

**CORRIDOIO PLURIMODALE ADRIATICO
ITINERARIO MAGLIE - SANTA MARIA DI LEUCA**

S.S. N° 275 "DI S. MARIA DI LEUCA"

LAVORI DI AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA SEZ. B DEL D.M. 5.11.2001

S.S. 16 dal km 981+700 al km 985+386 - S.S. 275 dal Km 0+000 al km 37+000

1° Lotto: Dal Km 0+000 di prog. al Km 23+300 di prog.

PROGETTO DEFINITIVO

COD. BA283

PROGETTAZIONE: ANAS - STRUTTURA TERRITORIALE PUGLIA

I PROGETTISTI

Ing. Alberto SANCHIRICO - Progettista e Coordinatore
Ing. Simona MASCIULLO - Progettista

COLLABORATORI

Geom. Andrea DELL'ANNA
Geom. Massimo MARTANO
Geom. Giuseppe CALO'

IL COORDINATORE IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Alberto SANCHIRICO

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Gianfranco PAGLIALUNGA

RESPONSABILE PROJECT MANAGEMENT E PROGETTI SPECIALI

Ing. Nicola MARZI

IL COMMISSARIO STRAORDINARIO

Ing. Vincenzo MARZI

ATTIVITA' DI SUPPORTO

RTP:

Lombardi Ingegneria S.r.L.

TechProject S.r.L.

- Strutture
- Geotecnica
- Impianti

09 - OPERE D'ARTE MINORI

RISOLUZIONE INTERFERENZE

Elaborati generali

Relazione di calcolo strutturale tipologico A

CODICE PROGETTO			NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00_IN00_STR_RE01_B.pdf			
L0503A	D	1701	CODICE ELAB.	T00IN00STRRE01	B	-
B	REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO			Marzo 2022		
A	REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO			Ottobre 2018	Ing. C. Beltrami	
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1.	NORMATIVE E RIFERIMENTI	2
1.1	Normative e standard	2
1.2	Software di calcolo	3
2.	MATERIALI	4
2.1	Calcestruzzi	4
2.2	Acciai	4
2.4	Tubazioni in acciaio tipo ARMCO	5
3.	PRESTAZIONI ATTESE	6
3.1	Premessa	6
3.2	Vita nominale e classe d'uso	7
3.3	Sicurezza agli stati limite ultimi (SLU)	8
4.	CARICHI DI PROGETTO	11
4.1	Pesi propri strutturali	11
4.2	Ricoprimento	11
4.3	Azioni da traffico	12
4.4	Spinta delle terre	14
4.5	Azione sismica	15
5.	MODELLAZIONE FEM	17
5.1	Aspetti generali	17
5.2	Sintesi risultati	18
6.	VERIFICHE	24
6.1	Premessa	24
6.2	SLU – Flessione	25
6.2.1	Pareti e solette sp.50cm	25
6.2.2	Soletta sp.30cm	26
6.3	SLE – Fessurazione	27

1. NORMATIVE E RIFERIMENTI

1.1 Normative e standard

Il dimensionamento delle opere in progetto è condotto in riferimento alle attuali normative e di seguito elencate.

- | | | |
|------|--|--|
| [1] | Legge 05/11/1971, n.1086 | Norma per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica” e relative istruzioni (Circ. LL.PP. 14/02/1974, n. 11951) |
| [2] | Legge 02/02/1974, n.64 | Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche |
| [3] | D.M. 17/01/2018 n. 8 | Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni |
| [4] | UNI EN 1990 | Basis of structural design |
| [5] | UNI EN 1991-1-1 | Actions on structures - General actions - Densities, self-weight and imposed loads |
| [6] | UNI EN 1991-1-4 | Actions on structures - General actions - Wind actions |
| [7] | UNI EN 1991-1-5 | Actions on structures - General actions - Thermal actions |
| [8] | UNI EN 1992-1-1 | Design of concrete structures -General - Common rules for building and civil engineering structures |
| [9] | UNI EN 1992-1-2 | Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design |
| [10] | UNI EN 1992-2 | Design of concrete structures -Bridges |
| [11] | UNI EN 1993-1-1 | Design of steel structures-
General rules and rules for buildings |
| [12] | UNI EN 1993-1-8 | Design of steel structures-
Design of Joints |
| [13] | UNI EN 1994-1-1 | Design of composite steel and concrete structures –
General rules and rules for buildings |
| [14] | UNI EN 1994-2 | Design of composite steel and concrete structures –
General rules and rules for bridges |
| [15] | UNI EN 1997-1 | Geotechnical design - General rules |
| [16] | UNI EN 1998-1 | Design provisions for earthquake resistance of structures -
General rules, seismic actions and rules for buildings |
| [17] | UNI EN 1998-2 | Design of structures for earthquake resistance - Bridges |
| [18] | UNI EN 1998-5 | Design of structures for earthquake resistance –
Foundations, retaining structures and geotechnical aspects |
| [19] | Presidenza del Consiglio
Superiore dei Lavori Pubblici
– Servizio Tecnico Centrale | Linee guida sul calcestruzzo strutturale |
| [20] | UNI-EN 206-1 | Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e |

conformità

[21] UNI-EN 11104

Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione delle EN 206-1

1.2 Software di calcolo

- [1] MIDAS/Civil, Ver. 7.6.1 Il programma, codice di calcolo ad elementi finiti in campo statico e dinamico lineare/non lineare, consente l'analisi strutturale per fasi con proprietà reologiche non omogenee, MIDAS Information Technology Co., Ltd. (Seongnam, Gyeonggi-do, 463-824, Korea) la modellazione della precompressione tramite tracciato cavi 3D, il calcolo degli effetti dei carichi mobili tramite linee/superfici d'influenza, l'analisi di tutte le componenti di tensione locale nelle sezioni
- [2] PRESSFLE Calcolo e verifica delle sezioni in c.a.-c.a.p., sviluppato dalla Concrete s.r.l. di Padova. Versione 5.5
- [3] VCASLU Programma per la verifica a pressoflessione delle sezioni in c.a. e c.a.p.

2. MATERIALI

2.1 Calcestruzzi

Magrone sottofondazione

Classe del calcestruzzo		C12/15	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	R_{ck}	15	N/mm ²
Classe di esposizione		XC0	-

Calcestruzzo di rivestimento tubo

Classe del calcestruzzo		C20/25	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	R_{ck}	25	N/mm ²
Classe di esposizione		XC2	-
Rapporto massimo acqua/cemento		0.55	-
Contenuto minimo di cemento		250	kg/mc
Classe di consistenza (Slump)		S4	-
Dimensione massima dell'aggregato		32	mm

2.2 Acciai

Acciaio per armatura lenta

Classe di acciaio		B450	
Tensione caratteristica di rottura	f_{tk}	540	N/mm ²
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	450	N/mm ²
Resistenza di progetto	f_{yd}	391.3	N/mm ²
Sovra-resistenza	f_{tk} / f_{yk}	≥1.15	-
Modulo di elasticità	E_s	210000	N/mm ²

2.4 Tubazioni in acciaio tipo ARMCO



SPESSORE DELLA CONDOTTA mm								CARATTERISTICHE GEOMETRICHE				PESO TEORICO CON BULLONERIA kg/m							
altezza del rilevato m								n° di piastre	n° spazi	diam m	sezione m²	spessore mm							
min	1,01	2,51	5,01	7,51	10,01	12,51	2,5					3,5	4,0	4,5	5,5	6,0	7,0		
+	+	+	+	+	+	+	1,00	2,50	5,00	7,50	10,00	12,50	15,00						
2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5			3	18	1,36	1,45	141	192	217	242	292	318	368
2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5			3	19	1,44	1,60	148	202	228	254	307	334	386
2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,5			3	20	1,52	1,80	155	211	238	266	321	349	404
2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,5			3	21	1,60	2,00	162	220	249	278	335	365	422
2,5	2,5	2,5	2,5	3,5	3,5	4,0			4	22	1,68	2,20	168	230	259	289	350	381	440
2,5	2,5	2,5	2,5	3,5	3,5	4,0			4	24	1,83	2,65	182	248	281	313	378	412	477
2,5	2,5	2,5	2,5	3,5	3,5	4,0			4	26	1,98	3,10	202	275	311	347	419	455	527
2,5	2,5	2,5	3,5	3,5	4,0	4,5			4	28	2,13	3,55	215	294	332	370	447	487	563
2,5	2,5	2,5	3,5	3,5	4,5	4,5			4	30	2,29	4,10	229	312	353	394	476	518	599
3,5	2,5	2,5	3,5	3,5	4,5	4,5			4	32	2,44	4,70	243	332	376	419	507	549	635
3,5	2,5	3,5	3,5	4,0	4,5	5,5			4	34	2,59	5,30	257	351	397	443	535	604	698
3,5	2,5	3,5	3,5	4,0	4,5	5,5			4	36	2,74	5,90	270	369	418	466	564	636	736
3,5	2,5	3,5	4,0	4,0	4,5	5,5			4	38	2,90	6,60	284	389	440	491	593	668	772
4,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,5	6,0			4	40	3,05	7,30	298	408	461	515	623	699	808
4,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,5	6,0			4	42	3,20	8,05	323	441	498	555	671	730	845
4,0	3,5	3,5	4,0	5,5	6,0	7,0			6	44	3,35	8,80	337	460	520	580	701	761	881
4,0	3,5	3,5	4,0	5,5	6,0	7,0			6	46	3,51	9,70	351	479	541	604	730	792	917
4,0	3,5	4,0	4,5	5,5	6,0	7,0			6	48	3,66	10,50	364	498	563	628	759	823	953
4,0	3,5	4,0	4,5	5,5	6,0	7,0			6	50	3,81	11,40	378	517	585	652	788	897	1017
4,0	3,5	4,0	4,5	5,5	6,0	7,0			6	52	3,96	12,30	382	535	606	676	817	910	1053
4,0	4,0	4,0	5,5	6,0	7,0	-			6	54	4,11	13,25	405	554	627	699	846	942	1090
4,5	4,0	4,5	5,5	6,0	7,0	-			8	56	4,27	14,30	432	588	665	741	896	973	1126
4,5	4,5	4,5	5,5	6,0	7,0	-			8	58	4,42	15,35	445	607	686	765	925	1004	1162
4,5	4,5	4,5	5,5	6,0	7,0	-			8	60	4,57	16,40	459	626	707	789	954	1036	1198
4,5	4,5	4,5	5,5	7,0	7,0	-			8	62	4,72	17,50	472	644	729	813	982	1067	1235
4,5	4,5	5,5	6,0	7,0	-	-			8	64	4,88	18,70	486	663	750	836	1011	1098	1271
5,5	5,5	5,5	6,0	7,0	-	-			8	66	5,03	19,85	500	682	772	861	1041	1172	1334
5,5	5,5	5,5	6,0	7,0	-	-			8	68	5,18	21,05	514	702	794	886	1071	1185	1371
5,5	5,5	5,5	6,0	7,0	-	-			8	70	5,34	22,40	527	721	815	910	1100	1216	1408
5,5	5,5	5,5	6,0	7,0	-	-			8	72	5,49	23,65	541	739	836	933	1129	1248	1444
5,5	5,5	6,0	7,0	-	-	-			8	74	5,64	25,00	554	758	857	957	1157	1279	1480
6,0	6,0	6,0	7,0	-	-	-			8	76	5,79	26,30	568	777	879	981	1187	1310	1516
6,0	6,0	7,0	7,0	-	-	-			8	78	5,95	27,80	582	796	901	1006	1216	1341	1552
6,0	7,0	7,0	7,0	-	-	-			10	80	6,10	29,20	608	830	939	1047	1266	1372	1588
7,0	7,0	7,0	-	-	-	-			12	82	6,25	30,65	622	849	960	1071	1295	1429	1653
7,0	7,0	7,0	-	-	-	-			12	84	6,40	32,15	635	868	981	1095	1324	1460	1689

3. PRESTAZIONI ATTESE

3.1 Premessa

Il presente progetto è redatto in accordo con il D.M. 17/1/2018 “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.

La sicurezza e le prestazioni dell’opera o di una parte di essa sono valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Stato limite è la condizione superata la quale l’opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.

In particolare, secondo quanto stabilito nel D.M. 2018, le strutture dovranno garantire i seguenti requisiti prestazionali:

- **Sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU)** ovvero capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l’incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l’opera.
- **Sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE)** ovvero capacità di garantire nel tempo le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- **Durabilità** ovvero capacità conservare le caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali affinché il livello di sicurezza strutturale sia garantito per tutta la vita di riferimento dell’opera;
- **Robustezza nei confronti di azioni eccezionali** ovvero capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all’entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere unicamente irreversibile e si definisce collasso mentre il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere sia reversibile che irreversibile.

Nei paragrafi successivi verranno illustrati i criteri di verifica dei requisiti prestazionali di cui sopra.

3.2 Vita nominale e classe d'uso

Coerentemente con la tipologia di opera in progetto e con le specifiche del Progetto Definitivo, si assume quanto segue:

- vita nominale dell'opera: $V_N = 50$ anni;
- classe d'uso: IV
- coefficiente d'uso: $c_u = 2.0$;
- vita di riferimento per l'azione sismica: $V_R = V_N \times c_u = 50 \times 2.00 = 100$ anni

3.3 Sicurezza agli stati limite ultimi (SLU)

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza si effettua con il “metodo dei coefficienti parziali” di sicurezza espresso dalla equazione formale:

$$R_d \geq E_d$$

dove

- R_d è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate;
- E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni.

I coefficienti parziali di sicurezza, γ_{Mi} e γ_{Fj} , associati rispettivamente al materiale i -esimo e all'azione j -esima, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e alla affidabilità del modello di calcolo.

Per le opere in progetto, in accordo con le NTC2018 si considerano i seguenti stati limite ultimi.

- | | | |
|--|--------------|---|
| - Stato limite di equilibrio | (EQU) | Verifica degli elementi intesi come corpi rigidi |
| - Stato limite di resistenza delle strutture | (STR) | Verifica della resistenza “lato struttura” di tutti gli elementi portanti (fondazioni ed elevazioni) |
| - Stato limite di resistenza del terreno | (GEO) | Verifica della resistenza del terreno di fondazione su cui sono impostate e con cui possono interagire gli elementi strutturali |

Le verifiche sono svolte per ciascuno stato limite ultimo di cui sopra, sia in condizioni statiche che sismiche ed in particolare allo stato limite di salvaguardia della Vita (SLV).

- Combinazioni SLU in condizioni statiche

$$E_d = E \{ \gamma_{G,j} G_{k,j} ; \gamma_P P ; \gamma_{Q,1} Q_{k,1} ; \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1 ; i > 1$$

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- Combinazioni SLU in condizioni sismiche

$$E_d = E \{ G_{k,j} ; P ; A_{Ed} ; \psi_{2,i} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1 ; i \geq 1$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

In generale le verifiche geotecniche sono svolte secondo l'Approccio 2 delle NTC2018

Approccio 2: A1+M1+R3 (Comb.GEO)

A1+M1+R1 (Comb.SLU)

Di seguito si riportano in sintesi i principali coefficienti parziali per le azioni (A), per i materiali (M) e per le resistenze compressive dei sistemi (R) definite in accordo con le NTC2018, cui si rimanda per eventuali ed ulteriori dettagli non richiamati nel presente documento.

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti strutturali	<i>Favorevoli</i>	γ_{G1}	0.90	1.00	1.00
	<i>Sfavorevoli</i>		1.10	1.30	1.00
Carichi permanenti non strutturali compiutamente definiti (ovvero derivanti da un'analisi di dettaglio)	<i>Favorevoli</i>	$\gamma_{G2 (A)}$	0.90	1.00	1.00
	<i>Sfavorevoli</i>		1.10	1.30	1.00
Carichi permanenti non strutturali non compiutamente definiti (ovvero presunti)	<i>Favorevoli</i>	$\gamma_{G2 (B)}$	0.00	0.00	0.00
	<i>Sfavorevoli</i>		1.50	1.50	1.30
Carichi variabili da traffico stradale	<i>Favorevoli</i>	$\gamma_{Q(TS)}$	0.00	0.00	0.00
	<i>Sfavorevoli</i>		1.35	1.35	1.15
Altri variabili (vento, neve...)	<i>Favorevoli</i>	γ_{Qi}	0.00	0.00	0.00
	<i>Sfavorevoli</i>		1.50	1.50	1.30
Precompressione	<i>Favorevoli</i>	$\gamma_{\epsilon 1}$	0.90	1.00	1.00
	<i>Sfavorevoli</i>		1.00	1.00	1.00
Ritiro, viscosità, cedimenti vincolari	<i>Favorevoli</i>	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0.00	0.00	0.00
	<i>Sfavorevoli</i>		1.20	1.20	1.00

Tabella 1 – Coefficienti parziali per le azioni (A)

Materiale	Grandezza cui si applica il coefficiente parziale		Gruppo M1	Gruppo M2
<i>Calcestruzzo</i>	Resistenza a compressione / trazione / taglio	f_{ck}, f_{ctk}, v_k	$\gamma_c = 1.50$	$\gamma_c = 1.50$
<i>Acciaio in barre per c.a.</i>	Tensione di snervamento	f_{yk}	$\gamma_s = 1.15$	$\gamma_s = 1.15$
<i>Acciaio in trefolo per c.a.p.</i>	Tensione allo 0.1% di residuo plastico	$f_{p0.1k}$	$\gamma_s = 1.15$	$\gamma_s = 1.15$
<i>Altri materiali strutturali</i>		Rif. direttamente NTC2018		
	Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'} = 1.00$	$\gamma_{\phi'} = 1.25$
<i>Terreno</i>	Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'} = 1.00$	$\gamma_{c'} = 1.25$
	Resistenza non drenata	c_{uk}	$\gamma_{cu} = 1.00$	$\gamma_{cu} = 1.40$
	Peso dell'unità di volume	γ_T	$\gamma_\gamma = 1.00$	$\gamma_\gamma = 1.00$

Tabella 2 – Coefficienti parziali per i parametri nominali di resistenza (M)

4. CARICHI DI PROGETTO

4.1 Pesi propri strutturali

I pesi strutturali sono definiti sulla base delle effettive geometrie delle opere, adottando i seguenti pesi specifici di riferimento:

- calcestruzzo armato: $\gamma_c = 25.0 \text{ kN/m}^3$

- acciaio: $\gamma_s = 78.5 \text{ kN/m}^3$

Elemento	n	L _x	L _y	L _z	γ	g_k	g_k^*	G _{k(x1)}	G _{k(x,n)}
[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[kN/m]	[kN]	[kN]
Blocco di CLS al netto del tubo	1	2.800	2.600	1.000	25	-	-	182.0	182.0
Alleggerimento per presenza tubo	-1	1.600	1.600	1.000	25	-	-	64.0	-64.0
TOTALE									118.0

Elemento	n	L _x	L _y	L _z	γ	g_k	g_k^*	G _{k(x1)}	G _{k(x,n)}
[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[kN/m]	[kN]	[kN]
Tubo ARMCO	1	1.000	1.000	1.000	0.25	-	-	0.3	0.3
TOTALE									0.3

4.2 Ricoprimento

Si considera considerano i seguenti limiti di ricoprimento (minimo e massimo):

- $H_{\min} = 1.00\text{m}$

- $H_{\max} = 8.00\text{m}$

RINTERRO H=1.00m

Elemento	n	L _x	L _y	L _z	γ	g_k	g_k^*	G _{k(x1)}	G _{k(x,n)}
[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[kN/m]	[kN]	[kN]
Rinterro	1	2.800	1.000	1.000	20	-	-	56.0	56.0
TOTALE									56.0

RINTERRO H=8.00m

Elemento	n	L _x	L _y	L _z	γ	g_k	g_k^*	G _{k(x1)}	G _{k(x,n)}
[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[kN/m]	[kN]	[kN]
Rinterro	1	2.800	8.000	1.000	20	-	-	448.0	448.0
TOTALE									448.0

4.3 Azioni da traffico

Le azioni indotte da traffico stradale sono desunte in accordo alle NTC2018 capitolo 5.1 (azioni da traffico per ponti), ritenendo però trascurabili gli effetti dei carichi longitudinali di frenamento/accelerazione e trasversali dovuti ad azione centrifuga.

Le impronte di carico applicate in superficie sono diffuse nello spessore del ricoprimento assumendo cautelativamente un angolo di 30° e considerando la presenza di n.3 corsie convenzionali adiacenti.

Con riferimento ai grafici di sintesi riportati in figura, si assumono i seguenti valori di calcoli:

- ricoprimento 1.00m: $q = 111 \text{ kN/m}^2$
- ricoprimento 8.00m: $q = 29 \text{ kN/m}^2$

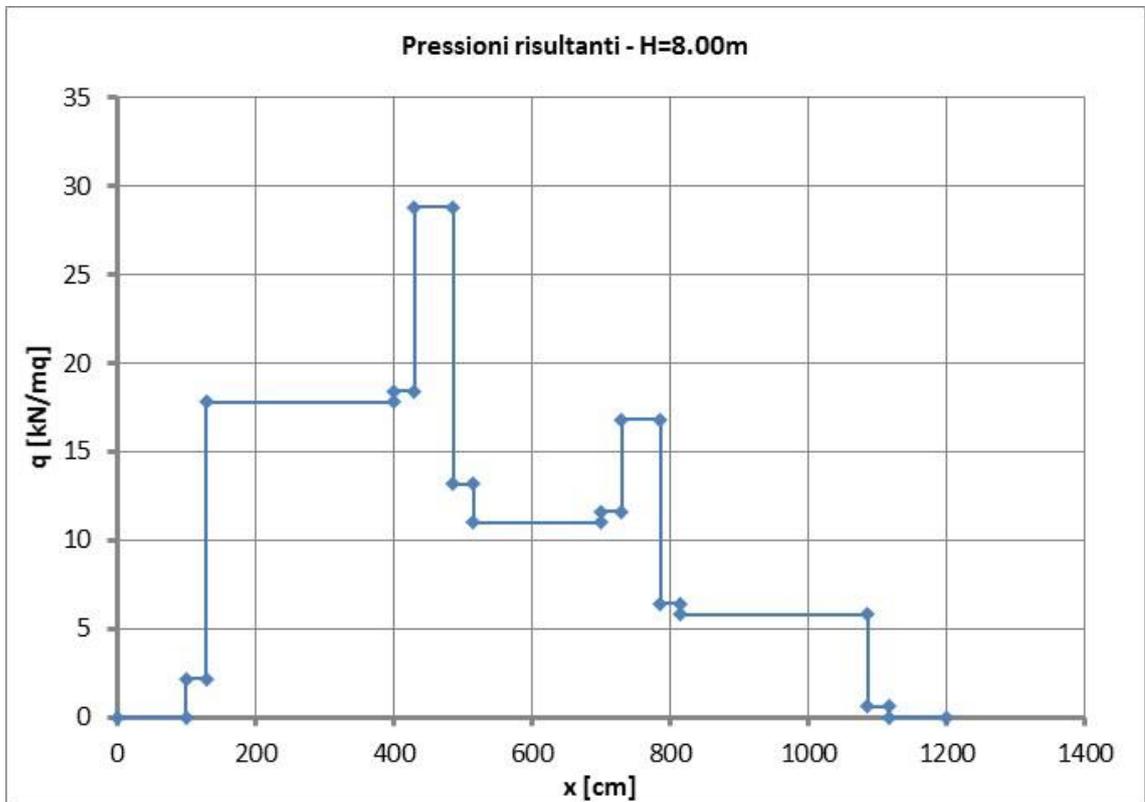
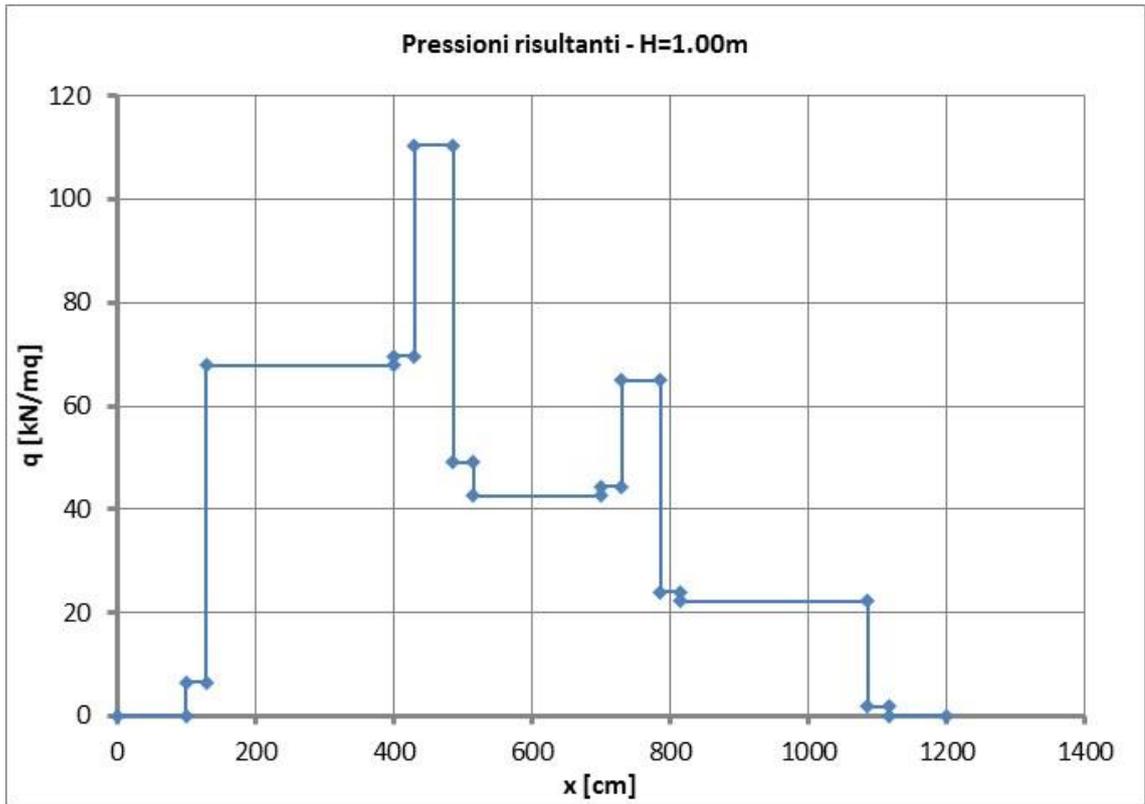
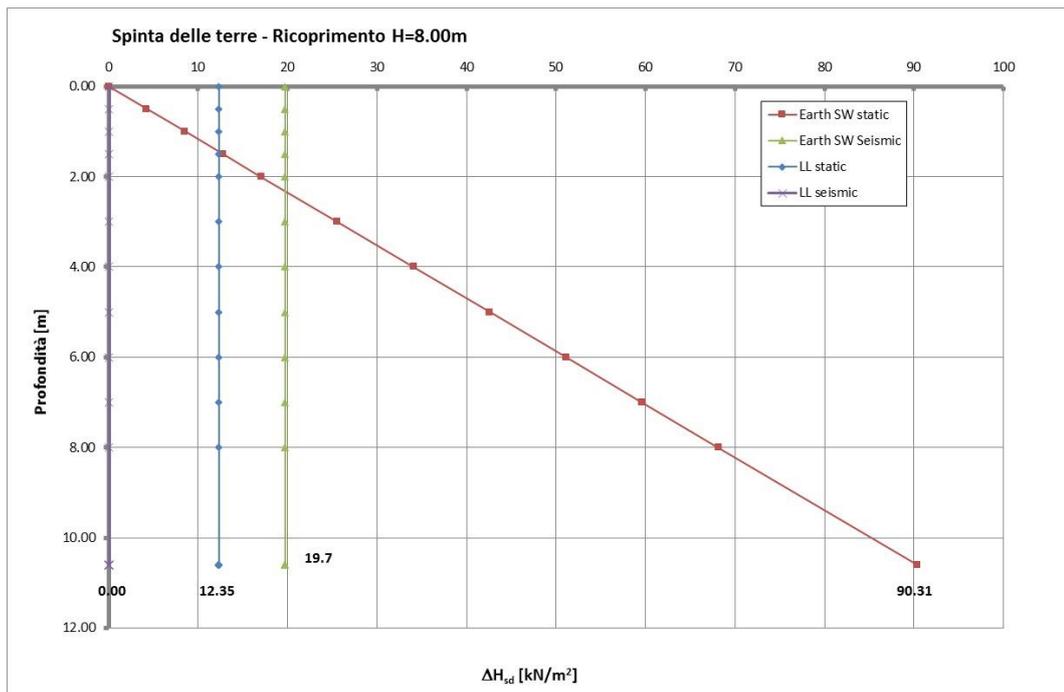
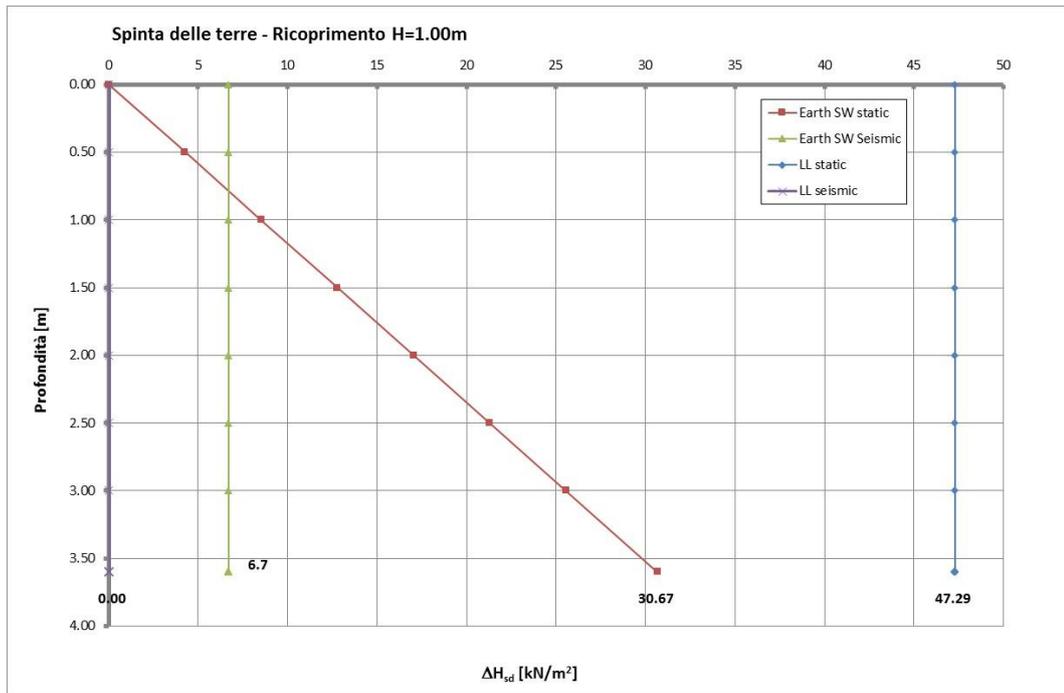


Figura 1 – Pressioni effettive associate a traffico veicolare

4.4 Spinta delle terre

Le spinte delle terre sono valutate assumendo i seguenti dati/ipotesi di calcolo:

- condizioni di spinta a riposo ($k = k_0$ in condizioni statiche, Wood per le condizioni sismiche)
- angolo d'attrito interno $\phi = 35^\circ$



4.5 Azione sismica

L'azione sismica è assunta sulla base delle indicazioni contenute nelle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 3.2), per quanto riguarda gli spettri di risposta e di progetto. In particolare, gli spettri di risposta allo SLV in accelerazione delle componenti orizzontali sono definiti dalle seguenti espressioni:

$$0 \leq T \leq T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T \leq T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

dove:

- S è un coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante l'espressione $S = S_S \cdot S_T$;
- F_0 è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale;
- q rappresenta il "fattore di struttura";
- T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da $T_C = T^*_C \cdot C_C$;
- T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto ad accelerazione costante dello spettro, dato da $T_B = T_C / 3$;
- T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, dato da $T_D = 4.0 \cdot a_g/g + 1.6$.

Si adottano i seguenti parametri progettuali per la valutazione della "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e la quantificazione degli spettri riportati in precedenza:

- | | |
|---|------------------|
| - vita nominale dell'opera: | $V_N = 50$ anni |
| - classe d'uso: | IV |
| - coefficiente d'uso: | $C_U = 2.0$ |
| - probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_r | $P_{V_r} = 10\%$ |
| - periodo di ritorno dell'evento sismico ($T_R = f(V_N; P_{V_r})$): | $T_R = 949$ |
| - tipologia di terreno: | Tipo B |
| - categoria topografica: | T1 |

I parametri a_g , F_0 e T^*_C , definiti in precedenza, dipendono dalla localizzazione della struttura in esame e sono definiti per tutti i nodi appartenenti alla mappa di pericolosità sismica nazionale; poiché le coordinate del sito non corrispondono ad un nodo esatto della griglia riportata negli allegati

alle Norme Tecniche, si calcolano i parametri relativi al sito di interesse con una media ponderata sulle distanze di ciascun dei 4 nodi di riferimento dal sito in esame.

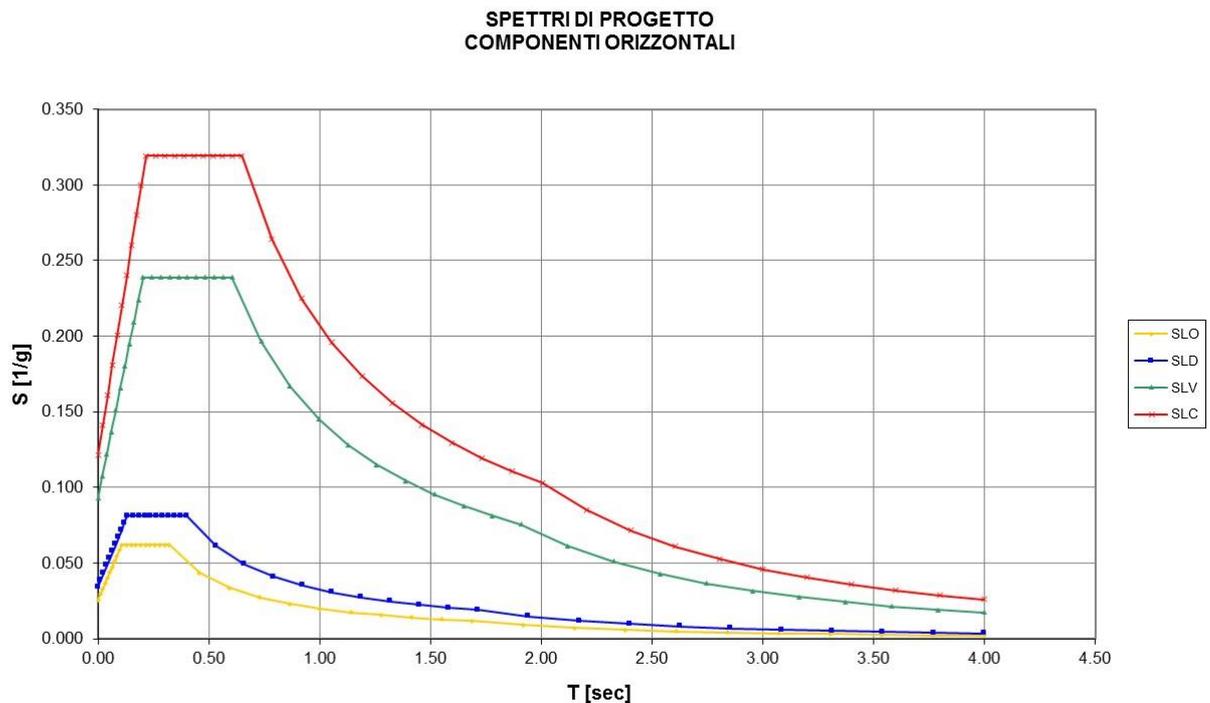
Essendo inoltre il periodo di ritorno diverso da quelli forniti dagli allegati alle Norme Tecniche, si procede per interpolazione secondo la seguente espressione:

$$\log (P) = \log (P_1) + \log (P_2/P_1) \cdot \log (T_R/T_{R1}) \cdot [\log (T_{R2}/T_{R1})]^{-1}$$

dove:

- P rappresenta il parametro d'interesse, riferito al periodo di ritorno T_R ;
- T_{R1} e T_{R2} sono i periodi di ritorno più prossimi a T_R per i quali si dispongono i valori P_1 e P_2 del parametro di interesse P.

Per quanto riguarda la definizione del coefficiente di struttura q e la classe di duttilità, si è adottato un parametro $q=1.0$.



5. MODELLAZIONE FEM

5.1 Aspetti generali

La valutazione della statica trasversale del manufatto è condotta mediante modellazione FEM di una striscia unitaria, assimilando la struttura ad un telaio in cemento armato poggiate su un suolo elastico, trascurando cautelativamente la resistenza/rigidezza della tubazione metallica interna.

I carichi sono applicati come forze puntuali e/o distribuite lungo gli elementi.

L'interazione suolo struttura è valutata ipotizzando un comportamento elastico lineare e adottando una costante di sottofondo $k_w = 5.0 \text{ kg/cm}^3 = 50000 \text{ kN/m}^3$.

Il modello viene sviluppato prendendo come allineamento di riferimento quello esterno del blocco di calcestruzzo, introducendo una serie di offset alle sezioni in modo tale da garantire la coerenza con le effettive geometrie del manufatto.

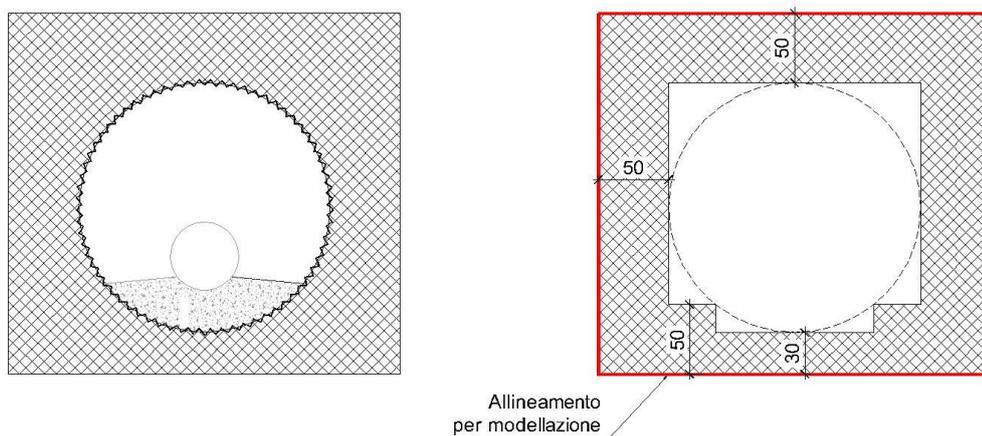


Figura 2 – Sezione tipica di progetto e schematizzazione di calcolo

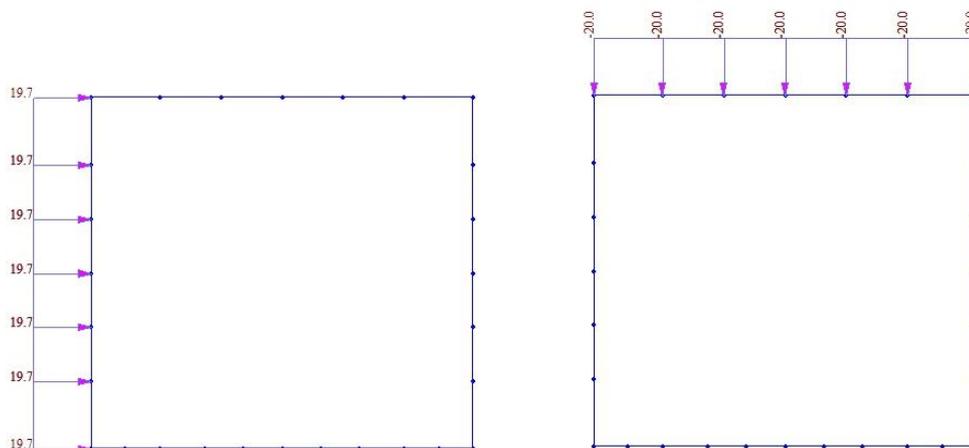
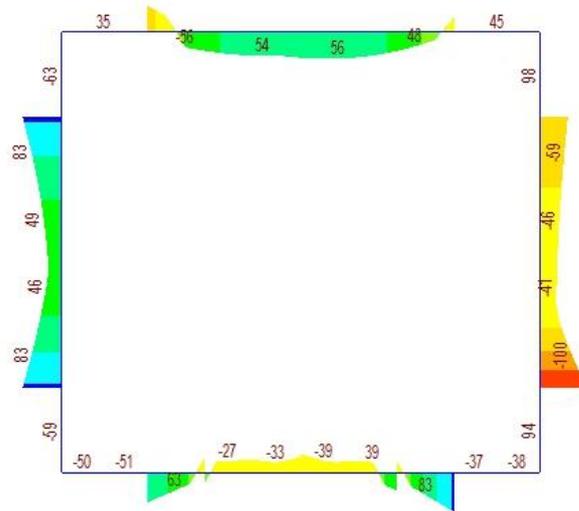


Figura 3 – Vista d'assieme del modello e applicazione tipica carichi

5.2 Sintesi risultati



MIDAS/Civil
 POST-PROCESSOR
 BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

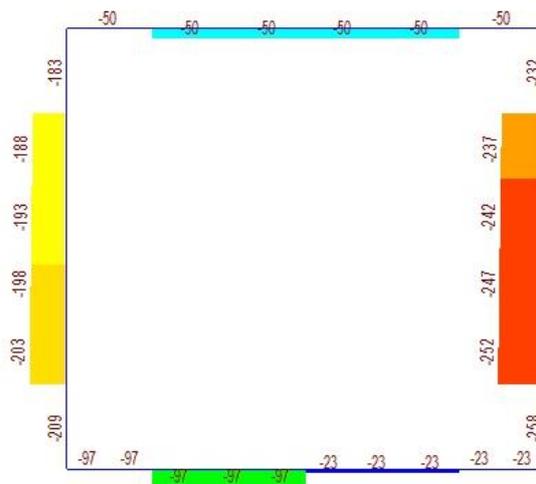
Blue	98
Cyan	80
Green	62
Light Green	44
Yellow	26
Light Yellow	0
Orange	-10
Red-Orange	-28
Red	-46
Dark Red	-64
Dark Red	-82
Dark Red	-100

CBALL: ENV_SLE

MAX : 17
 MIN : 15

FILE: 1456
 UNIT: kN*m
 DATE: 10/03/2018

VIEW-DIRECTION
 X: 0.000
 Y:-1.000
 Z: 0.000



MIDAS/Civil
 POST-PROCESSOR
 BEAM DIAGRAM

AXIAL

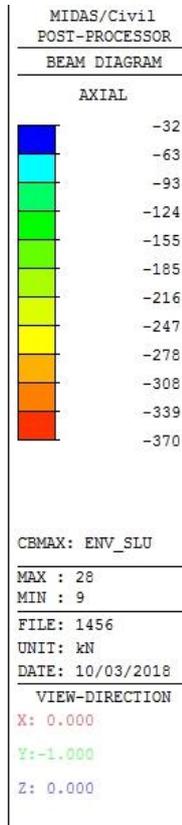
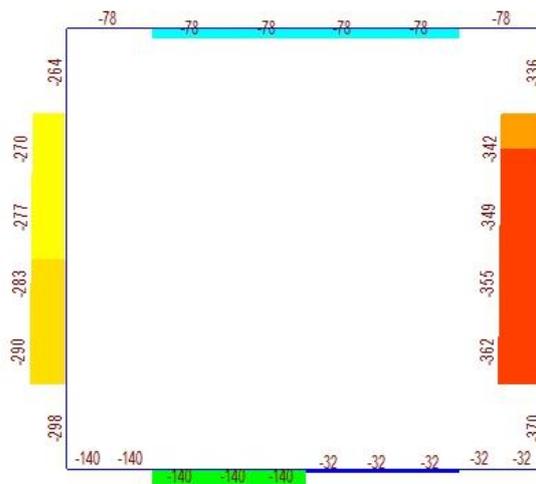
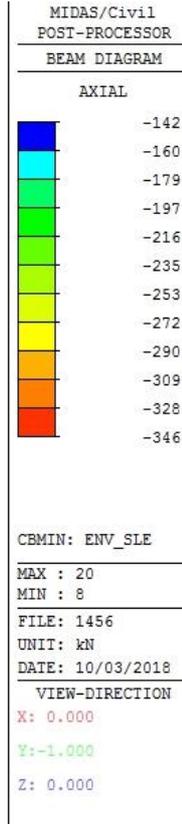
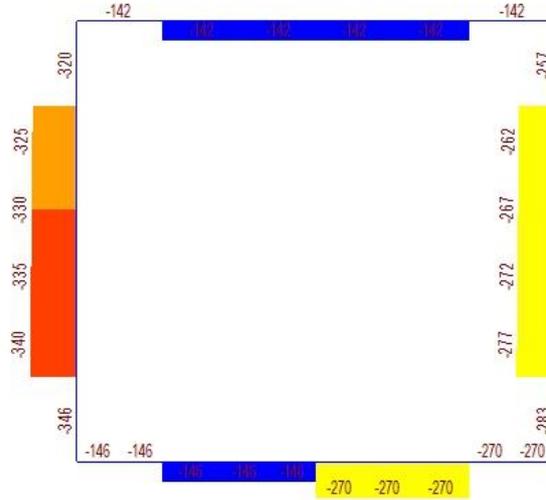
Blue	-23
Cyan	-44
Green	-65
Light Green	-87
Light Green	-108
Yellow	-130
Light Yellow	-151
Orange	-172
Red-Orange	-194
Red	-215
Dark Red	-237
Dark Red	-258

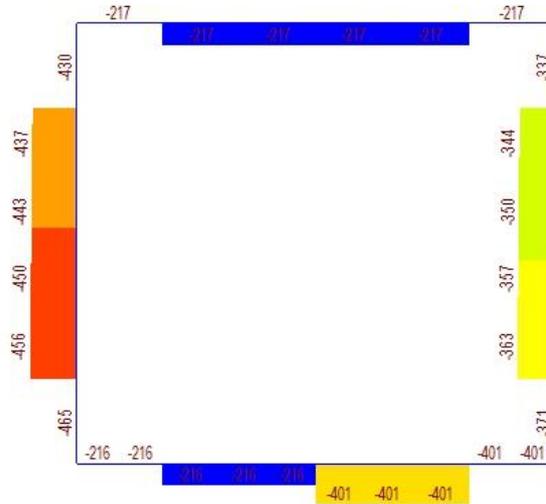
CBMAX: ENV_SLE

MAX : 28
 MIN : 9

FILE: 1456
 UNIT: kN
 DATE: 10/03/2018

VIEW-DIRECTION
 X: 0.000
 Y:-1.000
 Z: 0.000





MIDAS/Civil
 POST-PROCESSOR
 BEAM DIAGRAM

AXIAL

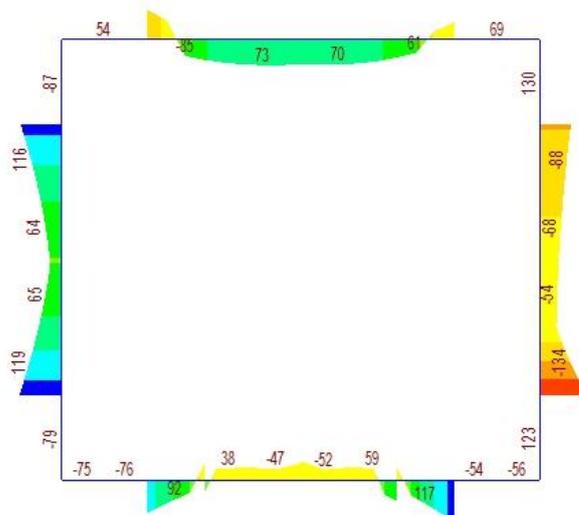
Blue	-216
Cyan	-239
Green	-261
Light Green	-284
Yellow-Green	-307
Yellow	-329
Orange	-352
Light Orange	-374
Red-Orange	-397
Red	-419
Dark Red	-442
Black	-465

CBMIN: ENV_SLU

MAX : 5
 MIN : 8

FILE: 1456
 UNIT: kN
 DATE: 10/03/2018

VIEW-DIRECTION
 X: 0.000
 Y: -1.000
 Z: 0.000



MIDAS/Civil
 POST-PROCESSOR
 BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

Blue	130
Cyan	106
Green	82
Light Green	58
Yellow-Green	34
Yellow	0
Orange	-14
Light Orange	-38
Red-Orange	-62
Red	-86
Dark Red	-110
Black	-134

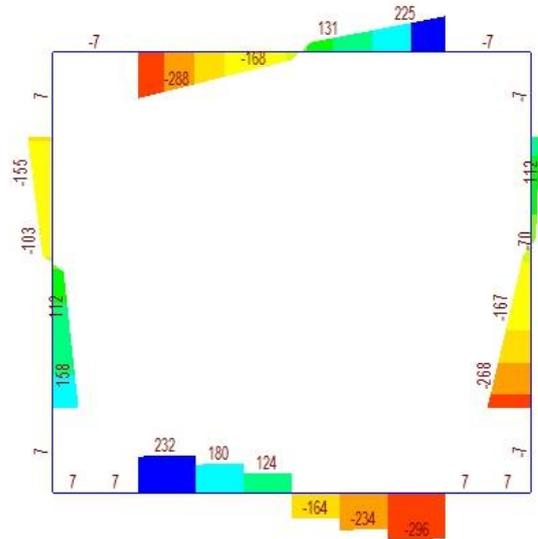
CBALL: ENV_SLU

MAX : 17
 MIN : 15

FILE: 1456
 UNIT: kN*m
 DATE: 10/03/2018

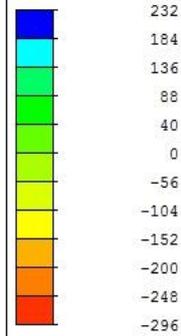
VIEW-DIRECTION
 X: 0.000
 Y: -1.000
 Z: 0.000





MIDAS/Civil
 POST-PROCESSOR
 BEAM DIAGRAM

SHEAR-z



CBALL: ENV_SLU

MAX : 4

MIN : 3

FILE: 1456

UNIT: kN

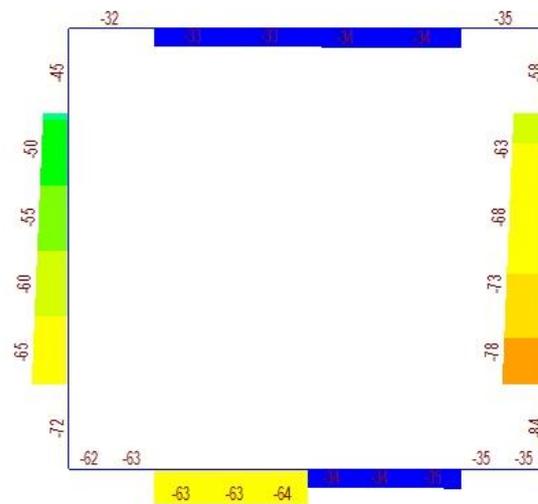
DATE: 10/03/2018

VIEW-DIRECTION

X: 0.000

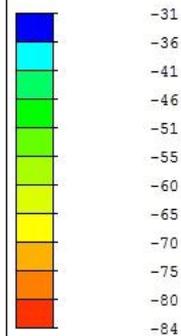
Y: -1.000

Z: 0.000



MIDAS/Civil
 POST-PROCESSOR
 BEAM DIAGRAM

AXIAL



CBMAX: ENV_SLV

MAX : 10

MIN : 9

FILE: 1456

UNIT: kN

DATE: 10/03/2018

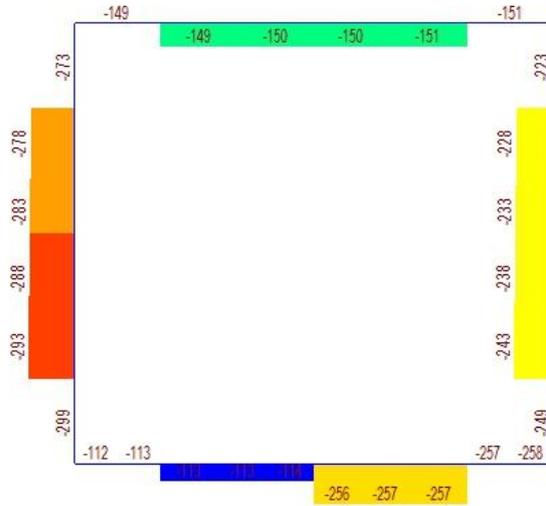
VIEW-DIRECTION

X: 0.000

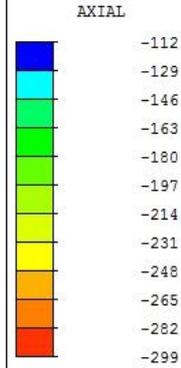
Y: -1.000

Z: 0.000

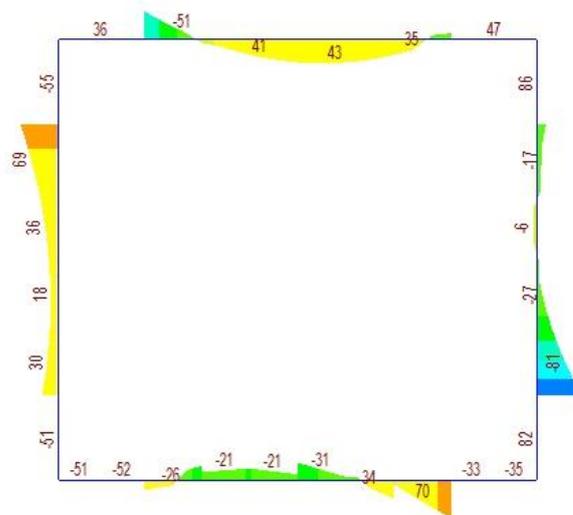




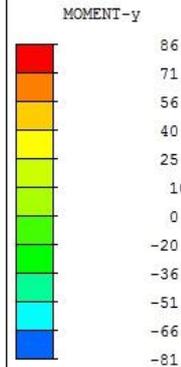
MIDAS/Civil
 POST-PROCESSOR
 BEAM DIAGRAM



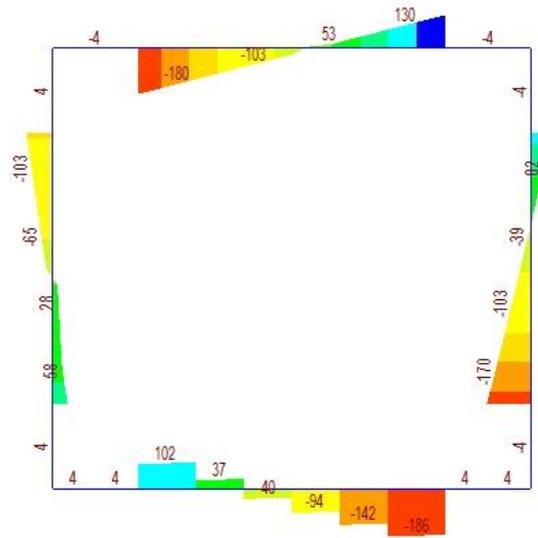
CBMIN: ENV_SLV
 MAX : 12
 MIN : 8
 FILE: 1456
 UNIT: kN
 DATE: 10/03/2018
 VIEW-DIRECTION
 X: 0.000
 Y: -1.000
 Z: 0.000



MIDAS/Civil
 POST-PROCESSOR
 BEAM DIAGRAM



CBALL: ENV_SLV
 MAX : 17
 MIN : 15
 FILE: 1456
 UNIT: kN*m
 DATE: 10/03/2018
 VIEW-DIRECTION
 X: 0.000
 Y: -1.000
 Z: 0.000



MIDAS/Civil
 POST-PROCESSOR
 BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

Blue	130
Cyan	102
Green	73
Light Green	44
Yellow-Green	15
Yellow	0
Orange	-42
Light Orange	-71
Red-Orange	-100
Red	-129
Dark Red	-157
Dark Red	-186

CBALL: ENV_SLV

MAX : 20
 MIN : 3

FILE: 1456
 UNIT: kN
 DATE: 10/03/2018

VIEW-DIRECTION
 X: 0.000
 Y: -1.000
 Z: 0.000



6. VERIFICHE

6.1 Premessa

Tenuto conto della tipologia di manufatto si procede con le seguenti verifiche:

- SLU – Flessione
- SLE – Fessurazione

Si omettono le verifiche a taglio in quanto per la configurazione del manufatto che lo porta ad essere assimilabile ad una struttura ad anello, le bielle diagonali compresse sono direttamente contrastate dai carichi applicati.

Inoltre, ai fini delle verifiche a flessione, le azioni di progetto sono valutate tenendo in conto delle effettive dimensioni dei nodi del telaio.

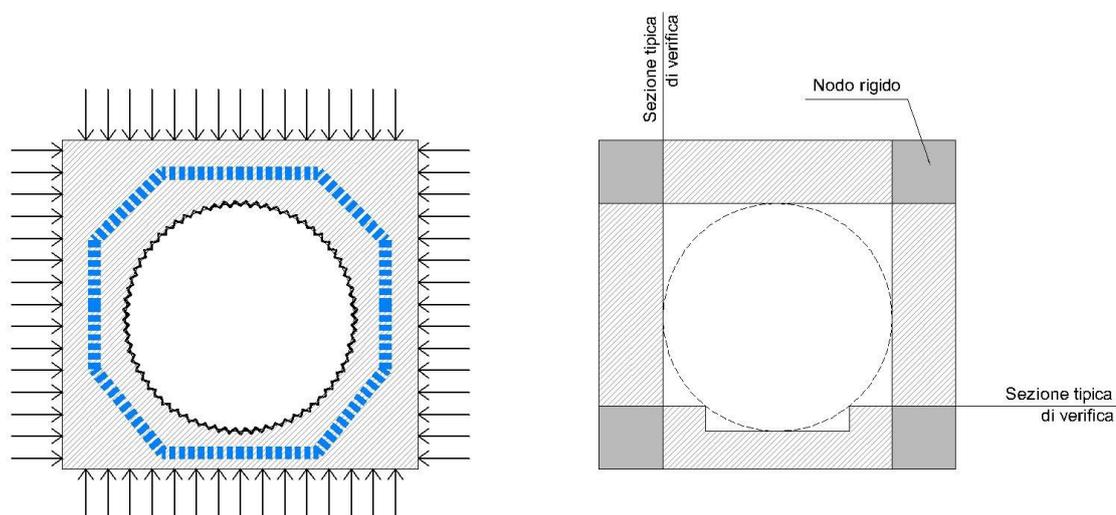


Figura 4 – Schematizzazioni comportamento strutturale

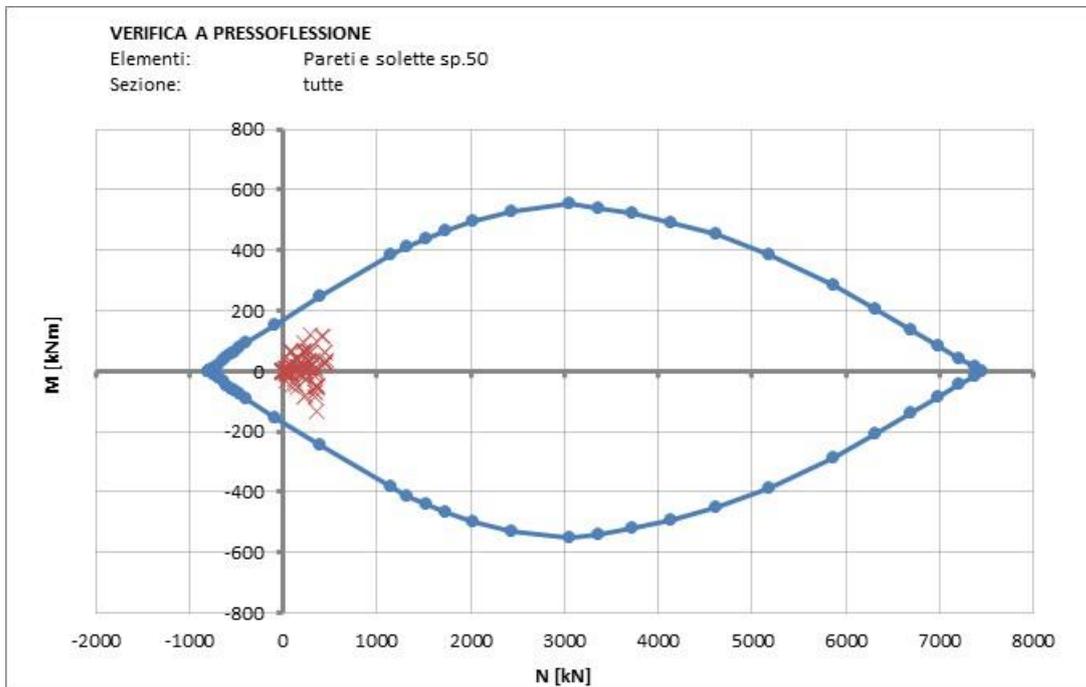
6.2 SLU – Flessione

6.2.1 Pareti e solette sp.50cm

Armatura lato esterno: 1 ϕ 16/20

Armatura lato interno: 1 ϕ 16/20

N	M	Fs (e=cost)	Fs (M=cost)	Fs (N=cost)
[kN]	[kNm]	[-]	[-]	[-]
361.50	-133.84	2.57	18.58	1.80
430.45	115.83	4.03	15.83	2.19
361.50	-133.84	2.57	18.58	1.80

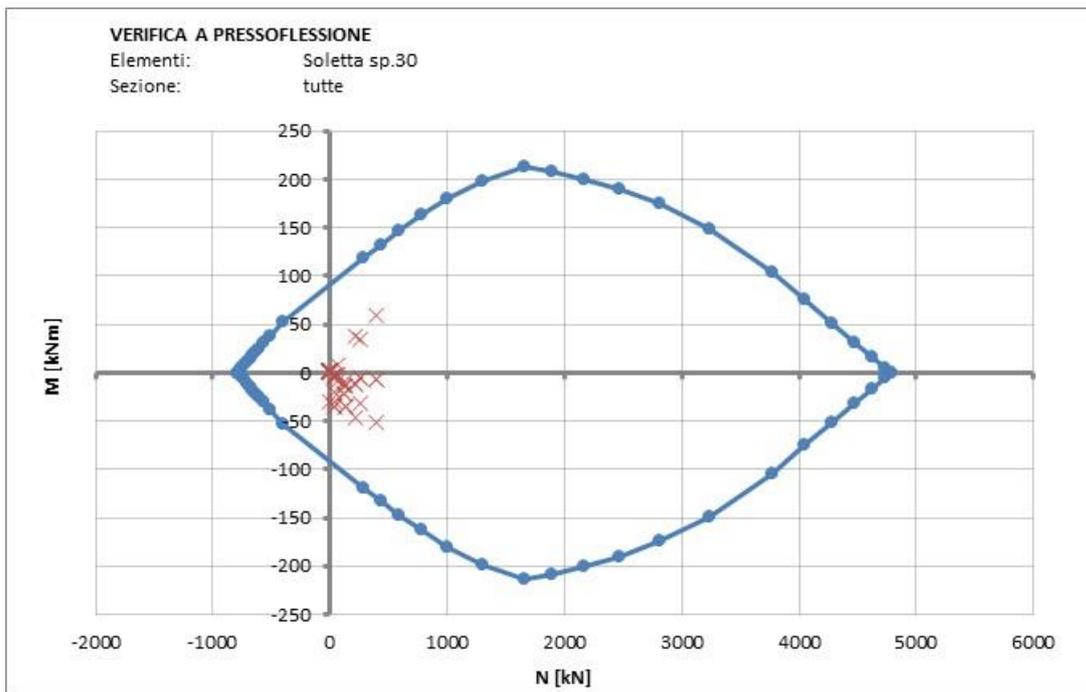


6.2.2 Soletta sp.30cm

Armatura lato esterno: 1φ16/20

Armatura lato interno: 1φ16/20

N	M	Fs (e=cost)	Fs (M=cost)	Fs (N=cost)
[kN]	[kNm]	[-]	[-]	[-]
31.91	-35.09	2.86	139.06	2.69
400.67	58.74	3.45	10.50	2.21
400.67	58.74	3.45	10.50	2.21



6.3 SLE – Fessurazione

La verifica è svolta assumendo condizioni ambientali “**ordinarie**”

Nella tabella successiva si riportano le massime tensioni nell'acciaio valutate per i vari scenari di ricoprimento.

Elemento	Rinterro	N	M	σ_{max}
[-]	[-]	[kN/m]	[kNm/m]	[N/mm ²]
Sp.50	MIN	203	83	109
Sp.50	MAX	277	100	118
Sp.30	MIN	21	32	68
Sp.30	MAX	95	39	51

Tabella 6.1 – Azioni di progetto (SLE_RARE) e corrispondenti tensioni nell'acciaio

In accordo a quanto previsto dalle NTC2018 la par.4.1.2.2.4.5, si procede con una verifica indiretta, ovvero confrontando le massime tensioni di calcolo con valori limite di bibliografia/normativa associati a diametri, spaziatura e apertura di fessura.

Cautelativamente le verifiche sono svolte con riferimento a condizioni di carico rare e limiti.

Apertura limite di riferimento $w = 0.3mm$

Verifica tensione – diametro barre

Tensione limite nelle armature per barre $\phi 16$

Tensione di progetto

$$\begin{aligned} \sigma_{max} &= 240 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma &= 118 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Verifica soddisfatta

Verifica tensione – spaziatura barre

Tensione limite nelle armature per spaziatura 150mm

Tensione di progetto

$$\begin{aligned} \sigma_{max} &= 240 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma &= 118 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Verifica soddisfatta

Tensione nell'acciaio σ_s [N/mm ²]	Diametro massimo ϕ delle barre [mm]		
	$w_3 = 0.4mm$	$w_2 = 0.3mm$	$w_1 = 0.2mm$
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	-

Tensione nell'acciaio σ_s [N/mm ²]	Spaziatura massima s delle barre [mm]		
	$w_3 = 0.4mm$	$w_2 = 0.3mm$	$w_1 = 0.2mm$
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

Tabella 6.2 – Dati per la verifica indiretta a fessurazione