

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

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

OPERE D'ARTE MAGGIORI

VI-02 PONTE SUL FIUME PICENTINO

RELAZIONE DI CALCOLO MANUFATTO DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

SCALA:

-

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

NN1X 00 D 09 CL VI0200 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	A. Polastri	Sett 2020	S. Di Spigno	Sett 2020	M. D'Avino	Sett 2020	A. Vittozzi Sett 2020

ITALFERR S.p.A.
U.D. Opere Civili - Gestione delle varianti
Dott. Ing. Angelo Vittozzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Salerno
N° 420788

File: NN1X00D09CLVI02000010.doc

n. Elab.:

INDICE

1	GENERALITÀ.....	4
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
3	MATERIALI.....	6
3.1	ACCIAIO PER BARRE DI ARMATURA DA C.C.A.....	6
3.2	CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO MANUFATTI IN C.C.A.....	6
3.3	CALCESTRUZZO MAGRO PER GETTI DI LIVELLAMENTO.....	6
4	SISMICITA'.....	7
5	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	8
6	MODELLO GEOTECNICO E SEZIONI DI CALCOLO.....	9
7	CRITERI DI VERIFICA.....	10
8	CRITERI DI MODELLAZIONE E DI CALCOLO.....	12
9	CARICHI AGENTI.....	13
9.1	PESO PROPRIO.....	13
9.2	SPINTA LITOSTATICA ORIZZONTALE SUI PIEDRITTI.....	13
9.3	SPINTA IDROSTATICA ESTERNA.....	14
9.4	SPINTA IDROSTATICA INTERNA.....	14
9.5	PESO PERMANENTE NON STRUTTURALE DEL TERRENO.....	14
9.6	AZIONI INERZIALI.....	15
9.7	SPINTA DEL TERRENO IN CONDIZIONI SISMICHE MEDIANTE LA TEORIA DI WOOD.....	16
10	COMBINAZIONE DELLE AZIONI.....	18
11	DEFINIZIONE DELLO STATO DI SOLLECITAZIONE.....	20
11.1	SOLLECITAZIONI SIGNIFICATIVE ALLO SLU.....	21
11.2	SOLLECITAZIONI SIGNIFICATIVE ALLO SLE.....	22
11.3	SOLLECITAZIONI SIGNIFICATIVE ALLO SLV.....	23
12	VERIFICA DELLE SEZIONI SIGNIFICATIVE.....	25
12.1	VERIFICHE ALLO SLU IN CONDIZIONI STATICHE.....	26



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

MANUFATTO IDRAULICO – RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	01	D 09 CL	VI 02 00 001	A	3 di 38

12.1.1	Verifica flessionale	26
12.1.2	Verifica a taglio.....	26
12.2	VERIFICHE ALLO SLE.....	26
12.2.1	Verifica di fessurazione	26
12.2.2	Verifica tensionali	27
13	APPENDICE: TABULATI VERIFICHE	28

1 GENERALITÀ

Oggetto del presente documento sono i calcoli relativi al manufatto di sistemazione idraulica del Ponte sul fiume Picentino al km. 3+593.90, previsto nell'ambito del progetto definitivo per A.I. del Prolungamento della Metropolitana di Salerno, in particolare della tratta Salerno- Battipaglia.

Il manufatto in esame presenta sezione trasversale come muro ad "U" avente larghezza interna variabile, una altezza massima dei ritti laterali di 7.02 m ed uno spessore uniforme delle membrature di 1 m.

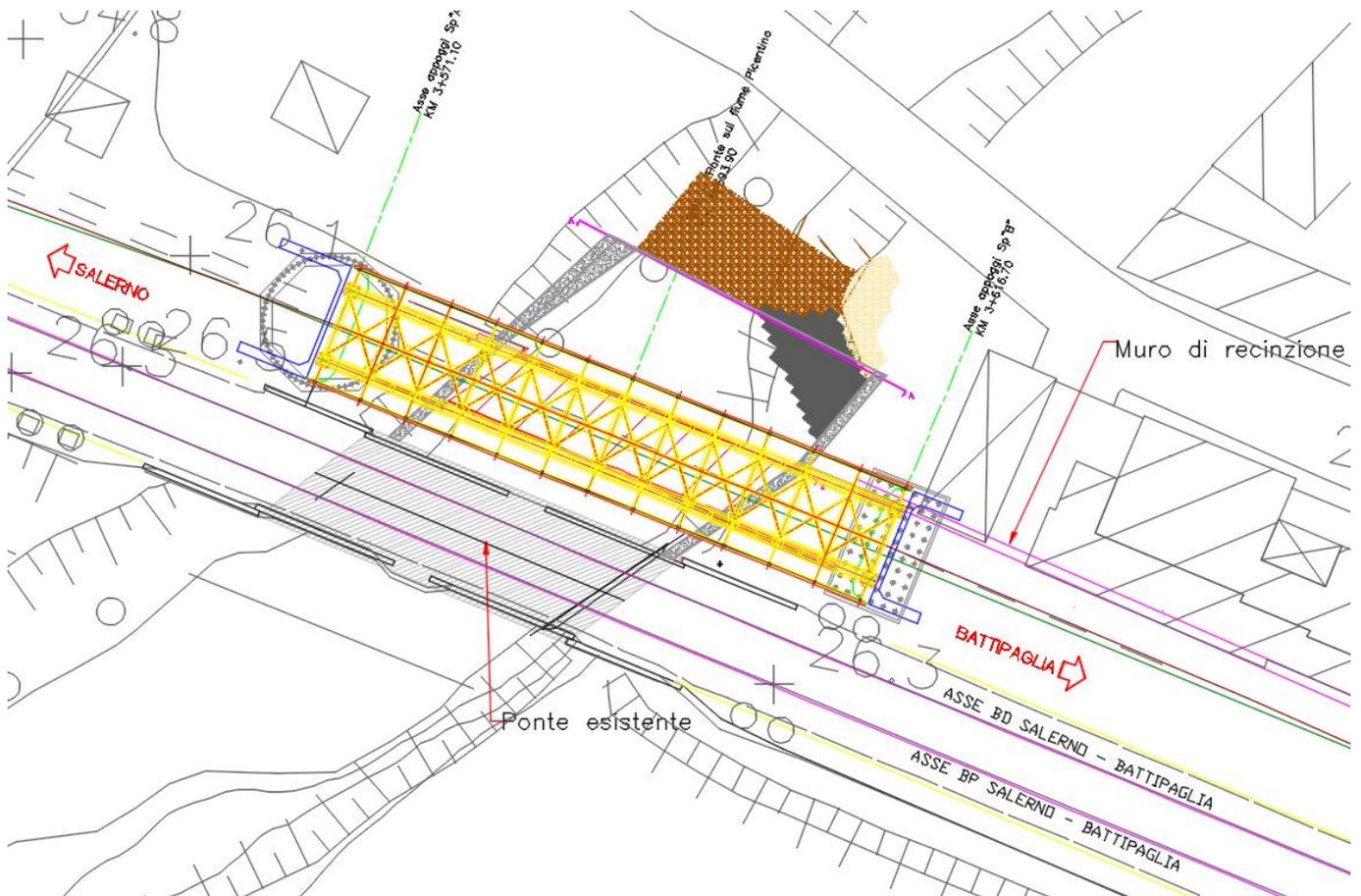


Figura 1: Planimetria generale



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

MANUFATTO IDRAULICO – RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	01	D 09 CL	VI 02 00 001	A	5 di 38

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

- [N1] Legge 5/11/1971, n.1086 - Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso e a struttura metallica.
- [N2] D. M. Min. II. TT. del 17 gennaio 2018 (G.U. 20 febbraio 2018 n. 42) – Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”;
- [N3] CIRCOLARE 21 gennaio 2019 , n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. n. 35 del 11 febbraio 2019) - Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- [N4] RFI DTC SICS MA IFS 001 C - Manuale di Progettazione delle Opere Civili.
- [N5] RFI DTC SICS SP IFS 001 – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili.
- [N6] Eurocodice EN 1997-1: Progettazione Geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- [N7] Eurocodice EN 1998-5: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazione, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- [N8] 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° 776/2019 della Commissione del 16 maggio 2019.

3 MATERIALI

Il progetto strutturale prevede l'uso dei materiali con le caratteristiche meccaniche minime riportate nei paragrafi seguenti.

3.1 Acciaio per barre di armatura da c.c.a.

Barre ad aderenza migliorata, saldabile, tipo B450C dotato delle seguenti caratteristiche meccaniche:

- tensione caratteristica di rottura: $f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
- tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
- allungamento caratteristico: $\geq 7.5 \%$
- rapporto tensione di rottura/ tensione di snervamento: $1.15 \leq f_{tk}/f_{yk} < 1.35$

3.2 Caratteristiche del calcestruzzo manufatti in c.c.a.

- Classe di resistenza: C32/40
- classe di consistenza: S4
- classe di esposizione: XC4
- dimensione massima dell'inerte: $D_{max} = 25 \text{ mm}$
- copriferro minimo: $c_{f,min} \geq 50 \text{ mm}$
- modulo elastico: 32836.0 N/mm^2

3.3 Calcestruzzo magro per getti di livellamento

- Classe di resistenza: C12/15
- classe di esposizione: X0



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

MANUFATTO IDRAULICO – RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	01	D 09 CL	VI 02 00 001	A	7 di 38

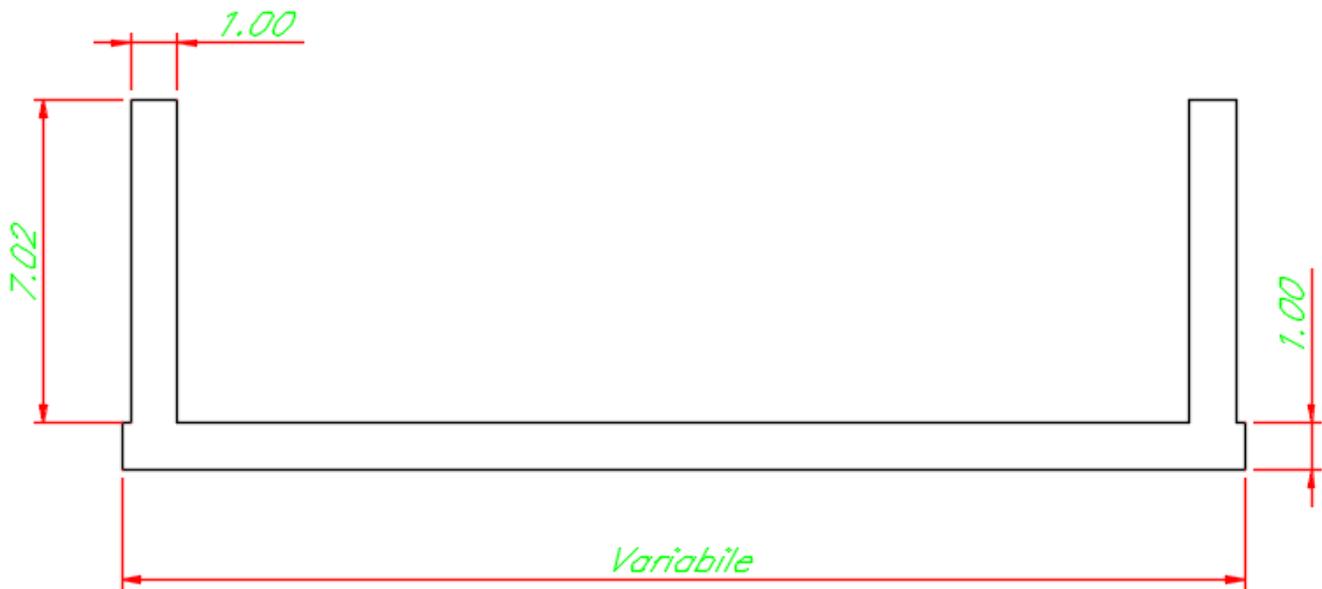
4 SISMICITA'

Per il caso in esame, sono assunti i seguenti valori riferiti allo stato limite SLV (espressi in unità di g , accelerazione di gravità):

- $a_{\max,H} = 0.206 g$;
- $a_{\max,V} = 0.062 g$
-

5 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Nella figura seguente si riporta la sezione tipo del manufatto.



Per la sezione di riferimento utilizzata nei calcoli strutturali, è stata presa una lunghezza della soletta inferiore pari a 23 metri.

6 MODELLO GEOTECNICO E SEZIONI DI CALCOLO

Ai fini della determinazione delle spinte geostatiche sul manufatto e del modulo di Winkler, i parametri geotecnici di riferimento utilizzati per le verifiche sono riassunti nella tabella seguente.

γ (kN/m ³)	φ' (°)	c' (kPa)	E_0 (MPa)
19.0	33.0	0	400

Tabella 6.1 – Sintesi parametri meccanici.

Si è proceduto a trovare E' pari a 1/5 di E_0 .

Da cui:

$$E'_{ed} = \frac{E'(1-\nu')}{1-\nu'-2\nu'^2}$$

Quindi l'interazione del manufatto con il terreno è stata modellata con molle alla Winkler, con asse verticale, di rigidezza pari a:

$$K_{Winkler} = E'_{edometrico}/B = 4682 \text{ [kN/m}^3\text{]} \quad \text{nella quale B è la base del manufatto.}$$

7 CRITERI DI VERIFICA

Le verifiche strutturali delle membrature del manufatto sono svolte con riferimento agli stati limite ultimi e agli stati limite di esercizio. Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d,$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione e R_d è il valore di progetto della resistenza. L'esito della verifica è generalmente esplicitato per mezzo dell'Indice di Sfruttamento (IS) definito come:

$$I_s = E_d/R_d;$$

la verifica effettuata risulta soddisfatta qualora $I_s \leq 1.00$.

I criteri generali di verifica seguiti sono conformi a quanto previsto al punto 4.1.2 delle NTC18 secondo i quali è stata effettuata:

- la verifica SLU a presso/tenso-flessione per azioni di natura statica e sismica;
- la verifica SLU a taglio per azioni di natura statica e sismica;
- la verifica tensionale relativa ad acciaio e calcestruzzo allo SLE per azioni di natura statica;
- la verifica a fessurazione allo SLE per azioni di natura statica.

I requisiti minimi nei confronti degli stati limite di esercizio fanno riferimento alle vigenti NTC18.

Con riferimento alla Tab. 4.1.III delle NTC2018 in base alla classe di esposizione del calcestruzzo si qualifica automaticamente la "Condizione ambientale".

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

Nella tabella seguente sono indicati i limiti di fessurazione con riferimento alle condizioni ambientale e al tipo di armatura (NTC2018).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO					
	COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO					
	TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO					
MANUFATTO IDRAULICO – RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NN1X	01	D 09 CL	VI 02 00 001	A	11 di 38

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Dove $w_1 = 0.2$ mm; $w_2 = 0.3$ mm; $w_3 = 0.4$ mm.

Nell'ambito della verifica a fessurazione con metodo diretto nei casi in cui la sollecitazione flessionale risulta superiore al momento di prima fessurazione calcolato in accordo al punto 4.1.2.2.4 delle NTC18, si controlla che l'apertura delle fessure sia inferiore a quella limite prevista dalla norma per condizioni ambientali aggressive corrispondenti alla classe di esposizione XC4 e armature poco sensibili.

Per quanto riguarda le verifiche tensionali del conglomerato e delle barre d'armatura si fa riferimento al punto 4.1.2.2.5 delle NTC18.

Il fattore di comportamento utilizzato per il calcolo delle sollecitazioni di natura sismica è unitario ($q=1$). Di conseguenza, in accordo con il punto 7.4.1 delle NTC18, la capacità delle membrature è stata valutata secondo le regole di cui al punto 4.1 delle stesse NTC18, senza nessun requisito aggiuntivo, a condizione che in nessuna sezione si superi il momento resistente massimo in campo sostanzialmente elastico così come definito al punto 4.1.2.3.4.2.

Per quanto riguarda i quantitativi minimi di armature longitudinali per le membrature del manufatto, in accordo con il punto 7.2.5 delle vigenti NTC18, occorre prevedere analogamente alle platee di fondazione secondo due direzioni ortogonali e per l'intera estensione dell'elemento strutturale lo 0.1% dell'area della sezione trasversale di calcestruzzo sia inferiormente che superiormente

8 CRITERI DI MODELLAZIONE E DI CALCOLO

Le analisi strutturali sono state effettuate con un modello agli elementi finiti, utilizzando il software di calcolo SAP 2000 (Figura 8-1). In riferimento ad una striscia di lunghezza unitaria ($b=1.00$ m), il manufatto è stato modellato con elementi monodimensionali tipo “frames”, disposti in asse alle membrature delle Solette Inferiore (SI) e dei Ritti Verticali (RV) del muro ad “U”, come rappresentato nella Figura 8-1.. L’interazione della soletta inferiore con il terreno è stata modellata con molle alla Winkler verticali, asse vettore Z. Il vincolo alla traslazione orizzontale è stato realizzato con un carrello, asse vettore X. Lo stato di sollecitazione degli elementi è indagato per mezzo di analisi elastico-lineari piane.

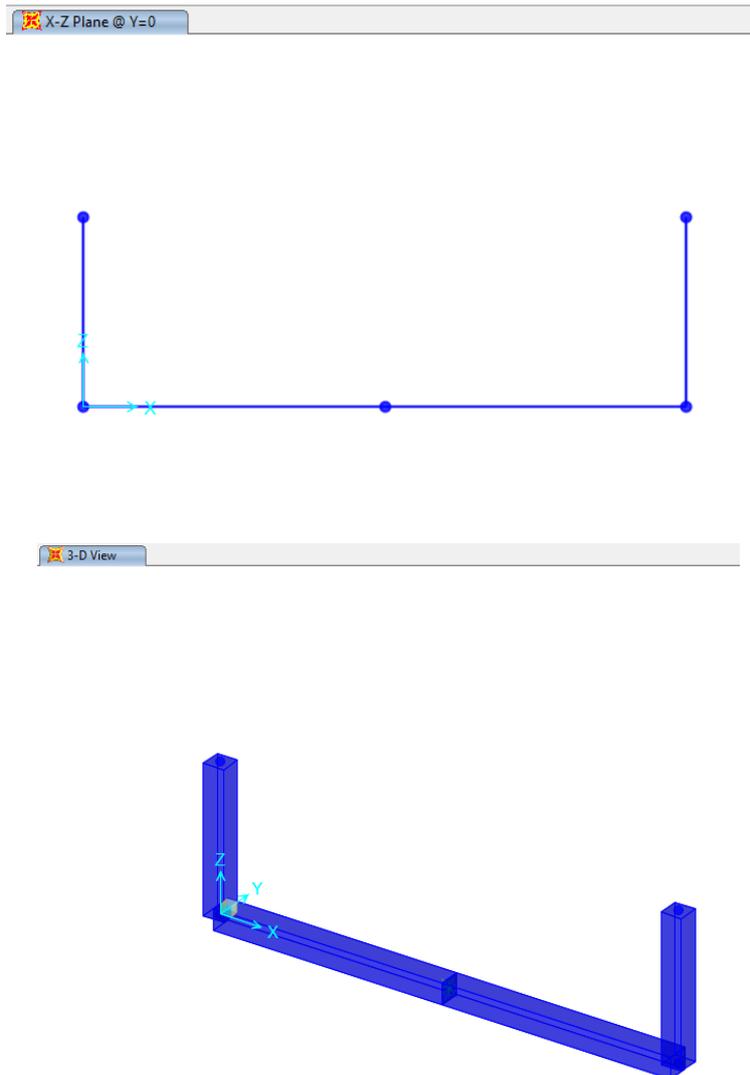


Figura 8-1: Modello agli elementi finiti: vista unifilare e vista tridimensionale del manufatto ad “U”.

9 CARICHI AGENTI

9.1 Peso proprio

Il peso del manufatto (DEAD) è calcolato automaticamente dal programma di calcolo in base alla geometria della struttura esaminata, assumendo per il c.c.a. un peso specifico $\gamma_{cca} = 25.0 \text{ kN/m}^3$.

9.2 Spinta litostatica orizzontale sui piedritti

La spinta litostatica orizzontale (Litostatica) è stata assunta pari a quella a riposo è valutata come:

$\sigma_0 = \sigma_v \cdot k_0$: pressione litostatica orizzontale

$k_0 = 1 - \text{sen}(\varphi')$: coefficiente di spinta a riposo del terreno

φ' : angolo di resistenza al taglio.

Con riferimento alla sola componente litostatica, si ha:

$\sigma_{0,SI} = 19.0 \times 7.06 \times 0.455 \text{ kPa} = 61 \text{ kPa}$ a livello della SI

 Frame Span Loads (Litostatica) (GLOBAL CSys)



Figura 9-1: Spinta litostatica orizzontale.

9.3 Spinta idrostatica esterna

La spinta idrostatica risulta non presente, in assenza di falda.

9.4 Spinta idrostatica interna

La spinta idrostatica legata al liquido presente all'interno del manufatto (Idrostatica) è assunta pari a:

- $\sigma_{h,SI} = h \cdot \gamma_w = 7.6 \text{ m} \cdot 10.0 \text{ kN/m}^3 = 70.6 \text{ kPa}$ asse SI.

Frame Span Loads (Idrostatica) (GLOBAL CSys)

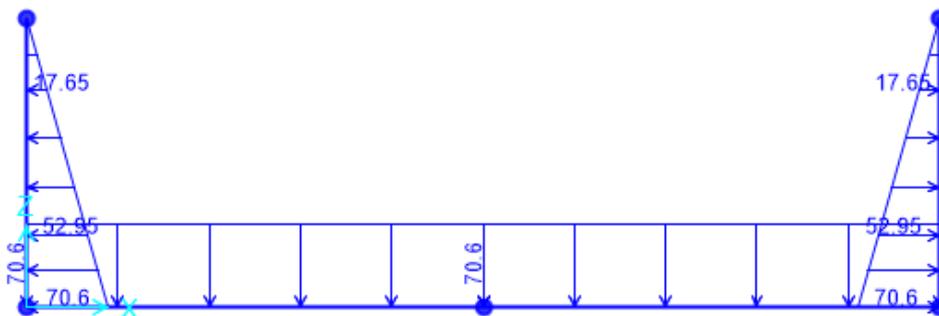


Figura 9-2: Spinta idrostatica interna.

9.5 Peso permanente non strutturale del terreno

Si è scelto di considerare uno strato di terreno sul fondo del manufatto alto 1 metro. Il peso di tale strato (Terreno1mt) è assunto pari a:

$$p_{v,SI} = s \cdot \gamma_s = 1 \text{ m} \cdot 19.0 \text{ kN/m}^3 = 19 \text{ kPa} \quad \text{asse SI.}$$

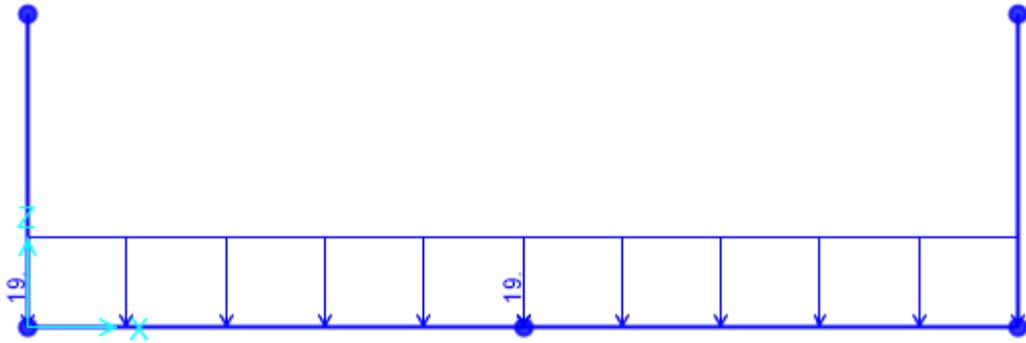


Figura 9-3: Spinta del terreno.

9.6 Azioni inerziali

Alle azioni sopra indicate si aggiungono le azioni inerziali orizzontali e verticali correlate alle masse strutturali; tali contributi sono rispettivamente assunti pari a:

$$a_{\max,H} \cdot W,$$

$$a_{\max,V} \cdot W,$$

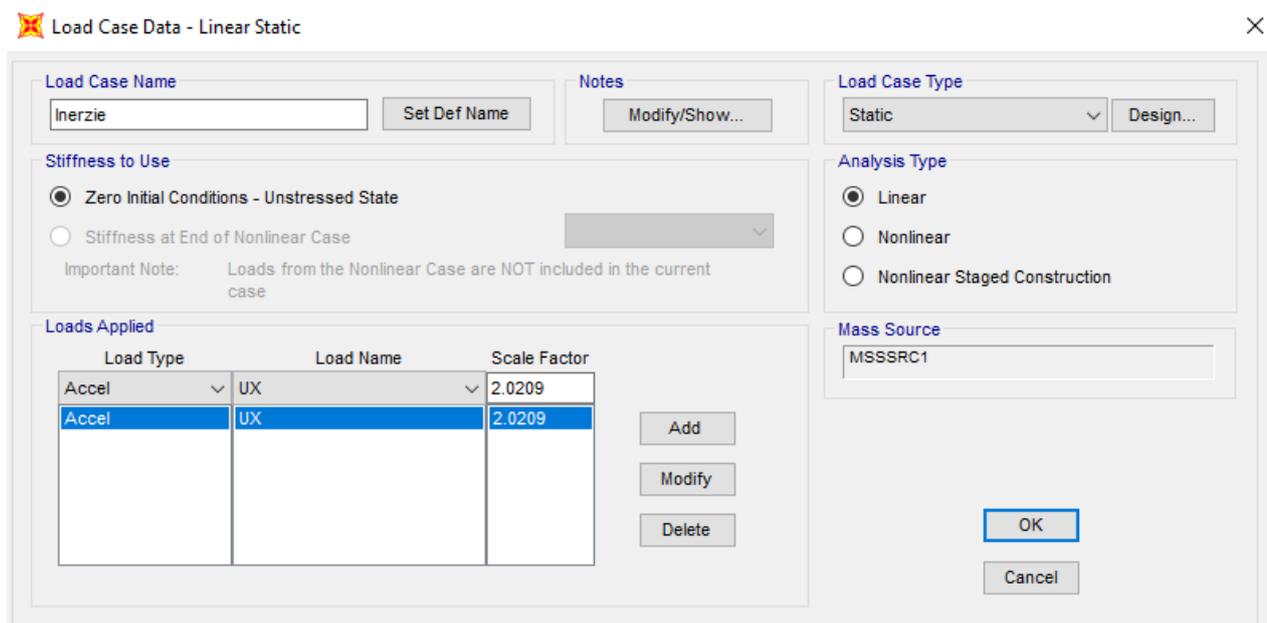
essendo:

- $a_{\max,H}$ l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- $a_{\max,V}$ l'accelerazione verticale massima attesa al sito;
- w il peso per unità di superficie associato alla forza d'inerzia;

Nel caso specifico si trascura l'azione sismica verticale.

	LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO					
	COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO					
MANUFATTO IDRAULICO – RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA NN1X	LOTTO 01	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI 02 00 001	REV. A	FOGLIO 16 di 38

Il caso di carico relativo alle azioni inerziali correlate al peso proprio della struttura (Inerzie) è applicato direttamente dal software di calcolo, proporzionalmente ai pesi propri degli elementi, secondo la tipologia di carico “Accel” di modulo $0.206 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 = 2.0209 \text{ m/s}^2$.



Load Case Name: Inerzie

Load Case Type: Static

Analysis Type: Linear

Load Type	Load Name	Scale Factor
Accel	UX	2.0209
Accel	UX	2.0209

Mass Source: MSSSRC1

Figura 9-5: Azioni inerziali orizzontali correlate al peso proprio della struttura.

9.7 Spinta del terreno in condizioni sismiche mediante la teoria di Wood

In condizioni sismiche la spinta del terreno sui piedritti (E) è calcolata con la teoria di Wood; per una parete verticale di altezza H l'incremento di spinta risulta:

$$\Delta P_d = \frac{a_{max,H}}{g} \cdot \gamma \cdot H^2,$$

dove H è l'altezza del muro. Il punto di applicazione della forza è assunto a metà dell'altezza del muro.

Da cui, il valore di pressione orizzontale uniforme Δp_d (di verso concorde con le azioni inerziali di cui sopra) applicato sui RV:

$$\Delta p_d = 0.206 [g] \cdot 19. \text{ kN/m}^3 \cdot 7.06 \text{ m} = 27.6 \text{ kPa}$$

Frame Span Loads (SismaTerreno) (GLOBAL CSys)



Figura 9-6: Spinta geodinamica mediante la teoria di Wood.

10 COMBINAZIONE DELLE AZIONI

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

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

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

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

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

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLEfr) reversibili:

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

- Combinazione quasi permanente (SLEqp), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

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

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

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

I coefficienti di combinazione ψ sono dati dalle NTC2018 a seconda del tipo di struttura (Tab. 2.5.I oppure nella Tab. 5.1.VI per i ponti stradali e nella Tab. 5.2.VII per i ponti ferroviari).

	DEAD	Litostatica	Idrostatica	Terreno 1 mt	Inerzie	Wood
SLU 1	1.35	1.35	1.35	1.5	0	0
SLU 2	1.35	0	1.35	1.5	0	0
SLU 3	1.35	1.35	1.35	0	0	0
SLU 4	1.35	1.35	0	1.5	0	0
SLU 5	1	1.35	0	1.5	0	0
SLU 6	1	1.35	1.35	0	0	0
SLU 7	1	0	1.35	1.5	0	0

	DEAD	Litostatica	Idrostatica	Terreno 1 mt	Inerzie	Wood
SLV 1	1	1	1	1	1	1
SLV 2	1	1	0	1	1	1

	DEAD	Litostatica	Idrostatica	Terreno 1 mt	Inerzie	Wood
SLE 1	1	1	1	1	0	0
SLE 2	1	0	1	1	0	0
SLE 3	1	1	1	0	0	0
SLE 4	1	1	0	1	0	0
SLE 5	1	1	0	0	0	0

11 DEFINIZIONE DELLO STATO DI SOLLECITAZIONE

Il modello di calcolo descritto al precedente paragrafo 6 fornisce la distribuzione spaziale delle sollecitazioni di calcolo in riferimento ad una striscia di lunghezza unitaria in accordo con il sistema di riferimento locale dell'elemento "frames" ed in termini di:

- sforzo normale (P);
- sforzo tagliante (V_2);
- sforzo flessionali (M_3).

Per maggior chiarezza la seguente Figura 11-1 illustra la definizione delle sollecitazioni sopra elencate in relazione al sistema di riferimento locale dell'elemento "frames".

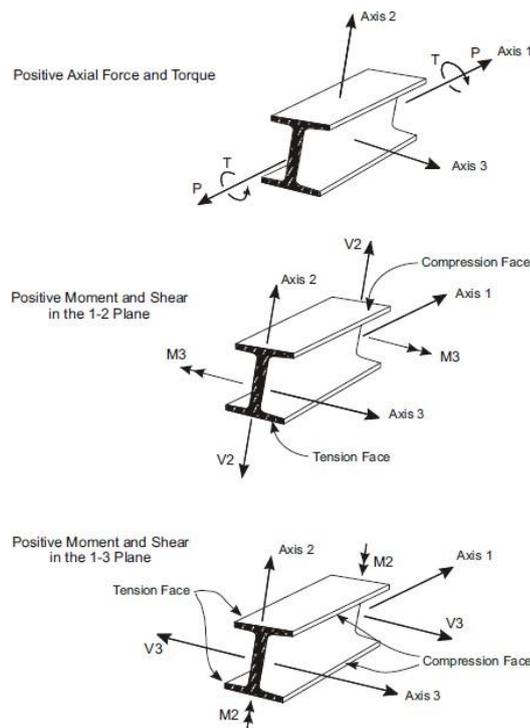


Figura 11-1: Convenzione degli sforzi assiali, taglianti e flessionali utilizzata dal software di calcolo strutturale SAP2000.

11.1 Sollecitazioni significative allo SLU

Nelle figure seguenti sono illustrate, a titolo esemplificativo, le distribuzioni delle sollecitazioni di progetto agenti sulle membrature del manufatto (incluse le zone di nodo) per l'involuppo delle combinazioni di carico allo SLU.



Figura 11-2: Distribuzione delle sollecitazioni di progetto P (kN/m) involuppo “ENV-SLU”.

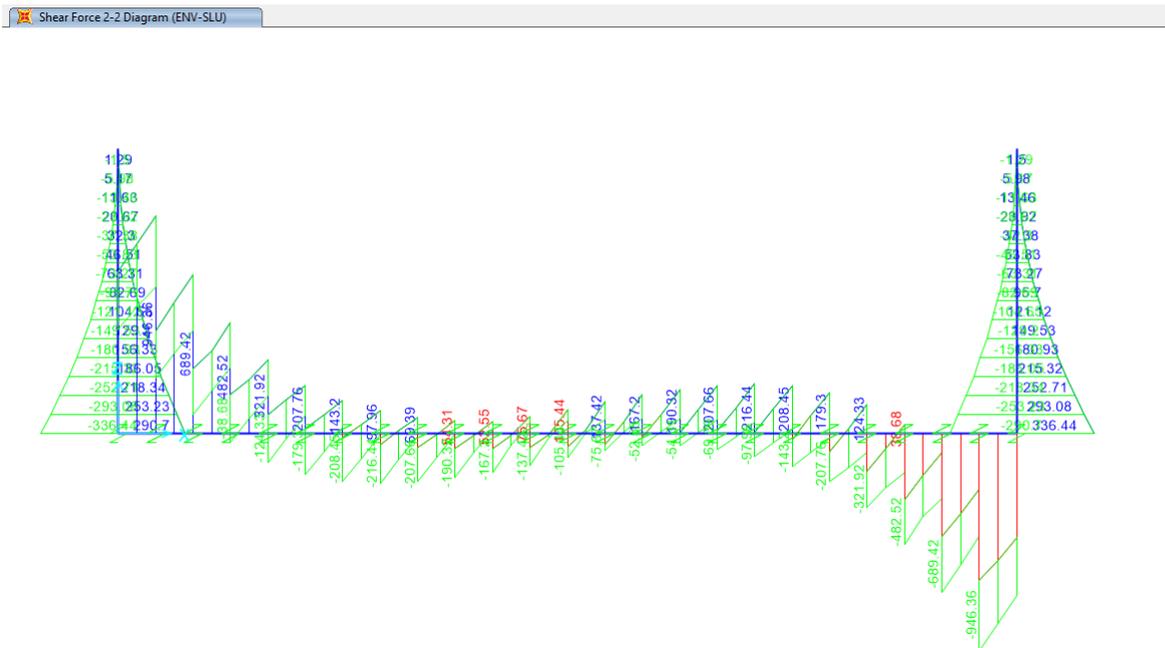


Figura 11-3: Distribuzione delle sollecitazioni di progetto V₂ (kN/m) involuppo “ENV-SLU”.

Moment 3-3 Diagram (ENV-SLU)

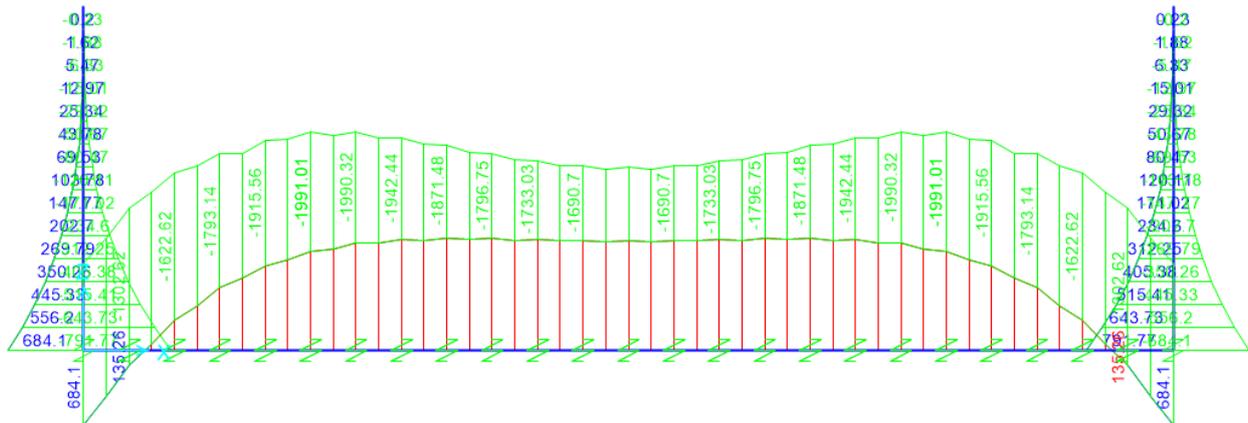
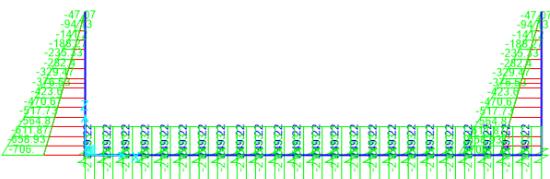


Figura 11-4: Distribuzione delle sollecitazioni di progetto M_3 (kNm/m) involucro “ENV-SLU”.

11.2 Sollecitazioni significative allo SLE

Nelle figure seguenti sono illustrate, a titolo esemplificativo, le distribuzioni delle sollecitazioni assiali e flessionali di progetto agenti sulle membrature del manufatto (incluse le zone di nodo) delle combinazioni di carico allo SLE.

Axial Force Diagram (ENV-SLE)



Moment 3-3 Diagram (ENV-SLE)

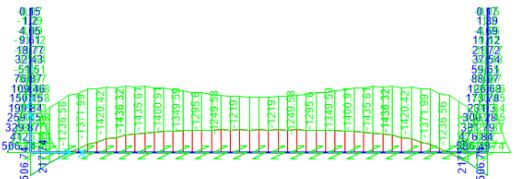


Figura 11-5: Distribuzione delle sollecitazioni di progetto P (kN/m) e M_3 (kNm/m) involucro “ENV-SLE”.

11.3 Sollecitazioni significative allo SLV

Nelle figure seguenti sono illustrate, a titolo esemplificativo, le distribuzioni delle sollecitazioni di progetto agenti sulle membrature del manufatto (incluse le zone di nodo) per l'involuppo delle combinazioni di carico allo SLV.

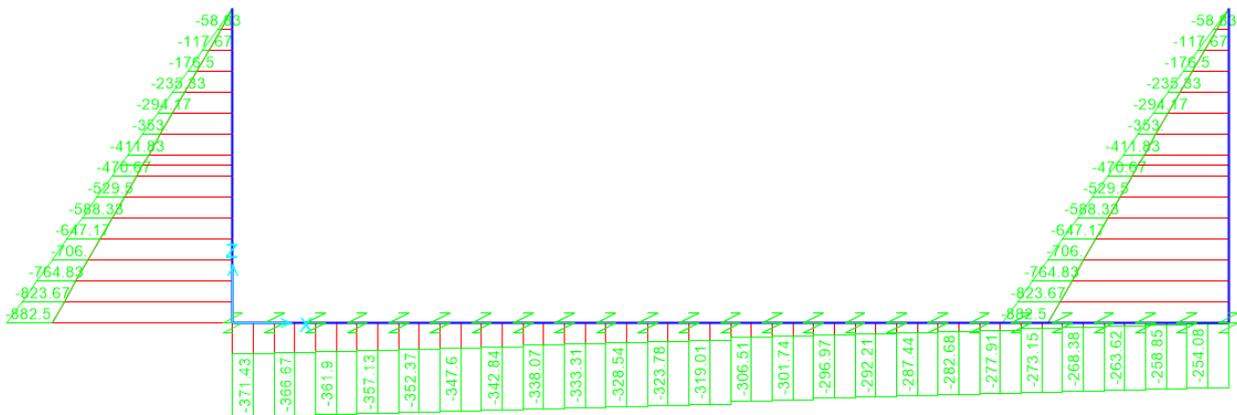
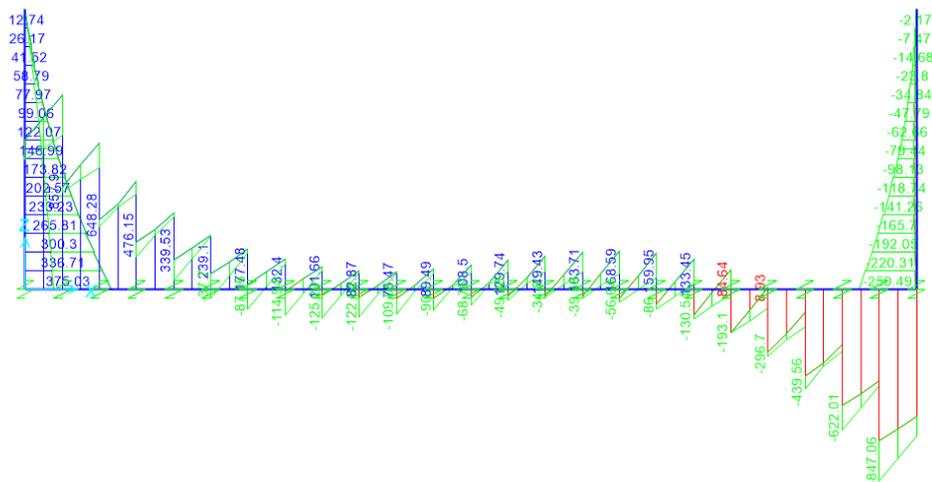


Figura 11-8: Distribuzione delle sollecitazioni di progetto P (kN/m) involucro “ENV-SLV”.

Shear Force 2-2 Diagram (ENV-SLV)



Moment 3-3 Diagram (ENV-SLV)

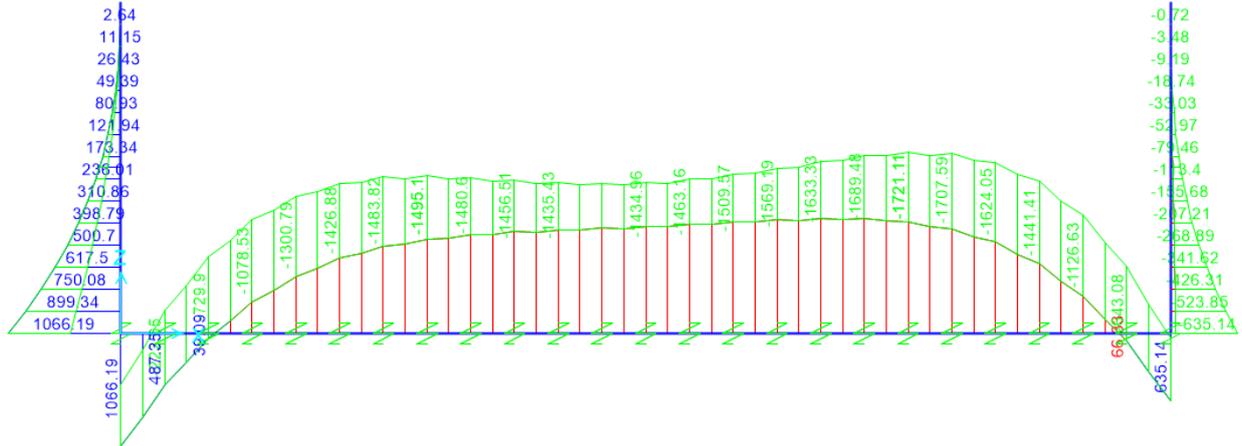


Figura 11-10: Distribuzione delle sollecitazioni di progetto M_3 (kNm/m) involucro “ENV-SLV”.

12 VERIFICA DELLE SEZIONI SIGNIFICATIVE

Le verifiche delle membrature del manufatto sono condotte su sezioni resistenti di larghezza unitaria ($b=1.00$ m) ed altezza h aventi le caratteristiche geometrico-meccaniche sintetizzate in Tabella 12-1. La simbologia adottata, per una generica sezione, ha il significato di seguito riportato:

- ID : nome assegnato alla membratura oggetto di verifica;
- $A_{s,inf}$: area di armatura all'intradosso delle solette o al lembo interno dei ritti;
- $A_{s,sup}$: area di armatura all'estradosso delle solette o al lembo esterno dei ritti;
- A_{sw} : area di armatura a taglio al m^2 .

Tabella 12-1: Caratteristiche meccaniche delle sezione saliente in analisi

ID	h	$A_{s,inf}$		$A_{s,sup}$	
	[mm]		[mm^2/m]		[mm^2/m]
SI	1000	1 ϕ 20/15	2199	2 ϕ 24/11	8143
RV	1000	1 ϕ 20/15	2199	1 ϕ 20/15	2199

Nel seguente prospetto è riportato il confronto tra il quantitativo di armatura longitudinali delle membrature del manufatto e il quantitativo di armatura minimo prescritto dalle vigenti NTC18.

Tabella 12-2: Confronto dei quantitativi di armatura con i minimi di normativa.

ID	$A_{s,inf}$	$A_{s,inf,min}$	$A_{s,sup}$	$A_{s,sup,min}$
	[mm^2/m]	[mm^2/m]	[mm^2/m]	[mm^2/m]
SI	2199	1679	8143	1679
RV	2199	1679	2199	1679

dove i termini riportati in tabella hanno il significato di seguito esplicitato:

- $A_{s,inf,min}$: area di armatura minima all'intradosso;
- $A_{s,sup,min}$: area di armatura minima all'estradosso.

12.1 Verifiche allo SLU in condizioni statiche

Si riporta di seguito l'esito delle sole verifiche condotte allo SLU in quanto quelle dimensionanti; maggiori dettagli sono riportati nei tabulati di calcolo allegati in Appendice.

12.1.1 Verifica flessionale

Nella tabella seguente sono riportate le verifiche a presso/tenso-flessione caratterizzate dal massimo Indice di Sfruttamento (IS) per le sezioni in esame allo SLU nel caso di sollecitazioni flessionali (positive le fibre tese all'estradosso). Oltre ai termini N_{sd} e M_{sd} definiti al precedente paragrafo 11 nel seguente prospetto sono riportati i seguenti parametri:

- M_{Rd} : sollecitazione flessionale resistente;
- IS: Indice di Sfruttamento massimo, calcolato per la combinazione più gravosa.

Tabella 12-3: Verifiche a presso/tenso-flessione SLU sezioni esaminate

ID	N_{sd} [kN/m]	M_{sd} [kNm/m]	M_{Rd} [kNm/m]	IS
SI	46	1991	2749	0.72
RV	659	899	1107	0.81

12.1.2 Verifica a taglio

La verifica a taglio risulta verificata con l'utilizzo di armatura minima rappresentata dai cavallotti impiegati a sostegno delle armature longitudinali.

12.2 Verifiche allo SLE

Si riporta di seguito l'esito delle verifiche condotte allo SLE; maggiori dettagli sono riportati nei tabulati di calcolo allegati in Appendice.

12.2.1 Verifica di fessurazione

Nella tabella seguente sono riportati i massimi valori di apertura delle fessure per le sezioni in esame allo SLE. Oltre ai termini introdotti nei precedenti paragrafi, nel seguente prospetto sono riportati i valori di:

- M_{cr} : sollecitazione flessionale resistente di prima fessurazione;
- w_k : massima apertura delle fessure (si veda paragrafo 7).

Tabella 12-9: Massimi valori di apertura delle fessure agli SLE sezioni esaminate.

ID	N_{Sd} [kN/m]	M_{Sd} [kNm/m]	M_{cr} [kNm/m]	w_k [mm]
RV	494	476	687	0.11

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto, laddove il momento agente risulta superiore a quello di prima fessurazione l'ampiezza dell'apertura delle fessure è inferiore ai limiti descritti al precedente paragrafo 7.

12.2.2 Verifica tensionali

Nella tabella seguente sono riportati i massimi valori delle tensioni lato conglomerato e barre d'armatura agenti sulle sezioni in esame. Oltre ai termini introdotti nei precedenti paragrafi, nel seguente prospetto sono riportati i valori di:

- $\sigma_{c,max}$: massima tensione di compressione determinata nel conglomerato;
- $\sigma_{s,max}$: massima tensione di trazione determinata nelle barre d'armatura.

Tabella 12-10: Massimi valori di tensione lato conglomerato e lato barre d'armatura agli SLE sezioni esaminate.

ID	N_{Sd} [kN/m]	M_{Sd} [kNm/m]	$\sigma_{c,max}$ [Mpa]	$\sigma_{s,max}$ [Mpa]
SI	34	1436	8.54	227
RV	494	476	4	144

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto:

- $\sigma_{c,lim}=0.45 \cdot f_{ck} = 12.8$ MPa;
- $\sigma_{s,lim}=0.75 \cdot f_{yk} = 337$ MPa.



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

MANUFATTO IDRAULICO – RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	01	D 09 CL	VI 02 00 001	A	28 di 38

13 APPENDICE: TABULATI VERIFICHE

DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.

NOME FILE SEZIONE: Pie dritti

(Percorso File: C:\Users\pc\Desktop\Manufatto a U modello\Pie dritti.sez)

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

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
	Resis. compr. di progetto fcd:	18.130	MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	9.065	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	33346.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.020	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	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:	337.50	MPa	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale
 Classe Conglomerato: C32/40

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

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	4.0	96.0	20
2	96.0	96.0	20
3	80.0	96.0	20
4	65.0	96.0	20
5	50.0	96.0	20
6	20.0	96.0	20
7	35.0	96.0	20
8	4.0	4.0	20
9	96.0	4.0	20
10	80.0	4.0	20
11	65.0	4.0	20
12	50.0	4.0	20
13	20.0	4.0	20
14	35.0	4.0	20

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 8 mm
 Passo staffe: 6.6 cm
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

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

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	914.00	-88.00	-40.00
2	692.00	556.00	253.00
3	667.00	-88.00	-40.00
4	692.00	556.00	253.00
5	634.00	556.00	253.00
6	610.00	-88.00	-40.00
7	634.00	-644.00	-293.00
8	824.00	423.00	117.00
9	659.00	899.00	334.00
10	659.00	-65.00	-30.00
11	494.00	-477.00	-217.00
12	494.00	412.00	188.00
13	494.00	-65.00	-30.00
14	329.00	412.00	188.00

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 di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
---------	---	----	----



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

MANUFATTO IDRAULICO – RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	01	D 09 CL	VI 02.00.001	A	30 di 38

1	659.00	-64.80	0.00
2	494.00	-476.80	0.00
3	494.00	412.00	0.00
4	494.00	-64.80	0.00
5	329.00	412.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	3.0	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	13.0	cm
Copriferro netto minimo staffe:	2.2	cm

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

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
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
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	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	914.00	-88.00	913.84	-1222.27	13.89	22.0(17.4)
2	S	692.00	556.00	691.87	1122.22	2.02	22.0(17.4)
3	S	667.00	-88.00	666.91	-1110.91	12.62	22.0(17.4)
4	S	692.00	556.00	691.87	1122.22	2.02	22.0(17.4)
5	S	634.00	556.00	634.08	1096.04	1.97	22.0(17.4)
6	S	610.00	-88.00	610.15	-1085.20	12.33	22.0(17.4)
7	S	634.00	-644.00	634.08	-1096.04	1.70	22.0(17.4)
8	S	824.00	423.00	823.74	1181.76	2.79	22.0(17.4)
9	S	659.00	899.00	658.92	1107.29	1.23	22.0(17.4)
10	S	659.00	-65.00	658.92	-1107.29	17.04	22.0(17.4)
11	S	494.00	-477.00	493.82	-1032.22	2.16	22.0(17.4)
12	S	494.00	412.00	493.82	1032.22	2.51	22.0(17.4)
13	S	494.00	-65.00	493.82	-1032.22	15.88	22.0(17.4)
14	S	329.00	412.00	328.82	956.81	2.32	22.0(17.4)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato 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	0.00350	0.076	0.0	0.0	0.00159	4.0	4.0	-0.04235	96.0	96.0

MANUFATTO IDRAULICO – RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	01	D 09 CL	VI 02 00 001	A	31 di 38

2	0.00350	0.068	100.0	100.0	0.00135	4.0	96.0	-0.04805	4.0	4.0
3	0.00350	0.067	0.0	0.0	0.00132	4.0	4.0	-0.04872	96.0	96.0
4	0.00350	0.068	100.0	100.0	0.00135	4.0	96.0	-0.04805	4.0	4.0
5	0.00350	0.066	100.0	100.0	0.00129	4.0	96.0	-0.04960	4.0	4.0
6	0.00350	0.065	0.0	0.0	0.00126	4.0	4.0	-0.05023	96.0	96.0
7	0.00350	0.066	0.0	0.0	0.00129	4.0	4.0	-0.04960	96.0	96.0
8	0.00350	0.073	100.0	100.0	0.00150	4.0	96.0	-0.04460	4.0	4.0
9	0.00350	0.067	100.0	100.0	0.00132	4.0	96.0	-0.04894	4.0	4.0
10	0.00350	0.067	0.0	0.0	0.00132	4.0	4.0	-0.04894	96.0	96.0
11	0.00350	0.061	0.0	0.0	0.00112	4.0	4.0	-0.05368	96.0	96.0
12	0.00350	0.061	100.0	100.0	0.00112	4.0	96.0	-0.05368	4.0	4.0
13	0.00350	0.061	0.0	0.0	0.00112	4.0	4.0	-0.05368	96.0	96.0
14	0.00350	0.056	100.0	100.0	0.00090	4.0	96.0	-0.05881	4.0	4.0

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	-0.000477601	0.003500000	0.076	0.700
2	0.000000000	0.000536947	-0.050194682	0.068	0.700
3	0.000000000	-0.000544000	0.003500000	0.067	0.700
4	0.000000000	0.000536947	-0.050194682	0.068	0.700
5	0.000000000	0.000531116	-0.051811646	0.066	0.700
6	0.000000000	-0.000559653	0.003500000	0.065	0.700
7	0.000000000	-0.000553116	0.003500000	0.066	0.700
8	0.000000000	0.000500995	-0.046599518	0.073	0.700
9	0.000000000	0.000546236	-0.051123576	0.067	0.700
10	0.000000000	-0.000546236	0.003500000	0.067	0.700
11	0.000000000	-0.000595605	0.003500000	0.061	0.700
12	0.000000000	0.000595605	-0.056060476	0.061	0.700
13	0.000000000	-0.000595605	0.003500000	0.061	0.700
14	0.000000000	0.000649102	-0.061410217	0.056	0.700

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 8 mm
 Passo staffe: 6.6 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
 Ved Taglio di progetto [kN] = V_y ortogonale all'asse neutro
 Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
 Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
 Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.
 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
 Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lunghezza legatura proiettata sulla direz. del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direz.del taglio.



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

MANUFATTO IDRAULICO – RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
 NN1X 01 D 09 CL VI 02 00 001 A 32 di 38

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	40.00	2866.45	1300.83	97.0	100.0	2.500	1.050	0.5	15.2(0.0)
2	S	253.00	2833.04	1300.83	97.0	100.0	2.500	1.038	3.0	15.2(0.0)
3	S	40.00	2829.27	1300.83	97.0	100.0	2.500	1.037	0.5	15.2(0.0)
4	S	253.00	2833.04	1300.83	97.0	100.0	2.500	1.038	3.0	15.2(0.0)
5	S	253.00	2824.31	1300.83	97.0	100.0	2.500	1.035	3.0	15.2(0.0)
6	S	40.00	2820.69	1300.83	97.0	100.0	2.500	1.034	0.5	15.2(0.0)
7	S	293.00	2824.31	1300.83	97.0	100.0	2.500	1.035	3.4	15.2(0.0)
8	S	117.00	2852.90	1300.83	97.0	100.0	2.500	1.045	1.4	15.2(0.0)
9	S	334.00	2828.07	1300.83	97.0	100.0	2.500	1.036	3.9	15.2(0.0)
10	S	30.00	2828.07	1300.83	97.0	100.0	2.500	1.036	0.4	15.2(0.0)
11	S	217.00	2803.23	1300.83	97.0	100.0	2.500	1.027	2.5	15.2(0.0)
12	S	188.00	2803.23	1300.83	97.0	100.0	2.500	1.027	2.2	15.2(0.0)
13	S	30.00	2803.23	1300.83	97.0	100.0	2.500	1.027	0.4	15.2(0.0)
14	S	188.00	2778.40	1300.83	97.0	100.0	2.500	1.018	2.2	15.2(0.0)

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 conglomerato [Mpa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf 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	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.95	100.0	0.0	4.7	35.0	96.0	----	----
2	S	4.48	100.0	0.0	-144.2	35.0	96.0	1000	22.0
3	S	3.86	100.0	100.0	-112.7	35.0	4.0	1000	22.0
4	S	0.80	100.0	0.0	2.4	35.0	96.0	----	----
5	S	3.86	100.0	100.0	-142.6	35.0	4.0	1000	22.0

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 Coprifero [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	-0.00121	0	----	----	----	----	----	0.000 (0.20)	-716.75	0.00
2	S	-0.00076	0	0.500	20.0	30	0.00043 (0.00043)	257	0.111 (0.20)	-724.72	0.00



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

MANUFATTO IDRAULICO – RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	01	D 09 CL	VI 02 00 001	A	33 di 38

3	S	-0.00060	0	0.500	20.0	30	0.00034 (0.00034)	257	0.087 (0.20)	752.31	0.00
4	S	-0.00092	0	---	---	---	---	---	0.000 (0.20)	-715.82	0.00
5	S	-0.00075	0	0.500	20.0	30	0.00043 (0.00043)	257	0.110 (0.20)	687.93	0.00

DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.

NOME FILE SEZIONE: Soletta

(Percorso File: C:\Users\pc\Desktop\Manufatto a U modello\Soletta.sez)

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

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe: C32/40
 Resis. compr. di progetto fcd: 18.130 MPa
 Resis. compr. ridotta fcd': 9.065 MPa
 Def.unit. max resistenza ec2: 0.0020
 Def.unit. ultima ecu: 0.0035
 Diagramma tensione-deformaz.: Parabola-Rettangolo
 Modulo Elastico Normale Ec: 33346.0 MPa
 Resis. media a trazione fctm: 3.020 MPa
 Coeff. Omogen. S.L.E.: 15.00
 Coeff. Omogen. S.L.E.: 15.00

ACCIAIO - Tipo: B450C
 Resist. caratt. snervam. fyk: 450.00 MPa
 Resist. caratt. rottura ftk: 450.00 MPa
 Resist. snerv. di progetto fyd: 391.30 MPa
 Resist. ultima di progetto ftd: 391.30 MPa
 Deform. ultima di progetto Epu: 0.068
 Modulo Elastico Ef: 2000000 daN/cm²
 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: 337.50 MPa

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale
 Classe Conglomerato: C32/40

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

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	80.0	4.0	20
2	65.0	4.0	20
3	50.0	4.0	20
4	20.0	4.0	20
5	35.0	4.0	20
6	4.2	95.8	24
7	95.8	95.8	24
8	15.5	95.8	24
9	27.0	95.8	24
10	38.5	95.8	24
11	50.0	95.8	24
12	61.5	95.8	24
13	73.0	95.8	24
14	84.5	95.8	24
15	4.2	89.6	24
16	95.8	89.6	24
17	15.5	89.6	24
18	27.0	89.6	24
19	38.5	89.6	24
20	50.0	89.6	24
21	61.5	89.6	24
22	73.0	89.6	24
23	84.5	89.6	24
24	4.0	4.0	20
25	96.0	4.0	20

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 8 mm
 Passo staffe: 6.6 cm
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

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

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	-46.00	-1991.00	203.00
2	291.00	-1026.00	208.00
3	-46.00	-1471.00	147.00
4	291.00	-1026.00	208.00
5	291.00	-905.00	198.00
6	-46.00	-1350.00	137.00
7	-336.00	-1831.00	79.00

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 di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione)



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

MANUFATTO IDRAULICO – RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
 NN1X 01 D 09 CL VI 02 00 001 A 35 di 38

con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	-34.00	-1436.00	0.00
2	-249.00	-1407.00	0.00
3	215.00	-722.00	0.00
4	-34.00	-1090.00	0.00
5	215.00	-375.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	3.0 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	3.8 cm
Copriferro netto minimo staffe:	2.2 cm

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

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
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
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	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	-46.00	-1991.00	-45.70	-2749.36	1.38	81.4(16.9)
2	S	291.00	-1026.00	290.98	-2870.99	2.78	81.4(17.4)
3	S	-46.00	-1471.00	-45.70	-2749.36	1.88	81.4(16.9)
4	S	291.00	-1026.00	290.98	-2870.99	2.78	81.4(17.4)
5	S	291.00	-905.00	290.98	-2870.99	3.14	81.4(17.4)
6	S	-46.00	-1350.00	-45.70	-2749.36	2.05	81.4(16.9)
7	S	-336.00	-1831.00	-336.25	-2639.25	1.46	81.4(16.9)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato 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	0.00350	0.162	0.0	0.0	0.00260	4.0	4.0	-0.01810	4.2	95.8
2	0.00350	0.186	0.0	0.0	0.00271	4.0	4.0	-0.01531	4.2	95.8
3	0.00350	0.162	0.0	0.0	0.00260	4.0	4.0	-0.01810	4.2	95.8
4	0.00350	0.186	0.0	0.0	0.00271	4.0	4.0	-0.01531	4.2	95.8
5	0.00350	0.186	0.0	0.0	0.00271	4.0	4.0	-0.01531	4.2	95.8



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

MANUFATTO IDRAULICO – RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	01	D 09 CL	VI 02 00 001	A	36 di 38

6	0.00350	0.162	0.0	0.0	0.00260	4.0	4.0	-0.01810	4.2	95.8
7	0.00350	0.141	0.0	0.0	0.00247	4.0	4.0	-0.02125	4.2	95.8

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	-0.000225326	0.003500000	0.162	0.700
2	0.000000000	-0.000196290	0.003500000	0.186	0.700
3	0.000000000	-0.000225326	0.003500000	0.162	0.700
4	0.000000000	-0.000196290	0.003500000	0.186	0.700
5	0.000000000	-0.000196290	0.003500000	0.186	0.700
6	0.000000000	-0.000225326	0.003500000	0.162	0.700
7	0.000000000	-0.000258238	0.003500000	0.141	0.700

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 8 mm
 Passo staffe: 6.6 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver S = comb. verificata / N = comb. non verificata
 Ved Taglio di progetto [kN] = V_y ortogonale all'asse neutro
 Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
 Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
 Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.
 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
 Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con $L=lungh.legat.proietta-$
 ta sulla direz. del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	203.00	2728.88	1300.83	97.0	100.0	2.500	1.000	2.4	15.2(0.0)
2	S	208.00	2772.68	1300.83	97.0	100.0	2.500	1.016	2.4	15.2(0.0)
3	S	147.00	2728.88	1300.83	97.0	100.0	2.500	1.000	1.7	15.2(0.0)
4	S	208.00	2772.68	1300.83	97.0	100.0	2.500	1.016	2.4	15.2(0.0)
5	S	198.00	2772.68	1300.83	97.0	100.0	2.500	1.016	2.3	15.2(0.0)
6	S	137.00	2728.88	1300.83	97.0	100.0	2.500	1.000	1.6	15.2(0.0)
7	S	79.00	2728.88	1300.83	97.0	100.0	2.500	1.000	0.9	15.2(0.0)

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 conglomerato [Mpa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf 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	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	8.54	100.0	0.0	-227.5	4.2	95.8	1800	81.4
2	S	8.13	100.0	0.0	-234.6	4.2	95.8	1800	81.4
3	S	4.53	100.0	0.0	-102.2	4.2	95.8	1800	81.4
4	S	6.48	100.0	0.0	-173.1	4.2	95.8	1800	81.4
5	S	2.45	100.0	0.0	-47.8	4.2	95.8	1800	81.4

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 f_{ctm}
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 Coprifero [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	-0.00121	0	0.500	24.0	30	0.00088 (0.00068)	191	0.168 (0.20)	-716.75	0.00
2	S	-0.00125	0	0.500	24.0	30	0.00092 (0.00070)	191	0.175 (0.20)	-698.17	0.00
3	S	-0.00055	0	0.500	24.0	30	0.00031 (0.00031)	191	0.058 (0.20)	-759.10	0.00
4	S	-0.00092	0	0.500	24.0	30	0.00061 (0.00052)	191	0.117 (0.20)	-715.82	0.00
5	S	-0.00026	0	0.500	24.0	30	0.00014 (0.00014)	191	0.027 (0.20)	-799.61	0.00



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

MANUFATTO IDRAULICO – RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	01	D 09 CL	VI 02 00 001	A	38 di 38