

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J84C19000370009

U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA A.V. /A.C. MILANO - VERONA

NODO DI BRESCIA

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

VASCA DI LAMINAZIONE FABBRICATI

Relazione di calcolo vasca di laminazione

SCALA:

-

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

IN1M 11 D 26 CL ID00000 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva		Gennaio 2022	N.Carella <i>Carlo</i>	Gennaio 2022	L.Barchi <i>LB</i>	Gennaio 2022	A.Perego Gennaio 2022



IN1M11D26CLID0000002A

n. Elab.: 1



PROGETTO DEFINITIVO
LINEA A.V./A.C. MILANO – VERONA
NODO DI BRESCIA
POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE SCALO DI BRESCIA

RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINE
IN1M	11 D 26	CL	ID0000002	A	2 di 48

INDICE

1	PREMESSE E OGGETTO	5
2	NORME E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	7
2.1	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO	7
2.2	DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO PD	7
3	PROCEDIMENTO COSTRUTTIVO	8
4	COSTITUZIONE DEL SOTTOSUOLO	9
5	AZIONI ESERCITATE DAL TERRENO	15
6	DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE.....	16
6.1	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	16
6.2	ANALISI DEI CARICHI	16
6.2.1	Carichi idrostatici orizzontali e verticali	17
6.2.2	Spinta dei terreni.....	17
6.2.3	Azioni variabili verticali da destinazione d'uso	17
6.2.4	Azioni variabili: vento	18
6.2.5	Azioni variabili: neve	18
6.2.6	Individuazione della Vita nominale e Classe d'uso	19
6.2.7	Classe di duttilità.....	20
6.2.8	Individuazione della Zona Sismica	20
6.2.9	Azioni pseudo statiche dell'acqua	23
6.3	COMBINAZIONI	25
6.4	MODELLAZIONE	30
6.5	SOLLECITAZIONI	31

6.6	VERIFICHE STRUTTURALI	35
6.6.1	Armatura Esterna – M22 / V23	35
6.6.2	Armatura Esterna – M11 / V13	42
6.7	CONCLUSIONI.....	48

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE	PROGETTO IN1M	LOTTO 11 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID000002	REV. A

1 PREMESSE E OGGETTO

Gli interventi in progetto sono finalizzati ad un generale adeguamento e potenziamento Infrastrutturale dello Scalo di Brescia, che riguarda la realizzazione del nuovo PRG di scalo per adeguarlo alle nuove esigenze di traffico merci e dotarlo di un'asta di manovra da 750 m lato Milano, che permetterà l'instradamento dei treni verso Verona.

In particolare, gli interventi riferiti a tale documento prevedono la costruzione di due vasche di laminazione a servizio dei nuovi Fabbricati Tecnologici. I fabbricati sono destinati all'allestimento di apparecchiature tecnologiche destinate al comando, al controllo e alla sicurezza della circolazione ferroviaria nella tratta in oggetto. Le vasche in progetto hanno pianta rettangolare di dimensioni 10,70m x 5,70m per una profondità pari a 3,18m. Il tipologico è rappresentato in Figura 1.

A fine costruzione la geometria della vasca di laminazione adiacente al fabbricato FA01 sarà caratterizzata da un ricoprimento alla quota attuale di piano campagna (132.9 m s.m.) ed un piano di posa della soletta (compreso lo spessore di magrone) alla quota di 129.7 m s.m; la vasca adiacente al fabbricato FA02 sarà caratterizzata da un ricoprimento alla quota di piano campagna attuale (133.2 m s.m.) ed un piano di posa della soletta (compreso lo spessore di magrone) alla quota di 130.0 m s.m.

Dal momento che tutti e due le vasche hanno le stesse dimensioni, è stata prevista la medesima tipologia strutturale, caratterizzata c.a. gettato in opera.

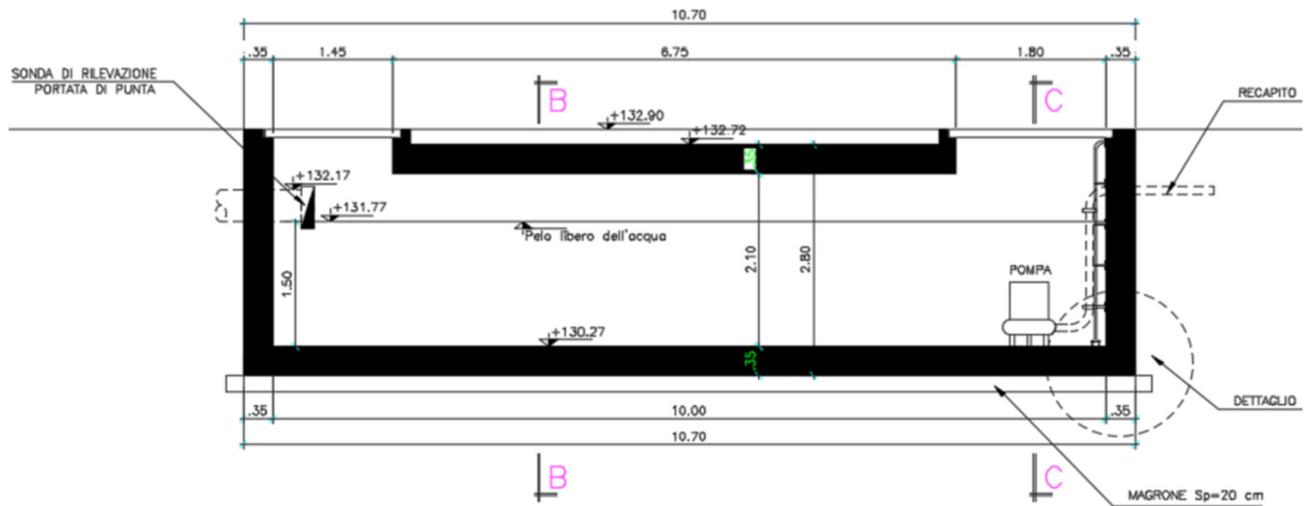
La presente relazione di calcolo ha dunque come oggetto le verifiche strutturali delle vasche condotte in riferimento alle azioni più gravose fra quelle che interessano i siti esaminati.

Nel seguito si definiscono il procedimento costruttivo e la costituzione del sottosuolo al fine di determinare le azioni esercitate dal terreno sull'opera. Si analizzano quindi le diverse azioni gravanti sulla struttura e si determinano le massime sollecitazioni per le verifiche strutturali.

Le analisi sono state svolte in accordo al Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17 Gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni", nel seguito indicato con NTC 2018. Le verifiche strutturali sono state svolte con il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite.

SEZIONE A-A

SCALA 1:50



PIANTA VASCA

SCALA 1:50

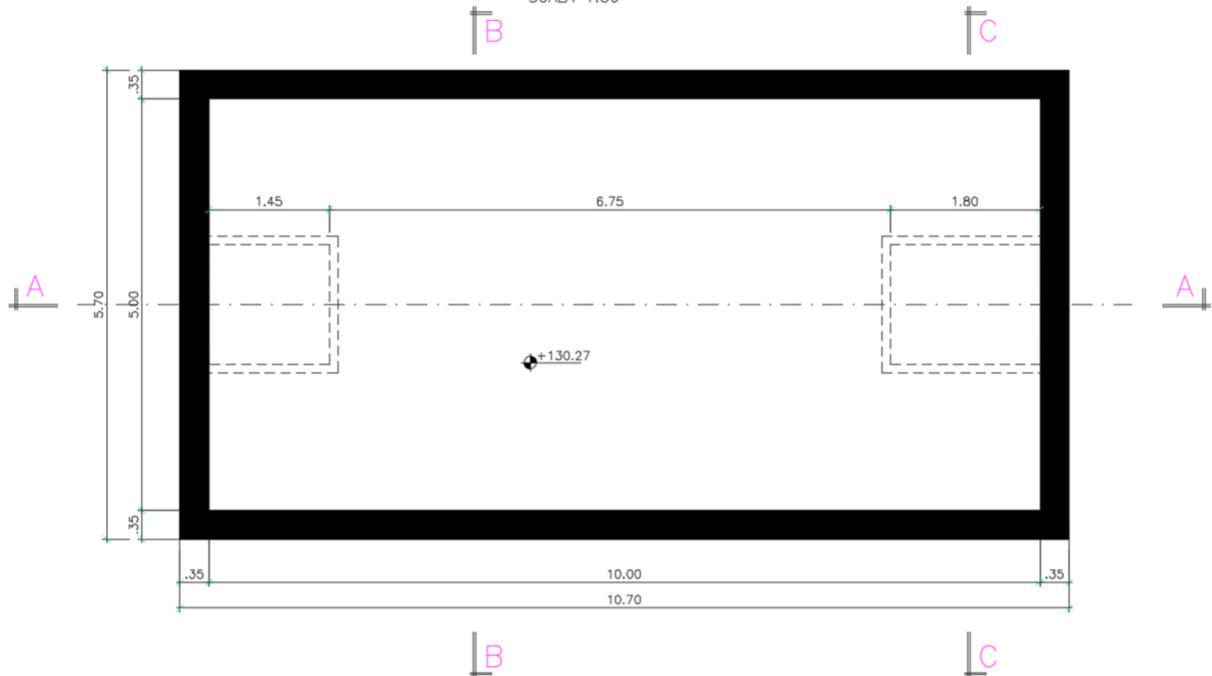


Figura 1 – Carpenteria vasche di laminazione fabbricati (FA01 e FA02).

 ITOLFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE	PROGETTO IN1M	LOTTO 11 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID000002	REV. A

2 NORME E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

2.1 NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO

Si riporta di seguito l'elenco delle normative a cui si è fatto riferimento per la stesura della presente relazione:

- [1] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.42 del 20.2.2018, Supplemento ordinario n.8.
- [2] Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”
- [3] RFI DTC SI MA IFS 001 D del 20.12.2019 - “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI”.
- [4] RFI DTC INC CS LG IFS 001 A del 21.12.2011 – “Linee guida per il collaudo statico delle opere in terra”.
- [5] RFI DTC SI SP IFS 001 C del 21.12.2018- Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi”– RFI.

2.2 DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO PD

- [6] ITOLFERR – PD: “LINEA AV/AC MILANO-BRESCIA. POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA”. Relazione geotecnica generale.
- [7] ITOLFERR – PD: “LINEA AV/AC MILANO-BRESCIA. POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA”. Profilo Geotecnico – Adeguamento linea AV.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE	PROGETTO IN1M	LOTTO 11 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID0000002	REV. A

3 PROCEDIMENTO COSTRUTTIVO

Ai fini del dimensionamento degli elementi strutturali che costituiscono la fondazione, le pareti e la soletta di copertura delle vasche di laminazione, è stato ipotizzato il processo costruttivo descritto di seguito.

La definizione del procedimento costruttivo è parte integrante del processo di progettazione; infatti è necessaria ai fini della determinazione delle azioni esercitate dal terreno sulla struttura, ai fini della ricostruzione del modello geotecnico del sottosuolo ed anche ai fini delle analisi e verifiche geotecniche di progetto. In merito è utile richiamare le prescrizioni di normativa vigente sull'argomento DM 2018, § 6.2.2 *“Ai fini dell’analisi quantitativa di uno specifico problema, per modello geotecnico di sottosuolo si intende uno schema rappresentativo del volume significativo di terreno, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico, che devono essere caratterizzate con riferimento allo specifico problema geotecnico. Nel modello geotecnico di sottosuolo devono essere definiti il regime delle pressioni interstiziali e i valori caratteristici dei parametri geotecnici”*.

Nel caso in esame, tenuto conto che le vasche hanno forma in pianta rettangolare con lati aventi lunghezze pari a 5 m (larghezza) e 10 m (lunghezza), con profondità del piano di posa pari a 3.2 m circa rispetto al piano campagna circostante, è stata ipotizzato la seguente successioni di fasi costruttive:

- esecuzione di uno sbancamento generalizzato, con profondità pari ad 1.5 m ed esteso oltre l’area di impronta della vasca; si ipotizza una superficie in pianta di tale scavo con larghezza pari a 15 m e lunghezza pari a 20 m;
- le pareti di tale sbancamento, oltre l’impronta di 15x20 m², saranno sagomate con pendenza di 1v/1h;
- approfondimento dello scavo sino alla quota di posa del magrone; tale approfondimento sarà eseguito con pendenza delle pareti di 1v/2h;
- getto del magrone di pulitura e livellamento;
- realizzazione della platea di fondazione; lungo i bordi si lasceranno le armature di attesa per collegamento con quelle delle pareti;
- costruzione delle pareti ed in ultimo della soletta di copertura;
- ritombamento delle pareti della vasca, per una distanza di 5 m da queste, privilegiando il materiale estratto dalla parte inferiore dello scavo, a profondità dal piano di campagna maggiori di 1 m;
- riempimento del volume lasciato dallo scavo di sbancamento generalizzato con la rimanente parte di materiale estratto per la realizzazione della vasca;
- il terreno utilizzato per ritombare le pareti della vasca, per una distanza di 5 m da queste, dovrà essere compattato adeguatamente; in particolare la densità secca in sito dovrà essere almeno pari al 95% di quella ottenuta in laboratorio mediante prove Proctor; per eseguire la compattazione il materiale dovrà essere posto in opera in strati con spessore massimo di 0.35 m; la parte di scavo a ridosso della platea di fondazione potrà essere compattata con mezzi operati a mano; la rimanente parte, sino alla quota dell’estradosso di copertura dovrà essere compattata con mezzi meccanici.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE	PROGETTO IN1M	LOTTO 11 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID0000002	REV. A

Si fa osservare che il procedimento costruttivo descritto in precedenza rappresenta una valida alternativa rispetto all'impiego di opere di sostegno provvisorie; in particolare tenuto conto delle informazioni attualmente disponibili sulla costituzione del sottosuolo e della geometria delle vasche, dimensioni e forma dell'impronta in pianta e profondità di posa della fondazione.

4 COSTITUZIONE DEL SOTTOSUOLO

Le indagini disponibili per definire la costituzione del sottosuolo sono la verticale di indagine S2 e la MASW_1, indagini eseguite durante la campagna di indagine PFTE del 2019. Si fa notare che le indagini sono ubicate ad una distanza superiore a 500m come evidenziato in

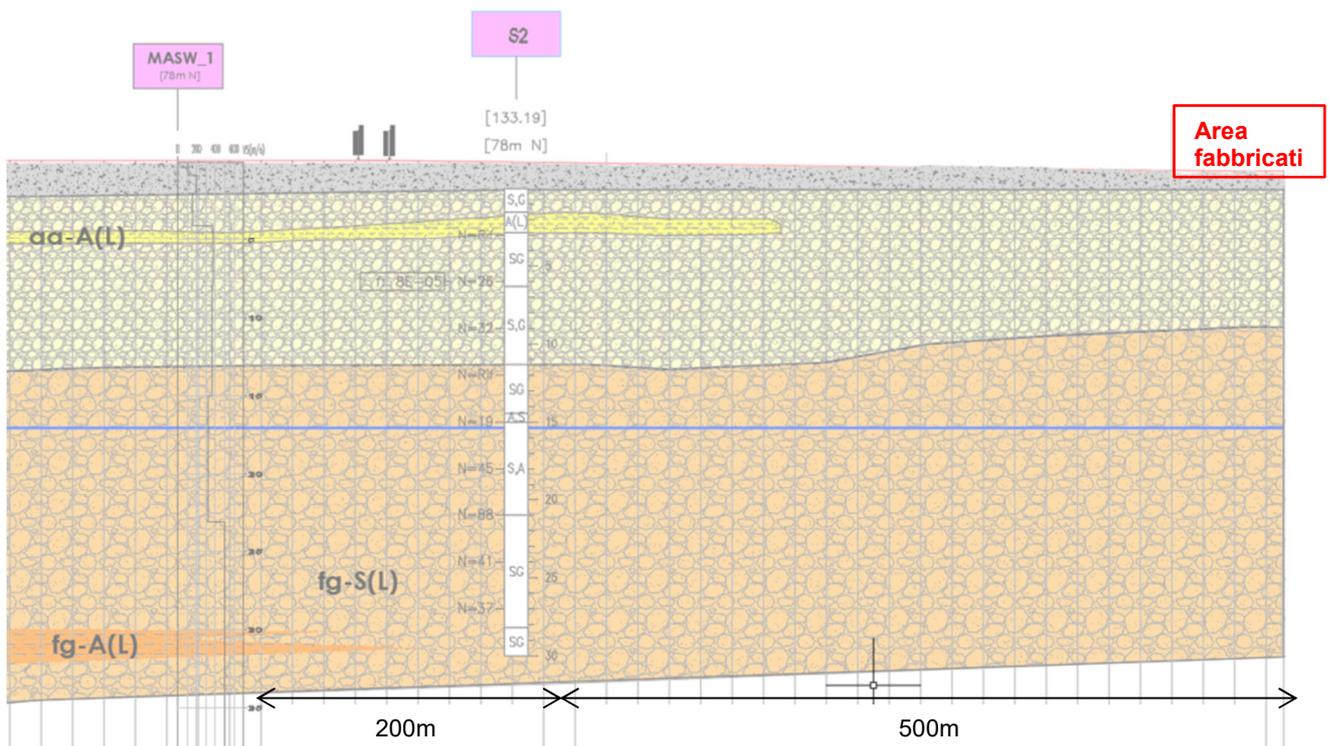


Figura 2 – Stralcio del Profilo geotecnico– Adeguamento linea AV (Doc.IN1M10D26F7GE0005004A) ed identificazione dell'area destinata ai fabbricati ed alle relative vasche di laminazione.

Di seguito si riportano lo schema stratigrafico e di calcolo e la tabella con i valori dei parametri geotecnici utilizzati per sviluppare i calcoli e le verifiche delle due opere.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE	PROGETTO IN1M	LOTTO 11 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID000002	REV. A

Per quanto riguarda la ricostruzione del modello geotecnico di sottosuolo si fa riferimento al profilo geotecnico definito per l'adeguamento delle linea AV, in particolare alla fine del tratto direzione Verona (Doc.[7]). La stratigrafia geotecnica e di calcolo viene desunta dal sondaggio S2; il profilo di Vs ottenuto dalla MASW_1 viene utilizzato per ricavare il valore del modulo di rigidezza, G_0 .

Tabella 1 - Stratigrafia sondaggio S2

profondità da testa foro (m)	Descrizione	Profondità prova da testa foro (m)	k (m/s)	N ₃₀
0.0 - 1.5	Sabbia con ghiaia			
1.5 – 2.8	Argilla limosa, con limo ghiaiosa (da 2.65 m livello di sabbia con ghiaia, argillosa)			
2.8 – 6.3	Sabbia e Ghiaia da ciottolosa a con ciottoli (da 5.85 m a 6.15 m livello di sabbia con ghiaia, con limo)	3.0 6.0	$8 \cdot 10^{-5}$	R 26
6.3 – 11.3	Sabbia deb limosa con ghiaia e ciottoli	9.0		32
11.3 – 14.45	Sabbia e ghiaia con limo da argillosa a deb argillosa	12.0		R
14.45 -15.0	Argilla con sabbia, con ghiaia, limosa	15.0		19
15.0 – 21.0	Sabbia con argilla, limosa, ghiaiosa (a partire da 17.25m presenza di trovanti litici, e da 18.7 m a 19.0m di livelli di argilla)	18.0 21.0		45 88
21.0 – 28.2	Sabbia e ghiaia con ciottoli , limosa (da 21.8 m a 22.3 m livello di argilla limosa; da 23.0 m a 23.25 m livello di argilla deb limosa e deb sabbiosa)	24.0 27.0		41 37
28.2 - 30.0	Sabbia e ghiaia, con limo, loc argillosa (da 28.8 m a 29.0 m livello di sabbia fine con limo)			

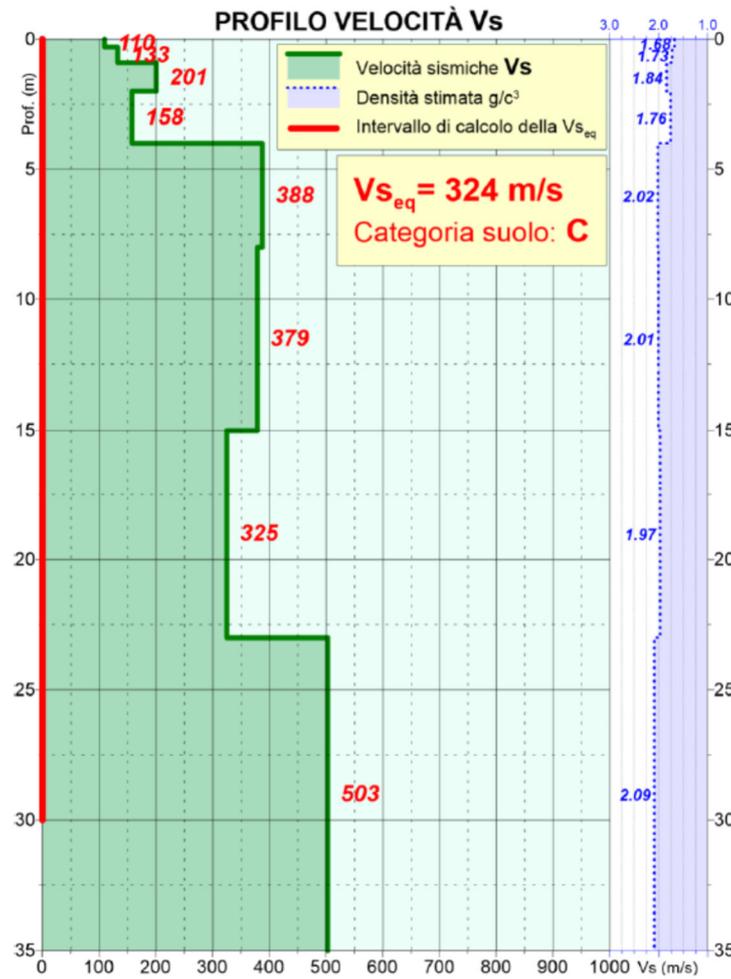


Figura 3 – Profilo di velocità da prova geofisica MASW_1

Modello di sottosuolo

Per le vasche in progetto viene scelta la seguente stratigrafia, associata al sondaggio S2 con boccaforo a quota 133.19 s.m. (Tabella 2).

L'altezza di falda assunta in progetto, riportata nel profilo geotecnico, è impostata a 118 m.s.l.m., quindi con profondità dal piano campagna di circa 12-15 m.

Nella Tabella 3 sono riportati i valori caratteristici del peso dell'unità di volume (γ) e dei parametri di resistenza al taglio dei terreni, espressi in termini di tensioni efficaci. Questi valori sono stati ricavati a valle di una analisi ed elaborazione dei risultati delle prove in sito e di laboratorio, esposta in dettaglio nella Relazione Geotecnica Generale (IN1M10D26GEGE0005001A).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE	PROGETTO IN1M	LOTTO 11 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID0000002	REV. A

Tabella 2 - Schema stratigrafico di calcolo.

Terreni	Unità	z (*) [m dal p.c.]	Quota tetto [m s.m.]	Quota base [m s.m.]	Spessore [m]
Ghiaia e sabbia (1)	aa- G(S)	0.0 – 10	132.9	123.2	10.0
Ghiaia e sabbia (3)	fg –S(L)	>10.0	123.2	----	----

(*) il piano campagna coincide con la quota di ricoprimento della vasca che si attesta a 132.9m s.m

(1) Terreni a grana grossa superiori; (3) Terreni a grana grossa inferiori;

E' necessario precisare che nel caso in esame questo percorso è stato sviluppato privilegiando un approccio cautelativo, in considerazione delle incertezze inerenti l'esame e interpretazione dei risultati delle prove eseguite su terreni a grana grossa, quali sono stati rinvenuti nel sottosuolo delle opere in progetto.

Il valore del modulo di rigidezza (M_0) è rappresentativo della rigidezza dei terreni a bassissimi livelli di deformazione (pedice 0). Infatti è stato ricavato a partire dai valori di velocità di propagazione delle onde di taglio V_s mediante le note relazioni

$$G_0 = [(\rho) (V_s)^2] \quad E'_0 = 2 (1 + \nu) (G_0) \quad M_0 = 3.5 (G_0)$$

nelle quali (ρ) e (ν) indicano, rispettivamente, la densità di massa ed il coefficiente di Poisson.

E' necessario quindi abbattere il valore del modulo in modo tale da renderlo congruente con le deformazioni delle opere in progetto. Nel caso in esame il calcolo è sviluppato a partire dal valore G_0 successivamente ridotto con un fattore di abbattimento pari a 0.8.

Ai fini del dimensionamento delle opere, si è ritenuto opportuno, a vantaggio di sicurezza, fare riferimento ai valori dei moduli di rigidezza dei terreni ricavati dalla elaborazione dei risultati delle prove geognostiche, in particolare dai risultati della MASW_1.

Elaborando i dati disponibili si ottiene:

Terreni	z [m]	V_s [m/s]	G_0 [MPa]	M_0 [MPa]	$M = 0.8 \cdot M_0$ [MPa]
Ghiaia e sabbia (1)	0.0 – 4.0	150	40	150	120
Ghiaia e sabbia (1)	4.0 – 10.0	300	170	595	475

Tabella 3 – Valori caratteristici e di progetto dei parametri di Rigidezza

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE	PROGETTO IN1M	LOTTO 11 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID0000002	REV. A

Modello di Winkler

Come noto questo modello è applicato nell'ipotesi che la risposta del terreno possa essere assimilata a quella di un letto di molle indipendenti.

Per la stima del valore della costante elastica della molla (k_w), costante di sottofondo, utilizzata per descrivere la risposta del contatto terreno-struttura, è stata utilizzata la relazione $k_w = M/B$ nella quale B è una dimensione rappresentativa della fondazione ed M è il modulo edometrico, o modulo di compressione in condizioni monodimensionali o edometriche (espansione laterale impedita).

Nel caso in esame il valore della larghezza B risulta pari a 5 m. Ai fini dell'analisi di interazione fra la struttura ed il terreno di imposta si potrà assumere, pertanto, che il volume geotecnicamente significativo rimanga contenuto entro lo strato delle ghiaie superiori, unità: Ghiaia e sabbia (1).

Di conseguenza si potrà assumere:

$$(k_w) = M/B_1 = 120 / 5.0 = 24 \text{ MN/m}^3 \quad \text{da cui} \quad (k_v) = (k_H) = 24 \text{ N/cm}^3$$

In sintesi si riportano i valori dei parametri di progetto di resistenza al taglio e di rigidezza per le verifiche della vasca di laminazione. In particolare, per la definizione delle spinte sulla vasca, tenendo in considerazione che il materiale di ritombamento è materiale ottenuto dallo sbancamento e poi ricompattato, si assumono i seguenti valori:

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3 \quad c' = 0 \text{ kPa}, \phi' = 35^\circ \quad M = 120 \text{ MPa} \quad k_w = 24 \text{ MN/m}^3$$

PARAMETRI GEOTECNICI

UNITA'

	Ritombamento	peso di volume: γ 19 kN/m ³
		angolo di attrito: ϕ' 35°
	aa-G(S)	peso di volume: γ 19 kN/m ³
		angolo di attrito: ϕ' 39°
	fg-S(L)	peso di volume: γ 19 kN/m ³
		angolo di attrito: ϕ' 37°

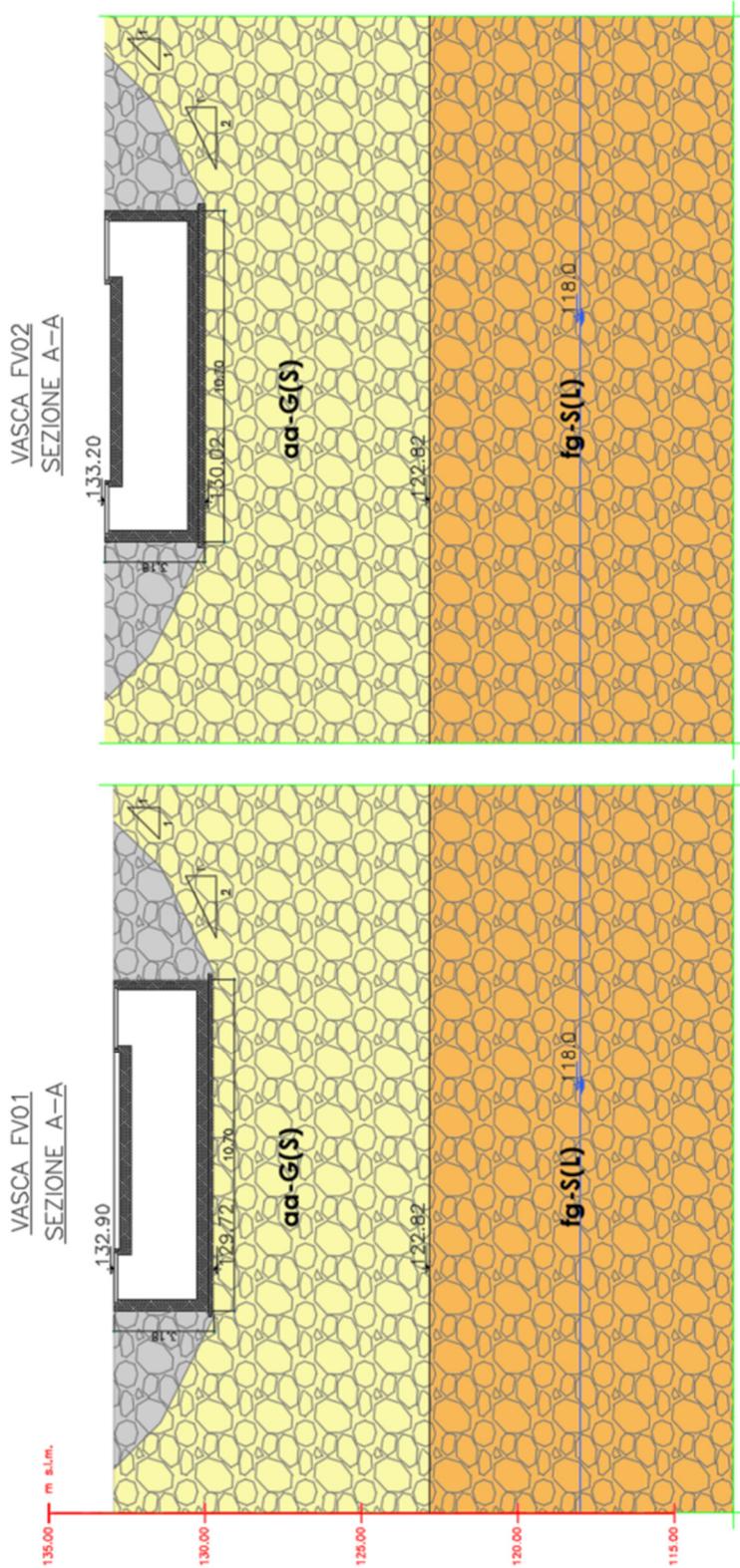


Figura 4 - Sezione A-A relativa alle vasche (FA01 e FA02) e dettaglio stratigrafico

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE	PROGETTO IN1M	LOTTO 11 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID000002	REV. A

5 AZIONI ESERCITATE DAL TERRENO

Il materiale di ritombamento è quello proveniente dagli scavi compattato come indicato nel procedimento costruttivo, tuttavia cautelativamente si è definito un valore di angolo di attrito pari a $\phi' = 35^\circ$ e quindi

$$k_0 = 1 - \text{sen}\phi' = 1 - 0.57 = 0.43$$

$$\sigma_v (z=3.2\text{m}) = q_d + \gamma \cdot z = 13 + 19 \cdot 3.2 = 73.8 \text{ kPa}$$

$$\sigma_h (z=3.2\text{m}) = \sigma_v \cdot k_0 = 73.8 \cdot 0.43 = 32 \text{ kPa}$$

Al fine della verifica strutturale delle vasche si assume una distribuzione dell'azione di tipo rettangolare con valore costante e pari a 32kPa (Figura 5 e Figura 6).

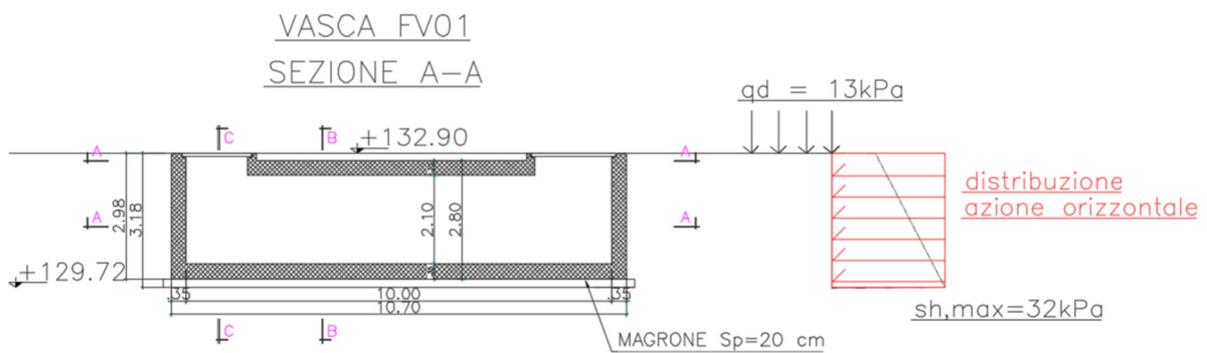


Figura 5 – Distribuzione dell'azione orizzontale esercitata dal terreno sulla vasca FV01.

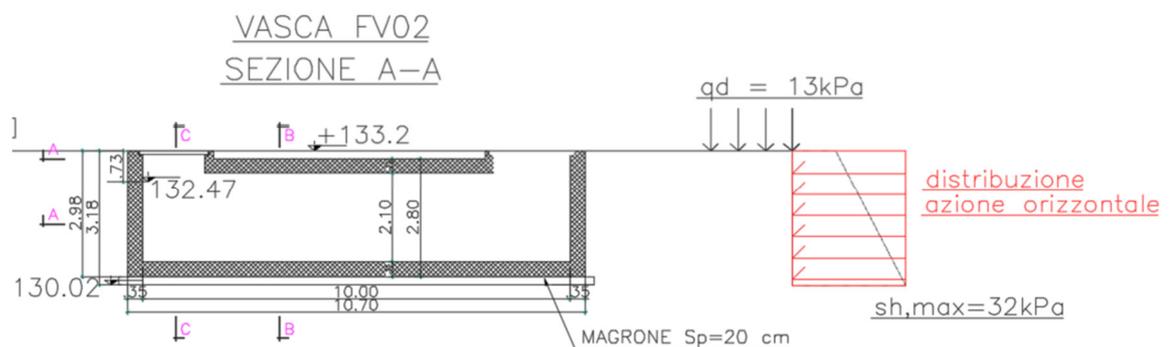


Figura 6 – Distribuzione dell'azione orizzontale esercitata dal terreno sulla vasca FV02.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE	PROGETTO IN1M	LOTTO 11 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID0000002	REV. A

6 DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE

6.1 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per la realizzazione della platea di fondazione si prevede l'utilizzo di calcestruzzo avente classe di resistenza C25/30 ($R_{ck} \geq 30 \text{ N/mm}^2$), che presenta le seguenti caratteristiche:

- Resistenza Caratteristica a Compressione (Cil.) $\rightarrow f_{ck} = 0,83 \times R_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$
- Classe di Esposizione $\rightarrow \text{XC2}$ (condiz. ambientali ord.)
- Classe di Consistenza $\rightarrow \text{S4/S5}$
- Resistenza Media a Compressione $\rightarrow f_{cm} = f_{ck} + 8 = 33 \text{ N/mm}^2$
- Modulo Elastico $\rightarrow E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0,3} = 31.475 \text{ N/mm}^2$
- Coefficiente di Sicurezza $\rightarrow Y_c = 1,5$
- Resistenza di Calcolo a Compressione $\rightarrow f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / Y_c = 14,17 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione Media $\rightarrow f_{ctm} = 0,3 \times f_{ck}^{2/3} = 2,56 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione $\rightarrow f_{ctk} = 0,7 \times f_{ctm} = 1,80 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione di Calcolo $\rightarrow f_{ctd} = f_{ctd} / Y_c = 1,20 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Compressione (Comb. Rara) $\rightarrow \sigma_c = 0,6 \times f_{ck} = 15,00 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Compressione (Comb. Q.P.) $\rightarrow \sigma_c = 0,45 \times f_{ck} = 11,25 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza $\rightarrow f_{bk} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctk} = 2,82 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo $\rightarrow f_{bd} = f_{bk} / Y_c = 1,88 \text{ N/mm}^2$
- Deformazione Ultima a Rottura $\rightarrow \epsilon_{cu} = 0,0035$

Per gli elementi strutturali della fondazione si assume un copriferro di 40 mm (valutato al netto della staffa).

Per quanto riguarda la scelta degli stati limite di fessurazione, si fa riferimento a quanto riportato nella Tabella 4.1.IV delle NTC 2018, assumendo di trovarsi in condizioni ambientali ordinarie (vedi Tab.4.1.III NTC 2018) con armatura poco sensibile; i limiti adottati per la verifica nei confronti di tale stato limite sono riportati di seguito:

- Combinazione delle azioni Frequente $\rightarrow w_d \leq w_3 = 0,4 \text{ mm}$
- Combinazione delle azioni Quasi Permanente $\rightarrow w_d \leq w_2 = 0,3 \text{ mm}$

6.2 ANALISI DEI CARICHI

- **Peso proprio**

Il peso degli elementi strutturali modellati viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo.

- **Azioni permanenti**

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE	PROGETTO IN1M	LOTTO 11 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID000002	REV. A

Il peso degli elementi strutturali modellati viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo.

- Riempimento in terra (spessore 18 cm) 3.42 kN/m²

PLATEA DI FONDAZIONE – Carico Tipo 2 (Cat. A)

-	Peso proprio Platea	750 daN/m ²
-	Finitura	100 daN/m ²
TOTALE PERMANENTI STRUTTURALI		750 daN/m ²
TOTALE PERMANENTI NON STRUTTURALI		150 daN/m ²

6.2.1 Carichi idrostatici orizzontali e verticali

Nella zona delle vasche di raccolta delle acque si assume una altezza idrica di massimo pieno pari a all'intera altezza della camera di contenimento in modo da massimizzare, in favore di sicurezza l'azione di spinta.

Di conseguenza al modello di calcolo sono state applicate le pressioni idrostatiche sulle pareti interne ed il carico verticale sulla soletta di fondazione relativa ad un battente idraulico pari all'altezza del pelo libero rispetto al fondo della vasca.

6.2.2 Spinta dei terreni

Per la spinta dei terreni si rimanda al capitolo 5.

6.2.3 Azioni variabili verticali da destinazione d'uso

I carichi variabili comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera; i modelli di tali azioni possono essere costituiti da:

- carichi verticali uniformemente distribuiti q_k [kN/m²],
- carichi verticali concentrati Q_k [kN].
- carichi orizzontali lineari H_k [kN/m]

I valori nominali e/o caratteristici q_k , Q_k ed H_k sono riportati in tabella. Tali valori sono comprensivi degli effetti dinamici ordinari, purché non vi sia rischio di risonanza delle strutture.

I carichi verticali concentrati Q_k formano oggetto di verifiche locali distinte e non vanno sovrapposti ai corrispondenti carichi verticali ripartiti; essi devono essere applicati su impronte di carico appropriate all'utilizzo ed alla forma dell'orizzontamento.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE	PROGETTO IN1M	LOTTO 11 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID0000002	REV. A

Dal paragrafo 3.1.4 del D.M. '18, nel nostro caso si ha una sola tipologia di carico: Solaio per ambienti ad uso commerciale (mercati).

Copertura vasca

Cat.	Ambienti	q_k [KN/m ²]	Q_k [KN]	H_k [KN/m]
G1	Aree per traffico o parcheggio di veicoli medi	5	2 x 50.0	1.00

Per l'ambiente interno della vasca si considera un carico di categoria H

Cat.	Ambienti	q_k [KN/m ²]	Q_k [KN]	H_k [KN/m]
H	Sola Manutenzione	0.50	1.20	1.00

6.2.4 Azioni variabili: vento

L'azione del vento viene trascurata essendo il locale totalmente interrato.

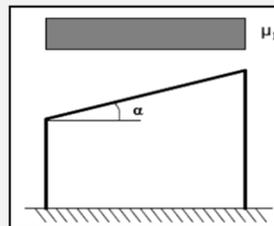
6.2.5 Azioni variabili: neve

Come altitudine si fa riferimento alla stazione di Delia situata a 363 m s.l.m la quale lungo la tratta ferroviaria, è quella altimetricamente più elevata e soggetta al maggior carico neve.

CALCOLO AZIONE DELLA NEVE - NTC 2018 §3.4				
<i>Caratteristiche del Sito</i>	Zona	NTC 2018 §3.4.2	I - Alpina	
	Altitudine s.l.m.		$a_s =$ 134	m
	Valore di riferimento del carico neve al suolo		$q_{sk} =$	1.50 kN/m ²
	$q_{sk} = 1.50$ kN/m ² , $a_s \leq 200$ m s.l.m.			

$$q_{sk} = 1.39 [1 + (a_s/728)^2] \text{ kN/m}^2, a_s > 200 \text{ m s.l.m.}$$

Coefficiente di esposizione		NTC 2018 §3.4.4 Tab. 3.4.I	$C_E =$	1
Coefficiente Termico		NTC 2018 §3.4.5	$C_t =$	1
Coefficiente di Forma	Angolo di Inclinazione della Falda	NTC 2018 §3.4.3	$\alpha_1 = \alpha_2$ $\mu_1 (\alpha)$	0° 0.8



$$q_s \text{ (carico neve sulla copertura [N/m}^2\text{])} = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

μ_i (coefficiente di forma)

q_{sk} (valore caratteristico della neve al suolo [kN/m²])

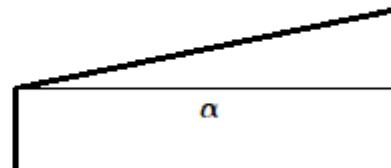
C_E (coefficiente di esposizione)

C_t (coefficiente termico)

Inclinazione falda	0 [deg]
--------------------	---------

1.20 kN/mq μ1

μ_1	0.80
---------	------



6.2.6 Individuazione della Vita nominale e Classe d'uso

La vita nominale delle strutture oggetto della presente relazione, intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta a manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata, è assunta pari a:

- $V_N = 75$ anni

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE	PROGETTO IN1M	LOTTO 11 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID000002	REV. A

La classe d'uso della costruzione è invece assunta pari a:

- Classe II: costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente.

$C_u = 1.0$ - Come riportato nella Tabella 2.4.II delle NTC2018.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_u

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_u	0,7	1,0	1,5	2,0

6.2.7 Classe di duttilità

In merito alla duttilità strutturale si è scelto di progettare una struttura di tipo non dissipativo.

Date le caratteristiche geometriche e strutturali delle opere, per il progetto dei basamenti, è stato pertanto adottato un fattore di comportamento $q=1,0$.

6.2.8 Individuazione della Zona Sismica

Si riportano di seguito gli spettri di risposta elastici per ciascuno Stato Limite considerato (SLO, SLD e SLV).

Function Name

Function Damping Ratio

Parameters

ag, F0 and Tc* - by Latitude/Longitude
 ag, F0 and Tc* - by Island
 ag, F0 and Tc* User Specified

Site Longitude (degree)

Site Latitude (degree)

Island Name

Limit State

Usage Class

Nominal Life

Peak Ground Acc., ag/g

Magnification Factor, F0

Reference period, Tc*

Spectrum Type

Soil Type

Topography

h/H ratio

Spectrum Period, Tb

Spectrum Period, Tc

Spectrum Period, Td

Damping Percentage, Xi

Behavior Factor, q

Define Function

Period	Acceleration
0.	0.0761
0.1301	0.1857
0.3904	0.1857
0.4904	0.1478
0.5904	0.1228
0.6904	0.105
0.7904	0.0917
0.8904	0.0814

Function Graph

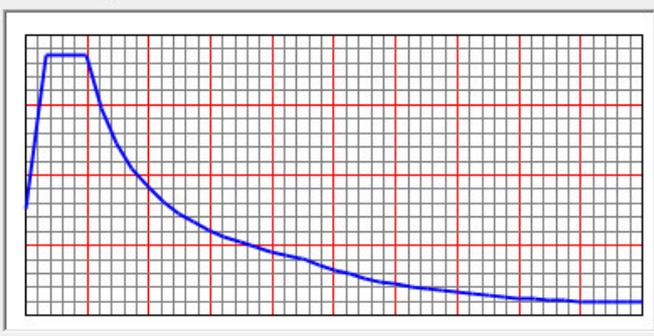


Figura 7 – Spettro di risposta definito all'interno di SAP2000 allo SLO

Function Name

Function Damping Ratio

Parameters

ag, F0 and Tc* - by Latitude/Longitude
 ag, F0 and Tc* - by Island
 ag, F0 and Tc* User Specified

Site Longitude (degree)

Site Latitude (degree)

Island Name

Limit State

Usage Class

Nominal Life

Peak Ground Acc., ag/g

Magnification Factor, F0

Reference period, Tc*

Spectrum Type

Soil Type

Topography

h/H ratio

Spectrum Period, Tb

Spectrum Period, Tc

Spectrum Period, Td

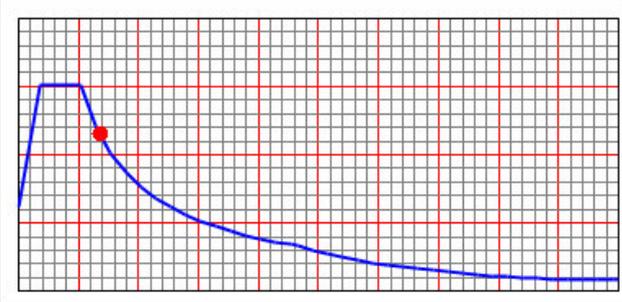
Damping Percentage, Xi

Behavior Factor, q

Define Function

Period	Acceleration
0.	0.0987
0.1383	0.241
0.415	0.241
0.515	0.1942
0.615	0.1626
0.715	0.1399
0.815	0.1227
0.915	0.1093

Function Graph



(0.5449 , 0.1848)

Figura 8 – Spettro di risposta definito all'interno di SAP2000 allo SLD

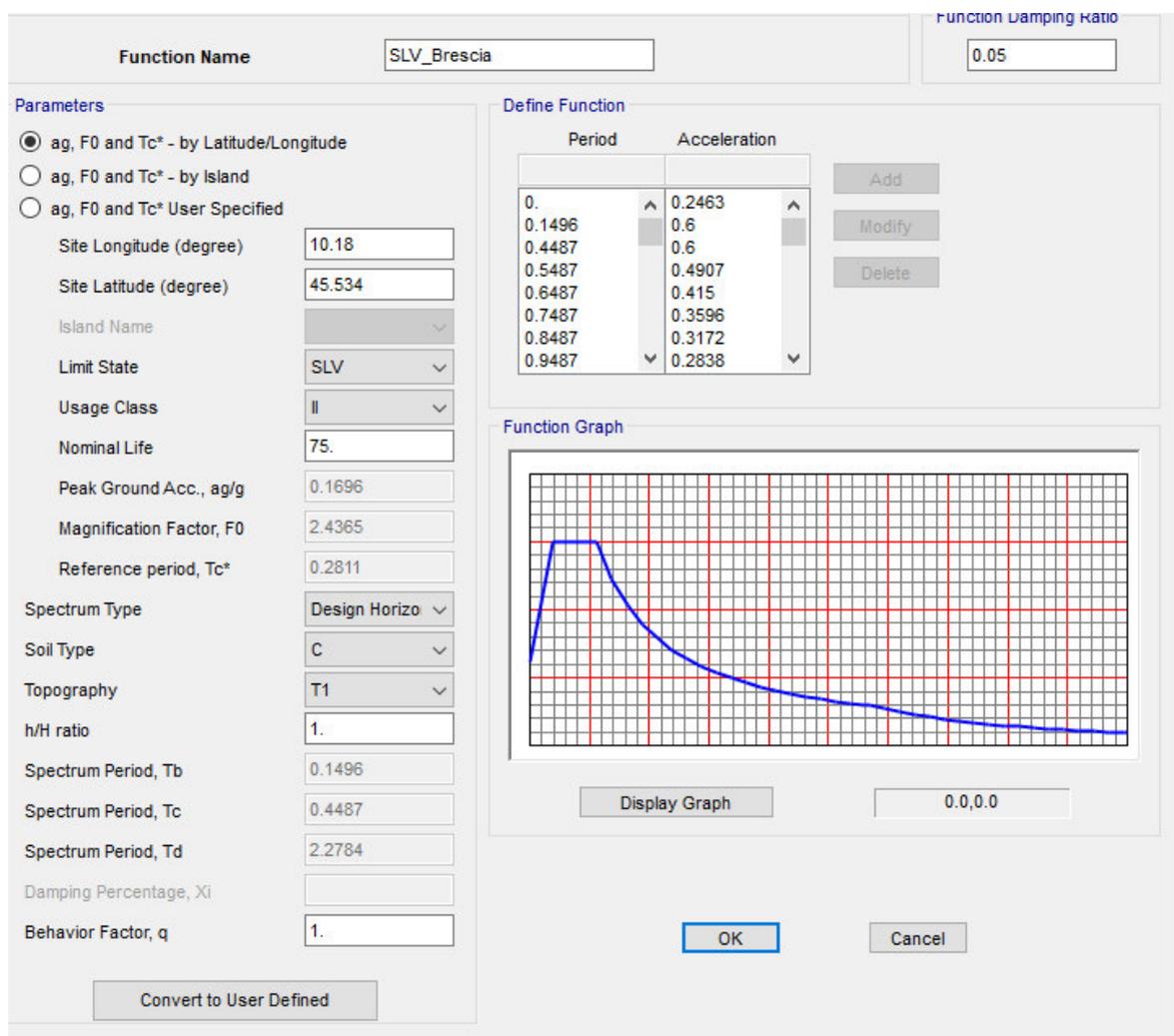


Figura 9 – Spettro di risposta definito all'interno di SAP2000 allo SLV

6.2.9 Azioni pseudo statiche dell'acqua

Per le pareti in c.a. che contengono la spinta idraulica delle vasche di accumulo idrico, in condizione sismica, viene considerata la sovrappressione "sismica pseudo-statica" che si attiva in caso di sisma. La spinta è calcolata utilizzando la teoria di Westergaard [1933]. L'ipotesi è quella di struttura di sostegno rigida a parete verticale, acqua incompressibile e frequenza della sollecitazione armonica orizzontale applicata alla base minore della frequenza fondamentale f_0 del serbatoio d'acqua infinitamente esteso, ovvero $f_0 = V_P / 4H$ (essendo V_P la velocità delle onde P nell'acqua ed H l'altezza dell'acqua).

La teoria utilizzata considera che le pressioni idrodinamiche u_{dyn} aumentano con la radice quadrata della profondità dell'acqua z_w :

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE	PROGETTO IN1M	LOTTO 11 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID000002	REV. A

$$u_{dyn} = \pm \frac{7}{8} k_{hw} \gamma_w \sqrt{Hz_w}$$

La spinta idrodinamica risultante U_{dyn} è data dall'integrale delle suddette pressioni:

$$U_{dyn} = \frac{7}{12} k_{hw} \gamma_w H^2$$

ed agisce a $0.4H$ dalla base della struttura. $k_{h,w}$ è il coefficiente sismico relativo all'acqua che viene assunto dello stesso valore del coefficiente sismico orizzontale usato per il terreno ($k_{h,w} = k_h$).

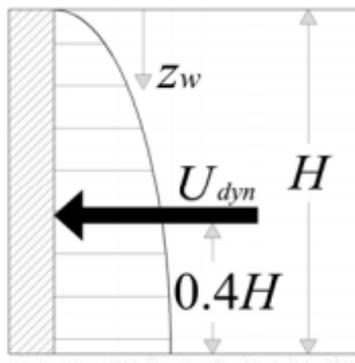


Figura 10 - Spinta idrodinamica secondo la teoria di Westergaard [1933]

Tenuto in conto del valore modesto di spinta idrodinamica:

- 1) che ha valore trascurabile a fronte della spinta a riposo dell'acqua;
- 2) che la spinta dell'acqua contrasta la spinta del terreno, e che quindi ridurrebbe le sollecitazioni sulle pareti della vasca;
- 3) che nel caso di vasca piena ed in contro-fase rispetto alla spinta del terreno, gli effetti di questa spinta idrodinamica risulterebbero del tutto trascurabili rispetto alla condizione di vasca vuota.

Si è deciso quindi di omettere tale azione nel modello della vasca.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE	PROGETTO IN1M	LOTTO 11 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID0000002	REV. A

6.3 COMBINAZIONI

Il progetto e la verifica di tutti gli elementi strutturali verrà eseguito mediante il Metodo Semiprobabilistico agli Stati Limite. Per quanto concerne le verifiche agli stati limite ultimi (SLU), le condizioni elementari di carico vengono tra loro combinate in modo da determinare le sollecitazioni più sfavorevoli.

Le combinazioni di carico che verranno considerate nel calcolo delle sollecitazioni rispettano le prescrizioni fornite dalle NTC 2018,

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni (2.5.3 – NTC2018).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

- Azioni Permanenti (G);
- Azioni Variabili (Q);
- Azioni di Precompressione (P);
- Azioni Eccezionali (A);
- Azioni Sismiche (E);

I valori dei coefficienti che tengono conto della non contemporaneità dei massimi valori delle azioni sono dati dalla Tab. 2.5.I:

Categoria/Azione variabile	Ψ_{S1}	Ψ_{S2}	Ψ_{S3}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

La Tabella 2.6.I, forniscono i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi, salvo quanto diversamente previsto nelle norme specifiche.

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

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

Combinazione	Caso di carico	Coefficiente
SLU_1	Dead	1.3
SLU_1	G2	1.5
SLU_1	Q_G	0
SLU_1	Q_H manutenzione	1.5
SLU_1	Q_Neve	0.75
SLU_1	G_spinta terreno	1.5
SLU_1	Q_Acqua	0
SLU_2	Dead	1.3
SLU_2	G2	1.5
SLU_2	Q_G	1.5
SLU_2	Q_H manutenzione	1.5

SLU_2	Q_Neve	0.75
SLU_2	G_spinta terreno	1.5
SLU_2	Q_Acqua	0
SLU_3	Dead	1.3
SLU_3	G2	1.5
SLU_3	Q_G	0
SLU_3	Q_H manutenzione	1.5
SLU_3	Q_Neve	1.5
SLU_3	G_spinta terreno	1.5
SLU_3	Q_Acqua	0
SLU_4	Dead	1.3
SLU_4	G2	1.5
SLU_4	Q_G	0
SLU_4	Q_H manutenzione	1.5
SLU_4	Q_Neve	0.75
SLU_4	G_spinta terreno	1.5
SLU_4	Q_Acqua	1.5
SLU_5	Dead	1.3
SLU_5	G2	1.5
SLU_5	Q_G	1.5
SLU_5	Q_H manutenzione	1.5
SLU_5	Q_Neve	0.75
SLU_5	G_spinta terreno	1.5
SLU_5	Q_Acqua	1.5
SLU_6	Dead	1.3
SLU_6	G2	1.5
SLU_6	Q_G	0
SLU_6	Q_H manutenzione	1.5
SLU_6	Q_Neve	1.5
SLU_6	G_spinta terreno	1.5
SLU_6	Q_Acqua	1.5
SLE_r_1	Dead	1
SLE_r_1	G2	1
SLE_r_1	Q_G	1
SLE_r_1	Q_H manutenzione	1
SLE_r_1	Q_Neve	0.5
SLE_r_1	G_spinta terreno	1
SLE_r_1	Q_Acqua	0
SLE_r_2	Dead	1
SLE_r_2	G2	1

SLE_r_2	Q_G	0.7
SLE_r_2	Q_H manutenzione	0
SLE_r_2	Q_Neve	0.5
SLE_r_2	G_spinta terreno	1
SLE_r_2	Q_Acqua	1
SLE_r_3	Dead	1
SLE_r_3	G2	1
SLE_r_3	Q_G	0.7
SLE_r_3	Q_H manutenzione	0
SLE_r_3	Q_Neve	1
SLE_r_3	G_spinta terreno	1
SLE_r_3	Q_Acqua	1
SLE_f_1	Dead	1
SLE_f_1	G2	1
SLE_f_1	Q_G	0.5
SLE_f_1	Q_H manutenzione	0
SLE_f_1	Q_Neve	0
SLE_f_1	G_spinta terreno	1
SLE_f_1	Q_Acqua	1
SLE_f_2	Dead	1
SLE_f_2	G2	1
SLE_f_2	Q_G	0.3
SLE_f_2	Q_H manutenzione	0
SLE_f_2	Q_Neve	0
SLE_f_2	G_spinta terreno	1
SLE_f_2	Q_Acqua	1
SLE_qp	Dead	1
SLE_qp	G2	1
SLE_qp	Q_G	0.3
SLE_qp	Q_H manutenzione	0
SLE_qp	Q_Neve	0
SLE_qp	G_spinta terreno	1
SLE_qp	Q_Acqua	1
SLV_X	G2	1
SLV_X	SLV_Ex	1
SLV_X	SLV_Ey	0.3
SLV_X	Dead	1
SLV_X	SLV_Ez	0.3
SLV_X	G_spinta terreno	1
SLV_Y	Dead	1

SLV_Y	G2	1
SLV_Y	SLV_Ex	0.3
SLV_Y	SLV_Ey	1
SLV_Y	SLV_Ez	0.3
SLV_Y	G_spinta terreno	1
SLV_Z	Dead	1
SLV_Z	G2	1
SLV_Z	SLV_Ex	0.3
SLV_Z	SLV_Ey	0.3
SLV_Z	SLV_Ez	1
SLV_Z	G_spinta terreno	1

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE	PROGETTO IN1M	LOTTO 11 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID000002	REV. A

6.4 MODELLAZIONE

L'analisi strutturale è stata condotta mediante l'uso di SAP2000 versione 19.2.1, secondo le NTC 2018 al § 7.2.6.

In particolare, l'intera vasca di laminazione è stata modellata con elementi tipo *Shell*, poggiati su un letto di molle alla Winkler, orizzontali e verticali:

- $k_h = k_v = 24 \text{ MN/m}^3$

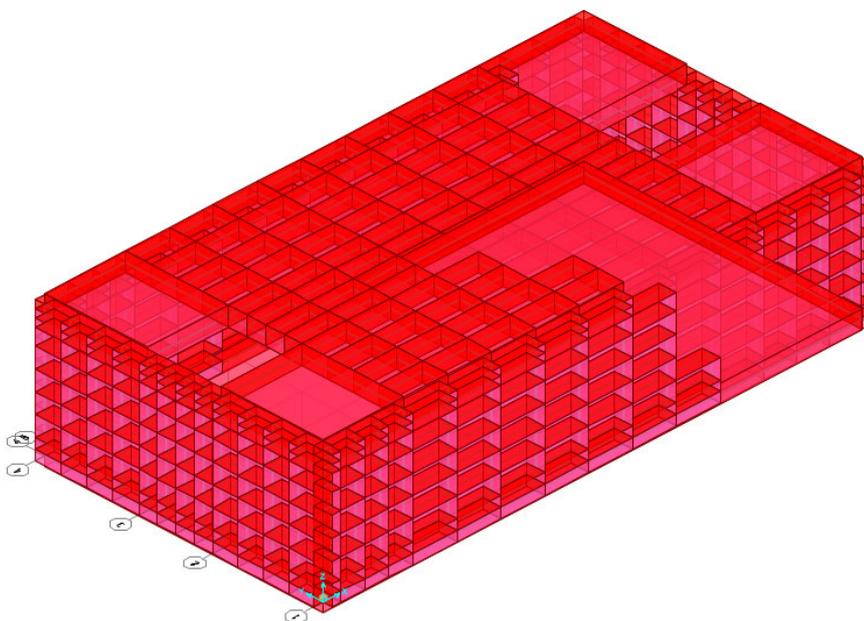


Figura 11 – Modello 3D

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE	PROGETTO IN1M	LOTTO 11 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID000002	REV. A

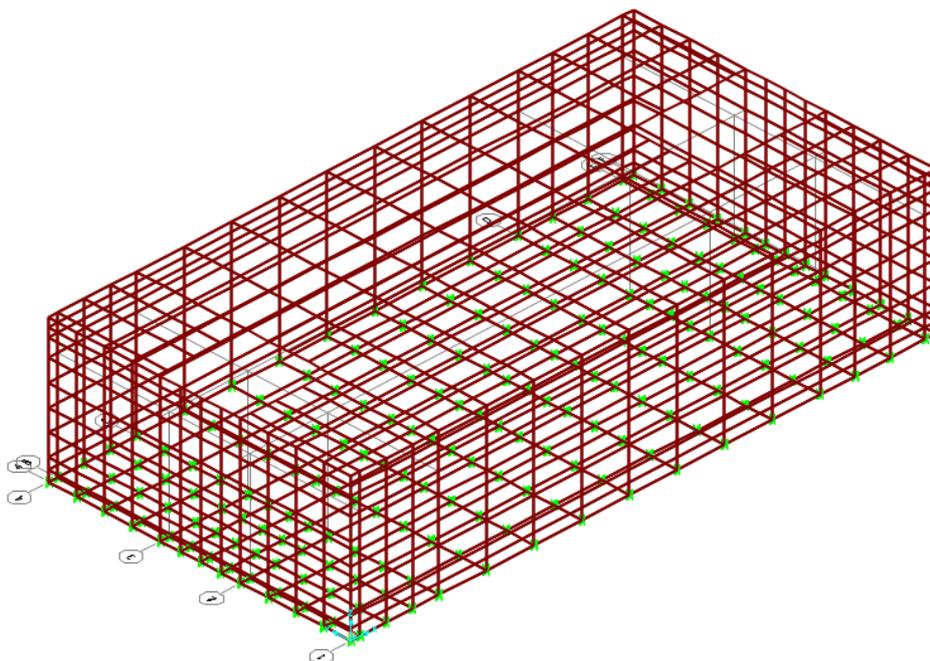


Figura 12 – Modello d'analisi

6.5 SOLLECITAZIONI

I valori massimi e minimi dei momenti flettenti e dei tagli agenti sulla struttura della vasca di laminazioni, sono riepilogate nella seguente tabella:

	M11	M11	M22	M22	V12	V12	V23	V23
	max	min	max	min	max	min	max	min
	kNm/m	kNm/m	kNm/m	kNm/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m
SLV	50.7	-50.7	45.4	-49.9	131.0	-123.6	125.1	-116.0
SLU	57.9	-57.9	52.3	-66.7	152.2	-151.8	163.1	-149.7

	M11	M11	M22	M22
	max	min	max	min
	kNm/m	kNm/m	kNm/m	kNm/m
SLE_freq	34.8	-34.8	30.2	-34.7
SLE_rara	42.1	-42.1	37.8	-46.9
SLE_qp	33.7	-33.7	29.2	-32.4

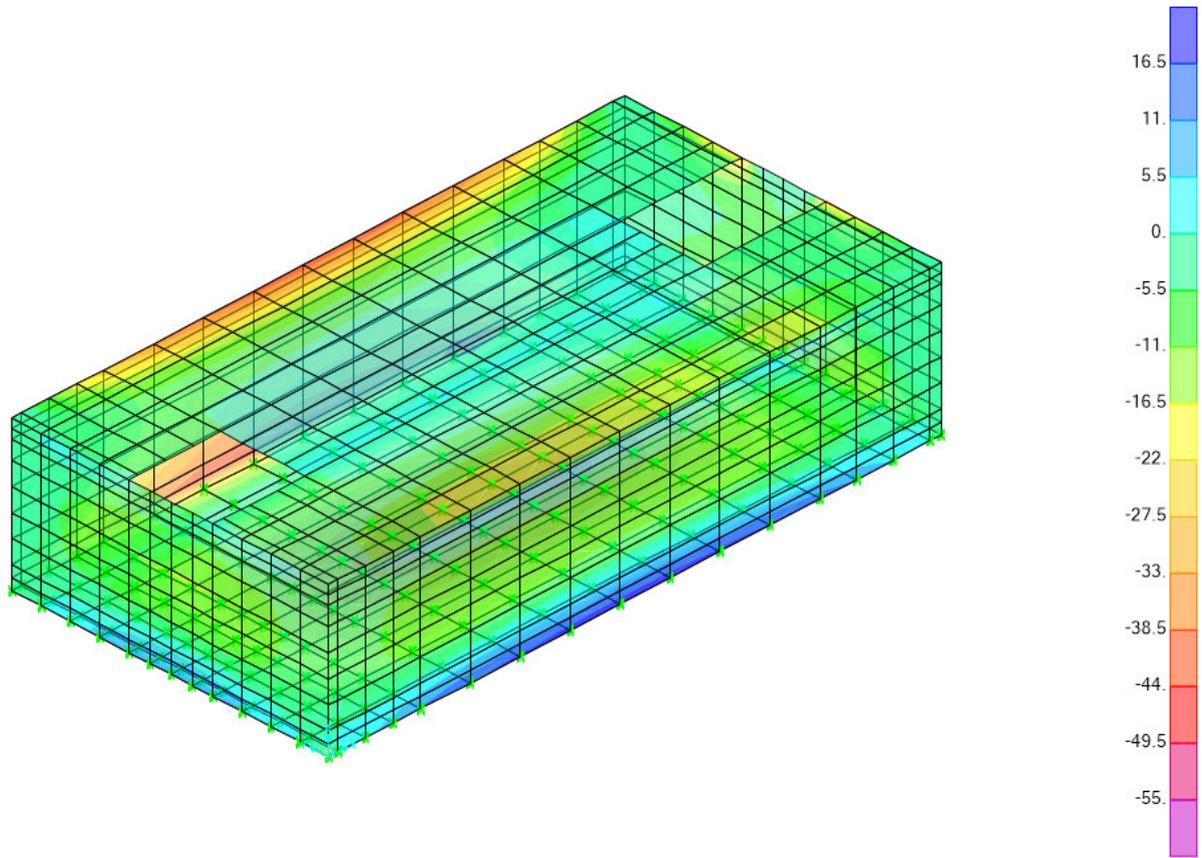


Figura 13 – M11 Inv SLU/SLV

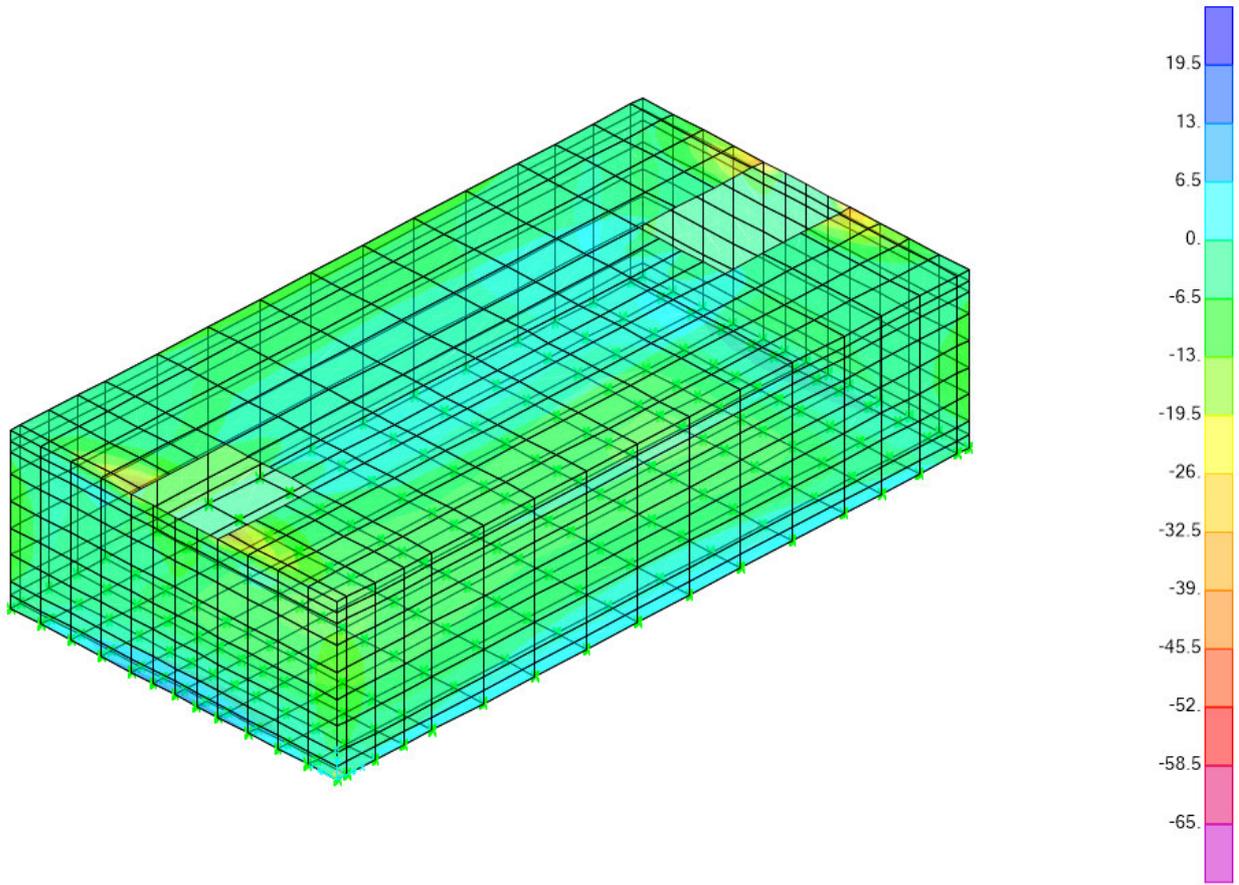


Figura 14 – M22 Inv SLU/SLV

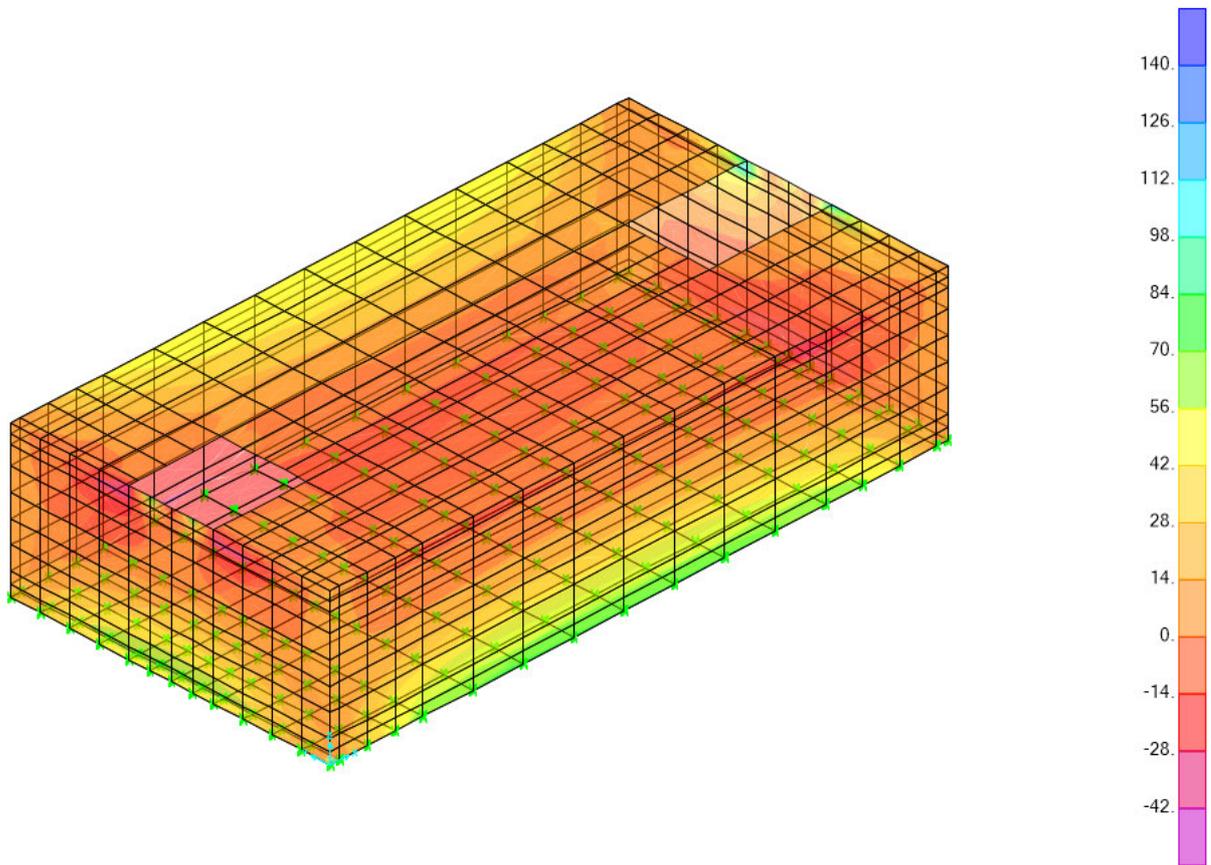


Figura 15 – V13 Inv SLU/SLV

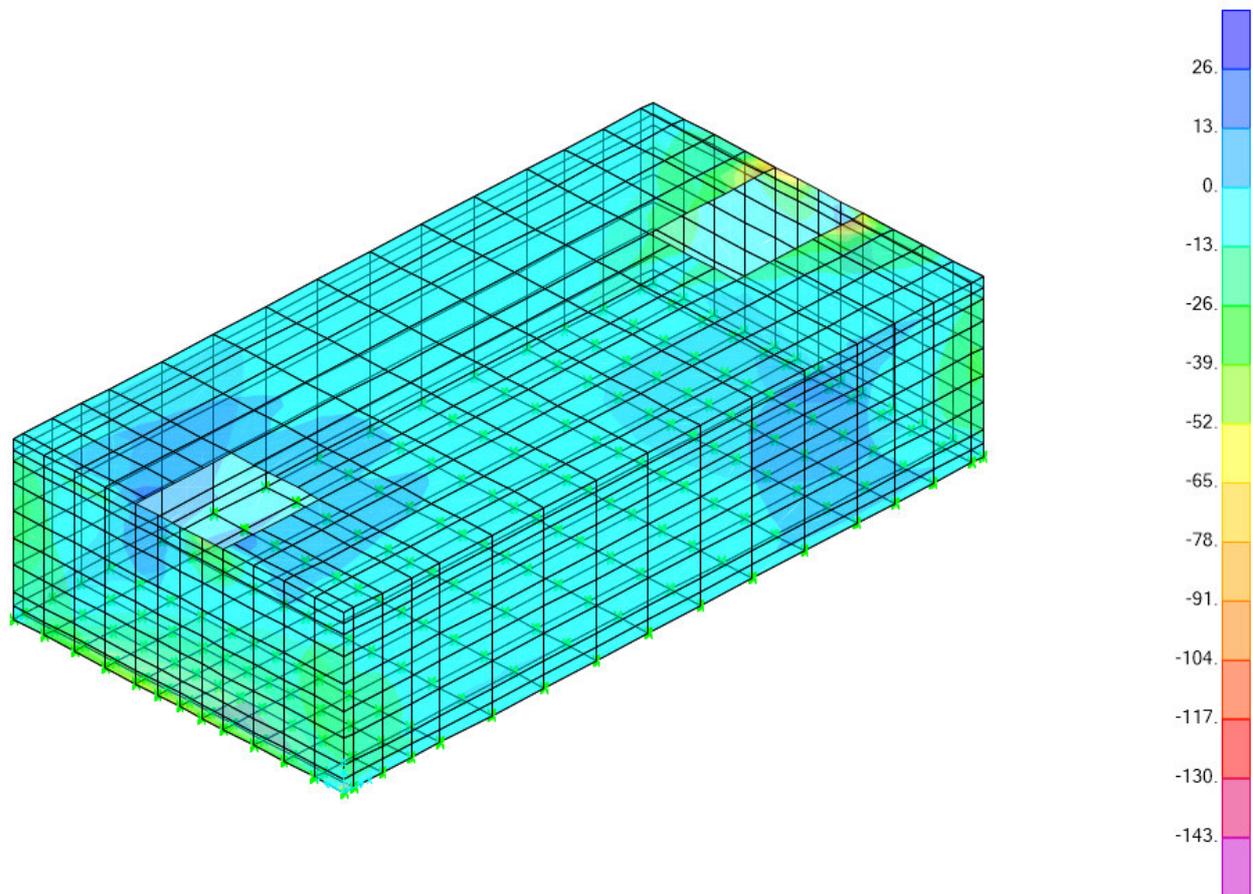


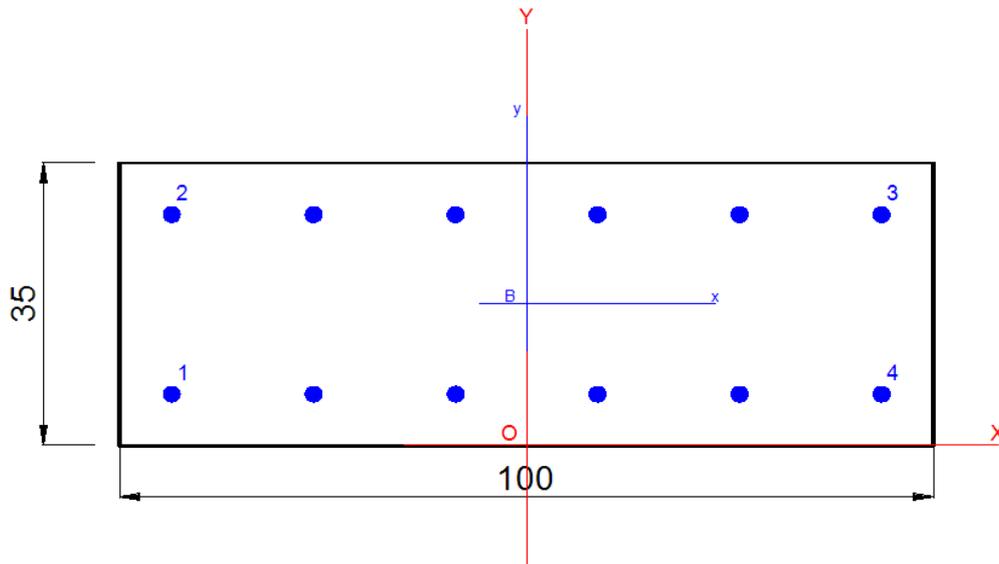
Figura 16 – V23 Inv SLU/SLV

6.6 VERIFICHE STRUTTURALI

6.6.1 Armatura Esterna – M22 / V23

DATI GENERALI SEZIONE GENERICA NON DISSIPATIVA IN C.A.
NOME SEZIONE: RC_Sec M22 V23

Descrizione Sezione:	Resistenze in campo sostanzialmente elastico
Metodo di calcolo resistenza:	Sezione generica di Trave (solette, nervature solai) senza staffe
Tipologia sezione:	N.T.C.
Normativa di riferimento:	A Sforzo Norm. costante
Percorso sollecitazione:	Poco aggressive
Condizioni Ambientali:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento Sforzi assegnati:	Comb. non sismiche
Riferimento alla sismicità:	



CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.2 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.56 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	15.0 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	15.0 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	11.3 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300 mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50
	Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa

CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Calcestruzzo:	C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	35.0
3	50.0	35.0
4	50.0	0.0

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE	PROGETTO IN1M	LOTTO 11 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID0000002	REV. A

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-45.2	4.8	16
2	-45.2	30.2	16
3	45.2	30.2	16
4	45.2	4.8	16

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

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

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	2	3	3	16
2	1	4	3	16

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	45.40	0.00	125.10	0.00
2	0.00	52.30	0.00	163.10	0.00
3	0.00	-49.90	0.00	-116.00	0.00
4	0.00	-66.70	0.00	-149.70	0.00

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	37.80	0.00
2	0.00	-46.90	0.00

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINE
IN1M	11 D 26	CL	ID0000002	A	38 di 48

My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	30.20 (59.38)	0.00 (0.00)
2	0.00	-34.70 (-59.38)	0.00 (0.00)

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	29.20 (59.38)	0.00 (0.00)
2	0.00	-32.40 (-59.38)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.0 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 21.0 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
 Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
 Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
 As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	45.40	0.00	0.00	107.00	0.00	2.36	
10.1(4.5)									
2	S	0.00	52.30	0.00	0.00	107.00	0.00	2.05	
10.1(4.5)									
3	S	0.00	-49.90	0.00	0.00	-107.00	0.00	2.14	
10.1(4.5)									
4	S	0.00	-66.70	0.00	0.00	-107.00	0.00	1.60	
10.1(4.5)									

METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
 x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINE
IN1M	11 D 26	CL	ID0000002	A	39 di 48

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00069	0.260	-50.0	35.0	0.00027	-45.2	30.2	-0.00196	-45.2	4.8
2	0.00069	0.260	-50.0	35.0	0.00027	-45.2	30.2	-0.00196	-45.2	4.8
3	0.00069	0.260	-50.0	0.0	0.00027	-45.2	4.8	-0.00196	45.2	30.2
4	0.00069	0.260	-50.0	0.0	0.00027	-45.2	4.8	-0.00196	45.2	30.2

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
 x/d Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000087591	-0.002376934	0.260	0.765
2	0.000000000	0.000087591	-0.002376934	0.260	0.765
3	0.000000000	-0.000087591	0.000688733	0.260	0.765
4	0.000000000	-0.000087591	0.000688733	0.260	0.765

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Ss min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	3.13	-50.0	35.0	-137.5	-45.2	4.8	870	10.1
2	S	3.89	50.0	0.0	-170.6	-22.6	30.2	870	10.1

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

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

Ver. Esito della verifica
 e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
 kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
 k2 = 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
 k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
 Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
 e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
 Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
 sr max Massima distanza tra le fessure [mm]
 wk Apertura fessure in mm calcolata = $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
 Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
 My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00083	0.00000	0.500	16.0	40	0.00041 (0.00041)	371	0.153 (990.00)	59.38	0.00
2	S	-0.00103	0.00000	0.500	16.0	40	0.00051 (0.00051)	371	0.190 (990.00)	-59.38	0.00

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINE
IN1M	11 D 26	CL	ID000002	A	40 di 48

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.50	-50.0	35.0	-109.8	-22.6	4.8	870	10.1
2	S	2.88	50.0	0.0	-126.2	-45.2	30.2	870	10.1

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00067	0.00000	0.500	16.0	40	0.00033 (0.00033)	371	0.122 (0.40)	59.38	0.00
2	S	-0.00077	0.00000	0.500	16.0	40	0.00038 (0.00038)	371	0.141 (0.40)	-59.38	0.00

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.42	-50.0	35.0	-106.2	-22.6	4.8	870	10.1
2	S	2.68	50.0	0.0	-117.8	-45.2	30.2	870	10.1

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00064	0.00000	0.500	16.0	40	0.00032 (0.00032)	371	0.118 (0.30)	59.38	0.00
2	S	-0.00071	0.00000	0.500	16.0	40	0.00035 (0.00035)	371	0.131 (0.30)	-59.38	0.00

Armatura a taglio:

 9 spilli $\Phi 10$ al m^2

Titolo		Notazione (NTC 2018)	Formule (NTC 2018)	Unità	Valore
1	Taglio Agente	V_{ed}		kN	163
2	Sforzo Normale Agente	N_{ed}		kN	0
3	Larghezza Sezione	B		mm	1000
4	Altezza Sezione	H		mm	350
5	Numero delle barre longitudinali	n		-	5.0
6	Diametro delle barre longitudinali	ϕ		mm	16
7	Copriferro delle barre longitudinali	c		mm	50
8	Numero delle barre trasversali a taglio	η_w		-	3.0
9	Diametro delle barre trasversali a taglio	ϕ_w		mm	10
10	Interasse delle barre trasversali a taglio	s_w		mm	333
11	Angolo barre trasversali - asse trave	α		°	90
12	Angolo bielle compresse - asse trave	θ		°	21.801
13	Resistenza caratteristica del calcestruzzo	f_{ck}		Mpa	30
14	Coefficiente di sicurezza sul calcestruzzo	γ_c		-	1.5
15	Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata	α_{cc}			0.85
16	Resistenza caratteristica dell'acciaio	f_{yk}		MPa	450
17	Coefficiente di sicurezza sull'acciaio	γ_a		-	1.15
18	Resistenza di calcolo del calcestruzzo	f_{cd}	$\alpha_{cc}f_{ck}/\gamma_c$	MPa	17.00
19	Resistenza di calcolo dell'acciaio	f_{yd}	f_{yk}/γ_a	MPa	391
20	Tensione Compressione Media	σ_{cp}	$N_{Ed}/BH < 0,2f_{cd}$	MPa	0.00
21	Altezza Utile Sezione	d		mm	292
22	Area di acciaio longitudinale	A_{sl}	$\eta_l \phi^2/4$	mm^2	1,005
23	Densità di armatura longitudinale	ρ_l	$A_{sl}/Bd < 0,02$	-	0.00344
24	Coefficiente amplificativo	k	$1 + \sqrt{(200/d)} < 2$	-	1.82761
25	Resistenza minima a taglio del cls non compres.	V_{min}	$0,035k^{3/2}f_{ck}^{1/2}$	MPa	0.474
26	Resistenza minima a taglio del cls compresso	V_{min}	$V_{min} + 0,15\sigma_{cp}$	MPa	0.474
27	Coefficiente di riduzione	v	$(\cot\alpha + \cot\theta)/(1 + \cot^2\theta)$		0.345
28	Coefficiente maggiorativo	α_c	$f(\sigma_{cp}/f_{cd})$	-	1.000
29	Resistenza di calcolo a taglio del cls non armato	V_{Rd}	$0,18k(100\rho_l f_{ck})^{1/3}$	MPa	0.478
30	Taglio Resistente del cls non armato	V_{Rd}	$V_{Rd,c}Bd$	kN	139
31	Verifica in assenza di armature a taglio		$V_{Ed} < V_{Rd,c}$?	armatura necessaria
32	Resistenza massima a taglio del cls	V_{Rcd}	$0,5\alpha_c V_{fcd}$	MPa	2.931
33	Taglio Resistente massimo del cls	V_{Rcd}	$0,9V_{Rcd}Bd$	kN	770
34	Coefficiente di sicurezza a taglio del cls	η_{Rcd}	V_{Rcd}/V_{Ed}	-	4.726
35	Verifica a taglio per cls compresso		$V_{Ed} < V_{Rcd}$?	OK
36	Area di acciaio trasversale	A_{sw}	$\eta_w \eta_l \phi_w^2/4$	mm^2	236
37	Coefficiente di resistenza dell'armatura	v_1	$(\cot\alpha + \cot\theta) \sin\alpha$		2.500
38	Taglio Resistente dell'armatura	V_{Rsd}	$0,9dA_{sw}f_{yd}v_1/s_w$	kN	182
39	Coefficiente di sicurezza della sezione armata	η_{Rsd}	V_{Rsd}/V_{Ed}	-	1.116
40	Verifica a taglio dell'armatura		$V_{Ed} < V_{Rsd}$?	OK
41	Verifica a taglio sulla sezione?				OK

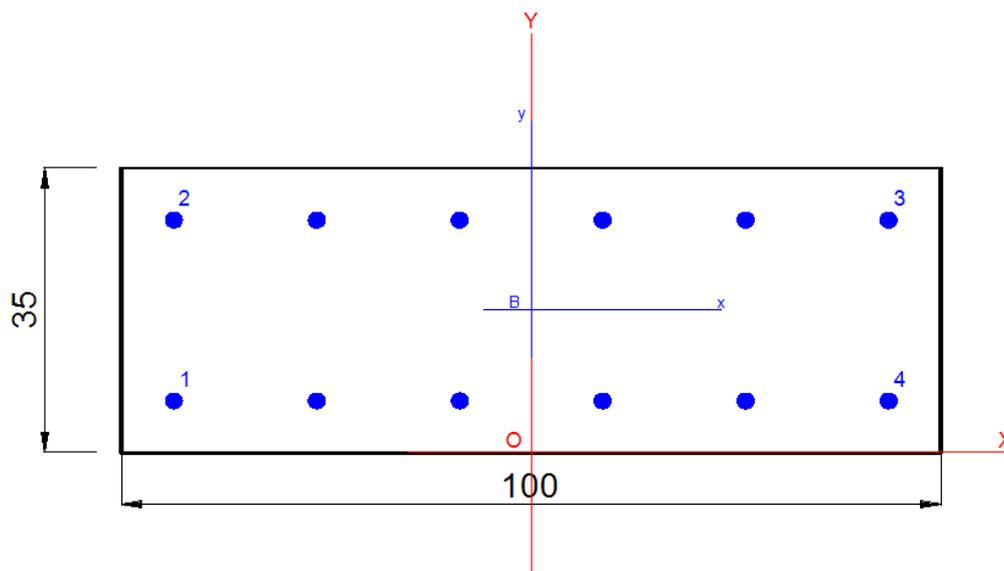
 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE	PROGETTO IN1M	LOTTO 11 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID0000002	REV. A

6.6.2 Armatura Esterna – M11 / V13

DATI GENERALI SEZIONE GENERICA NON DISSIPATIVA IN C.A.

NOME SEZIONE: RC_Sec M11 V13

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze in campo sostanzialmente elastico
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave (solette, nervature solai) senza staffe
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Comb. non sismiche



CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.2 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.56 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	15.0 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	15.0 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	11.3 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300 mm
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.0 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.0 MPa
Resist. snerv. di progetto fyd:		391.3 MPa
Resist. ultima di progetto ftd:		391.3 MPa
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068
Modulo Elastico Ef		2000000 daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \beta_2$:		1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \beta_2$:		0.50

Sf limite S.L.E. Comb. Rare: 360.00 MPa

CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO

 Forma del Dominio: Poligonale
 Classe Calcestruzzo: C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	35.0
3	50.0	35.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.6	6.4	16
2	-43.6	28.6	16
3	43.6	28.6	16
4	43.6	6.4	16

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

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

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	2	3	3	16
2	1	4	3	16

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	50.70	0.00	131.00	0.00
2	0.00	57.90	0.00	152.20	0.00
3	0.00	-50.70	0.00	-123.60	0.00
4	0.00	-57.90	0.00	-151.80	0.00

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE	PROGETTO IN1M	LOTTO 11 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID0000002	REV. A

4 S 0.00 -57.90 0.00 0.00 -100.71 0.00 1.74
 10.1(4.2)

METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
 x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00075	0.276	-50.0	35.0	0.00014	-43.6	28.6	-0.00196	-43.6	6.4
2	0.00075	0.276	-50.0	35.0	0.00014	-43.6	28.6	-0.00196	-43.6	6.4
3	0.00075	0.276	-50.0	0.0	0.00014	-43.6	6.4	-0.00196	43.6	28.6
4	0.00075	0.276	-50.0	0.0	0.00014	-43.6	6.4	-0.00196	43.6	28.6

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.
 x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000094483	-0.002561193	0.276	0.785
2	0.000000000	0.000094483	-0.002561193	0.276	0.785
3	0.000000000	-0.000094483	0.000745724	0.276	0.785
4	0.000000000	-0.000094483	0.000745724	0.276	0.785

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Ss min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	3.98	-50.0	35.0	-162.3	-21.8	6.4	878	10.1
2	S	3.98	50.0	0.0	-162.3	21.8	28.6	878	10.1

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm
 e1 Esito della verifica
 e2 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 k1 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 kt = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
 k2 = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
 k3 = 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e1) per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
 k4 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali

RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINE
IN1M	11 D 26	CL	ID0000002	A	46 di 48

Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace $A_{c\text{ eff}}$ [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e _{sm} - e _{cm}	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{\text{max}} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr _{max}	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = $sr_{\text{max}} * (e_{\text{sm}} - e_{\text{cm}})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx _{fess.}	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My _{fess.}	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e _{sm} - e _{cm}	sr _{max}	wk	Mx _{fess.}	My _{fess.}
1	S	-0.00106	0.00000	0.500	16.0	56	0.00049 (0.00049)	428	0.208 (990.00)	57.70	0.00
2	S	-0.00106	0.00000	0.500	16.0	56	0.00049 (0.00049)	428	0.208 (990.00)	-57.70	0.00

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc _{max}	Xc _{max}	Yc _{max}	Ss _{min}	Xs _{min}	Ys _{min}	Ac _{eff.}	As _{eff.}
1	S	3.29	-50.0	35.0	-134.2	-43.6	6.4	878	10.1
2	S	3.29	50.0	0.0	-134.2	21.8	28.6	878	10.1

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e _{sm} - e _{cm}	sr _{max}	wk	Mx _{fess.}	My _{fess.}
1	S	-0.00088	0.00000	0.500	16.0	56	0.00040 (0.00040)	428	0.172 (0.40)	57.70	0.00
2	S	-0.00088	0.00000	0.500	16.0	56	0.00040 (0.00040)	428	0.172 (0.40)	-57.70	0.00

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc _{max}	Xc _{max}	Yc _{max}	Ss _{min}	Xs _{min}	Ys _{min}	Ac _{eff.}	As _{eff.}
1	S	3.19	-50.0	35.0	-129.9	-21.8	6.4	878	10.1
2	S	3.19	50.0	0.0	-129.9	-43.6	28.6	878	10.1

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e _{sm} - e _{cm}	sr _{max}	wk	Mx _{fess.}	My _{fess.}
1	S	-0.00085	0.00000	0.500	16.0	56	0.00039 (0.00039)	428	0.167 (0.30)	57.70	0.00
2	S	-0.00085	0.00000	0.500	16.0	56	0.00039 (0.00039)	428	0.167 (0.30)	-57.70	0.00

Armatura a taglio:

 9 spilli $\Phi 10$ al m^2

Titolo		Notazione (NTC 2018)	Formule (NTC 2018)	Unità	Valore
1	Taglio Agente	V_{ed}		kN	152
2	Sforzo Normale Agente	N_{ed}		kN	0
3	Larghezza Sezione	B		mm	1000
4	Altezza Sezione	H		mm	350
5	Numero delle barre longitudinali	n		-	5.0
6	Diametro delle barre longitudinali	ϕ		mm	16
7	Copriferro delle barre longitudinali	c		mm	50
8	Numero delle barre trasversali a taglio	η_w		-	3.0
9	Diametro delle barre trasversali a taglio	ϕ_w		mm	10
10	Interasse delle barre trasversali a taglio	s_w		mm	333
11	Angolo barre trasversali - asse trave	α		°	90
12	Angolo bielle compresse - asse trave	θ		°	21.801
13	Resistenza caratteristica del calcestruzzo	f_{ck}		Mpa	30
14	Coefficiente di sicurezza sul calcestruzzo	γ_c		-	1.5
15	Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata	α_{cc}			0.85
16	Resistenza caratteristica dell'acciaio	f_{yk}		MPa	450
17	Coefficiente di sicurezza sull'acciaio	γ_a		-	1.15
18	Resistenza di calcolo del calcestruzzo	f_{cd}	$\alpha_{cc}f_{ck}/\gamma_c$	MPa	17.00
19	Resistenza di calcolo dell'acciaio	f_{yd}	f_{yk}/γ_a	MPa	391
20	Tensione Compressione Media	σ_{cp}	$N_{Ed}/BH < 0,2f_{cd}$	MPa	0.00
21	Altezza Utile Sezione	d		mm	292
22	Area di acciaio longitudinale	A_{sl}	$\eta_l \phi^2/4$	mm^2	1,005
23	Densità di armatura longitudinale	ρ_l	$A_{sl}/Bd < 0,02$	-	0.00344
24	Coefficiente amplificativo	k	$1 + \sqrt{(200/d)} < 2$	-	1.82761
25	Resistenza minima a taglio del cls non compres.	V_{min}	$0,035k^{3/2}f_{ck}^{1/2}$	MPa	0.474
26	Resistenza minima a taglio del cls compresso	V_{min}	$V_{min} + 0,15\sigma_{cp}$	MPa	0.474
27	Coefficiente di riduzione	v	$(\cot\alpha + \cot\theta)/(1 + \cot^2\theta)$		0.345
28	Coefficiente maggiorativo	α_c	$f(\sigma_{cp}/f_{cd})$	-	1.000
29	Resistenza di calcolo a taglio del cls non armato	V_{Rd}	$0,18k(100\rho_l f_{ck})^{1/3}$	MPa	0.478
30	Taglio Resistente del cls non armato	V_{Rd}	$V_{Rd,c}Bd$	kN	139
31	Verifica in assenza di armature a taglio		$V_{Ed} < V_{Rd,c}$?	armatura necessaria
32	Resistenza massima a taglio del cls	V_{Rcd}	$0,5\alpha_c V_{fcd}$	MPa	2.931
33	Taglio Resistente massimo del cls	V_{Rcd}	$0,9V_{Rcd}Bd$	kN	770
34	Coefficiente di sicurezza a taglio del cls	η_{Rcd}	V_{Rcd}/V_{Ed}	-	5.068
35	Verifica a taglio per cls compresso		$V_{Ed} < V_{Rcd}$?	OK
36	Area di acciaio trasversale	A_{sw}	$\eta_w \eta_l \phi_w^2/4$	mm^2	236
37	Coefficiente di resistenza dell'armatura	v_1	$(\cot\alpha + \cot\theta) \sin\alpha$		2.500
38	Taglio Resistente dell'armatura	V_{Rsd}	$0,9dA_{sw}f_{yd}v_1/s_w$	kN	182
39	Coefficiente di sicurezza della sezione armata	η_{Rsd}	V_{Rsd}/V_{Ed}	-	1.197
40	Verifica a taglio dell'armatura		$V_{Ed} < V_{Rsd}$?	OK
41	Verifica a taglio sulla sezione?				OK

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE SCALO DI BRESCIA					
RELAZIONE DI CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE	PROGETTO IN1M	LOTTO 11 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO ID000002	REV. A	PAGINE 48 di 48

6.7 CONCLUSIONI

L'incidenza totale delle armature è di 100 kg/m³.