sono state disposte ove non risultano soddisfatte le verifiche con Vrd senza armatura a taglio)

Le armature di ripartizione sono:

	Armature di ripartizione:	Area:	% Arm. principale:
Pareti	F14 /100 2 strati	3078.8 mm ²	49% di 6283 mm ²
Soletta superiore	F14 /100 2 strati	3078.8 mm ²	49% di 6283 mm ²
Soletta inferiore	F14 /100 2 strati	3078.8 mm ²	49% di 6283 mm ²

Incidenza armature:

Larghezza utile	Lint	2.00 m	Spessore piedritti	Sp	0.60 m
Altezza libera	Hint	5.15 m	Spessore soletta	Ss	0.40 m
incidenza sovrapp.		20%	Spessore fondazione	Sf	0.60 m
			copriferro	c	0.07 m

Elem.	Ø1 sup/int [mm]	pass1 [mm]	Ø2 sup/int [mm]	pass2 [mm]	Ø3 inf/ext [mm]	pass3 [mm]	Ø4 inf/ext [mm]	pass4 [mm]	Øleg [mm]	Øleg pass1 [mm]	Øleg pass2 [mm]
piedritto	20	100	0	1000	20	100	0	1000	0	1000	1000
soletta	20	100	0	1000	20	100	0	1000	0	1000	1000
fondaz.	20	100	0	1000	20	100	0	1000	0	1000	1000
ripartiz.	14	100	x	2 strati							
Elem.	LØ [m]	Lleg [mm]	Vol [m ³]	Peso [kg]	incid [kg/m ³]	Inc%					
piedritto	6.93	0.66	3.1	410	133	47%					
soletta	3.58	0.46	1.3	212	166	12%					
fondaz.	3.98	0.66	1.9	236	123	13%					
ripartiz.			9.4	484	52	28%					
TOTALE			9.4	1752	187	100%					