

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA

INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL PRG DELLA STAZIONE DI ELLERA

SOTTOPASSI E SOTTOVIA

NUOVO SOTTOPASSO DI STAZIONE ELLERA - Relazione di calcolo scatolare

SCALA:

-

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

I R 0 B 0 2 D 1 0 C L S L 0 1 0 0 0 0 2 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	L. Dinelli <i>[Signature]</i>	Luglio 2020	S. Paoloni <i>[Signature]</i>	Luglio 2020	T. Paoletti <i>[Signature]</i>	Luglio 2020	L. Berardi Luglio 2020

File : IROB.02.D.10.CL.SL0100.002.A.doc

n. Elab.:

Indice

1	PREMESSA	4
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
2.1	NORMATIVA	7
2.2	ELABORATI DI RIFERIMENTO	8
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI	9
3.1	CALCESTRUZZO	9
3.2	ACCIAIO DI ARMATURA – BARRE	10
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	11
5	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	13
6	SEZIONE SCATOLARE SOTTOPASSO	14
6.1	GEOMETRIA E DATI DI INPUT	14
6.2	MODELLO DI CALCOLO	16
6.3	ANALISI DEI CARICHI	17
6.3.1	<i>PESO PROPRIO (DEAD)</i>	17
6.3.2	<i>SOVRACCARICO PERMANENTE (PERM)</i>	17
6.3.3	<i>BALLAST (BALLAST)</i>	18
6.3.4	<i>SPINTA DEL TERRENO (SPTSX/SPTDX)</i>	18
6.3.5	<i>SPINTA ORIZZONTALE FALDA</i>	18
6.3.6	<i>SOTTOSPINTA IDRAULICA SU SOLETTA INFERIORE</i>	19
6.3.7	<i>CARICHI VARIABILI</i>	19
6.3.8	<i>AZIONI CLIMATICHE</i>	21
6.3.9	<i>AZIONI SISMICHE</i>	23
6.4	CARICHI ELEMENTARI E LORO COMBINAZIONI	25
6.4.1	<i>CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI</i>	25

6.4.2	COMBINAZIONI DI CARICO PER SEZIONI DI VERIFICA	26
6.4.3	COMBINAZIONI DI CARICO PER GLI STATI LIMITE CONSIDERATI	32
6.5	VERIFICHE STR	33
6.5.1	SOLETTA SUPERIORE	34
6.5.2	PIEDRITTO.....	41
6.5.3	SOLETTA INFERIORE.....	48
6.6	VERIFICHE GEO	55
7	INCIDENZE.....	61

1 PREMESSA

Nell'ambito del progetto Potenziamento della linea Foligno–Terontola, rientrano gli interventi di semplificazione e velocizzazione ed upgrade tecnologico presso la stazione di Ellera. Le attività prevedono la velocizzazione degli itinerari in deviata, l'adeguamento a STI dei marciapiedi di stazione e l'upgrading tecnologico dell'impianto esistente ACEI in un più moderno apparato ACC.

Il Programma di Esercizio fornito come input prevede interventi di semplificazione e velocizzazione dei deviatoi dell'impianto. In particolare si effettuano le seguenti lavorazioni:

- Sostituzione delle comunicazioni esistenti a 30 km/h con comunicazioni a 60 km/h lato Foligno. La sostituzione era prevista anche per i deviatoi lato Terontola ma è stato deciso successivamente da RFI di mantenere l'attuale velocità per le comunicazioni lato Terontola
- Realizzazione di tronchini di indipendenza per i binari di precedenza
- Ampliamento del marciapiede al servizio dei binari II e futuro III, accessibile attraverso un nuovo sottopasso, e adeguamento a STI del marciapiede esistente
- Dismissione dei binari di scalo lato F.V. e della relativa comunicazione di accesso posta sul I binario

Per la stazione di Ellera è inoltre previsto, come detto in precedenza, l'upgrade tecnologico dell'attuale apparato (con ACC telecomandabile) e conseguente riconfigurazione del Posto Centrale.

L'inizio dell'intervento è previsto alla progressiva Km 49+050 circa e termina alla progressiva Km 49+900 circa.

E' prevista la modifica dell'attuale PRG di stazione allo schematico comunicato dal Cliente, la realizzazione di un nuovo sottopasso e dei collegamenti perdonali (rampe scale ed ascensori), innalzamento del marciapiede del binario I H=55cm e realizzazione di un nuovo marciapiede ad isola H=55cm. Inoltre verrà prevista la realizzazione di un nuovo sottopasso pedonale.

Verranno previste due nuove pensiline ferroviarie su ciascun marciapiede a copertura del nuovo sottopasso.

Le suddette modifiche al PRG di stazione comportano la necessità di demolire e ricostruire il cavalcaferrovia di Via Corcianese.

Verrà previsto un nuovo Fabbricato Tecnologico per ospitare la cabina ACC, i locali tecnologici e la Cabina MT/BT, quest'ultima necessaria per una migliore gestione dei carichi elettrici presenti in stazione.

Saranno previsti infine, dal punto di vista impiantistico:

- illuminazione punte scambi;
- impianti RED;
- illuminazione scale, sottopasso, banchine
- impianti IaP e DS

La presente relazione riporta le analisi e le verifiche relative al nuovo sottopasso costituito da una struttura scatolare in cemento armato.

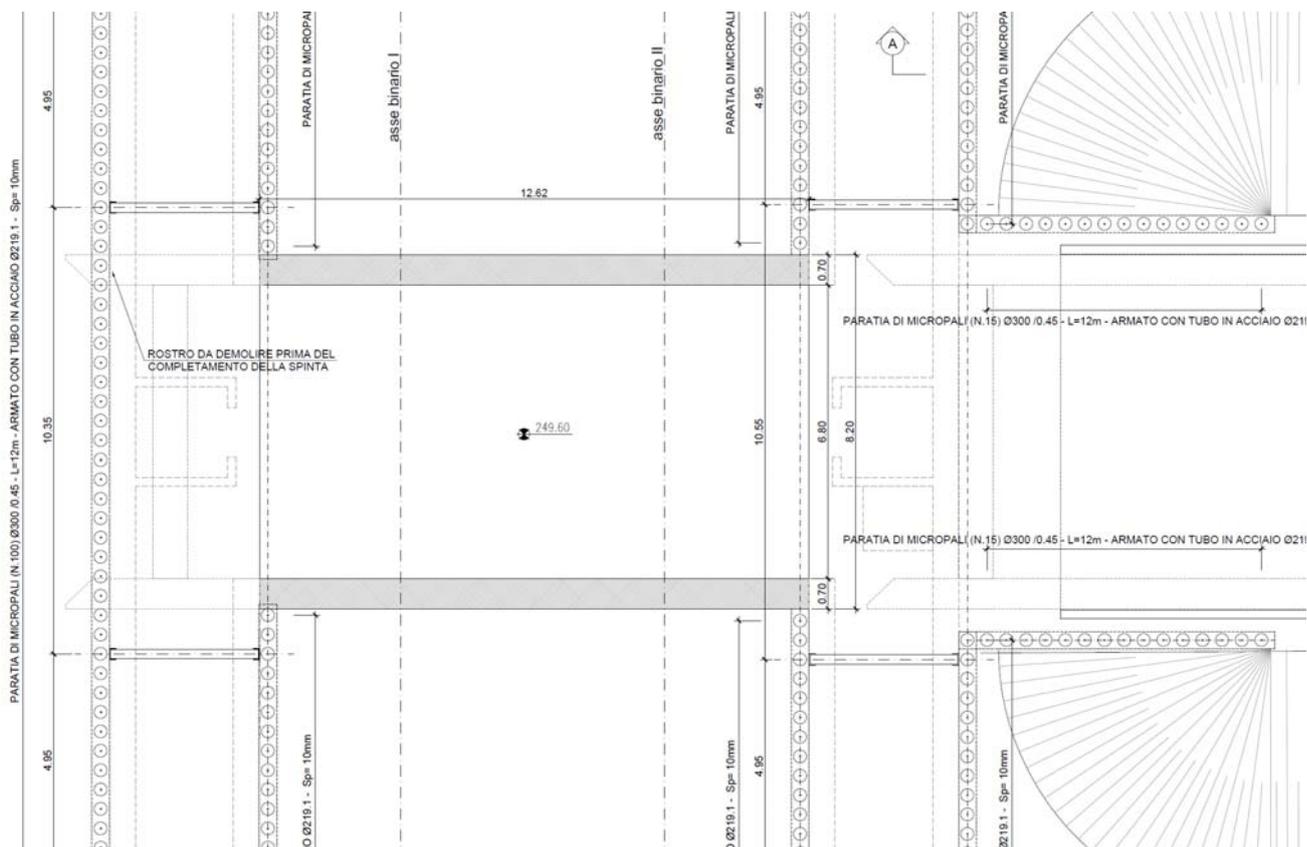


Figura 1 – Planimetria

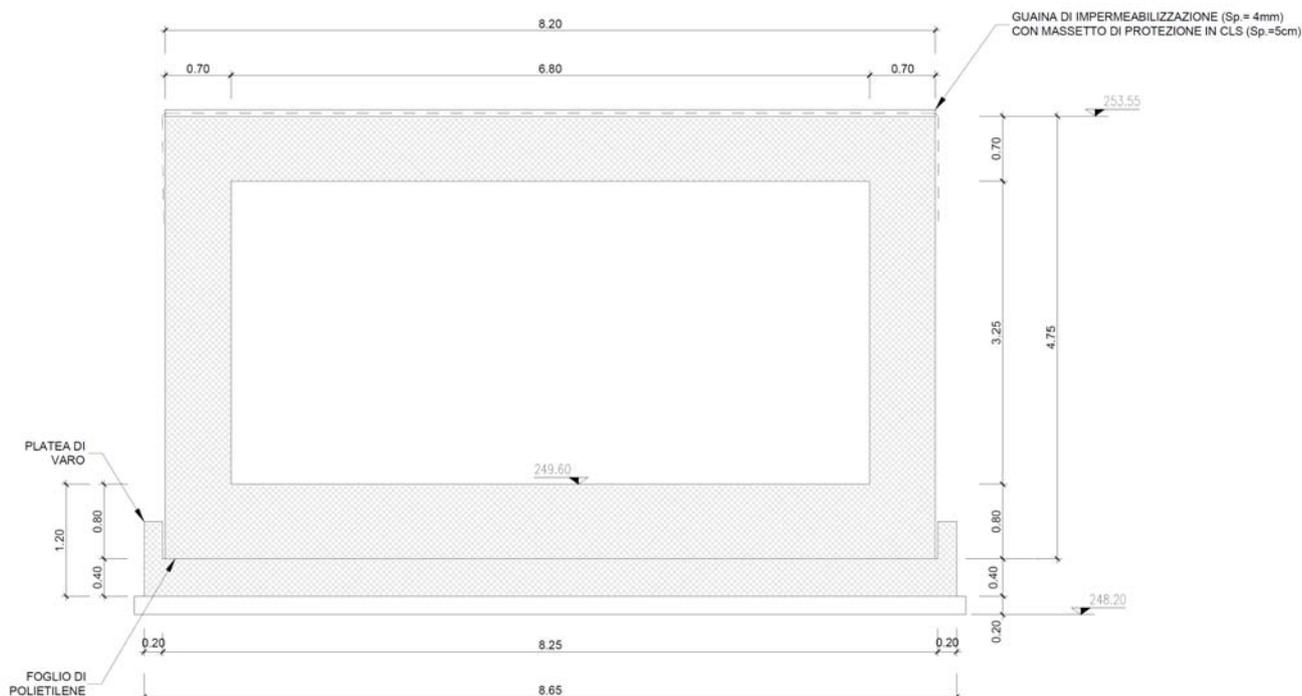


Figura 2 – Sezione trasversale

Il manufatto è costituito da una struttura scatolare in conglomerato cementizio armato gettato in opera. Si procede di seguito al dimensionamento e alla verifica della struttura dello scatolare nella più critica situata in corrispondenza del binario ferroviario.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL PRG DELLA STAZIONE DI ELLERA					
SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IR0B	LOTTO 02	CODIFICA D10	DOCUMENTO CL SL0100 002	REV. A	FOGLIO 7 di 61

2 **NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

2.1 **NORMATIVA**

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate in accordo con le seguenti normative.

- Legge 5-1-1971 n° 1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica”;
- Legge. 2 febbraio 1974, n. 64. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- D.M. 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circolare 21 gennaio 2019 n.7 ” Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE I / Aspetti Generali (RFI DTC SI MA IFS 001 A)
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 2 / Ponti e Strutture (RFI DTC SI PS MA IFS 001 A– rev 30/12/2016)
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 3 / Corpo Stradale (RFI DTC SI CS MA IFS 001 A– rev 30/12/2016)
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 5 / Prescrizioni per i Marciapiedi e le Pensiline delle Stazioni Ferroviarie a servizio dei Viaggiatori (RFI DTC SI CS MA IFS 002 A– rev 30/12/2016)
- Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 Novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione europea
- Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture, Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento (UNI EN 1991-1-4)
- UNI 11104: Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1

Si è tenuto inoltre conto dei seguenti documenti:

- UNI EN 1990 – Aprile 2006: Eurocodice: Criteri generali di progettazione strutturale.
- UNI EN 1991-1-1 – Agosto 2004: Eurocodice 1 – Parte 1-1: Azioni in generale – Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi variabili.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL PRG DELLA STAZIONE DI ELLERA</p>					
<p>SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare</p>	<p>COMMESSA IR0B</p>	<p>LOTTO 02</p>	<p>CODIFICA D10</p>	<p>DOCUMENTO CL SL0100 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 8 di 61</p>

- UNI EN 1991-1-4 – Luglio 2005: Eurocodice 1. Azioni sulle strutture. Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento.
- UNI EN 1992-1-1 – Novembre 2005: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1992-2 – Gennaio 2006: Eurocodice 2. Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Parte 2: Ponti di calcestruzzo – Progettazione e dettagli costruttivi.
- UNI-EN 1997-1 – Febbraio 2005: Eurocodice 7. Progettazione geotecnica. Parte 1: Regole generali.
- UNI-EN 1998-5 – Gennaio 2005: Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- UNI EN 206-1-2016: Calcestruzzo. “Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- Calcestruzzo Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1 UNI 11104/2016;
- RFI DTC SI MA IFS 001 D – Dicembre 2019: Manuale di progettazione delle opere civili;
- RFI DTC SI SP IFS 001 D – Dicembre 2019: Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili – RFI;
- Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019.

2.2 ELABORATI DI RIFERIMENTO

Costituiscono parte integrante di quanto esposto nel presente documento, l’insieme degli elaborati di progetto specifici relativi all’opera in esame e riportati in elenco elaborati.

**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	10 di 61

$$f_{ck} = \text{resistenza cilindrica caratteristica} = 0.83 \cdot R_{ck} = 29.05 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cm} = \text{resistenza cilindrica media} = f_{ck} + 8 = 37.05 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctm} = \text{resistenza a trazione media} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.83 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cfm} = \text{resistenza a traz. per flessione media} = 1.20 \cdot f_{ctm} = 3.40 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctk} = \text{resistenza a traz. per flessione caratt.} = 0.70 \cdot f_{cfm} = 2.38 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{cm} = \text{modulo elast. tra 0 e } 0.40 f_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} = 32588.11 \text{ N/mm}^2$$

Classe minima di consistenza S4

Classe di esposizione XC2

Copriferro 40 mm

3.2 ACCIAIO DI ARMATURA – BARRE

Tipo = B 450 C

$$\gamma_a = \text{peso specifico} = 78.50 \text{ kN/m}^3$$

$$f_{y \text{ nom}} = \text{tensione nominale di snervamento} = 450 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t \text{ nom}} = \text{tensione nominale di rottura} = 540 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yk \text{ min}} = \text{minima tensione caratteristica di snervamento} = 450 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{tk \text{ min}} = \text{minima tensione caratteristica di rottura} = 540 \text{ N/mm}^2$$

$$(f_t/f_y)_{k \text{ min}} = \text{minimo rapporto tra i valori caratteristici} = 1.15$$

$$(f_t/f_y)_{k \text{ max}} = \text{massimo rapporto tra i valori caratteristici} = 1.35$$

$$(f_y/f_{y \text{ nom}})_k = \text{massimo rapporto tra i valori nominali} = 1.25$$

$$(A_{gt})_k = \text{allungamento caratteristico sotto carico massimo} = 7.5 \%$$

$$E = \text{modulo di elasticità dell'acciaio} = 206000 \text{ N/mm}^2$$

Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:

$$\emptyset < 12 \text{ mm} \quad \rightarrow 4 \emptyset;$$

$$12 \leq \emptyset \leq 16 \text{ mm} \quad \rightarrow 5 \emptyset;$$

$$16 < \emptyset \leq 25 \text{ mm} \quad \rightarrow 8 \emptyset;$$

$$25 < \emptyset \leq 40 \text{ mm} \quad \rightarrow 10 \emptyset.$$

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Dal punto di vista geotecnico le unità che caratterizzano le stratigrafia di progetto sono le seguenti:

- R: materiale di riporto;
- T1 e T2: travertino fratturato, ghiaie e sabbie. Seppur geologicamente accomunate in un'unica litologia (PGL3a), dal punto di vista geotecnico si è preferito operare la suddivisione nelle due unità indicate sulla base della risposta ottenuta dalle prove SPT e da quelle geofisiche. Inoltre, considerando l'elevato stato di fratturazione e alterazione descritto nei report stratigrafici, per il travertino è stato cautelativamente assunto un approccio di caratterizzazione da terreno sabbioso (grana grossa);
- LA: limi, limi argillosi, limi sabbiosi e argille con locali intercalazioni di sabbie e ghiaie. Rappresenta l'unità geologica PGU1a.

L'interpretazione delle prove in sito e di laboratorio ha condotto alla definizione dei seguenti valori dei parametri meccanici per i terreni tipo individuati:

Unità	γ	ϕ'	c'	c_u	G_0	E_{op}	k
	kN/m ³	(°)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(m/s)
T1	19.0	32÷35	0	-	95 ÷ 200	20 ÷ 50	1E-04 ÷ 1E-05
T2	19.0	34÷38	0	-	175 ÷ 310	40 ÷ 75	1E-04 ÷ 1E-05
LA	20.0	22÷24	5 ÷ 10	100 ÷ 250	350 ÷ 500	85 ÷ 120	1E-07 ÷ 1E-08

La stratigrafia è stata dedotta in base ai risultati del sondaggio DPSH3 situato proprio in corrispondenza del fosso.



Figura 3 - Ubicazione indagini di fase PD - Google Earth

**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

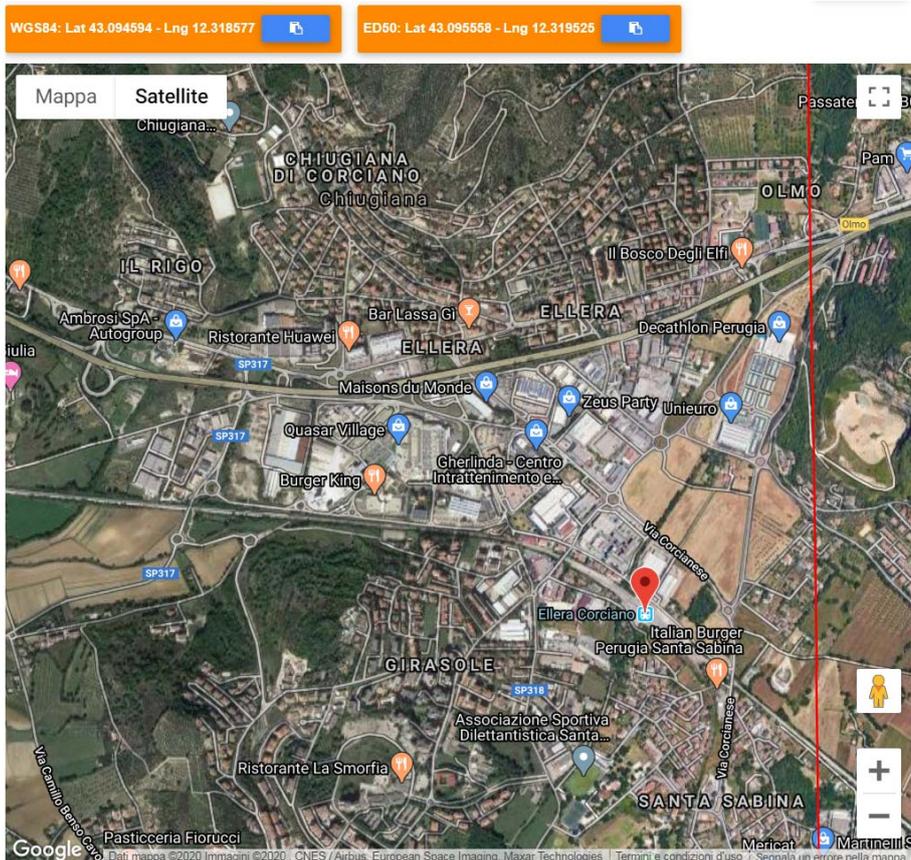
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	12 di 61

strato	profondità da	profondità a
	m da pc	m da pc
R	0	1.0
T1	1.0	9.0
T2	9.0	24.0
LA	24.0	-

Tabella 1 - Stratigrafia di calcolo Materiali in sito.

Dal punto di vista sismico il terreno è classificato di tipo B.

5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA



Stati limite

 Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali... 

 Vita Nominale 50 

 Interpolazione Media ponderata 

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.059	2.505	0.268
Danno (SLD)	50	0.073	2.493	0.277
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.172	2.438	0.307
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.214	2.461	0.316
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
 stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	14 di 61



Cat. Sottosuolo

B



Cat. Topografica

T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,19
CC Coeff. funz categoria	1,43	1,42	1,39	1,38
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

6 SEZIONE SCATOLARE SOTTOPASSO

6.1 GEOMETRIA E DATI DI INPUT

Si procede al dimensionamento della struttura dello scatolare facendo riferimento ad una struttura piana che descrive una striscia larga 1.00 m. Lo spessore della soletta superiore è pari a 0.70 m, quello dei piedritti è anch'esso pari a 0.70 m, infine quello del solettone di fondo è pari a 0.80 m. Il ricoprimento, ovvero la distanza tra la quota del Piano del Ferro e l'estradosso della soletta superiore, si assume cautelativamente pari a circa 0.90 m. Poiché l'opera ricade in zona sismica, saranno applicate le azioni di rito previste dalla norma così come riportato nei capitoli successivi.

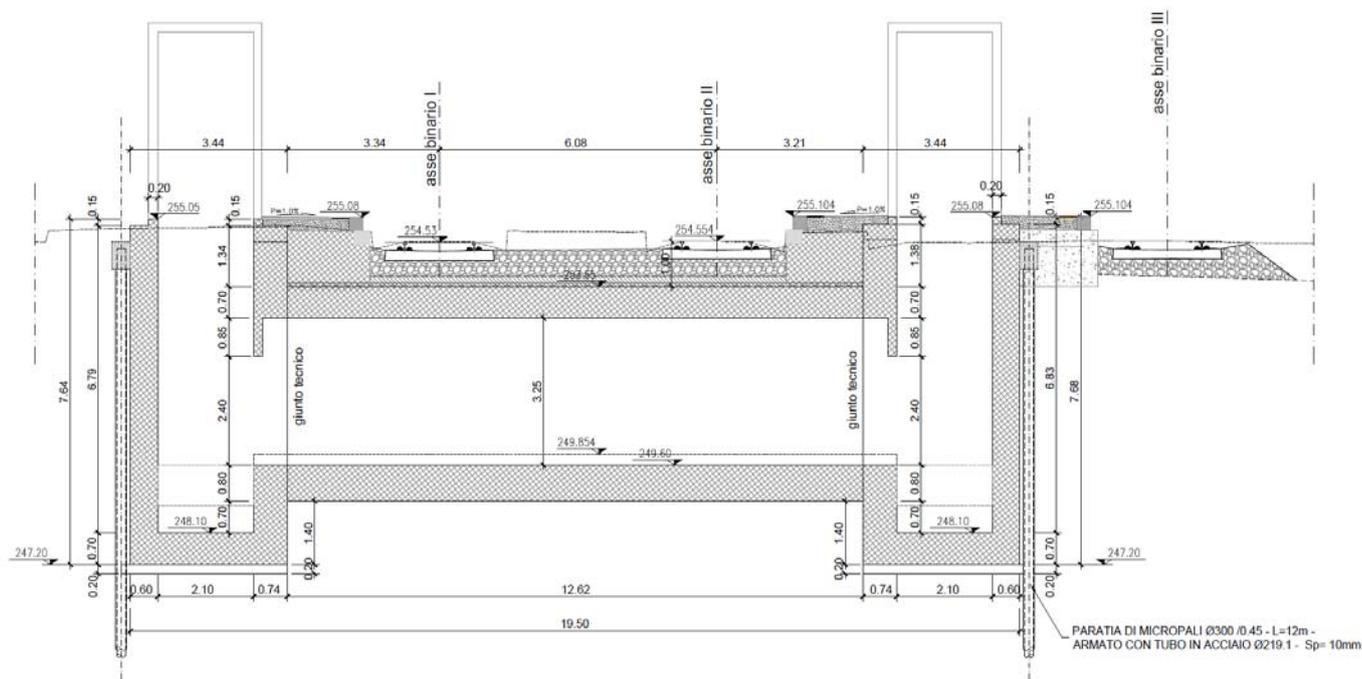


Figura 4 – Sezione longitudinale

Caratteristiche geometriche e di carico dello scatolare:

h (m)	3.25	altezza netta interna
l (m)	6.8	larghezza netta interna
b (m)	1	profondità striscia di telaio
s_i (m)	0.8	spessore soletta inferiore
s_p (m)	0.7	spessore piedritti
s_s (m)	0.7	spessore soletta superiore

dati rilevato ferroviario

s_r (m)	0.2	spessore ricoprimento (escluso ballast)
γ_r (kN/m ³)	20	peso di volume ricoprimento/rilevato
s_m (m)	0	spessore massetto pendenze
γ_m (kN/m ³)	24	peso di volume massetto pendenze
γ_b (kN/m ³)	18	peso di volume ballast
s (m)	0.8	spessore armamento (inclusa traversina)
L_{trasv} (m)	2.4	larghezza traversina
L_{long} (m)	0.3	lunghezza traversina

6.2 MODELLO DI CALCOLO

Come modello di calcolo (si vedano le Figure successive) si è assunto lo schema statico di telaio chiuso analizzato attraverso un'analisi elastico – lineare attraverso il programma di calcolo agli Elementi Finiti SAP2000 v.20.0.0 della Computers and Structures.

La mesh (si vedano le Figure seguenti) è composta da 13 beam elements e da 13 nodi. Tale telaio viene descritto attraverso le linee d'asse delle singole membrature e, pertanto, le aste del modello avranno lunghezza pari alla dimensione netta interna maggiorate della metà degli spessori delle aste adiacenti.

L'analisi strutturale è condotta con il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tensodeformativo indotto da carichi statici.

rigidezza molle

E (kN/m ²)	25000	modulo di Young terreno di fondazione
b _t (m)	8.2	dimensione trasversale dell'opera
b _l (m)	1	dimensione longitudinale dell'opera
k _s (kN/m ³)	8177	costante di sottofondo (formulazione di Vogt)
k ₁ (kN/m)	6133	rigidezza molle centrali
k ₂ (kN/m)	11856	rigidezza molle spigolo
k ₃ (kN/m)	9199	rigidezza molle laterali

La soletta inferiore viene divisa in 10 elementi per poter schematizzare, tramite le molle applicate, l'interazione terreno – struttura.

Considerando un numero fisso e pari ad 11 di molle elastiche, la caratteristica elastica della generica molla viene calcolata attraverso la formulazione di Vogt:

$$k_s = \frac{1.33 \cdot E}{\sqrt[3]{b t^2 \cdot b l}} \text{ dove:}$$

k_s = costante di sottofondo [F/L³]

b_t = dimensione trasversale dell'opera

b_l = dimensione longitudinale dell'opera

E = modulo di Young del terreno di fondazione

Nella presente relazione si adotta un modulo di reazione verticale

$$k_s = 8177 \text{ kN/m}^3$$

Con questo valore si ricavano i valori delle singole molle, ottenendo per le 5 molle centrali un valore di:

$$k_{\text{centrale}} = k_s \cdot (L_p/2 + L_{\text{int}} + L_p/2)/10$$

$K_4, \dots, K_8 = 6133 \text{ kN/m}$

I valori delle molle di spigolo si ottengono con la seguente formulazione:

$$K_1 = K_{18} = 2 \cdot k_s \cdot [(L_p/2 + L_{int} + L_p/2)/10/2 + (L_p/2)] = 11856 \text{ kN/m}$$

ed infine in valori delle molle nei nodi 5, 6, 12 e 13 come da letteratura si assumono:

$$K_2 = K_3 = K_{12} = K_{13} = 1.5 \cdot k_{centrale} = 9199 \text{ kN/m}$$

Agli effetti delle caratteristiche geometriche delle varie aste si è quindi assunto:

- una sezione rettangolare $b \times h = 1.00 \times 0.70 \text{ m}$ per la soletta superiore
- una sezione rettangolare $b \times h = 1.00 \times 0.80 \text{ m}$ per la soletta di fondazione
- una sezione rettangolare $b \times h = 1.00 \times 0.70 \text{ m}$ per i piedritti

Per le aste del reticolo si è assunto:

$$E_{cm} = 22000 \cdot [f_{cm}/10]^{0.3} = 33642.8 \text{ N/mm}^2 \text{ – modulo elastico del calcestruzzo } (R_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2)$$

Lo schema statico della struttura e la relativa numerazione dei nodi e delle aste sono riportati nelle figure di seguito.

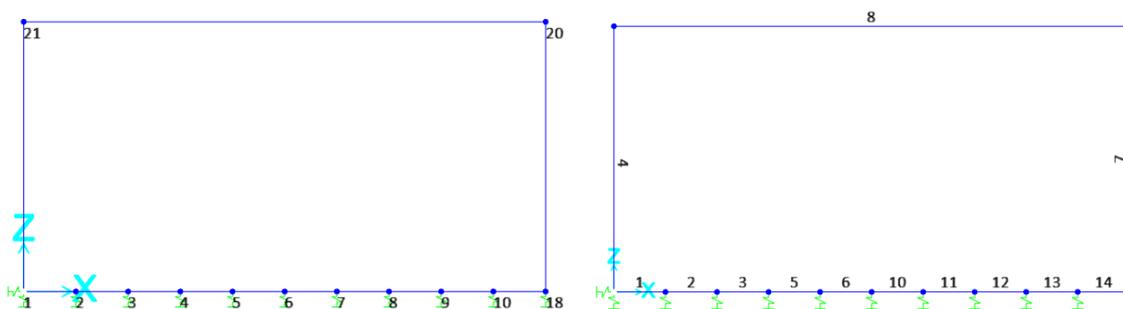


Figura 5 – Numerazione dei nodi e delle aste.

6.3 ANALISI DEI CARICHI

6.3.1 PESO PROPRIO (DEAD)

Il peso proprio è stato considerato ponendo il peso dell'unità di volume del calcestruzzo armato pari a $\gamma = 25.00 \text{ kN/m}^3$.

6.3.2 SOVRACCARICO PERMANENTE (PERM)

Sul solettone superiore si considera uno spessore di ricoprimento (escluso il ballast) di 0.20 m con $\gamma_r = 20.00 \text{ kN/m}^3$.

6.3.3 BALLAST (BALLAST)

Sul solettone superiore si considera uno spessore di ballast compresa la traversina pari a $s_b = 0.80$ m con peso dell'unità di volume $\gamma_b = 18.00$ kN/m³.

Ai lati dello scatolare si ha un carico orizzontale uniformemente distribuito sui piedritti di intensità $\Delta p_b = 6.56$ kN/m.

Oltre ai carichi suddetti viene aggiunta, come carico concentrato nei nodi 1, 4 e 2, 3, la parte di spinta del ballast esercitata su 1/2 spessore della soletta superiore e su 1/2 spessore della soletta inferiore.

Spinta semispessore soletta superiore

$$\Delta F_{b3,4} = 2.30 \text{ kN}$$

Spinta semispessore soletta inferiore

$$\Delta F_{b1,2} = 2.62 \text{ kN}$$

6.3.4 SPINTA DEL TERRENO (SPTSX/SPTDX)

La spinta del terreno viene considerata in regime di spinta a riposo con:

γ_t (kN/m ³)	19	peso di volume terreno ai lati
ϕ' (°)	33	angolo di attrito terreno ai lati
k_0	0.455	coefficiente di spinta a riposo

Tali parametri si traducono ad un diagramma di pressioni trapezoidale ($p = k_0 \cdot \gamma \cdot z$) da applicare sui piedritti dello scatolare con valori di:

p_1 (kN/m ²)	1.82	pressione all'estradosso soletta superiore
p_2 (kN/m ²)	4.85	pressione in asse soletta superiore
p_3 (kN/m ²)	39.46	pressione in asse soletta inferiore
p_4 (kN/m ²)	43.10	pressione all'intradosso soletta inferiore

Oltre ai carichi suddetti viene aggiunta, come carico concentrato nei nodi 1 e 21 (per la SPTSX) e 18 e 20 (per la SPTDX), la parte di spinta del terreno esercitata su 1/2 spessore della soletta superiore e su 1/2 spessore della soletta inferiore.

$F_{1,2}$ (kN/m)	1.17	forza concentrata semispessore soletta superiore
$F_{3,4}$ (kN/m)	16.51	forza concentrata semispessore soletta inferiore

6.3.5 SPINTA ORIZZONTALE FALDA

Assente.

6.3.6 *SOTTOSPINTA IDRAULICA SU SOLETTA INFERIORE*

Assente.

6.3.7 *CARICHI VARIABILI*

6.3.7.1 COEFFICIENTE DI INCREMENTO DINAMICO

Si considera il caso di portale a luce singola, per il quale vale la seguente espressione:

$$L_m = \frac{1}{n} \times (L_1 + L_2 + L_3)$$

in cui $n = 3$.

Considerando le linee d'asse risulta:

$L_1 = 4.0$ m altezza piedritto di sinistra

$L_2 = 7.50$ m lunghezza solettone

$L_3 = 4.0$ m altezza piedritto di destra

$L_\phi = k \cdot L_m = 6.72$ m con $k = 1.3$.

Il coefficiente di incremento dinamico risulta pari a (linea con ridotto standard manutentivo):

$$\Phi_3 = 0.9 \times \left(\frac{2.16}{\sqrt{L_\phi} - 0.2} + 0.73 \right) = 1.47$$

Essendo $l < 8$ m ed $h < 5$ m si assume invece il valore $\Phi = 1.35$.

6.3.7.2 LARGHEZZA DI DIFFUSIONE TRASVERSALE

La diffusione trasversale dei carichi è stata effettuata, a partire dall'intradosso della traversina, nell'ipotesi di ripartizione nel ballast, nel terreno, nel massetto e nel solettone di copertura nei rapporti di seguito indicati:

	ai	:	bi
ballast	4	:	1
terreno	3	:	2
soletta	1	:	1
massetto	1	:	1

$s_s = 0.60$ m : spessore del solettone

$s_m = 0.00$ m : spessore del massetto pendenze

$s_r = 0.20$ m : spessore del ricoprimento

$L_{tr} = 2.40$ m : lunghezza traversina

Diffusione trasversale

$$L_d = L_{\text{trasv}} + 2 \cdot (s_r \cdot b_r / a_r + s_b \cdot b_b / a_b) + 2 \cdot (s_s / 2) \cdot b_s / a_s + 2 \cdot s_m \cdot b_m / a_m = 3.77 \text{ m}$$

6.3.7.3 SOVRACCARICHI MOBILI (ACC)

Treno di carico LM71

Il modello di carico LM71 è costituito dalla presenza del locomotore con gli assi da 250 kN disposti ad interasse longitudinale pari ad 1.60 m e da un carico distribuito di 80 kN/m. Il coefficiente di adattamento α è pari a 1.1.

$$Q_{vk} = 250 \text{ kN}$$

$$q_{vk} = 80 \text{ kN/m}$$

$$\alpha = 1.1$$

Il carico complessivo Q agente su una striscia di lunghezza unitaria vale pertanto, incrementato del coefficiente dinamico e diviso sulla larghezza di diffusione trasversale:

q_{eq} (kN/m)	156.25	carico distribuito equivalente 4 assi
α	1.10	coefficiente adattamento
Φ	1.35	coefficiente incremento dinamico
q (kN/m)	232.03	$q = q_{eq} \cdot \alpha \cdot \Phi$
L_d (m)	3.77	larghezza di diffusione
q/L_d (kN/m ²)	61.60	

Tale carico viene introdotto nel modello con la dicitura ACC:

Treno di carico SW/2

$$q_{vk} = 150.0 \text{ kN/m}$$

$$\alpha = 1.0 : \text{coefficiente di adattamento}$$

Nell'analisi condotta tale treno di carico non risulta dimensionante.

6.3.7.4 SOVRACCARICO ACCIDENTALE SUL RILEVATO (SPACCSX/SPACCDX)

Il carico accidentale sul rilevato a ridosso del piedritto ha intensità pari al treno di carico ripartito su una L_d che tiene conto delle diffusioni prima indicate, limitatamente al ricoprimento e al ballast:

L_d (m)	3.07	larghezza di diffusione
q (kN/m)	171.88	$q = q_{eq} \cdot a$
q/L_d (kN/m ²)	56.05	
Δp_{acc} (kN/m ²)	25.52	

Oltre ai carichi suddetti viene aggiunta, come carico concentrato nei nodi 1 e 21 (per la SPACCSX) e 18 e 20 (per la SPACCDX), la parte di sovrappinta dei carichi esercitata su 1/2 spessore della soletta superiore e su 1/2 spessore della soletta inferiore.

$\Delta F_{1,2,acc}$ (kN/m)	8.93	ΔF dovuto al sovrac. accidentale semispessore soletta superiore
-----------------------------	------	---

$\Delta F_{3,4,acc}$ (kN/m) 13.01 ΔF dovuto al sovrac. accidentale semispessore soletta inferiore

6.3.7.5 FRENATURA E AVVIAMENTO

Per il carico di frenatura e avviamento viene assunto quello dovuto all'avviamento del treno LM71, moltiplicato per il coefficiente di adattamento $\alpha=1.1$, per cui si ha:

Q_{avv} (kN/m) 33 carico dovuto all'avviamento treno di carico LM71

q_{avv} (kN/m/m) 9.64 carico distribuito dovuto all'avviamento treno di carico LM71

M_{avv} (kNm/m) 13.01 momento flettente distribuito dovuto all'avviamento treno di carico LM71

6.3.8 **AZIONI CLIMATICHE**

6.3.8.1 AZIONI TERMICHE UNIFORMI (TERMU)

Si considera una variazione termica uniforme $\Delta T = 15.00^{\circ}\text{C}$ sulla soletta superiore e sui piedritti, adottando per il coefficiente di dilatazione termica un valore $\alpha = 10 \times 10^{-6}$.

6.3.8.2 AZIONI TERMICHE DIFFERENZIALI (TERMF)

Si considera una variazione termica differenziale $\Delta T = 5.00^{\circ}\text{C}$ sulla soletta superiore, adottando per il coefficiente di dilatazione termica un valore $\alpha = 10 \times 10^{-6}$.

6.3.8.3 RITIRO (RITIRO)

Si considera una variazione termica uniforme equivalente $\Delta T = -11.17^{\circ}\text{C}$ sulla soletta superiore. Il calcolo viene condotto secondo le indicazioni nell'EUROCODICE 2 e D.M.17-01-2018.

Calcolo dell'azione prodotta da ritiro

	Rck	40
	f_{ck}	33.20 N/mm ²
resistenza a compressione media	f_{cm}	41.20 N/mm ²
modulo elastico secante	E_{cm}	33642.78 N/mm ²
coefficiente di dilatazione termica	α	0.00001
classe del cemento	cls tipo	R
età del cls all'inizio del ritiro	t_s	2 gg
età del cls al momento del carico	t_0	2 gg
età del cls	t	27375 gg

**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	22 di 61

	B	100	cm
	H	70	cm
sezione dell'elemento	A_c	700000	mm
perimetro a contatto con l'atmosfera	u	1000	mm
dimensione elemento di cls	$h_0=2A_c/u$	1400	mm
umidità relativa percentuale	RH	75	%

Calcolo del modulo elastico

coeff. del tipo di cemento	α	1	
tempo t_0 corretto in funz del tipo di cem	t_0	6.189	gg > 0.5
coeff. della resistenza del cls	$\beta_c(f_{cm})$	2.62	
coeff. della viscosità nel tempo	$\beta_c(t_0)$	0.649	

coeff. della resistenza del cls	α_1	0.892
coeff. della resistenza del cls	α_2	0.968
coeff. della resistenza del cls	α_3	0.922

coeff. che tiene conto dell'umidità relativa	β_H	1383
coeff. della variabilità viscosità nel tempo	$\beta_c(t, t_0)$	0.985

coeff. che tiene conto dell'umidità	φ_{RH}	1.193
coeff. nominale della viscosità	φ_0	2.028
coeff. di viscosità	$\varphi(t, t_0)$	2.00

Modulo elastico al tempo t	$E_{cm}(t, t_0)$	11221.8	N/mm ²
----------------------------	------------------	---------	-------------------

Calcolo della deformazione di ritiro

parametro fuazione di h_0	k_h	0.7
coeff. variabilità deformazione nel tempo	$\beta_{cs}(t, t_s)$	0.929
def. di ritiro per essiccamento	$\varepsilon_{cd}(t)$	0.000277
deformazione di base	$\varepsilon_{cd,0}$	0.000426
coeff. per il tipo di cemento	α_{ds1}	6
coeff. per il tipo di cemento	α_{ds2}	0.11
	β_{RH}	0.896094
	$\beta_{as}(t)$	1
	$\varepsilon_{ca,oo}$	0.000058
deformazione dovuta al ritiro autogeno	ε_{ca}	5.8E-05
deformazione di ritiro	$\varepsilon_s(t, t_0)$	0.000335

Variazione termica uniforme

 ΔT_{ritiro}

-11.17 °C

6.3.9 AZIONI SISMICHE

In ottemperanza al D.M. del 17.01.2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni), le verifiche sono state condotte con il metodo semi-probabilistico agli stati limite.

Il rispetto degli stati limite si considera conseguito quando:

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

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

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

Per la definizione dell'azione sismica, occorre definire il periodo di riferimento P_{VR} in funzione dello stato limite considerato:

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

dati sisma

V_N (anni)	50.00	vita nominale
C_U	1.00	coefficiente d'uso (classe d'uso II)
V_R (anni)	50.00	periodo di riferimento
SLV		
P_{VR}	0.10	probabilità di superamento
T_R (annI)	475	tempo di ritorno per SLV
a_g (g)	0.172	accelerazione su sito riferimento rigido
F_O (-)	2.438	
T_C^* (s)	0.307	
S_S	1.200	coefficiente amplificazione stratigrafica (cat. C)
S_T	1.00	coefficiente amplificazione topografica (cat. T1)
a_{\max} (g)	0.21	$a_{\max}(g) = S_S S_T a_g(g)$

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

I valori dei coefficienti sismici orizzontali k_h e verticale k_v possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m \frac{a_{\max}}{g}; \quad k_v = \pm 0.50 \cdot k_h$$

dove

$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$ accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità;

Essendo lo scatolare una struttura che non ammette spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente β_m assume il valore unitario.

Pertanto, i due coefficienti sismici valgono:

β_m	1.00
k_h	0.21 coefficiente sismico orizzontale
k_v	0.10 coefficiente sismico verticale

6.3.9.1 SPINTA DELLE TERRE IN FASE SISMICA (SPSSX)

Le spinte delle terre, considerando lo scatolare una struttura rigida e priva di spostamenti (par. 7.11.6.2.1 D.M. 17.01.18), sono calcolate in regime di spinta a riposo che comporta il calcolo delle spinte sismiche in tali condizioni; l'incremento dinamico di spinta del terreno può essere calcolato attraverso la trattazione di Wood valida per pareti che accettano piccoli spostamenti:

$$\Delta F_E = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot h_{\text{tot}}^2$$

e va a sommarsi alle condizioni statiche valutate in condizioni di spinta a riposo.

Il punto di applicazione della spinta che interessa lo scatolare è posto $h_{\text{scat}}/2$, con h_{tot} altezza dal piano di progetto alla fondazione dello scatolare e h_{scat} l'altezza dello scatolare.

Essendo ΔF_E la risultante globale, ed il diagramma di spinta di tipo rettangolare, è immediato ricavare la quota parte della spinta che agisce sul piedritto dello scatolare.

h_{tot} (m)	5.75	altezza da P.F. di progetto a fondazione
h_{scat} (m)	4.75	altezza scatolare
Δp_E (kN/m ²)	22.55	incremento sismico di pressione (secondo Wood) per SLV

Oltre ai carichi suddetti viene aggiunta, come carico concentrato nei nodi 1 e 4, la parte di sovrappinta esercitata su 1/2 spessore della soletta superiore e su 1/2 spessore della soletta inferiore.

$\Delta F_{1,2,E}$ (kN/m)	7.89	ΔF dovuto all'incremento sismico di pressione semispessore soletta superiore per SLV
$\Delta F_{3,4,E}$ (kN/m)	9.02	ΔF dovuto all'incremento sismico di pressione semispessore soletta inferiore per SLV

6.3.9.2 SOVRASPINTA ORIZZONTALE FALDA IN CONDIZIONI SISMICHE

Assente.

6.3.9.3 FORZE SISMICHE ORIZZONTALI (SISMAH)

L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali, date dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici in precedenza definiti ed applicate nei rispettivi baricentri. Le masse sismiche sono valutate considerando le azioni dovute al carico ferroviario con coefficiente pari a 0.20.

F_1 (kN/m ²)	3.80	inerzia orizzontale ballast + ricoprimento + massetto per SLV
F_2 (kN/m ²)	3.61	inerzia orizzontale soletta superiore per SLV
F_3 (kN/m ²)	3.61	inerzia orizzontale piedritti per SLV

6.3.9.4 FORZE SISMICHE VERTICALI (SISMAV)

L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche verticali, date dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici in precedenza definiti, di cui la componente verticale è considerata agente verso l'alto o verso il basso, in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli. Le masse sismiche sono valutate considerando le azioni dovute al carico ferroviario con coefficiente pari a 0.20 (cfr tab.5.2.V).

F_1 (kN/m ²)	1.90	inerzia verticale ballast + ricoprimento + massetto per SLV
F_2 (kN/m ²)	1.81	inerzia verticale soletta superiore per SLV
F_3 (kN/m ²)	1.81	inerzia verticale piedritti per SLV
F_4 (kN/m ²)	1.27	inerzia verticale treno di carico LM71 per SLV
F_5 (kN/m ²)	2.06	inerzia verticale soletta inferiore per SLV

6.4 CARICHI ELEMENTARI E LORO COMBINAZIONI

6.4.1 CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI

DEAD	PESO PROPRIO
------	--------------

PERM	CARICHI PERMANENTI (ricoprimento + massetto)
BALLAST	BALLAST
SPBSX/SPBDX	SPINTA DEL BALLAST SU PIEDRITTI
SPTSX/SPTDX	SPINTA DELLE TERRE SU PIEDRITTI
ACC	CARICHI VARIABILI VERTICALI SU OPERA (treni di carico)
SPACCSX/ SPACCDX	SPINTA CARICHI VARIABILI SU PIEDRITTI (treni di carico)
AVV	FRENATURA LM71
TERMF e TERMU	VARIAZIONI TERMICHE (ΔT_u , ΔT_f)
RITIRO	RITIRO
SPSSX	SOVRASPINTA SISMICA
SISMAH	AZIONI SISMICHE ORIZZONTALI
SISMAV	AZIONI SISMICHE VERTICALI

6.4.2 COMBINAZIONI DI CARICO PER SEZIONI DI VERIFICA

Si riportano di seguito i coefficienti parziali utilizzati nelle combinazioni agli SLU, SLE e SLUS relativamente ad ogni sezione di verifica scelta in accordo con le tabelle 5.2.IV, 5.2.V, 5.2.VI e 5.2.VII delle DM2018.

Dall'analisi agli elementi finiti del modello di calcolo, in ogni sezione di verifica sono ricavate le sollecitazioni delle condizioni di carico elementari tutte valutate con coefficienti parziali unitari. Relativamente alla condizione sismica si valuta l'effetto del sisma nelle condizioni di SLD.

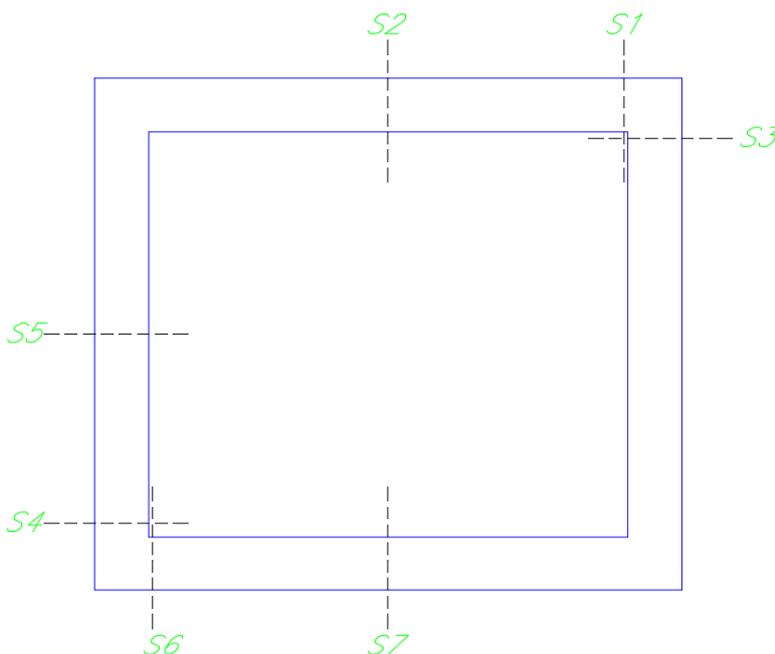


Figura 6 – Sezioni di verifica.

**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
 stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	28 di 61

PERM	1.5	1.3	1	1	1	1	1	1	1	1
BALLAST	1.5	1.3	1	1	1	1	1	1	1	1
SPBSX	1	1	1	1	1.22	1	1	1	1	1
SPBDX	1	1	1	1	1.22	1	1	1	1	1
SPTSX	1	1	1	1	1.22	1	1	1	1	1
SPTDX	1	1	1	1	1.22	1	1	1	1	1
ACC	1.45	1.25	0.2	1	1	1	1	1	0.8	0
ACC2	1.45	1.25	0.2	1	1	1	1	1	0.8	0
SPACCSX	1.45	1.25	0.2	1	1.22	1	1	1	0.8	0
SPACCDX	1.45	1.25	0.2	1	1.22	1	1	1	0.8	0
AVV	1.45	1.25	0.2	1	1	1	1	1	0.8	0
TERMF	1.5	1.3	0	1	1	1	1	0.6	0.6	0.5
TERMU	1.5	1.3	0	1	1	1	1	0.6	0.6	0.5
RITIRO	1.2	1	0	1	1	1	1	1	1	1
SPSSX	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0
SISMAV	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0
SISMAH	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0

6.4.2.2 PIEDRITTI

INCASTRO SUPERIORE DESTRO (S3)

	$\gamma (A1)$	$\gamma (A2)$	$\gamma (Asis)$	$\gamma (M1)$	$\gamma (M2)$	$k_A/k_0 (sis)$	SLV/SLD	ψ_0	ψ_1	ψ_2
DEAD	1.35	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PERM	1.5	1.3	1	1	1	1	1	1	1	1
BALLAST	1.5	1.3	1	1	1	1	1	1	1	1
SPBSX	1.5	1.3	1	1	1.22	1	1	1	1	1
SPBDX	1	1	1	1	1.22	1	1	1	1	1
SPTSX	1.35	1	1	1	1.22	1	1	1	1	1
SPTDX	1	1	1	1	1.22	1	1	1	1	1

**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	29 di 61

ACC	1.45	1.25	0.2	1	1	1	1	1	0.8	0
ACC2	1.45	1.25	0.2	1	1	1	1	1	0.8	0
SPACCSX	1.45	1.25	0.2	1	1.22	1	1	1	0.8	0
SPACCDX	1.45	1.25	0.2	1	1.22	1	1	1	0.8	0
AVV	1.45	1.25	0.2	1	1	1	1	1	0.8	0
TERMF	1.5	1.3	0	1	1	1	1	0.6	0.6	0.5
TERMU	1.5	1.3	0	1	1	1	1	0.6	0.6	0.5
RITIRO	1.2	1	0	1	1	1	1	1	1	1
SPSSX	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0
SISMAV	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0
SISMAH	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0

INCASTRO INFERIORE SINISTRO (S4)

	$\gamma (A1)$	$\gamma (A2)$	$\gamma (Asis)$	$\gamma (M1)$	$\gamma (M2)$	$k_A/k_0 (sis)$	SLV/SLD	ψ_0	ψ_1	ψ_2
DEAD	1.35	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PERM	1.5	1.3	1	1	1	1	1	1	1	1
BALLAST	1.5	1.3	1	1	1	1	1	1	1	1
SPBSX	1.5	1.3	1	1	1.22	1	1	1	1	1
SPBDX	1	1	1	1	1.22	1	1	1	1	1
SPTSX	1.35	1	1	1	1.22	1	1	1	1	1
SPTDX	1	1	1	1	1.22	1	1	1	1	1
ACC	1.45	1.25	0.2	1	1	1	1	1	0.8	0
ACC2	1.45	1.25	0.2	1	1	1	1	1	0.8	0
SPACCSX	1.45	1.25	0.2	1	1.22	1	1	1	0.8	0
SPACCDX	1.45	1.25	0.2	1	1.22	1	1	1	0.8	0
AVV	1.45	1.25	0.2	1	1	1	1	1	0.8	0
TERMF	1.5	1.3	0	1	1	1	1	0.6	0.6	0.5

SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	30 di 61

TERMU	1.5	1.3	0	1	1	1	1	0.6	0.6	0.5
RITIRO	1.2	1	0	1	1	1	1	1	1	1
SPSSX	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0
SISMAV	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0
SISMAH	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0

MEZZERIA PIEDRITTO SINISTRO (S5)

	$\gamma (A1)$	$\gamma (A2)$	$\gamma (Asis)$	$\gamma (M1)$	$\gamma (M2)$	$k_A/k_0 (sis)$	SLV/SLD	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
DEAD	1.35	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PERM	1.5	1.3	1	1	1	1	1	1	1	1
BALLAST	1.5	1.3	1	1	1	1	1	1	1	1
SPBSX	1	1	1	1	1.22	1	1	1	1	1
SPBDX	1	1	1	1	1.22	1	1	1	1	1
SPTSX	1	1	1	1	1.22	1	1	1	1	1
SPTDX	1	1	1	1	1.22	1	1	1	1	1
ACC	1.45	1.25	0.2	1	1	1	1	1	0.8	0
ACC2	1.45	1.25	0.2	1	1	1	1	1	0.8	0
SPACCSX	1.45	1.25	0.2	1	1.22	1	1	1	0.8	0
SPACCDX	1.45	1.25	0.2	1	1.22	1	1	1	0.8	0
AVV	1.45	1.25	0.2	1	1	1	1	1	0.8	0
TERMF	1.5	1.3	0	1	1	1	1	0.6	0.6	0.5
TERMU	1.5	1.3	0	1	1	1	1	0.6	0.6	0.5
RITIRO	1.2	1	0	1	1	1	1	1	1	1
SPSSX	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0
SISMAV	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0
SISMAH	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0

**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
 stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	32 di 61

BALLAST	1.5	1.3	1	1	1	1	1	1	1	1
SPBSX	1	1	1	1	1.22	1	1	1	1	1
SPBDX	1	1	1	1	1.22	1	1	1	1	1
SPTSX	1	1	1	1	1.22	1	1	1	1	1
SPTDX	1	1	1	1	1.22	1	1	1	1	1
ACC	1.45	1.25	0.2	1	1	1	1	1	0.8	0
ACC2	1.45	1.25	0.2	1	1	1	1	1	0.8	0
SPACCSX	1.45	1.25	0.2	1	1.22	1	1	1	0.8	0
SPACCDX	1.45	1.25	0.2	1	1.22	1	1	1	0.8	0
AVV	1.45	1.25	0.2	1	1	1	1	1	0.8	0
TERMF	1.5	1.3	0	1	1	1	1	0.6	0.6	0.5
TERMU	1.5	1.3	0	1	1	1	1	0.6	0.6	0.5
RITIRO	1.2	1	0	1	1	1	1	1	1	1
SPSSX	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0
SISMAV	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0
SISMAH	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0

6.4.3 COMBINAZIONI DI CARICO PER GLI STATI LIMITE CONSIDERATI

Le combinazioni di carico, considerate ai fini delle verifiche, sono stabilite in modo da garantire la sicurezza in conformità a quanto prescritto al cap. 2 delle DM2018.

Gli stati limite ultimi delle opere interrato si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso, determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno, e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono l'opera.

Le verifiche agli stati limite ultimi devono essere eseguiti in riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)

collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;

- SLU di tipo strutturale (STR)

raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

Le verifiche possono essere condotte secondo l'approccio progettuale Approccio 1, utilizzando i coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 5.1.V delle DM2018 per i parametri geotecnici e le azioni.

combinazione 1 → (A1+M1+R1) → generalmente dimensionante per STR

combinazione 2 → (A2+M2+R2) → generalmente dimensionante per GEO (carico limite)

Ai fini delle verifiche degli stati limite ultimi si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{STR)} \quad \gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki} \quad (\Phi_d' = \Phi_k')$$

$$\text{GEO)} \quad \gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki} \quad (\text{spinte } \Phi_d' = \tan^{-1}(\tan \Phi_k' / \gamma_\phi))$$

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (tensioni e fessurazione) si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{Rara)} \quad G1 + G2 + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (tensioni) si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{Quasi permanente)} \quad G1 + G2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Per la condizione sismica, le combinazioni per gli stati limite da prendere in considerazione sono le seguenti:

$$\text{STR)} \quad E + G1 + G2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad (\Phi_d' = \Phi_k')$$

$$\text{GEO)} \quad E + G1 + G2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad (\text{spinte } \Phi_d' = \tan^{-1}(\tan \Phi_k' / \gamma_\phi))$$

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

$$G1 + G2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

I valori del coefficiente ψ_{2i} sono quelli riportati nella tabella 2.5.I della norma; la stessa propone, nel caso di ponti, di assumere per i carichi dovuti al transito dei mezzi $\psi_{2i} = 0.2$.

6.5 VERIFICHE STR

A partire dalle sollecitazioni di output dovute ai singoli casi di carico, si sono determinate le sollecitazioni agenti nelle sezioni di verifica attraverso un foglio di calcolo Excel che si riporta in allegato.

Si riportano di seguito le verifiche nelle condizioni di SLE ed SLU condotte con il software RC-SEC della Geostru.

Per le verifiche a fessurazione, in riferimento a quanto indicato nella EN206, per il caso in esame si identifica una classe di esposizione XC4, che corrisponde a condizioni ambientali aggressive.

4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare		
XS1	Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare	Strutture prossime oppure sulla costa
XS2	Permanentemente sommerso	Parti di strutture marine
XS3	Zone esposte alle onde, agli spruzzi oppure alle maree	Parti di strutture marine
5 Attacco di cicli gelo/disgelo		
XF1	Moderata saturazione d'acqua, senza impiego di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo
XF2	Moderata saturazione d'acqua, con uso di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo di strutture stradali esposte al gelo e ad agenti antigelo
XF3	Elevata saturazione d'acqua, senza antigelo	Superfici orizzontali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo
XF4	Elevata saturazione d'acqua, con antigelo oppure acqua di mare	Strade e impalcati da ponte esposti agli agenti antigelo Superfici di calcestruzzo esposte direttamente ad agenti antigelo e al gelo Zone di strutture marine soggette a spruzzi ed esposte al gelo
6 Attacco chimico		
XA1	Ambiente chimico debolmente aggressivo secondo il prospetto 2 della EN 206-1	Suoli naturali e acqua del terreno
XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della EN 206-1	Suoli naturali e acqua del terreno
XA3	Ambiente chimico fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della EN 206-1	Suoli naturali e acqua del terreno

Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

A vantaggio di sicurezza si effettuano le verifiche considerando anche le combinazioni rare, ponendo come limite il valore $w_1=0.2\text{mm}$.

La massime tensioni (RFI DTC INC PO SP IFS 001 A – par. 1.8.3.2.1) di compressione del calcestruzzo per tutte le combinazioni di carico SLE, risulta sempre inferiore a $\sigma_c < 0.40 f_{ck} = 13.28 \text{ MPa}$.

La massime tensioni (RFI DTC INC PO SP IFS 001 A – par. 1.8.3.2.1) di trazione nell'acciaio per tutte le combinazioni di carico SLE risulta sempre inferiore a $\sigma_s < 0.75 f_{yk} = 337.5 \text{ MPa}$.

Il valore di apertura delle fessure è sempre inferiore a $w_1 = 0.2 \text{ mm}$

Com'è possibile osservare da quanto riportato nel paragrafi seguenti, tutte le verifiche risultano tutte soddisfatte.

6.5.1 SOLETTA SUPERIORE

6.5.1.1 NODO CON PIEDRITTO

OutputCase	P	V2	M3
Text	kN	kN	kNm

**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
 stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	35 di 61

DEAD	1.98	-58.61	-32.55
PERM	-1.56	-13.40	-8.36
BALLAST	-5.60	-48.24	-30.11
SPBSX	-7.45	-3.16	-11.98
SPBDX	-7.60	3.16	8.93
SPTSX	-15.97	-5.96	-24.44
SPTDX	-16.49	5.96	14.56
ACC	-23.97	-206.36	-128.81
SPACCSX	-28.98	-12.29	-46.60
SPACCDX	-29.57	12.29	34.73
AVV	-32.12	-31.57	-62.33
TERMF	10.71	0.00	36.32
TERMU	-19.60	0.00	-33.72
RITIRO	14.59	0.00	25.11
SPSSX	-25.61	-10.86	-41.18
SISMAV	-0.60	-16.65	-9.78
SISMAH	-24.62	-17.09	-56.91

RIEPILOGO SOLLECITAZIONI S1				
SOLETTA SUPERIORE APPOGGIO DESTRO		P	V2	M3
		kN	kN	kNm
SLU	A1+M1	215.5	-538.1	-536.9
SLU	A2+M2	206.2	-456.1	-467.6
SLU	SLV	132.0	-203.8	-237.5
SLE	RARA	156.0	-370.5	-363.7
SLE	FESS. RARA	138.9	-320.4	-316.2
SLE	Q.PERM.	67.9	-120.2	-119.0

6.5.1.2 MEZZERIA

OutputCase	P	V2	M3
Text	kN	kN	kNm
DEAD	1.98	0.00	65.62
PERM	-1.56	0.00	14.08
BALLAST	-5.60	0.00	50.69
SPBSX	-7.45	-3.16	-1.40
SPBDX	-7.60	3.16	-1.66
SPTSX	-15.97	-5.96	-4.49

**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
 stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	36 di 61

SPTDX	-16.49	5.96	-5.39
ACC	-23.97	0.00	216.84
SPACCSX	-28.98	-12.29	-5.43
SPACCDX	-29.57	12.29	-6.45
AVV	0.18	-31.57	0.30
TERMF	10.71	0.00	36.32
TERMU	-19.60	0.00	-33.72
RITIRO	14.59	0.00	25.11
SPSSX	-25.61	-10.86	-4.80
SISMAV	-0.60	0.00	18.11
SISMAH	0.21	-17.09	0.35

RIEPILOGO SOLLECITAZIONI S2				
SOLETTA SUPERIORE MEZZERIA		P	V2	M3
		kN	kN	kNm
SLU	A1+M1	45.6	0.0	580.4
SLU	A2+M2	57.2	0.0	484.8
SLU	SLV	76.2	-20.4	175.0
SLE	RARA	43.9	0.0	401.4
SLE	Q.PERM.	23.0	0.0	177.6
SLE	FESS. RARA	39.1	0.0	358.1

VERIFICHE
DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.

NOME SEZIONE: SOLETTA SUP_S1_S2

(Percorso File: \\oceano\C39\AVOROMODELLI DI CALCOLO\SOTTOPASSO-ELLERA\RCSEC ELLERA\SOLETTA SUP_S1_S2.sez)

Descrizione Sezione:	Stati Limite Ultimi
Metodo di calcolo resistenza:	N.T.C.
Normativa di riferimento:	Sezione predefinita di Trave
Tipologia sezione:	Rettagonolare
Forma della sezione:	A Sforzo Norm. costante
Percorso sollecitazione:	Poco aggressive
Condizioni Ambientali:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento Sforzi assegnati:	Zona non sismica
Riferimento alla sismicit�:	

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	181.30 daN/cm ²
	Resistenza compress. ridotta fcd':	90.65 daN/cm ²
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo

**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	37 di 61

Modulo Elastico Normale Ec:	333458	daN/cm ²
Resis. media a trazione fctm:	30.23	daN/cm ²
Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
Sc limite S.L.E. comb. Rare:	176.00	daN/cm ²
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	128.00	daN/cm ²
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm

ACCIAIO -

Tipo:	B450C	
Resist. caratt. a snervamento fyk:	4500.0	daN/cm ²
Resist. caratt. a rottura ftk:	4500.0	daN/cm ²
Resist. a snerv. di progetto fyd:	3913.0	daN/cm ²
Resist. ultima di progetto ftd:	3913.0	daN/cm ²
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
Modulo Elastico Ef:	2000000	daN/cm ²
Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istant. β1*β2:	1.00	
Coeff. Aderenza differito β1*β2:	0.50	
Comb.Rare - Sf Limite:	3375.0	daN/cm ²

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	70.0	cm
Barre inferiori:	10Ø24	(45.2 cm ²)
Barre superiori:	10Ø24	(45.2 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	8.3	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	8.3	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	5.0	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

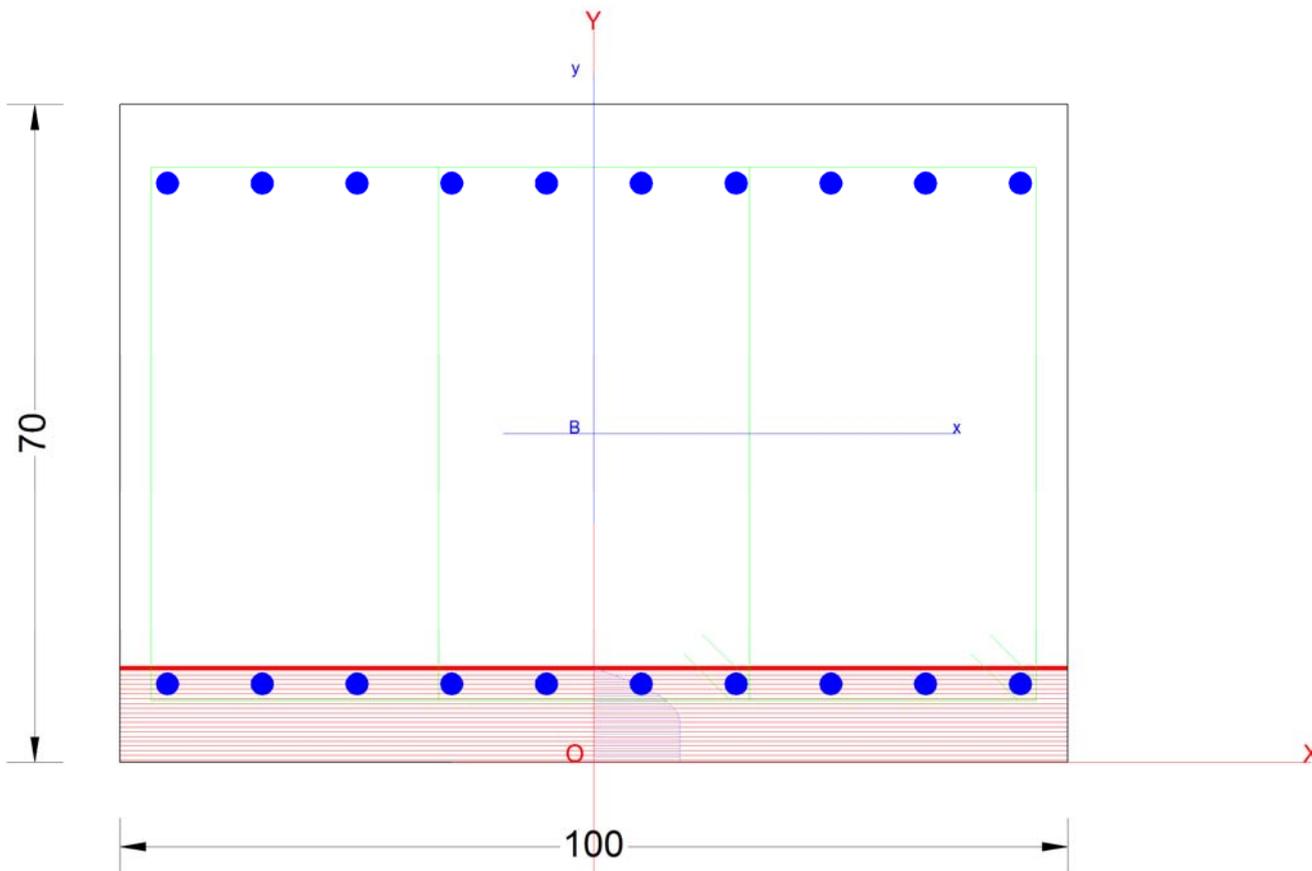
N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy	Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione
MT	Momento torcente [daN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	21553	-53690	-53806	0
2	20622	-46757	-45609	0
3	13200	-23748	-20379	0
4	4556	58041	0	0
5	5717	48481	0	0
6	7616	17497	0	0

SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	38 di 61

Nome sezione: SOLETTA SUP_S1_S2 Comb. n. 1 (S.L.U.)
Coprif. netto minimo barre long.: 3.8 cm Coprif. netto staffe: 2.8 cm



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

N Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	15595	-36372
2	13894	-31618
3	4389	40144
4	3910	35807

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

N Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	6785	-11898 (-35708)
2	2296	17759 (33613)

RISULTATI DEL CALCOLO

SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	39 di 61

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	3.8	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	7.6	cm
Copriferro netto minimo staffe:	2.8	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale [daN] applicato nel Baricentro (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd,Mx rd) e (N,Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.1.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa	Area armature long. trave [cm ²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	21553	-53690	21552	-106357	1.981	9.9	0.16	0.70	45.2 (10.8)
2	S	20622	-46757	20604	-106104	2.269	9.9	0.16	0.70	45.2 (10.8)
3	S	13200	-23748	13197	-104126	4.385	9.8	0.16	0.70	45.2 (10.8)
4	S	4556	58041	4568	101811	1.754	60.5	0.15	0.70	45.2 (10.8)
5	S	5717	48481	5700	102115	2.106	60.4	0.16	0.70	45.2 (10.8)
6	S	7616	17497	7619	102630	5.866	60.4	0.16	0.70	45.2 (10.8)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	0.0	0.00058	8.3	-0.01821	61.7
2	0.00350	0.0	0.00057	8.3	-0.01825	61.7
3	0.00350	0.0	0.00052	8.3	-0.01864	61.7
4	0.00350	70.0	0.00046	61.7	-0.01912	8.3
5	0.00350	70.0	0.00047	61.7	-0.01906	8.3
6	0.00350	70.0	0.00048	61.7	-0.01895	8.3

ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

Diametro staffe:	10	mm	
Passo staffe:	20.0	cm	[Passo massimo di normativa = 20.9 cm]
N.Bracci staffe:	4		
Area staffe/m :	15.7	cm ² /m	[Area Staffe Minima NTC = 15.0 cm ² /m]

VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb.

**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
 stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	40 di 61

Vrd	Taglio resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
Vcd	Taglio compressione resistente [daN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio trazione resistente [daN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]
bw d	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro Altezza utile sezione
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm ² /m]

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	bw d	Ctg	Acw	Ast
1	S	-53806	36114	176528	85329	100.0 61.7	2.500	1.017	9.9
2	S	-45609	35991	176401	85329	100.0 61.7	2.500	1.016	8.4
3	S	-20379	35009	175386	85329	100.0 61.7	2.500	1.010	3.8
4	S	0	33866	252594	34132	100.0 61.7	1.000	1.004	0.0
5	S	0	34020	252824	34132	100.0 61.7	1.000	1.005	0.0
6	S	0	34271	253201	34132	100.0 61.7	1.000	1.006	0.0

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm ²)]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm ²)]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm ²]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	49.1	0.0	0.0	22.2	-1313	8.3	16.0	1595	45.2	9.3
2	S	42.7	0.0	0.0	22.3	-1138	8.3	15.9	1594	45.2	9.3
3	S	52.9	70.0	0.0	49.4	-1581	61.7	16.5	1646	45.2	9.3
4	S	47.2	70.0	0.0	49.4	-1410	61.7	16.5	1646	45.2	9.3

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compressione: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [daNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00079	0.00037	0.50	0.60	0.000394 (0.000394)	385	0.152 (0.20)	-35008
2	S	-0.00069	0.00032	0.50	0.60	0.000341 (0.000341)	385	0.131 (0.20)	-35059
3	S	-0.00095	0.00040	0.50	0.60	0.000474 (0.000474)	390	0.185 (0.20)	33524
4	S	-0.00085	0.00035	0.50	0.60	0.000423 (0.000423)	390	0.165 (0.20)	33523

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	16.2	0.0	0.0	22.9	-412	8.3	15.7	1572	45.2	9.3

**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
 stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	41 di 61

2 S 23.5 70.0 0.0 49.2 -696 61.7 16.4 1643 45.2 9.3

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00025	0.00012	0.50	0.40	0.000124 (0.000124)	383	0.047 (0.20)	-35708
2	S	-0.00042	0.00018	0.50	0.40	0.000209 (0.000209)	390	0.081 (0.20)	33613

6.5.2 PIEDRITTO
6.5.2.1 NODO CON SOLETTA SUPERIORE

OutputCase	P	V2	M3
Text	kN	kN	kNm
DEAD	-70.85	-1.98	-54.83
PERM	-14.80	1.56	-12.75
BALLAST	-53.28	5.60	-45.92
SPBSX	-3.16	7.45	-10.48
SPBDX	3.16	3.01	11.49
SPTSX	-5.96	15.97	-20.93
SPTDX	5.96	13.10	21.65
ACC	-227.92	23.97	-196.42
SPACCSX	-12.29	28.98	-40.76
SPACCDX	12.29	11.71	44.69
AVV	-31.57	35.49	-56.45
TERMF	0.00	-10.71	32.57
TERMU	0.00	19.60	-26.86
RITIRO	0.00	-14.59	20.00
SPSSX	-10.86	25.61	-36.02
SISMAV	-19.02	0.60	-15.70
SISMAH	-17.09	28.48	-53.15

RIEPILOGO SOLLECITAZIONI S3				
PIEDRITTO APPOGGIO SUPERIORE DESTRO		P	V2	M3
SLU		kN	kN	kNm
SLU	A1+M1	595.5	212.4	-652.1
SLU	A2+M2	503.7	200.7	-557.6
SLU	SLV	227.5	126.8	-265.8
SLE	RARA	379.1	115.8	-384.6

**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
 stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	42 di 61

SLE	FESS. RARA	331.1	105.2	-337.2
SLE	Q.PERM.	138.9	59.9	-141.5

6.5.2.2 NODO CON SOLETTA INFERIORE

OutputCase	P	V2	M3
Text	kN	kN	kNm
DEAD	-127.71	-1.98	61.26
PERM	-14.80	1.56	7.70
BALLAST	-53.28	5.60	27.71
SPBSX	3.16	-18.46	13.66
SPBDX	-3.16	7.60	-14.02
SPTSX	5.96	-58.73	27.88
SPTDX	-5.96	16.49	-31.95
ACC	-227.92	23.97	118.52
SPACCSX	12.29	-71.82	53.14
SPACCDX	-12.29	29.57	-54.54
AVV	31.57	-35.84	59.56
TERMF	0.00	-10.71	2.23
TERMU	0.00	19.60	-36.83
RITIRO	0.00	-14.59	27.43
SPSSX	10.86	-63.46	46.95
SISMAV	-24.91	0.60	13.76
SISMAH	17.09	-40.62	59.24

RIEPILOGO SOLLECITAZIONI S4				
PIEDRITTO APPOGGIO INFERIORE SINISTRO		P	V2	M3
		kN	kN	kNm
SLU	A1+M1	537.8	-241.0	551.3
SLU	A2+M2	441.7	-227.2	468.6
SLU	SLV	211.6	-183.6	250.2
SLE	RARA	379.9	-164.4	374.3
SLE	FESS. RARA	343.0	-147.6	328.1
SLE	Q.PERM.	195.8	-77.7	139.2

**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
 stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	43 di 61

6.5.2.3 MEZZERIA

OutputCase	P	V2	M3
Text	kN	kN	kNm
DEAD	-99.28	-1.98	58.04
PERM	-14.80	1.56	10.23
BALLAST	-53.28	5.60	36.81
SPBSX	3.16	-7.80	-7.68
SPBDX	-3.16	7.60	-1.67
SPTSX	5.96	-11.65	-26.21
SPTDX	-5.96	16.49	-5.15
ACC	-227.92	23.97	157.47
SPACCSX	12.29	-30.35	-29.88
SPACCDX	-12.29	29.57	-6.48
AVV	31.57	-35.84	1.31
TERMF	0.00	-10.71	-15.17
TERMU	0.00	19.60	-4.98
RITIRO	0.00	-14.59	3.71
SPSSX	10.86	-26.82	-26.40
SISMAV	-21.96	0.60	14.73
SISMAH	17.09	-34.75	-2.00

RIEPILOGO SOLLECITAZIONI S5				
PIEDRITTO MEZZERIA		P	V2	M3
		kN	kN	kNm
SLU	A1+M1	612.4	73.9	357.2
SLU	A2+M2	512.1	66.2	284.0
SLU	SLV	197.9	-38.6	62.6
SLE	RARA	426.8	49.7	236.3
SLE	FESS. RARA	375.0	37.7	205.1
SLE	Q.PERM.	167.4	14.3	54.3

VERIFICHE

DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.

NOME SEZIONE: PIEDRITTO_S3_S4_S5

(Percorso File: \\oceano\C39\LAVOROMODELLI DI CALCOLO\SOTTOPASSO-ELLERA\RCSEC ELLERA\PIEDRITTO_S3_S4_S5.sez)

Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza:

Normativa di riferimento:

Tipologia sezione:

Stati Limite Ultimi

N.T.C.

Sezione predefinita di Trave

**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	44 di 61

Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
	Resistenza compress. di progetto fcd:	181.30	daN/cm ²
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	333458	daN/cm ²
	Resis. media a trazione fctm:	30.23	daN/cm ²
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	176.00	daN/cm ²
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	128.00	daN/cm ²
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	4500.0	daN/cm ²
	Resist. caratt. a rottura flk:	4500.0	daN/cm ²
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	3913.0	daN/cm ²
	Resist. ultima di progetto ftd:	3913.0	daN/cm ²
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef:	2000000	daN/cm ²
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istant. β1*β2:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito β1*β2:	0.50	
Comb.Rare - Sf Limite:	3375.0	daN/cm ²	

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

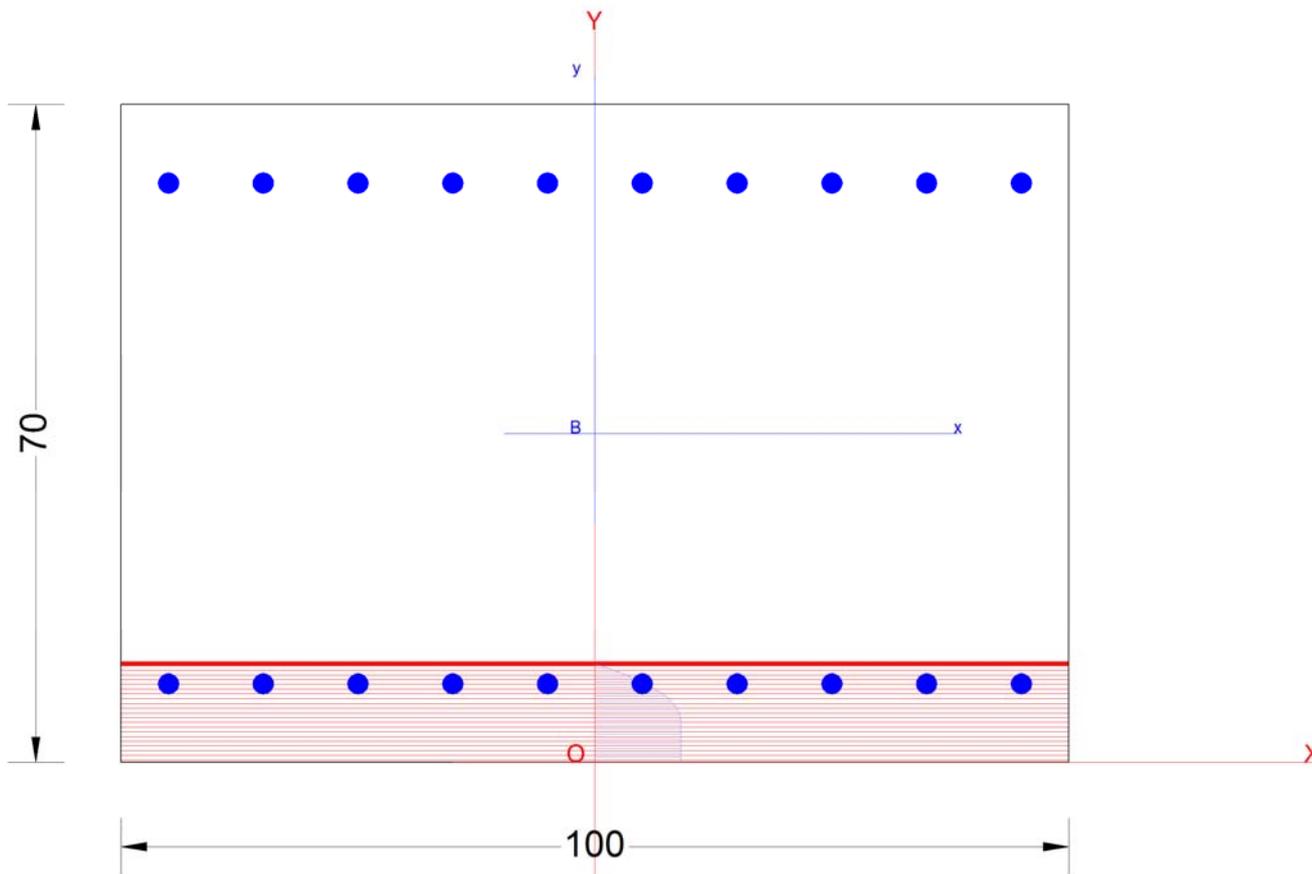
Base:	100.0	cm
Altezza:	70.0	cm
Barre inferiori:	10Ø22	(38.0 cm ²)
Barre superiori:	10Ø22	(38.0 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	8.3	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	8.3	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	5.0	cm

SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	45 di 61

Nome sezione: PIEDRITTO_S3_S4_S5 Comb. n. 1 (S.L.U.)

Coprif. netto minimo barre long.: 3.9 cm Coprif. netto staffe: 0.0 cm



CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	59551	-65212	0	0
2	50366	-55759	0	0
3	22750	-26580	0	0
4	53776	55129	0	0
5	44171	46859	0	0
6	21158	25017	0	0
7	61241	35723	0	0
8	51215	28404	0	0
9	19790	6255	0	0

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

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	46 di 61

N°Comb.	N	Mx
1	37915	-38461
2	33110	-33718
3	37986	37431
4	34304	32806
5	42685	23634
6	37495	20510

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

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	13893	-14149 (-36303)
2	19579	13918 (38730)
3	16736	5429 (52605)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	3.9 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	7.8 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale [daN] applicato nel Baricentro (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.1.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1) NTC]
As Tesa	Area armature long. trave [cm ²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	59551	-65212	59580	-101398	1.555	10.5	0.17	0.70	38.0 (10.8)
2	S	50366	-55759	50340	-98944	1.775	10.2	0.17	0.70	38.0 (10.8)
3	S	22750	-26580	22775	-91569	3.445	9.5	0.15	0.70	38.0 (10.8)
4	S	53776	55129	53784	99860	1.811	59.7	0.17	0.70	38.0 (10.8)
5	S	44171	46859	44196	97304	2.077	60.0	0.16	0.70	38.0 (10.8)
6	S	21158	25017	21139	91129	3.643	60.6	0.15	0.70	38.0 (10.8)
7	S	61241	35723	61235	101837	2.851	59.5	0.17	0.70	38.0 (10.8)
8	S	51215	28404	51239	99184	3.492	59.8	0.17	0.70	38.0 (10.8)
9	S	19790	6255	19770	90762	14.510	60.6	0.15	0.70	38.0 (10.8)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)

SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	47 di 61

Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	0.0	0.00072	8.3	-0.01716	61.7
2	0.00350	0.0	0.00065	8.3	-0.01768	61.7
3	0.00350	0.0	0.00043	8.3	-0.01933	61.7
4	0.00350	70.0	0.00068	61.7	-0.01748	8.3
5	0.00350	70.0	0.00060	61.7	-0.01804	8.3
6	0.00350	70.0	0.00042	61.7	-0.01943	8.3
7	0.00350	70.0	0.00073	61.7	-0.01706	8.3
8	0.00350	70.0	0.00066	61.7	-0.01762	8.3
9	0.00350	70.0	0.00040	61.7	-0.01951	8.3

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm²)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm²)
 Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm²]
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
 Ac eff. Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
 As eff. Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
 D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.
 (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\varnothing/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	58.0	0.0	0.0	23.8	-1384	8.3	15.4	1540	38.0	9.3
2	S	50.8	0.0	0.0	23.8	-1214	8.3	15.4	1540	38.0	9.3
3	S	56.5	70.0	0.0	46.0	-1334	61.7	15.3	1535	38.0	9.3
4	S	49.5	70.0	0.0	45.9	-1157	61.7	15.3	1529	38.0	9.3
5	S	36.4	70.0	0.0	41.4	-634	61.7	13.8	1381	38.0	9.3
6	S	31.6	70.0	0.0	41.3	-546	61.7	13.8	1377	38.0	9.3

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver Esito verifica
 e1 Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
 e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
 K2 = 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
 Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
 e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
 srm Distanza massima in mm tra le fessure
 wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
 M fess. Momento di prima fessurazione [daNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00084	0.00043	0.50	0.60	0.000415 (0.000415)	396	0.164 (0.20)	-36324
2	S	-0.00074	0.00038	0.50	0.60	0.000364 (0.000364)	396	0.144 (0.20)	-36303
3	S	-0.00081	0.00042	0.50	0.60	0.000400 (0.000400)	396	0.158 (0.20)	36480
4	S	-0.00071	0.00037	0.50	0.60	0.000347 (0.000347)	395	0.137 (0.20)	36648
5	S	-0.00040	0.00027	0.50	0.60	0.000190 (0.000190)	381	0.072 (0.20)	41328
6	S	-0.00034	0.00024	0.50	0.60	0.000164 (0.000164)	380	0.062 (0.20)	41481

**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
 stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	48 di 61

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	21.4	0.0	0.0	23.9	-510	8.3	15.4	1540	38.0	9.3
2	S	21.3	70.0	0.0	43.9	-434	61.7	14.6	1462	38.0	9.3
3	S	8.5	70.0	0.0	32.2	-81	61.7	10.8	1076	38.0	9.3

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00031	0.00016	0.50	0.40	0.000153 (0.000153)	396	0.061 (0.20)	-36303
2	S	-0.00027	0.00016	0.50	0.40	0.000130 (0.000130)	389	0.051 (0.20)	38730
3	S	-0.00005	0.00006	0.50	0.40	0.000024 (0.000024)	351	0.009 (0.20)	52605

verifica a taglio

h	700 mm	Rck	40
d	620 mm	fck	33.2
bw	1000 mm	γc	1.5
$1+(200/d)^{0,5}$	1.568		
k	1.568	As	10 Φ 22.0
Asl	3801 mm ²		
Asl/(bw·d)	0.0061		
ρ1	0.006	Vrd	318.5 kN
vmin	0.396	Ved	73.92 KN
vmin·bw·d	245489 N		
Vrd	318519 N	VERIFICATO	

6.5.3 SOLETTA INFERIORE
6.5.3.1 NODO CON PIEDRITTO

OutputCase	P	V2	M3
Text	kN	kN	kNm
DEAD	-1.98	85.43	33.37
PERM	1.56	10.67	3.34
BALLAST	5.60	38.40	12.03
SPBSX	7.45	1.47	21.06
SPBDX	-23.56	-1.35	-16.59
SPTSX	15.97	4.33	52.83
SPTDX	-89.81	-3.91	-37.18
ACC	23.97	164.25	51.45

**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
 stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	49 di 61

SPACCSX	28.98	5.71	81.91
SPACCDX	-91.65	-5.23	-64.54
AVV	35.49	-3.61	75.16
TERMF	-10.71	0.18	6.45
TERMU	19.60	-1.22	-44.24
RITIRO	-14.59	0.91	32.95
SPSSX	25.61	5.04	72.38
SISMAV	0.60	18.51	7.05
SISMAH	41.65	3.37	74.59

RIEPILOGO SOLLECITAZIONI S6				
SOLETTA INFERIORE APPOGGIO SINISTRO		P	V2	M3
		kN	kN	kNm
SLU	A1+M1	0.9	434.6	496.4
SLU	A2+M2	28.2	361.5	435.5
SLU	SLV	18.4	182.7	267.8
SLE	RARA	29.1	303.1	340.7
SLE	FESS. RARA	46.8	269.9	299.0
SLE	Q.PERM.	114.5	136.6	127.1

6.5.3.2 MEZZERIA

OutputCase	P	V2	M3
Text	kN	kN	kNm
DEAD	-1.98	13.57	-86.05
PERM	1.56	0.92	-12.66
BALLAST	5.60	3.32	-45.57
SPBSX	7.45	7.37	2.22
SPBDX	-23.56	-7.34	1.90
SPTSX	15.97	17.24	7.77
SPTDX	-89.81	-17.13	6.69
ACC	23.97	14.20	-194.93
SPACCSX	28.98	28.68	8.65
SPACCDX	-91.65	-28.56	7.41
AVV	35.49	33.52	0.36
TERMF	-10.71	0.04	5.96
TERMU	19.60	-0.30	-40.89
RITIRO	-14.59	0.22	30.45

SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	50 di 61

SPSSX	25.61	25.34	7.64
SISMAV	0.60	1.61	-20.75
SISMAH	41.65	30.21	0.43

RIEPILOGO SOLLECITAZIONI S7				
SOLETTA INFERIORE MEZZERIA		P	V2	M3
		kN	kN	kNm
SLU	A1+M1	71.3	-3.5	-510.3
SLU	A2+M2	93.4	-5.2	-419.7
SLU	SLV	174.2	-41.0	-174.9
SLE	RARA	7.1	65.5	-348.4
SLE	FESS. RARA	19.0	55.9	-309.5
SLE	Q.PERM.	69.6	17.8	-149.1

VERIFICHE

DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.

NOME SEZIONE: SOLETTA INF_S6_S7

(Percorso File: \\oceano\C39\AVOROMODELLI DI CALCOLO\SOTTOPASSO-ELLERA\RCSEC ELLERA\SOLETTA INF_S6_S7.sez)

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di Trave
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C28/35
	Resistenza compress. di progetto fcd:	158.60 daN/cm ²
	Resistenza compress. ridotta fcd':	79.30 daN/cm ²
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	323080 daN/cm ²
	Resis. media a trazione fctm:	27.60 daN/cm ²
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	154.00 daN/cm ²
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	112.00 daN/cm ²
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. a snervamento fyk:		4500.0 daN/cm ²
Resist. caratt. a rottura ftk:		4500.0 daN/cm ²
Resist. a snerv. di progetto fyd:		3913.0 daN/cm ²
Resist. ultima di progetto ftd:		3913.0 daN/cm ²

**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	51 di 61

Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
Modulo Elastico Ef:	2000000	daN/cm ²
Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50	
Comb.Rare - Sf Limite:	3375.0	daN/cm ²

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	80.0	cm
Barre inferiori:	10Ø22	(38.0 cm ²)
Barre superiori:	10Ø22	(38.0 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	8.3	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	8.3	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	5.0	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy	Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione
MT	Momento torcente [daN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	88	49644	43461	0
2	2817	43553	36145	0
3	1838	26777	18265	0
4	7131	-51026	0	0
5	9342	-41968	0	0
6	17419	-17490	0	0

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

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

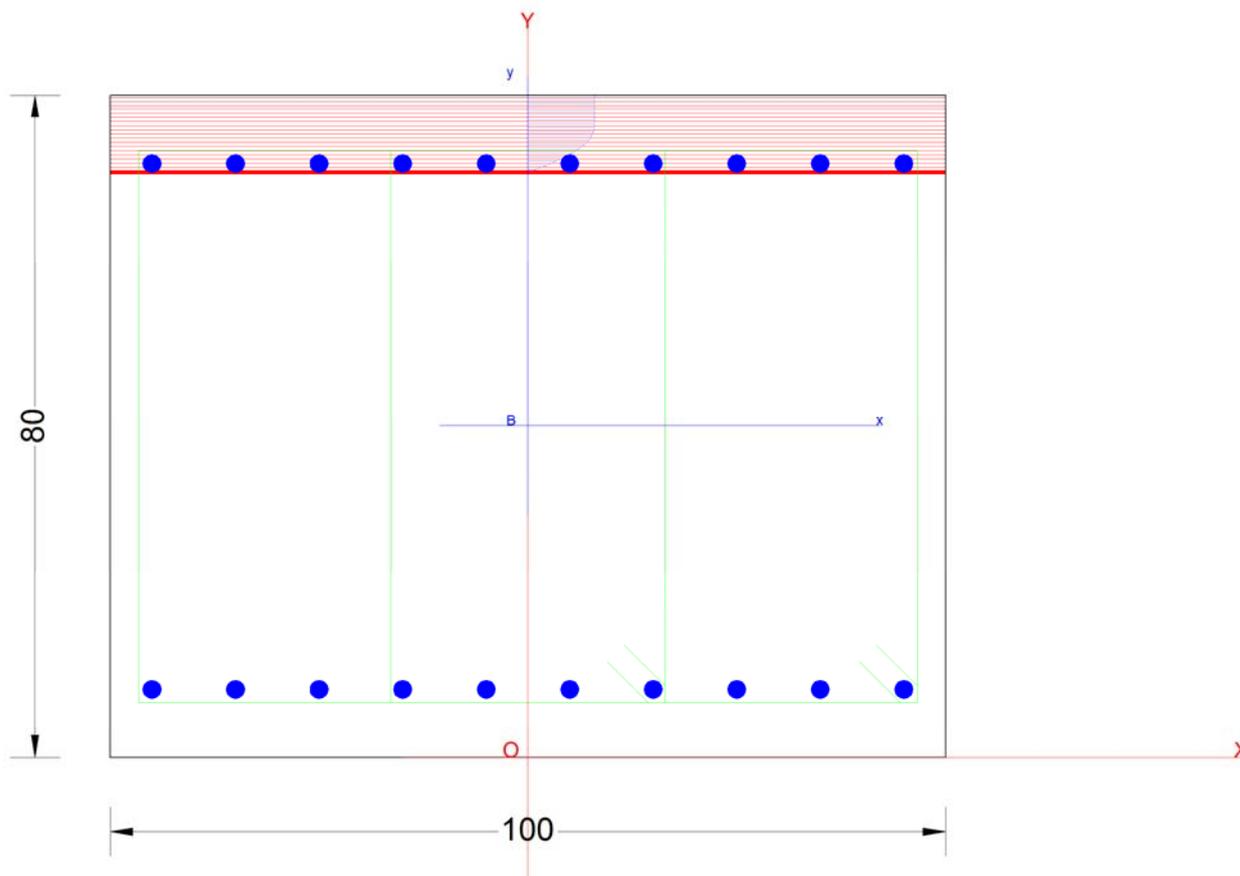
N°Comb.	N	Mx
1	2909	34073
2	4678	29902
3	712	-34836
4	1901	-30945

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

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	11451	12714 (43093)
2	6961	-14912 (-40120)

Nome sezione: SOLETTA INF_S6_S7 Comb. n. 1 (S.L.U.)
Coprif. netto minimo barre long.: 3.9 cm Coprif. netto staffe: 2.9 cm



RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	3.9	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	7.8	cm
Copriferro netto minimo staffe:	2.9	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata									
N	Sforzo normale [daN] applicato nel Baricentro (positivo se di compressione)									
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x baricentrico									
N Ult	Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)									
Mx rd	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x baricentrico									
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000									
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X, Y, O sez.									
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.1.1 NTC]: deve essere < 0.45									
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1) NTC]									
As Tesa	Area armature long. trave [cm ²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)									

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	88	49644	77	99621	2.007	70.7	0.13	0.70	38.0 (11.4)
2	S	2817	43553	2833	100499	2.308	70.6	0.13	0.70	38.0 (11.4)
3	S	1838	26777	1823	100177	3.741	70.6	0.13	0.70	38.0 (11.4)
4	S	7131	-51026	7130	-101867	1.996	9.5	0.13	0.70	38.0 (11.4)

SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	53 di 61

5	S	9342	-41968	9345	-102572	2.444	9.6	0.13	0.70	38.0 (11.4)
6	S	17419	-17490	17397	-105133	6.011	9.8	0.14	0.70	38.0 (11.4)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	80.0	0.00038	71.7	-0.02342	8.3
2	0.00350	80.0	0.00041	71.7	-0.02322	8.3
3	0.00350	80.0	0.00040	71.7	-0.02329	8.3
4	0.00350	0.0	0.00044	8.3	-0.02290	71.7
5	0.00350	0.0	0.00046	8.3	-0.02273	71.7
6	0.00350	0.0	0.00053	8.3	-0.02213	71.7

ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

Diametro staffe:	10	mm	
Passo staffe:	20.0	cm	[Passo massimo di normativa = 20.9 cm]
N.Bracci staffe:	4		
Area staffe/m :	15.7	cm ² /m	[Area Staffe Minima NTC = 15.0 cm ² /m]

VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb.
Vrd	Taglio resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
Vcd	Taglio compressione resistente [daN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
Vvd	Taglio trazione resistente [daN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]
bw d	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro Altezza utile sezione
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm ² /m]

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vvd	bw d	Ctg	Acw	AST
1	S	43461	32314	176469	99159	100.0 71.7	2.500	1.000	6.9
2	S	36145	32693	176849	99159	100.0 71.7	2.500	1.002	5.7
3	S	18265	32561	176713	99159	100.0 71.7	2.500	1.001	2.9
4	S	0	33273	257300	39664	100.0 71.7	1.000	1.006	0.0
5	S	0	33570	257746	39664	100.0 71.7	1.000	1.007	0.0
6	S	0	34656	259375	39664	100.0 71.7	1.000	1.014	0.0

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm ²)]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm ²)]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm ²]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)

**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
 stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	54 di 61

Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	38.4	80.0	0.0	58.6	-1356	71.7	19.5	1954	38.0	9.3
2	S	33.9	80.0	0.0	58.2	-1163	71.7	19.4	1940	38.0	9.3
3	S	39.0	0.0	0.0	21.0	-1414	8.3	19.7	1967	38.0	9.3
4	S	34.8	0.0	0.0	21.2	-1240	8.3	19.6	1959	38.0	9.3

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; $-(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [daNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00079	0.00029	0.50	0.60	0.000407 (0.000407)	437	0.178 (0.20)	37825
2	S	-0.00068	0.00025	0.50	0.60	0.000349 (0.000349)	436	0.152 (0.20)	38233
3	S	-0.00082	0.00029	0.50	0.60	0.000424 (0.000424)	438	0.186 (0.20)	-37460
4	S	-0.00072	0.00026	0.50	0.60	0.000372 (0.000372)	438	0.163 (0.20)	-37690

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	15.1	80.0	0.0	53.4	-382	71.7	17.8	1778	38.0	9.3
2	S	17.4	0.0	0.0	23.9	-524	8.3	18.8	1876	38.0	9.3

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00023	0.00011	0.50	0.40	0.000115 (0.000115)	420	0.048 (0.20)	43093
2	S	-0.00031	0.00013	0.50	0.40	0.000157 (0.000157)	429	0.067 (0.20)	-40120

6.6 VERIFICHE GEO

Le verifiche sono state eseguite considerando i risultati dell'analisi strutturale condotta con il programma di calcolo SAP2000 ver. 20.0.0. In particolare, si sono considerate le reazioni delle molle in fondazione per ogni Load Case, combinandole attraverso i coefficienti relativi alle sezioni S6 e S7, con riferimento alla combinazione più gravosa tra A1 + M1 e SISMA SLV. La reazione totale è identica per entrambi i gruppi di coefficienti e, quindi, nel seguito si riporta solo quella che risulta dall'applicazione dei coefficienti relativi alla sezione S7. La stratigrafia del sito in cui ricade l'opera è riportata nella Tabella seguente. Si precisa, inoltre, che si è assunta una profondità del piano di posa D pari alla distanza tra estradosso soletta superiore e intradosso soletta inferiore.

Nel caso in esame si interferisce con il solo strato T1, per il quale si riassumono i parametri nella tabella che segue:

unità	γ	Φ'	c'	c_u	G_0	E_{op}	k
	[kN/m ³]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	[m/s]
T1	19	33	0	-	95 ÷ 200	25 ÷ 50	1E-04 ÷ 1E-05

Tabella 2 – Stratigrafia del sito in esame.

Joint	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	18
OutputCase	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F3
Text	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
DEAD	56.3	42.5	41.6	27.5	27.2	27.1	27.2	27.5	41.6	42.5	56.3
PERM	4.1	3.1	2.9	1.9	1.9	1.8	1.9	1.9	2.9	3.1	4.1
BALLAST	14.9	11.0	10.5	6.8	6.7	6.6	6.7	6.8	10.5	11.0	14.9
SPBSX	-4.6	-2.7	-2.0	-0.8	-0.4	0.0	0.5	0.9	2.0	2.7	4.5
SPBDX	4.5	2.7	2.0	0.9	0.4	0.0	-0.4	-0.8	-2.0	-2.7	-4.6
SPTSX	-10.3	-6.0	-4.3	-1.8	-0.8	0.1	1.0	2.0	4.4	5.9	9.8
SPTDX	9.9	5.9	4.4	2.0	1.0	0.1	-0.8	-1.8	-4.3	-6.0	-10.3
ACC	63.7	47.0	45.1	29.3	28.6	28.4	28.6	29.3	45.1	47.0	63.7
SPACCSX	-18.0	-10.6	-7.6	-3.3	-1.5	0.1	1.8	3.4	7.7	10.5	17.5
SPACCDX	17.5	10.5	7.7	3.4	1.7	0.1	-1.5	-3.3	-7.6	-10.6	-18.0
AVV	-28.0	-16.8	-12.3	-5.4	-2.7	0.0	2.7	5.4	12.3	16.8	27.9
TERMF	-0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	-0.2
TERMU	1.2	0.3	-0.2	-0.4	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	0.3	1.2
RITIRO	-0.9	-0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	-0.2	-0.9
SPSSX	-15.9	-9.4	-6.7	-2.9	-1.4	0.1	1.6	3.0	6.8	9.2	15.5
SISMAV	7.1	5.3	5.1	3.3	3.2	3.2	3.2	3.3	5.1	5.3	7.1
SISMAH	-20.5	-12.2	-8.9	-3.9	-1.9	0.0	1.9	3.9	8.9	12.2	20.4

**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
 stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	56 di 61

α	γ (A1)	γ (M1)	ψ_0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	18	
				F3 kN	F3 kN	F3 kN	F3 kN	F3 kN	F3 kN	F3 kN	F3 kN	F3 kN	F3 kN	F3 kN	F3 kN
1	1.35	1	1	75.98	57.31	56.18	37.17	36.77	36.63	36.77	37.17	56.18	57.31	75.98	
1	1.5	1	1	6.20	4.58	4.39	2.85	2.79	2.77	2.79	2.85	4.39	4.58	6.20	
1	1.5	1	1	22.32	16.49	15.82	10.27	10.04	9.96	10.04	10.27	15.82	16.49	22.32	
1	1	1	1	-4.63	-2.72	-1.95	-0.84	-0.39	0.03	0.45	0.88	1.98	2.69	4.50	
1	1	1	1	4.51	2.69	1.98	0.88	0.45	0.03	-0.40	-0.84	-1.96	-2.72	-4.62	
1	1	1	1	-10.29	-6.00	-4.27	-1.81	-0.82	0.11	1.03	1.96	4.36	5.90	9.83	
1	1	1	1	9.86	5.91	4.35	1.95	1.02	0.10	-0.84	-1.82	-4.28	-6.00	-10.26	
1	1.45	1	1	92.32	68.18	65.41	42.49	41.51	41.17	41.51	42.49	65.41	68.18	92.32	
0	1.45	1	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0	1.45	1	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
-1	1.45	1	1	40.54	24.30	17.81	7.84	3.87	-0.01	-3.89	-7.85	-17.82	-24.30	-40.51	
-1	1.5	1	0.6	0.16	0.04	-0.03	-0.05	-0.07	-0.08	-0.07	-0.05	-0.03	0.04	0.16	
1	1.5	1	0.6	1.09	0.25	-0.21	-0.36	-0.49	-0.54	-0.49	-0.36	-0.21	0.25	1.09	
0	1.2	1	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0	0	1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0	0	1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0	0	1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
				238.07	171.02	159.48	100.39	94.66	90.17	86.90	84.69	123.85	122.42	157.01	1428.67

Tabella 3 – Reazioni ai nodi della fondazione per la combinazione A1 + M1.

α	γ (Asis)	γ (M2)	SLV/SLD	SISMA SLV											
				F3 kN	F3 kN	F3 kN	F3 kN	F3 kN	F3 kN	F3 kN	F3 kN	F3 kN	F3 kN	F3 kN	
1	1	1	1	59.03	45.03	44.30	29.15	28.90	28.82	28.90	29.15	44.30	45.03	59.03	
1	1	1	1	4.15	3.10	2.99	1.93	1.90	1.88	1.90	1.93	2.99	3.10	4.15	
1	1	1	1	14.93	11.15	10.75	6.96	6.82	6.78	6.82	6.96	10.75	11.15	14.93	
1	1	1.22	1	-4.77	-2.85	-2.07	-0.89	-0.42	0.03	0.48	0.93	2.09	2.82	4.64	
1	1	1.22	1	4.65	2.83	2.09	0.93	0.47	0.03	-0.42	-0.89	-2.07	-2.85	-4.76	
1	1	1.22	1	-12.68	-7.54	-5.42	-2.30	-1.06	0.13	1.29	2.47	5.52	7.42	12.16	
1	1	1.22	1	12.20	7.43	5.51	2.46	1.28	0.11	-1.07	-2.31	-5.42	-7.53	-12.65	
1	0.2	1	1	12.77	9.54	9.20	5.95	5.84	5.80	5.84	5.95	9.20	9.54	12.77	
0	0.2	1.22	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0	0.2	1.22	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
-1	0.2	1	1	5.62	3.42	2.52	1.10	0.55	0.00	-0.55	-1.11	-2.52	-3.42	-5.61	
1	0	1	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
-1	0	1	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	0	1	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
-1	1	1	2.14	34.54	20.67	14.97	6.43	3.05	-0.22	-3.45	-6.72	-15.15	-20.47	-33.65	
0.3	1	1	2.14	4.59	3.44	3.32	2.15	2.11	2.10	2.11	2.15	3.32	3.44	4.59	
-1	1	1	2.14	34.84	21.04	15.40	6.70	3.28	-0.07	-3.41	-6.80	-15.46	-20.98	-34.55	
				169.86	117.25	103.57	60.57	52.71	45.37	38.43	31.72	37.56	27.26	21.06	705.37

Tabella 4 – Reazioni ai nodi della fondazione per la combinazione SISMA SLV.

SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	57 di 61

Fondazioni Dirette
Verifica in tensioni efficaci

$$q_{lim} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

D = Profondità del piano di appoggio

e_B = Eccentricità in direzione B ($e_B = M_b/N$)

e_L = Eccentricità in direzione L ($e_L = M_l/N$) (per fondazione nastriforme $e_L = 0$; $L^* = L$)

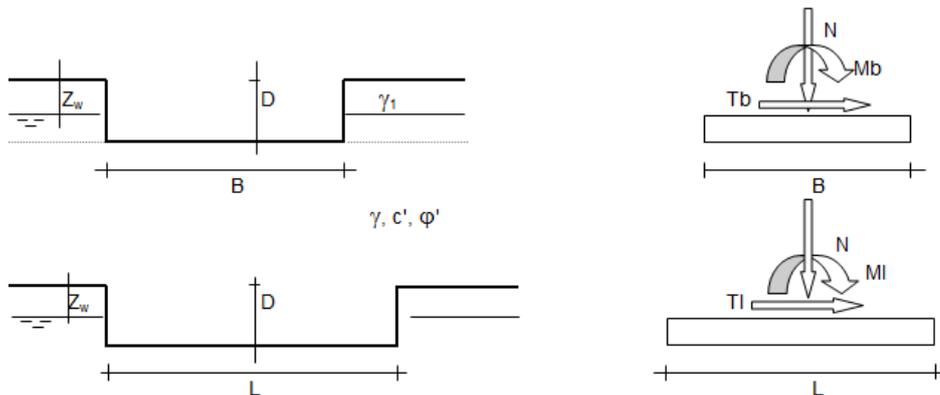
B^* = Larghezza fittizia della fondazione ($B^* = B - 2 \cdot e_B$)

L^* = Lunghezza fittizia della fondazione ($L^* = L - 2 \cdot e_L$)

(per fondazione nastriforme le sollecitazioni agenti sono riferite all'unità di lunghezza)

coefficienti parziali

Metodo di calcolo	azioni		proprietà del terreno		resistenze		
	permanenti	temporanee variabili	$\tan \varphi'$	c'	q_{lim}	scorr	
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	◇	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00
	A2+M2+R2	◇	1.00	1.30	1.25	1.25	1.80
	SISMA	◇	1.00	1.00	1.25	1.25	1.80
	A1+M1+R3	◇	1.30	1.50	1.00	1.00	2.30
	SISMA	◇	1.00	1.00	1.00	1.00	2.30
Tensioni Ammissibili	◇	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00
Definiti dal Progettista	●	1.00	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10



(Per fondazione nastriforme L = 100 m)

B = 6.80 (m)
L = 100.00 (m)
D = 4.20 (m)



AZIONI

SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	58 di 61

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	1428.70		1428.70
Mb [kNm]	0.00		0.00
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	0.00		0.00
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	0.00	0.00	0.00

Peso unità di volume del terreno

$$\gamma_1 = 19.00 \quad (\text{kN/mc})$$

$$\gamma = 19.00 \quad (\text{kN/mc})$$

Valori caratteristici di resistenza del terreno

$$c' = 0.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$\varphi' = 33.00 \quad (^\circ)$$

Valori di progetto

$$c' = 0.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$\varphi' = 33.00 \quad (^\circ)$$

Profondità della falda

$$Z_w = 7.00 \quad (\text{m})$$

$$e_B = 0.00 \quad (\text{m})$$

$$e_L = 0.00 \quad (\text{m})$$

$$B^* = 6.80 \quad (\text{m})$$

$$L^* = 1.00 \quad (\text{m})$$

q : sovraccarico alla profondità D

$$q = 79.80 \quad (\text{kN/mq})$$

γ : peso di volume del terreno di fondazione

$$\gamma = 13.12 \quad (\text{kN/mc})$$

N_c, N_q, N_γ : coefficienti di capacità portante

$$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \varphi')}$$

$$N_q = 26.09$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi'$$

$$N_c = 38.64$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi'$$

$$N_\gamma = 35.19$$

s_c, s_q, s_γ : fattori di forma

SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	59 di 61

$$s_c = 1 + B \cdot N_q / (L \cdot N_c)$$

$$s_c = 1.00$$

$$s_q = 1 + B \cdot \tan \varphi' / L$$

$$s_q = 1.00$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \cdot B / L$$

$$s_\gamma = 1.00$$

i_c, i_q, i_γ : fattori di inclinazione del carico

$$m_b = (2 + B / L) / (1 + B / L) = 0.00 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L / B) / (1 + L / B) = 0.00 \quad m = 2.00 \quad (-)$$

$$i_q = (1 - H / (N + B \cdot L \cdot c' \cdot \cotg \varphi'))^m$$

($m=2$ nel caso di fondazione nastriforme e $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$ in tutti gli altri casi)

$$i_q = 1.00$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$$

$$i_c = 1.00$$

$$i_\gamma = (1 - H / (N + B \cdot L \cdot c' \cdot \cotg \varphi'))^{(m+1)}$$

$$i_\gamma = 1.00$$

d_c, d_q, d_γ : fattori di profondità del piano di appoggio

per $D/B \leq 1$; $d_q = 1 + 2 D \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2 / B$

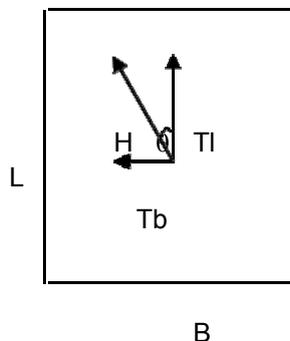
per $D/B > 1$; $d_q = 1 + (2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2) \cdot \arctan (D / B)$

$$d_q = 1.36$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan \varphi')$$

$$d_c = 1.37$$

$$d_\gamma = 1$$



**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	60 di 61

$$d_y = 1.00$$

b_c, b_q, b_y : fattori di inclinazione base della fondazione

$$b_q = (1 - \beta_f \tan \varphi')^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1.00$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan \varphi')$$

$$b_c = 1.00$$

$$b_y = b_q$$

$$b_y = 1.00$$

g_c, g_q, g_y : fattori di inclinazione piano di campagna

$$g_q = (1 - \tan \beta_p)^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1.00$$

$$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan \varphi')$$

$$g_c = 1.00$$

$$g_y = g_q$$

$$g_y = 1.00$$

Carico limite unitario

$$q_{lim} = 3062.68 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Pressione massima agente

$$q = N / B \cdot L^*$$

$$q = 210.10 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Verifica di sicurezza capacità portante

$$q_{lim} / \gamma_R = 1331.6 \geq q = 210.10 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**SOTTOPASSI E SOTTOVIA - Nuovo sottopasso di
stazione Ellera - relazione di calcolo scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL SL0100 002	A	61 di 61

7 INCIDENZE

Soletta superiore: 150 kg/mc

Piedritti: 120 kg/mc

Soletta inferiore: 100 kg/mc