








2					
1					
0	05/10/2023	G. Musinu	M. Naldi	F. Graffiedi	Emissione
REV.	DATA (DATE)	REDATTO (DRWN)	CONTROL. (CHCK'D)	APPROVATO (APPR'D)	DESCRIZIONE (DESCRIPTION)
FUNZIONE O SERVIZIO (DEPARTMENT)					
INGEGNERIA – PROGETTAZIONE SISTEMI A RETE – PROGETTAZIONE LAVORI PROGRAMMATI					
DENOMINAZIONE IMPIANTO O LAVORO (PLANT OR PROJECT DESCRIPTION)					
POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE					
IDENTIFICATIVO IMPIANTO (PLANT IDENTIFIER)			WBS		CODICE CUP (CUP CODE)
			R.2190.14.14.00036.03 R.2190.14.14.00036.04		F35H22000240004
 Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU  MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA <i>Progetto finanziato dal PNRR</i>			CODICE DOCUMENTO (CODE)		N° COMMESSA (JOB N.)
			CX00SR204_0		12300092910 12300092923
			ID DOCUMENTO (DOCUMENT ID)		NOME FILE (FILE NAME)
			N11682CX00SR204_0		015_N11682CX00SR204_0_REL_STRUTTURALE
 GRUPPO HERA HERA S.p.A. Holding Energia Risorse Ambiente Viale Carlo Berti Pichat 2/4 40127 Bologna tel. 051.287.111 www.gruppohera.it		 HERAtech Società del Gruppo Hera		DENOMINAZIONE DOCUMENTO (DOCUMENT DESCRIPTION)	
				RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)	
		SCALA (SCALE)		N° FOGLIO (SHEET N°)	DI (LAST)
		--		1	31
		 enser			

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 2	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE Teleriscaldamento efficiente				

INDICE

1	PREMESSA	4
2	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	5
3	DOCUMENTI TECNICI E NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
4	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	6
4.1	CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO.....	6
4.2	ACCIAIO DA C.C.A.	7
4.3	ACCIAIO DA CARPENTERIA	8
5	CRITERI DI PROGETTAZIONE	8
5.1	VITA NOMINALE DI PROGETTO, CLASSE D'USO, PERIODO DI RIFERIMENTO	8
6	ANALISI DEI CARICHI	9
6.1	CONDOTTA IN ACCIAIO	9
6.1.1	CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI	9
6.1.2	CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI	9
6.1.3	AZIONI VARIABILI	9
6.1.4	AZIONE SISMICA	13
6.2	OPERA DI ATTRAVERSAMENTO DEL RILEVATO	16
6.2.1	CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI	16
6.2.2	CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI	16
6.2.3	AZIONI VARIABILI	16
7	COMBINAZIONE DEI CARICHI	17
7.1	CONDOTTA IN ACCIAIO STRUTTURALE.....	17
7.2	OPERA DI ATTRAVERSAMENTO DEL RILEVATO	18
7.2.1	TRAVE DI FONDAZIONE IN CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO	18
7.2.2	LASTRA IN CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO	18
8	MODELLAZIONE CON ELEMENTI FEM.....	19
8.1	CODICE DI CALCOLO ADOTTATO	19
8.2	CONDOTTA IN ACCIAIO STRUTTURALE.....	19
8.2.1	GEOMETRIA DEL MODELLO DI CALCOLO	19
8.2.2	TIPOLOGIE DI ANALISI SVOLTE	20
8.2.3	RISULTATI DELLE ANALISI	20
8.3	OPERE IN CALCESTRUZZO ARMATO	21
8.3.1	GEOMETRIA DEI MODELLI DI CALCOLO	21
8.3.2	TIPOLOGIE DI ANALISI SVOLTE	22

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 3	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE				

8.3.3	RISULTATI DELLE ANALISI	22
9	VERIFICHE	23
9.1	CONDOTTA IN ACCIAIO STRUTTURALE.....	23
9.1.1	VERIFICA A TAGLIO E FLESSIONE DEL PROFILATO.....	23
9.1.2	VERIFICA DELLE SPALLE IN C.C.A	24
9.1.3	VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE	24
9.2	OPERA DI ATTRAVERSAMENTO DEL RILEVATO	26
9.2.1	VERIFICHE DELLA TRAVE DI FONDAZIONE	26
9.2.2	VERIFICHE DELLE DELLA COPERTURA CON LASTRE IN C.C.A.	28
10	CONCLUSIONI	31

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 4	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE				

1 PREMESSA

La presente relazione preliminare viene redatta nell'ambito delle valutazioni tecnico-economiche volte a definire l'intervento di potenziamento della fonte geotermica ed estensione delle reti di teleriscaldamento (TLR) efficienti nel Comune di Ferrara.

L'intervento oggetto di studio riguarda la realizzazione di opere di superamento aereo dell'interferenza a scavalco del canale Bianco e dal canale Cittadino gestiti dal consorzio di bonifica. In sostanza, l'intervento di cui sopra si configura nella realizzazione di:

- una condotta in acciaio strutturale in grado di permettere lo scavalcamento della nuova rete TLR;
- un'opera in c.c.a. situata nel corpo di rilevato in grado di permettere l'attraversamento dello stesso da parte della condotta TLR.

Nei seguenti capitoli viene assunta la seguente nomenclatura degli elementi:

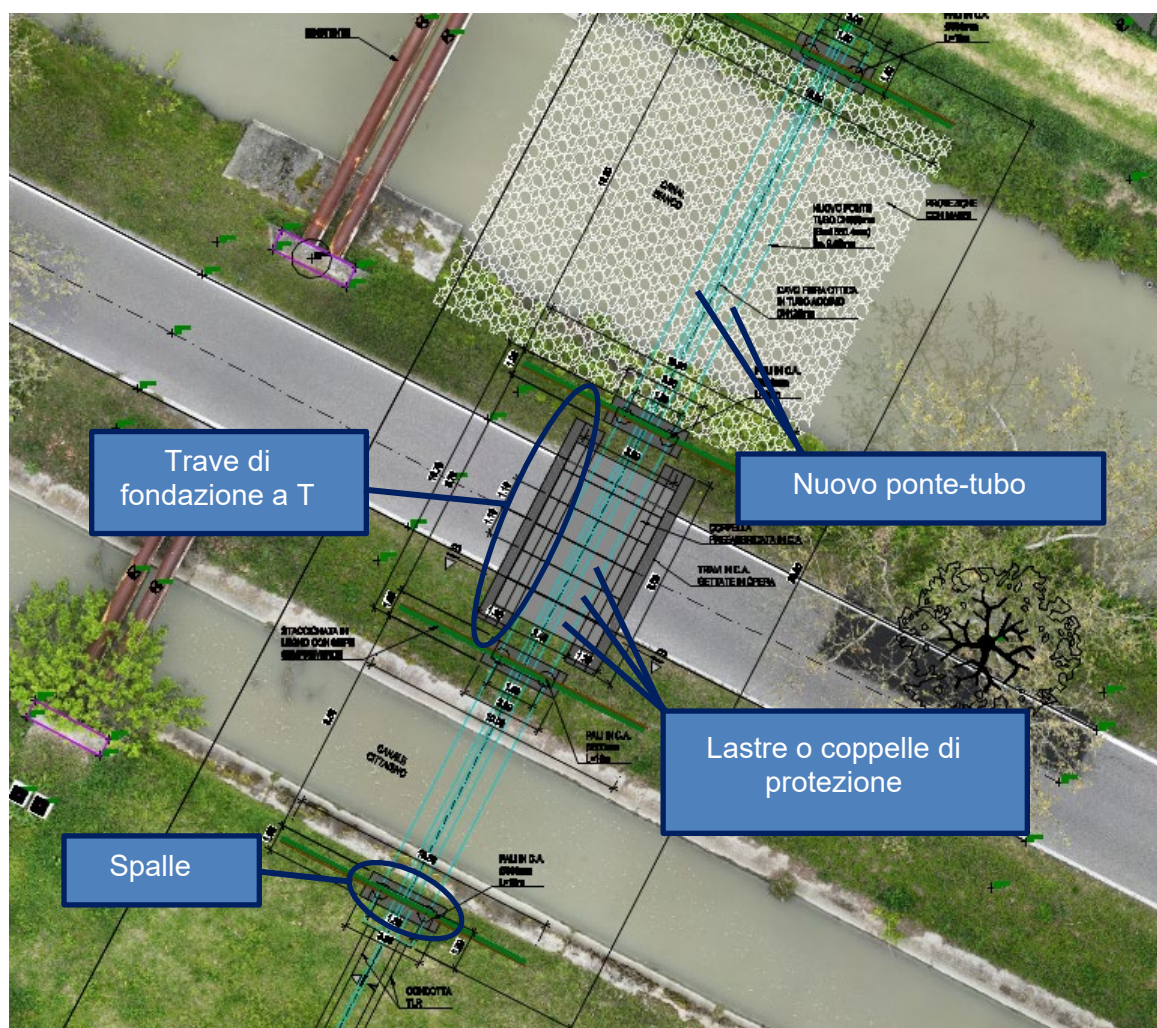



Figura 1.1: Nomenclatura degli elementi strutturali

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 5	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE				

2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Si intende la realizzazione dell'opera lungo la Strada Comunale Urbana "Via Diamantina" all'altezza di "Via Gherardo Monari" nel Comune di Ferrara (FE).



Figura 2.1: Vista aereo-satellitare del sito dell'opera

Coordinate geografiche (WGS84): Lat. 44.867896, Long. 11.556026.

Il manufatto in oggetto si compone di un "ponte-tubo" di diametro esterno 660.4[mm] e spessore 9.52[mm] e avente lunghezza complessiva pari a 36.6[m]. Inoltre, l'opera si compone di una struttura in grado di proteggere il "ponte-tubo" dalle azioni da traffico presenti nel tratto di attraversamento nel corpo di rilevato. Tale manufatto, completamente interrato, consiste in due travi a T di lunghezza pari a 8.0[m] che svolgono funzione di appoggio per la soletta di protezione realizzata a sua volta da lastre di larghezza 4.0x1.1x0.3[m].


Dal punto di vista strutturale, l'opera viene realizzata attraverso diversi materiali: acciaio strutturale per il profilo tubolare necessario per l'attraversamento aereo e conglomerato cementizio armato per le strutture che forniscono gli appoggi (spalle e pali) e per le strutture che permettono l'attraversamento nel corpo di rilevato (travi a T e lastre di protezione).

L'ingombro della struttura può essere così descritto:

- attraversamento del Canal Bianco per una luce di circa 14[m];
- attraversamento del Canal Cittadino per una luce di circa 9[m];
- attraversamento del rilevato per una luce di circa 11[m];
- prolungamento del profilo in acciaio di 1.5[m], per parte, oltre le spalle.

Nella redazione della presente relazione vengono considerate anche le opere non strutturali, ma necessarie alla corretta messa in opera e successiva protezione della condotta TLR. Tali opere possono essere così riassunte:

- rivestimento in massi delle sponde;
- parapetto di protezione (staccionata in legno di castagno con siepe sempreverde).

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 6	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE				

In particolare, per il rivestimento delle sponde si prevede la posa in opera di pietrame non gelivo di piccola pezzatura ($d=40[\text{cm}]$) e, per evitare lo sprofondamento dei massi e garantire il drenaggio, uno strato di geo-tessuto ($400[\text{g/m}^2]$). Si prevede un'estensione complessiva del rivestimento protettivo di circa $15[\text{m}]$.

3 DOCUMENTI TECNICI E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per la determinazione delle azioni sulla struttura si è fatto riferimento alle seguenti norme e riferimenti tecnici:

- [1]. D.M. 17 gennaio 2018: Nuove norme tecniche per le costruzioni;
- [2]. Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dello "Aggiornamento delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;
- [3]. CNR DT-207/2008 "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni";
- [4]. UNI EN 1992-1-1:2004 "Eurocodice 2: Design of concrete structures - Part 1-1";
- [5]. UNI 11104:2016 "Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206".

4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

In questo capitolo si presentano i materiali adottati le relative caratteristiche meccaniche.


4.1 CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO

Per la realizzazione delle opere in conglomerato cementizio armato, si prevede l'utilizzo di tre diverse classi di resistenza:

- calcestruzzo C12/15 per le opere di pulizia degli scavi (magrone di sottofondazione);
- calcestruzzo C25/30 per la realizzazione dei pali delle spalle del nuovo ponte-tubo in acciaio strutturale;
- calcestruzzo C35/45 per la realizzazione delle travi di fondazione a T, delle lastre di protezione e delle spalle.

Calcestruzzo	
	Classe: C12/15
coef. sicurezza	$\gamma_c = 1.50$
res. caratteristica a compressione	$f_{ck} = 12.0 \text{ MPa}$
res. a compressione di progetto	$f_{cd} = 6.8 \text{ MPa}$
res. a compressione media	$f_{cm} = 20.0 \text{ MPa}$
	Tipo di aggregato: classico
res. a trazione media	$f_{ctm} = 1.6 \text{ MPa}$
res. a trazione caratteristica (5%)	$f_{ctk,5\%} = 1.1 \text{ MPa}$
res. a trazione caratteristica (95%)	$f_{ctk,95\%} = 2.0 \text{ MPa}$
res. a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1.9 \text{ MPa}$
modulo elastico istantaneo	$E_{cm} = 27085 \text{ MPa}$
coefficiente di Poisson: 0 (fessurato) oppure 0.2 (non fessurato)	

Tabella 4.1: Caratteristiche meccaniche calcestruzzo C12/15

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 7	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE				

Calcestruzzo	
	Classe: C25/30
coef. sicurezza	$\gamma_c = 1.50$
res. caratteristica a compressione	$f_{ck} = 25.0$ MPa
res. a compressione di progetto	$f_{cd} = 14.2$ MPa
res. a compressione media	$f_{cm} = 33.0$ MPa
	Tipo di aggregato: classico
res. a trazione media	$f_{ctm} = 2.6$ MPa
res. a trazione caratteristica (5%)	$f_{ctk,5\%} = 1.8$ MPa
res. a trazione caratteristica (95%)	$f_{ctk,95\%} = 3.3$ MPa
res. a trazione per flessione	$f_{ctm} = 3.1$ MPa
modulo elastico istantaneo	$E_{cm} = 31476$ MPa
coefficiente di Poisson: 0 (fessurato) oppure 0.2 (non fessurato)	

Tabella 4.2: Caratteristiche meccaniche calcestruzzo C25/30

Calcestruzzo	
	Classe: C35/45
coef. sicurezza	$\gamma_c = 1.50$
res. caratteristica a compressione	$f_{ck} = 35.0$ MPa
res. a compressione di progetto	$f_{cd} = 19.8$ MPa
res. a compressione media	$f_{cm} = 43.0$ MPa
	Tipo di aggregato: classico
res. a trazione media	$f_{ctm} = 3.2$ MPa
res. a trazione caratteristica (5%)	$f_{ctk,5\%} = 2.2$ MPa
res. a trazione caratteristica (95%)	$f_{ctk,95\%} = 4.2$ MPa
res. a trazione per flessione	$f_{ctm} = 3.9$ MPa
modulo elastico istantaneo	$E_{cm} = 34077$ MPa
coefficiente di Poisson: 0 (fessurato) oppure 0.2 (non fessurato)	


Tabella 4.3: Caratteristiche meccaniche calcestruzzo C35/45

4.2 ACCIAIO DA C.C.A.

Si prevede l'utilizzo di armature per calcestruzzo armato di tipo B450C aventi le caratteristiche meccaniche riportate in figura seguente.

Acciaio B450C	
res. a snervamento caratteristica	$f_{yk} = 450$ MPa
res. a rottura nominale	$f_{tk} = 540$ MPa
coef. sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
res. a snervamento di progetto	$f_{yd} = 391.3$ MPa

Tabella 4.4: Caratteristiche meccaniche acciaio da c.c.a.

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 8	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE				

In accordo con la normativa attualmente in vigore, il copriferro minimo (ricoprimento) è lo stesso per tutti gli elementi strutturali in c.c.a. ed è pari alla seguente quantità:

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta_{c,dev} = \min\{C_{min,b}; C_{min,dur}\} + 10 = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

4.3 ACCIAIO DA CARPENTERIA

Per il profilo tubolare metallico si assume il seguente materiale.

Acciaio strutturale	
Classe:	S235
Tipo di sezione:	cava (H)
Spessore nominale t:	t ≤ 40mm
res. a snervamento caratteristica	f _{yk} = 235.0 MPa
res. a rottura caratteristica	f _{tk} = 360.0 MPa
modulo elastico	E = 210'000 MPa
Classificazione della sezione circolare	
spessore	t = 9.52 mm
	ε = 1.00
rapporto diametro/spessore	d/t = 69
	Classe: 2

Tabella 4.5: classe della sezione come da §4.2.3.1. delle NTC2018

5 CRITERI DI PROGETTAZIONE


5.1 VITA NOMINALE DI PROGETTO, CLASSE D'USO, PERIODO DI RIFERIMENTO

In accordo con il DM 17 gennaio 2018 si assume una vita nominale di progetto V_N pari a 50 anni (Tab. 2.4.I NTC2018) ed una classe d'uso II (§2.4.2. NTC2018).

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Figura 5.1: Estratto da §2.4.2. NTC2018 - Classi d'uso

Per tale costruzione il coefficiente d'uso C_U è definito dalla Tab. 2.4.II della normativa vigente ed è pari a 1. Dunque, il periodo di riferimento per l'azione sismica (§2.4.3. NTC2018) è pari proprio alla vita nominale di riferimento, ossia 50 anni.

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 9	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE Teleriscaldamento efficiente				

6 ANALISI DEI CARICHI

Si riporta nel seguito l'analisi dei carichi considerati sia per la condotta in acciaio strutturale sia per le opere contro-terra necessarie per l'attraversamento nel corpo di rilevato.

6.1 CONDOTTA IN ACCIAIO

6.1.1 CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI

I carichi permanenti strutturali (G1k) sono relativi al peso proprio del materiale che compone la condotta. In particolare, nota la densità media dell'acciaio e la geometria della sezione, si stima un carico uniforme di intensità pari a 1.53 kN/m.

Il contributo del peso proprio delle membrature viene direttamente considerato all'interno del modello di calcolo ed è direttamente computato dal software sulla base del volume e del peso specifico del materiale.

6.1.2 CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI

A favore di sicurezza i carichi permanenti considerati sono relativi alla presenza dell'acqua che va a saturare tutta la cavità del tubo. In aggiunta, si considera inoltre la presenza della condotta interna avente uno strato di isolante interno.

$$g_{2k} = A_{str} \cdot \gamma_w = \frac{\pi D_{int}^2}{4} \cdot 10 \frac{kN}{m^3} + \frac{\pi s_{iso}^2}{4} \gamma_{iso} = 3.23 + 0.13 = 3.36 \text{ kN/m}$$

dove:

- A_{str} è l'area interna del profilo tubolare strutturale;
- D_{int} è il diametro interno del profilo tubolare strutturale;
- γ_w è il peso specifico dell'acqua;
- s_{iso} è lo spessore dell'isolante che avvolge la condotta;
- γ_{iso} è il peso specifico dell'isolante.

6.1.3 AZIONI VARIABILI


In questo paragrafo si illustrano le principali azioni variabili considerate agenti sul singolo profilo strutturale come l'effetto dell'azione termica, il carico da neve, il carico da vento, il carico dovuto alla formazione di vortici ed il carico indotto dal camminamento sulla struttura stessa.

6.1.3.1 Azione termica

L'azione termica viene valutata in accordo alla UNI EN 1991-1-5:2003. In particolare, visti gli scenari di carico valutati e lo schema di vincolamento in direzione assiale, si considera un gradiente di temperatura pari a 19.10 [°C/m] (*warming di impalcato*) in quanto più gravoso.

6.1.3.2 Carico da neve

Il carico da neve viene assegnato come illustrato al §3.4. delle NTC2018 di cui si riporta un estratto.

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 10	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE Teleriscaldamento efficiente				

3.4.1. CARICO DELLA NEVE SULLE COPERTURE

Il carico provocato dalla neve sulle coperture sarà valutato mediante la seguente espressione:

$$q_s = q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_E \cdot C_t \quad [3.4.1]$$

dove:

q_{sk} è il valore di riferimento del carico della neve al suolo, di cui al § 3.4.2;

μ_i è il coefficiente di forma della copertura, di cui al § 3.4.3;

C_E è il coefficiente di esposizione di cui al § 3.4.4;

C_t è il coefficiente termico di cui al § 3.4.5.

Si assume che il carico della neve agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

Figura 6.1: Estratto DM 17.01.2018 (NTC2018)

Carico caratteristico neve	
$a_s =$	10 m
ZONA II	
$q_{sk} =$	1 kPa
COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE	
$C_e =$	1.1
COEFFICIENTE TERMICO	
$C_t =$	1
COEFFICIENTE DI FORMA	
$\mu =$	0.8
$q_s =$	0.88 kPa

Tabella 6.1: Calcolo del carico da neve


Come si evince dalla tabella precedente, il carico da neve risulta essere pari a 0.88[kN/m].

6.1.3.3 Carico da vento

Il carico da vento viene assegnato come indicato al §3.3. delle NTC2018. In particolare, la norma fornisce un carico statico equivalente con cui schematizzare l'azione del vento sulla struttura:

3.3.4. PRESSIONE DEL VENTO
La pressione del vento è data dall'espressione:
$P = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$ [3.3.4]
dove
q_r è la pressione cinetica di riferimento di cui al § 3.3.6;
c_e è il coefficiente di esposizione di cui al § 3.3.7;
c_p è il coefficiente di pressione di cui al § 3.3.8;
c_d è il coefficiente dinamico di cui al § 3.3.9.

Tabella 6.2: Estratto da DM 17.01.2018 (NTC2018)

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 11	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE				

AZIONI DA VENTO §3.3 NTC2018	
Zona di riferimento	Zona 2
Velocità base a livello mare	$v_{b,0} = 25$ m/s
	$a_0 = 750$ m s.l.m.
	$k_s = 0.45$
Quota sul livello mare del sito	$a_s = 10$ m s.l.m.
Coefficiente di altitudine	$C_a = 1.00$
Velocità base di riferimento	$v_b = 25.0$ m/s
Periodo di ritorno	$T_R = 50$ anni
Coefficiente di ritorno	$c_r = 1.00$
Velocità di riferimento	$v_r = 25.02$ m/s
Pressione cinetica di riferimento	$q_r = 391.20$ N/m ²
Classe di rugosità	Classe D
Categoria di esposizione sito	CAT. II
Fattore di terreno	$K_r = 0.19$
Lunghezza di rugosità	$Z_0 = 0.05$
Altezza minima	$Z_{min} = 4.00$
Altezza dal suolo	$Z = 0.00$ m
Coefficiente topografico	$C_t = 1.00$
Coefficiente di esposizione	$C_e(Z) = 1.80$
Coefficiente di pressione	$C_p = 1.00$
Coefficiente di attrito	$C_f = 1.00$
Coefficiente dinamico	$C_d = 1.00$
PRESSIONE DEL VENTO	$p = 0.70$ kN/m ²

Tabella 6.3: Calcolo del carico da vento


Cautelativamente, nella tabella precedente, si è assunto un coefficiente dinamico pari a 1.

6.1.3.4 Carico dovuto al distacco di vortici

Nel considerare l'azione del vento, in virtù del fatto che la struttura ha una forma cilindrica e snella, si considera l'effetto dinamico provocato dal distacco alternato di vortici (§C.3.3.11. Circolare NTC2018). Tale effetto produce una forza aggiuntiva di tipo armonico ortogonale alla direzione del vento e all'asse del corpo cilindrico.

Le forze aggiuntive assegnate alla condotta sono ricavate per mezzo dell'analisi con software FEM e secondo il metodo proposto dalla CNR DT-207/2008.

Dallo studio della velocità critica (unica in quanto la struttura non si sviluppa in altezza) ricavata mediante l'analisi della frequenza di risonanza della struttura, si ricavano i parametri atti a definire l'azione statica equivalente per il distacco dei vortici (§O.4 della CNR DT-207/2008).

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 12	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE Teleriscaldamento efficiente				

O.4 Azione statica equivalente

L'effetto delle vibrazioni trasversali indotte dal distacco risonante dei vortici sull' i -esimo modo può essere schematizzato attraverso l'applicazione di una forza statica equivalente per unità di lunghezza, ortogonale alla direzione media del vento e all'asse della struttura o dell'elemento considerato. Essa è fornita dalla relazione:

$$F_{L,i}(s) = m(s) \cdot (2\pi \cdot n_{L,i})^2 \cdot \Phi_{L,i}(s) \cdot y_{pL,i} \cdot C_{TR,i} \quad (O.5)$$

dove:

s è la coordinata strutturale corrente;

$m(s)$ è la massa della struttura per unità di lunghezza;

$n_{L,i}$ è la frequenza naturale dell' i -esimo modo di vibrazione in direzione trasversale;

$\Phi_{L,i}(s)$ è la forma modale dell' i -esimo modo di vibrazione in direzione trasversale, normalizzata a 1 nella coordinata \bar{s} di massimo spostamento, $\Phi_{L,i}(\bar{s})=1$;

$y_{pL,i}$ è il valore di picco dello spostamento trasversale della struttura, valutato in corrispondenza della coordinata \bar{s} (paragrafi O.4.1, O.5 e O.6);

$C_{TR,i}$ è un parametro adimensionale legato all'accadimento di valori critici della velocità media del vento per elevati periodi di ritorno T_R (paragrafo O.4.2).

Esprimendo la massa in kg/m, la frequenza in Hz e il valore di picco dello spostamento trasversale in m, la forza $f_{L,i}$ è ottenuta in N/m (essendo adimensionale la forma modale della struttura).

Figura 6.2: Estratto CNR DT-207/2008

Dunque, la forza così calcolata è sì un'azione statica, ma è variabile lungo tutto lo sviluppo della struttura in base al valore assunto dalla forma modale (normalizzata ad 1) che ha originato la velocità critica. Per comodità di calcolo, la deformata modale della struttura e quindi anche l'azione ad essa associata, verrà schematizzata come lineare a tratti.

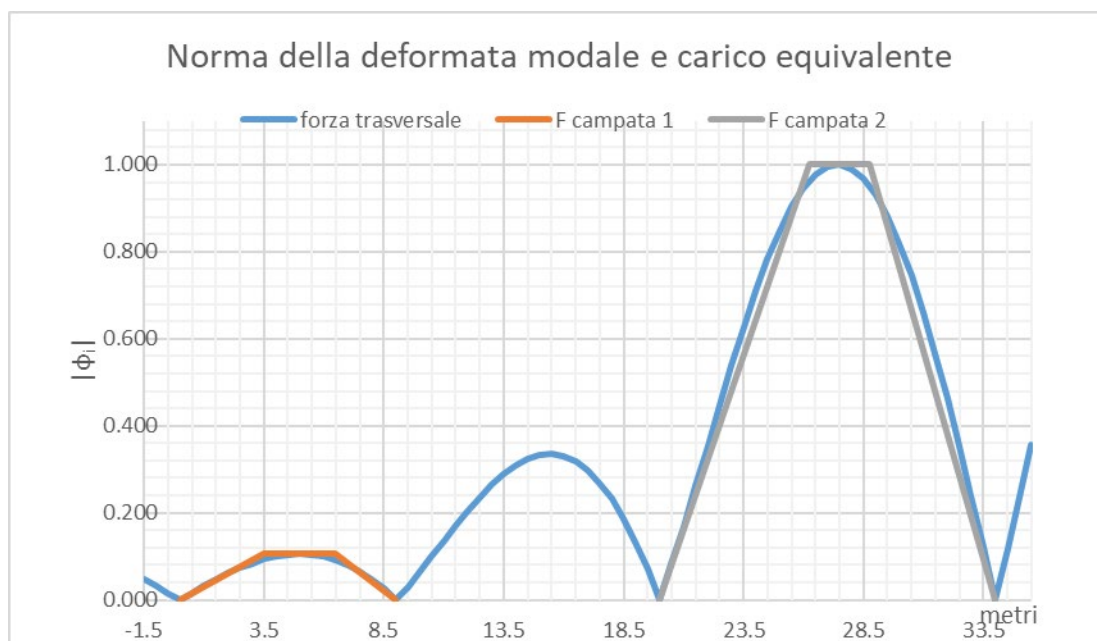



Figura 6.3: Deformata modale della struttura (1° modo)

Di conseguenza, l'azione di picco ricavata con il "metodo armonico" (§O.4.1 e successivi – CNR DT-207/2008) verrà scalata della quantità relativa alla deformata modale nelle sole campate esposte all'azione del vento, mentre nelle parti non esposte direttamente al vento sarà nulla.

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 13	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE				

Azione statica equivalente per il distacco dei vortici (§0.4 CNR DT-207/2008)	
Coefficiente riduttivo	$C_{TR,i} = 1.00$
<i>Metodo armonico per 3 campi:</i>	
Fattore di forma modale	$K = 0.14$
	$L_j/b = 6$
Lungh. di correlazione ipotetica	$L_j = 3.96 \text{ m}$
Fattore di lungh. effettiva	$K_w = 0.60$
Coefficiente di forza laterale	$c_{lat} = 0.2$
Valore di picco spost. Trasversale	$y_{pL,i} / b = 0.001$
OK, l'ipotesi sulla lungh. di correlazione è corretta	
<i>Allora:</i>	
Forza statica equivalente	$f_{L,i} = 0.38 \text{ kN/m}$
<i>Incremento di azioni per cilindri raggruppati (§0.7 CNR DT-207/2008)</i>	
Distanza fra i centri dei diametri	$a = 0.65 \text{ m}$
Forza statica eq. consigliata	$f_{eq,L,i} = 0.58 \text{ kN/m}$

Tabella 6.4: Calcolo azione di picco per il distacco alternato dei vortici

6.1.3.5 Carico accidentale

Nell'ottica di considerare possibili interventi di manutenzione oppure lo scavalco della recinzione con successiva percorrenza del tubo da parte di terzi, si assegna un carico lineare di intensità prossima a quella disposta dalla normativa per una copertura accessibile per sola manutenzione (cat. H), ossia $0.5[\text{kN/m}^2]$.

Tab. 3.1.II - Valori dei sovraccarichi per le diverse categorie d'uso delle costruzioni				
Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
H-I-K	Coperture			
	Cat. H Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	0,50	1,20	1,00
	Cat. I Coperture praticabili di ambienti di categoria d'uso compresa fra A e D	secondo categorie di appartenenza		
	Cat. K Coperture per usi speciali, quali impianti, eliporti.	da valutarsi caso per caso		


Tabella 6.5: Estratto da Tab.3.1.II del DM 17.01.2018 (NTC2018)

In questa fase, a favore di sicurezza, si assume un carico pari a $1.0[\text{kN/m}]$ agente su ogni tubo.

6.1.4 AZIONE SISMICA

L'azione sismica viene considerata mediante un'analisi con spettro di risposta. Le masse sismiche fornite al modello numerico sono relative ai carichi G1 (permanenti strutturali) ed ai carichi G2 (permanenti non strutturali). Lo spettro di risposta di progetto, considerando un fattore di comportamento pari a 1.5, viene assegnato al software SAP2000 attraverso il comando "Response Spectrum". L'analisi sismica vede dividersi nelle tre direzioni dello spazio:

- direzione X: direzione, nel piano orizzontale, parallela all'asse del profilo tubolare cavo. Le azioni indotte da tale sisma sono indicate come **sisma orizzontale-x**;
- direzione Y: direzione, nel piano orizzontale, ortogonale all'asse del profilo tubolare cavo. Le azioni indotte da tale sisma sono indicate come **sisma orizzontale-y**;
- direzione Z: direzione indicante lo sviluppo in elevazione della struttura. Le azioni indotte da tale sisma sono indicate come **sisma verticale**.

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 14	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE				

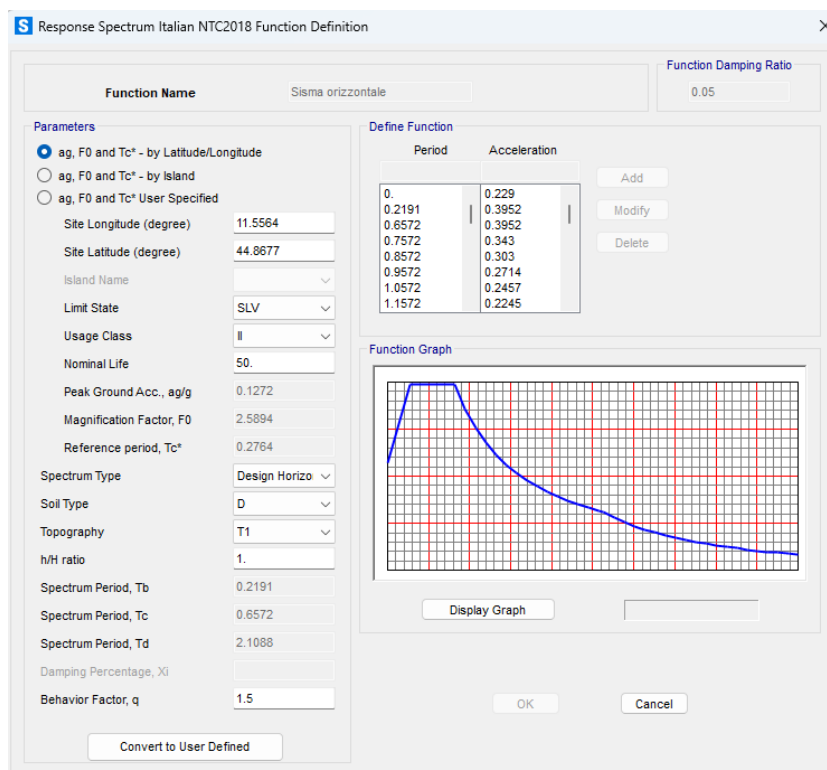


Figura 6.4: Spettro di risposta in accelerazione di progetto - Sisma orizzontale

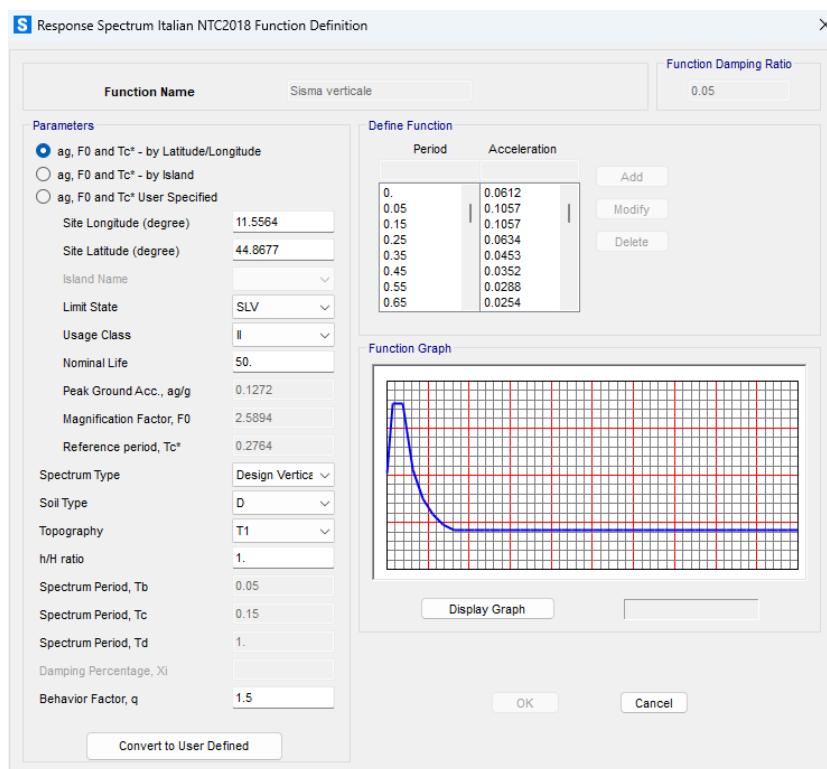

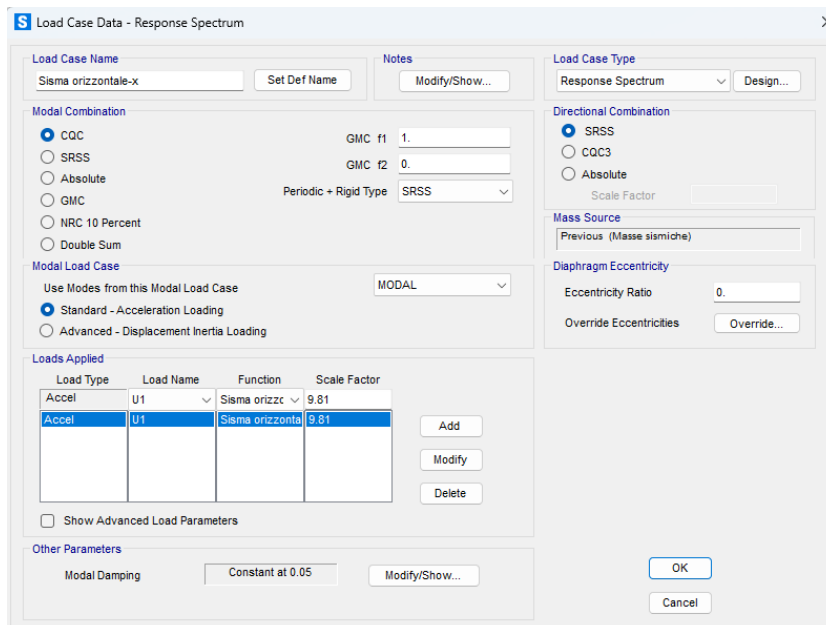


Figura 6.5: Spettro di risposta in accelerazione progetto - sisma verticale

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 15	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE				

L'analisi viene condotta mediante la combinazione CQC su un quantitativo di modi tale per cui la massa partecipante sia maggiore del 85% e su tutti i modi aventi una percentuale di massa partecipante superiore al 5%.



Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: Sisma orizzontale-x

Notes: [Set Def Name] [Modify/Show...]

Load Case Type: Response Spectrum [Design...]

Modal Combination:

- ☒ CQC
 - GMC f1: 1.
 - GMC f2: 0.
 - Periodic + Rigid Type: SRSS
- ☐ SRSS
- ☐ Absolute
- ☐ GMC
- ☐ NRC 10 Percent
- ☐ Double Sum

Modal Load Case:

Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

☒ Standard - Acceleration Loading

☐ Advanced - Displacement Inertia Loading

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	Sisma orizzz	9.81
Accel	U1	Sisma orizzz	9.81

[Add] [Modify] [Delete]

☐ Show Advanced Load Parameters

Other Parameters:

Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

Directional Combination:

- ☒ SRSS
- ☐ CQC3
- ☐ Absolute

Scale Factor: []

Mass Source: Previous (Masse sismiche)

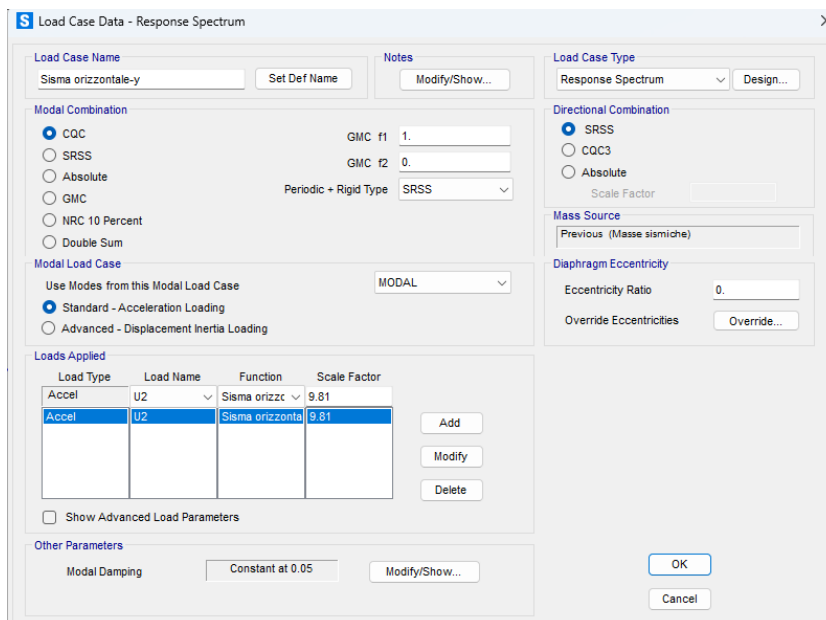
Diaphragm Eccentricity:

Eccentricity Ratio: 0.

Override Eccentricities: [Override...]

[OK] [Cancel]

Figura 6.6: Scheda di assegnazione dell'analisi sismica (sisma orizzontale-x)



Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: Sisma orizzontale-y

Notes: [Set Def Name] [Modify/Show...]

Load Case Type: Response Spectrum [Design...]

Modal Combination:

- ☒ CQC
 - GMC f1: 1.
 - GMC f2: 0.
 - Periodic + Rigid Type: SRSS
- ☐ SRSS
- ☐ Absolute
- ☐ GMC
- ☐ NRC 10 Percent
- ☐ Double Sum

Modal Load Case:

Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

☒ Standard - Acceleration Loading

☐ Advanced - Displacement Inertia Loading

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U2	Sisma orizzz	9.81
Accel	U2	Sisma orizzz	9.81

[Add] [Modify] [Delete]

☐ Show Advanced Load Parameters

Other Parameters:

Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

Directional Combination:

- ☒ SRSS
- ☐ CQC3
- ☐ Absolute

Scale Factor: []

Mass Source: Previous (Masse sismiche)


Diaphragm Eccentricity:

Eccentricity Ratio: 0.

Override Eccentricities: [Override...]

[OK] [Cancel]

Figura 6.7: Scheda di assegnazione dell'analisi sismica (sisma orizzontale-y)

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 16	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE				

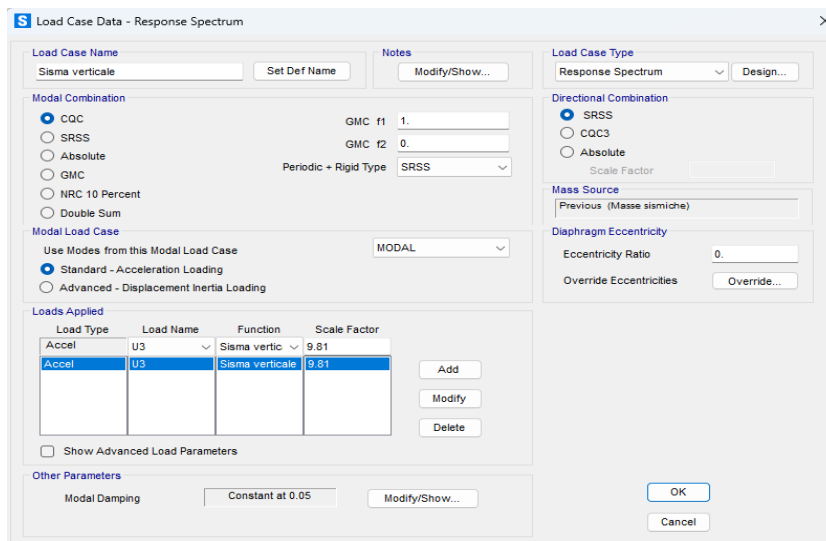


Figura 6.8: Scheda di assegnazione dell'analisi sismica (sisma verticale)

6.2 OPERA DI ATTRAVERSAMENTO DEL RILEVATO

6.2.1 CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI

I carichi permanenti strutturali (G1k) sono i carichi relativi al peso proprio delle strutture, ossia i pesi propri della trave di fondazione a T e delle lastre in c.c.a. di dimensione 1.10x4.0x0.3[m] che costituiscono la protezione per la struttura tubolare.

Il contributo del peso proprio di questi elementi viene direttamente considerato all'interno del modello di calcolo ed è quindi direttamente computato dal software sulla base del volume e del peso specifico del materiale

6.2.2 CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI

I carichi permanenti non strutturali (G2k) sono i carichi relativi al terreno di riporto di spessore pari a circa 25[cm] e alla pavimentazione stradale composta da uno semplice strato di usura dello spessore di 5[cm]. Se sono note le caratteristiche dei materiali:

- peso specifico del terreno: 18[kN/m³];
- peso specifico dello strato di usura: 21[kN/m³].


6.2.3 AZIONI VARIABILI

Le azioni variabili considerate risultano essere quelle relative al transito dei carichi da traffico come disposto dal §5 del DM 17.01.2018 ed il carico da neve.

6.2.3.1 Azioni variabili da traffico

Le azioni variabili da traffico veicolare, comprensive degli effetti dinamici, sono definite dagli schemi di carico di cui al §5.1.3.3.3. delle NTC2018. Per il caso in esame si considera quanto segue:

- schema di Carico 5: impiegato per le verifiche globali delle travi di fondazione a T;
- schema di Carico 1: impiegato per le verifiche globali e locali delle travi di fondazione a T e delle lastre;
- Schema di Carico 2: impiegato per le verifiche locali delle lastre.

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 17	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE				

In accordo con la vigente normativa, la schematizzazione dei carichi sull'impalcato è rappresentata nella figura seguente:

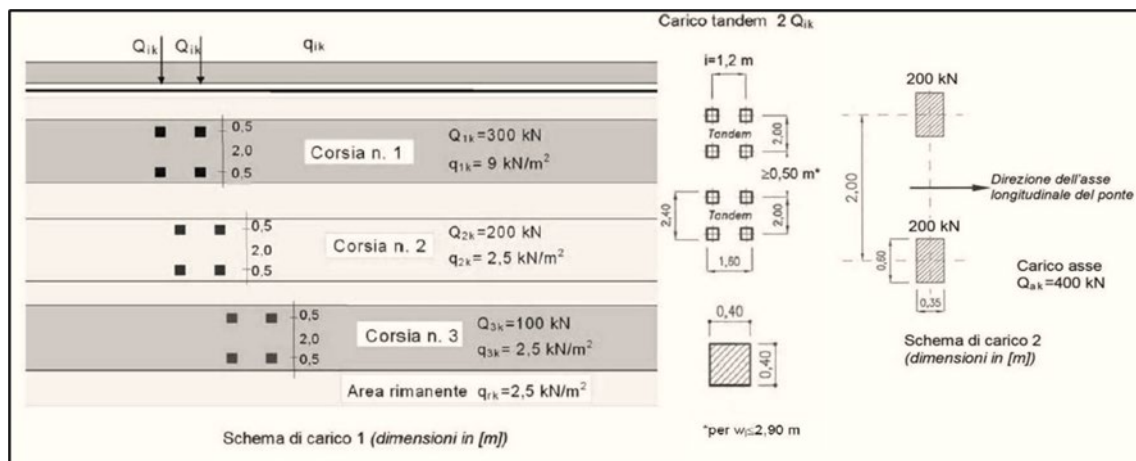


Figura 6.9: Estratto da §5.1.3.3.5. del DM 17.01.2018 (NTC2018)

Visto l'ingombro in senso trasversale della sede stradale (circa 5[m]), si definisce unicamente la corsia convenzionale "corsia n.1" di larghezza 3.0[m], mentre la restante parte viene considerata come "area rimanente".

6.2.3.2 Carico da neve

Il carico variabile da neve viene considerato in accordo alle NTC2018. Il valore caratteristico di pressione a terra è il medesimo di quello indicato in Tabella 6.1.

7 COMBINAZIONE DEI CARICHI


7.1 CONDOTTA IN ACCIAIO STRUTTURALE

Ai fini delle verifiche agli stati limite si definiscono le combinazioni dei carichi adottate. In particolare, nel caso del profilo tubolare strutturale si svolgono:

- n. 16 combinazioni agli Stati Limite Ultimi, riconducibili a 4 carichi variabili principali: carico accidentale, carico da vento, carico da neve e carico da gradiente di temperatura. Tra questi carichi è importante distinguere quelli dovuti all'azione uniforme del vento orizzontale o verticale (in positivo e negativo), inoltre risulta necessario considerare ogni combinazione di carico con la presenza e con l'assenza del gradiente termico;
- n. 3 combinazioni sismiche, necessarie per valutare la risposta strutturale nei confronti di un sisma proveniente da qualsiasi direzione.

	Dead + G2	Sisma X	Sisma Y	Sisma Z	Accidentale	Vento	Neve	ΔT
E_orizzontale-assiale	1	1	0.3	0.3	0	0	0	0
E_orizzontale	1	0.3	1	0.3				
E_verticale	1	0.3	0.3	1				
SLU_accidentale	1.3	0	0	0	1.5	1.5*0.6	1.5*0.5	1.5*0.6
SLU_vento	1.3				1.5*0	1.5	1.5*0.5	1.5*0.6
SLU_neve	1.3				1.5*0	1.5*0.6	1.5	1.5*0.6
SLU_temperatura	1				1.5*0	1.5*0.6	1.5*0.5	1.5

Tabella 7.1: Sintesi dei coefficienti di combinazione

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 18	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE				

7.2 OPERA DI ATTRAVERSAMENTO DEL RILEVATO

Ai fini delle verifiche agli stati limite, in riferimento al §2.5.3. delle NTC2018, si definiscono le combinazioni dei carichi adottate.

In particolare, nel caso delle opere necessarie per permettere l'attraversamento del rilevato si devono distinguere gli elementi strutturali: lastra in c.c.a. e trave di fondazione a T.

7.2.1 TRAVE DI FONDAZIONE IN CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO

Relativamente alla trave di fondazione in conglomerato cementizio armato le combinazioni di carico vengono distinte in:

- n. 3 combinazioni agli Stati Limite Ultimi riconducibili a tre carichi dominanti quali folla compatta, neve e azioni variabili da traffico indotte dallo Schema di Carico 1;

	Dead	Paviment.	Terreno	Folla	Neve	Impronta	Rimanente	Corsia 1
SLU_folla	1.35	1.5		1.35	1.5*0	/	/	/
SLU_neve				/	1.5	1.35*0.75	1.35*0.4	1.35*0.5
SLU_traffico				/	1.5*0	1.35	1.35	1.35

Tabella 7.2: Sintesi dei coefficienti di combinazione


7.2.2 LASTRA IN CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO

Relativamente alle lastre in conglomerato cementizio armato, viene trascurata la condizione con presenza di neve sugli elementi strutturali in quanto meno gravosa del carico distribuito dello Schema di Carico 1. Inoltre, il coefficiente di combinazione ψ_0 risulta nullo (Tab. 5.1.VI NTC2018) per il carico da neve. Dunque, le combinazioni di carico vengono distinte in:

- n. 2 combinazioni agli Stati Limite Ultimi riconducibili ai tre schemi di carico considerati per le azioni variabili da traffico (Schema di Carico 1: due impronte su schema semplicemente appoggiato; Schema di Carico 2: una sola impronta su schema semplicemente appoggiato);

	Dead	Paviment.	Terreno	SC1	Corsia 1	SC2	SC2-mod
SLU_SC1	1.35	1.5		1.35	1.35	/	/
SLU_SC2				/	/	1.35	/

Tabella 7.3: Sintesi dei coefficienti di combinazione

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 19	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE Teleriscaldamento efficiente				

8 MODELLAZIONE CON ELEMENTI FEM

8.1 CODICE DI CALCOLO ADOTTATO

Software	SAP2000
Autore e produttore	Computers and Structures, Inc. – Walnut Creek, California
Distributore	CSI ITALIA SRL – Galleria San Marco 4, Pordenone (IT)
Solutore ad elementi finiti adottato	SAP2000 version 24.2.0
Codice Licenza	SAPNWUL0002

8.2 CONDOTTA IN ACCIAIO STRUTTURALE

L'analisi della struttura avviene attraverso l'utilizzo di un modello di calcolo numerico (SAP2000) basato sugli Elementi Finiti. L'analisi ha principalmente lo scopo di definire le sollecitazioni derivanti dall'applicazione delle azioni previste in accordo con la normativa vigente.

8.2.1 GEOMETRIA DEL MODELLO DI CALCOLO

Il modello strutturale presenta le seguenti caratteristiche geometriche:

- Profilo metallico a sezione cava DN650 avente direzione 1 parallela alla direzione X del SdR globale "XYZ";
- Luci delle campate, da sinistra a destra:
 - Sbalzo: $L_0 = 1.5[m]$;
 - Campata di attraversamento del Canale Cittadino: $L_1 = 9.0[m]$
 - Campata di attraversamento nel corpo di rilevato: $L_2 = 11.0[m]$
 - Campata di attraversamento del Canal Bianco: $L_3 = 14.0[m]$
 - Sbalzo: $L_0 = 1.5[m]$
- Il modello viene vincolato mediante cerniere fisse nella direzione Y (trasversale al ponte-tubo) e da appoggi scorrevoli nella direzione X ad eccezione del secondo appoggio (lato Canale Cittadino) ove si pensa installata la cerniera fissa.

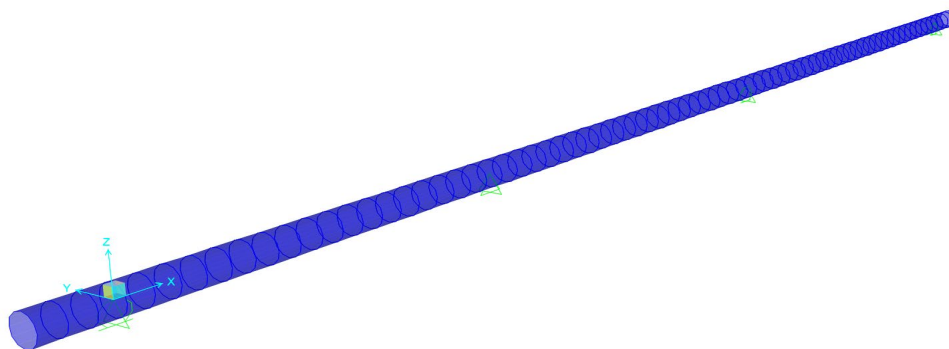



Figura 8.1: Vista 3D del modello numerico del ponte-tubo in acciaio

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 20	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE Teleriscaldamento efficiente				

8.2.2 TIPOLOGIE DI ANALISI SVOLTE

Vengono svolte analisi di tipo lineare.

8.2.3 RISULTATI DELLE ANALISI

Si riporta nel seguito la distribuzione spaziale delle sollecitazioni di calcolo in accordo con il sistema di riferimento locale degli elementi *frames*. Nello specifico, le sollecitazioni sono indicate come di seguito:

- N_{sd} azione assiale sollecitante;
- $M_{sd,2}$ momento sollecitante in direzione 2;
- $M_{sd,3}$ momento sollecitante in direzione 3;
- $V_{sd,2}$ taglio sollecitante in direzione 2;
- $V_{sd,3}$ taglio sollecitante in direzione 3.

Gli sforzi assiali sono assunti positivi, per convenzione, quando di trazione le sollecitazioni flettenti sono assunte positive, per convenzione, quando tendono le fibre inferiori.

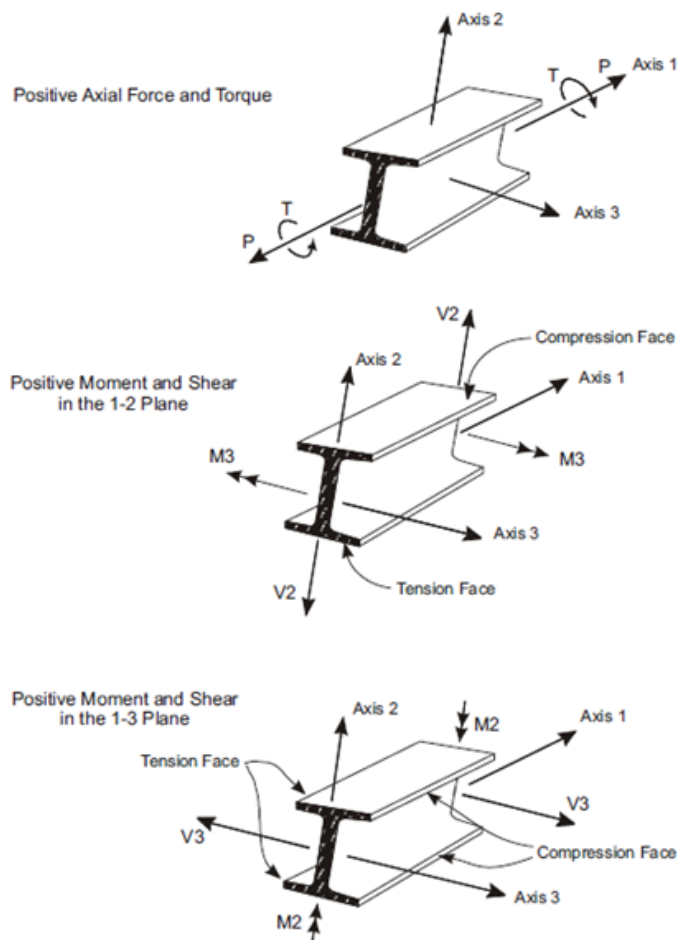


Figura 8.2: Convenzioni di segno per le caratteristiche delle sollecitazione per gli elementi monodimensionali per il software di calcolo SAP2000

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 21	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE				

Dalle analisi degli involuipi dei casi di carico si ricavano i seguenti risultati, utili per le verifiche di resistenza, in termini di sforzo sollecitante massimo sulla struttura:

m3 max =	164.02 kNm	v3 max =	8.00 kN
m3 min =	-161.53 kNm	v3 min =	-8.00 kN
m2 min =	-24.07 kNm	v2 min =	-73.74 kN
m2 max =	24.07 kNm	v2 max =	53.98 kN
P max =	25.82 kN	P min =	-25.82 kN

Tabella 8.1: Sollecitazioni massimi da involucro SLU ed SLV

8.3 OPERE IN CALCESTRUZZO ARMATO

L'analisi della struttura avviene attraverso l'utilizzo di un modello di calcolo numerico (SAP2000) basato sugli Elementi Finiti. L'analisi ha principalmente lo scopo di definire le sollecitazioni derivanti dall'applicazione delle azioni previste in accordo con la normativa vigente.

8.3.1 GEOMETRIA DEI MODELLI DI CALCOLO

Vengono distinti due diversi modelli di calcolo. In particolare, si realizza un modello atto a schematizzare il comportamento della singola trave di fondazione avente sezione trasversale a T soggetta ai carichi da traffico (Schema di Carico 1 e Schema di Carico 5) e al carico da neve.

Trave di fondazione

Il modello strutturale presenta le seguenti caratteristiche geometriche:

- Lunghezza del *frame*: 8.0[m];
- Vincolamento in direzione verticale (Z) mediante molle alla Winkler atte a schematizzare il contatto terreno-struttura;
- Vincoli rigidi alle estremità della trave, in particolare vengono vincolati gli spostamenti lungo le direzioni X e Y lasciando la possibilità alla trave di scorrere lungo Z, direzione di applicazione della reazione fornita dalle molle.

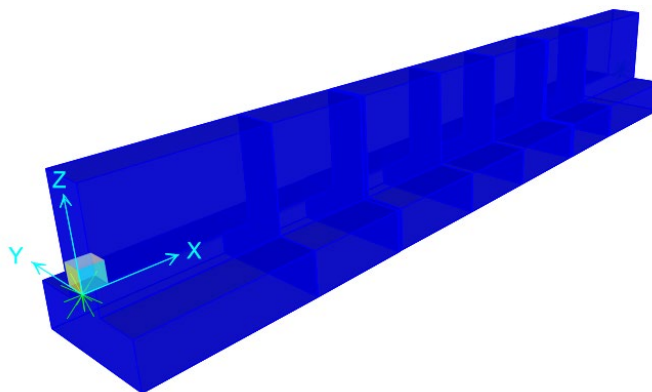



Figura 8.3: Vista 3D della trave di fondazione in c.c.a.

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 22	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE				

Lastra in c.c.a.

Il modello strutturale[S23063_FEMcoppella-v4] delle lastre di protezione della condotta all'interno del rilevato, anche dette coppelle, presenta le seguenti caratteristiche geometriche:

- Lunghezza del *frame*: 3.6[m], ossia la distanza fra gli assi delle travi a T considerate l'appoggio delle lastre;
- Struttura vincolata a deformarsi nel piano XZ;
- Vincoli di semplice appoggio, viene lasciata libera la traslazione assiale (direzione X).

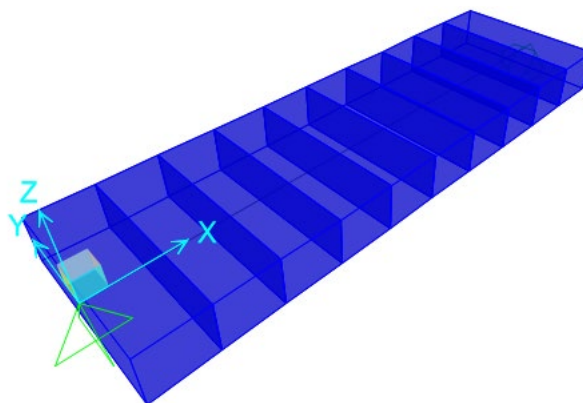


Figura 8.4: Vista 3D della lastra di protezione in c.c.a. (coppella)

8.3.2 TIPOLOGIE DI ANALISI SVOLTE

Vengono svolte analisi di tipo lineare.

8.3.3 RISULTATI DELLE ANALISI

Si riporta nel seguito la distribuzione spaziale delle sollecitazioni di calcolo in accordo con il sistema di riferimento locale degli elementi *frames*. Nello specifico, le sollecitazioni sono indicate come illustrato al §8.2.3.

Dalle analisi degli involuppi dei casi di carico si ricavano i seguenti risultati in termini di sforzo sollecitante massimo sulla struttura, divisi fra i diversi elementi strutturali, utili per le verifiche di resistenza:

Trave di fondazione


<i>Inviluppo:</i>	
Momento massimo =	338.64 kNm
Taglio massimo =	196.22 kN

Tabella 8.2: Sollecitazioni massime da involuppo SLU

Lastra in c.c.a.

<i>Inviluppo da impronte:</i>	
Momento massimo =	297.83 kNm
Taglio massimo =	354.15 kN

Tabella 8.3: Sollecitazioni massime da involuppo SLU

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 23	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE Teleriscaldamento efficiente				

9 VERIFICHE

Si presentano in questo capitolo le principali verifiche agli Stati Limite Ultimi per i diversi elementi strutturali analizzati.

9.1 CONDOTTA IN ACCIAIO STRUTTURALE

9.1.1 VERIFICA A TAGLIO E FLESSIONE DEL PROFILATO

Note le sollecitazioni agenti sulla struttura (vedi §8.2.3) è possibile eseguire le verifiche di resistenza per le azioni statiche e sismiche agli SLU.

Verifica a flessione e taglio (§4.2.4.1.2.6. NTC2018)					
Diametro esterno	$D_{ext} = 660.4 \text{ mm}$	Influenza del taglio su M_{Rd} ?	No		
Diametro interno	$D_{int} = 641.36 \text{ mm}$	Coefficiente di sicurezza	$\gamma_{M0} =$	1.05	
Area netta	$A = 1.95E+04 \text{ mm}^2$	Coefficiente riduttivo per f_{yk}	$\rho =$	0.82	
Area a taglio	$A_v = 1.24E+04 \text{ mm}^2$	Tensione di snerv. caratt.	$f_{yk} =$	235.0 MPa	
Momento di inerzia	$I = 1.03E+09 \text{ mm}^4$	Tensione di snerv. ridotta	$f_{yk,red} =$	41.3 MPa	
Modulo plastico	$W_{pl} = 4.03E+06 \text{ mm}^3$	Tensione di snerv. da calcolo	$f_{yd} =$	223.8 MPa	
Torsione:	Assente	Momento sollecitante	$M_{Ed,3} =$	164.0 kNm	
		Momento sollecitante	$M_{Ed,2} =$	24.1 kNm	
Taglio sollecitante	$V_{Ed,2} = 73.7 \text{ kN}$	Momento resistente	$M_{c,Rd} =$	902.7 kNm	
Taglio sollecitante	$V_{Ed,3} = 8.0 \text{ kN}$				
Taglio resistente	$V_{c,Rd} = 1601.3 \text{ kN}$				
Rapporto $V_{Ed}/V_{c,Rd}$	$V_{Ed}/V_{c,Rd} = 0.05 \leq 0.5$				
		$V_{Ed,max} / V_{Rd} =$	0.05	✓	
		$M_{Ed,max} / M_{Rd} =$	0.18	✓	

Tabella 9.1: Verifica di resistenza a taglio/flessione combinate per il profilo tubolare in acciaio

Essendo soggetto a sforzo normale, si conducono le verifiche di stabilità dei profili metallici in accordo al §4.2.4.1.3. del DM 17.01.2018. In particolare, si ricerca il valore dello sforzo normale critico per la sezione in esame:

$$N_{cr} = \pi^2 \frac{IE}{l_0^2}$$

dove:


- I è il momento di inerzia della sezione circolare cava;
- E è il modulo elastico dell'acciaio;
- l_0 è la lunghezza libera di inflessione assunta, a favore di sicurezza, pari alla luce di calcolo maggiore.

Svolgendo i calcoli si giunge ad un carico critico euleriano pari a 10'903 kN. Dunque, in ottemperanza al §4.2.4.1.3.1. si ha che:

$$N_{Ed} = 25.82 < 436.12 = 0.04N_{cr}$$

Ossia è possibile trascurare gli effetti legati ai fenomeni di instabilità per le aste compresse.

Per l'elemento oggetto di verifica, la normativa vigente impone di verificare che la snellezza λ sia limitata al valore 200 per le membrature principali:

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 24	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE				

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{l_0}{\sqrt{I/A}} = \frac{14.00 \text{ m}}{230.15 \text{ mm}} = 61 < 200 \quad \text{VERIFICATO}$$

dove:

- i è il raggio di inerzia della sezione del profilo tubolare cavo;
- A è l'area della sezione del profilo tubolare cavo.

Viste le esigue sollecitazioni e l'esito della verifica per la compressione semplice, si può ragionevolmente escludere gli effetti dell'instabilità presso-flessionale.

La struttura risulta dunque verificata.

9.1.2 VERIFICA DELLE SPALLE IN C.C.A

Il sistema di appoggi è costituito da n. 4 spalle realizzate in conglomerato cementizio armato sulle quali viene posato il profilo metallico. Il dispositivo di appoggio consiste in una guaina in neoprene in grado di permettere le traslazioni assiali del tubo indotte, ad esempio, dalla dilatazione termica.

Si verifica l'armatura di base in grado di resistere alla trazione indotta dalla reazione verticale del tubo sulla sella. La reazione massima da involucro risulta essere pari a 126.02[kN], mentre l'angolo fra asse palo e asse della condotta risulta di 14° per cui:

- carico sul puntone compresso: $F_C = 126.02 / \cos(14^\circ) = 129.9 \text{ kN}$;
- carico sul tirante teso: $T_S = 126.02 \cdot \tan(14^\circ) = 31.4 \text{ kN}$.

Si verifica quindi l'armatura di base della spalla più sollecitata. In particolare, considerando 2 $\Phi 10$ si ottiene un'azione resistente pari a:

$$R_S = A_s \cdot f_{yd} = 157.08 \text{ mm}^2 \cdot 391.3 \text{ MPa} = 61.5 \text{ kN}$$

Dunque:

$$\frac{R_S}{T_S} = \frac{61.5}{31.4} = 1.96 > 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

9.1.3 VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE

Vengono eseguite le verifiche strutturali e geotecniche del palo di fondazione considerando le seguenti azioni:

- peso proprio strutturale;
- peso proprio del terreno imbarcato;
- risultanti delle azioni sul profilo in acciaio già combinate per gli Stati Limite considerati;
- sovraccarico stradale di 20[kN/m] al di sopra delle spalle stesse;
- spinte delle terre (indotte dal sovraccarico, dal terreno di monte; dal sisma);
- sisma nelle tre direzioni (X, Y, Z).

La stratigrafia del terreno e i relativi parametri di riferimento sono riportati nella relazione geotecnica di cui si presenta un estratto.


	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 25	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE				

Tabella 6-2. Parametri di riferimento per le unità stratigrafiche individuate

Unità	descrizione	γ (kN/m ³)	OCR (-)	Dr (%)	cu (kPa)	c' (kPa)	ϕ' (°)	E' (MPa)
RV	Terreno di riporto e terreno vegetale	19,0		20÷80	-	1÷3	27÷29	2÷4
AL	Argilla e limo, con livelli di limo sabbioso	18,5	1÷2	-	per z<4 15÷25 per z>4 30÷40	per z<4 1÷2 per z>4 2÷4	24÷26	per z<4 1÷2 per z>4 2÷4
SL	Sabbia limosa e limo sabbioso	19,0	-	45÷70	-	0	32÷34	1.8z+5 E' < 45

Tabella 9.2: Estratto §6.4 Relazione Geotecnica

La stratigrafia si compone di:

- strato di terreno di riporto (1.2[m] di profondità dal PdC);
- strato di terreno sabbioso/limoso (1.2-4.2[m] di profondità dal PdC);
- strato di terreno argilloso (4.2-13.0[m] di profondità dal PdC);
- strato di terreno sabbioso/limoso (per profondità ≥ 13.0 [m] dal PdC).

Le sollecitazioni indotte dalla combinazione agli SLU e dagli SLV sono riassunte nella tabella seguente:

Involuppo - COMBINAZIONE DEI CARICHI				
	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Mz [kNm]
	N [kN]	V [kN]	V [kN]	M [kNm]
SLU	262.39	105.15	7.64	134.45
SISMA	181.74	45.67	27.16	125.46

Tabella 9.3: Sintesi dei risultati - azioni sollecitanti

Prevedendo un sistema di fondazioni indirette composto da pali trivellati di diametro pari a 600[mm] e lunghezza pari 16[m] armati con 18 $\Phi 26$. Si considerano n. 2 pali per ciascuna spalla.

Dal punto di vista geotecnico la resistenza di capacità portante verticale valutata mediante l'approccio unico A1+M1+R3 è pari a 439[kN] e portata orizzontale pari a 175[kN] (associata al meccanismo di formazione della cerniera plastica flessionale).

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 26	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE				

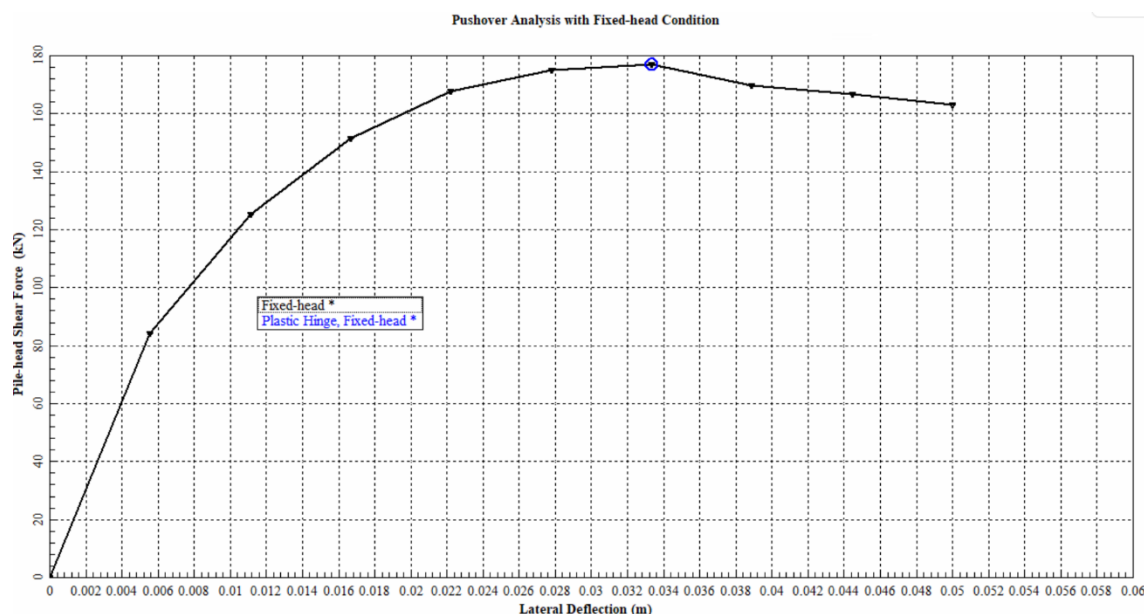


Tabella 9.4: Diagramma forza-spostamento palo trivellato

Dunque, il rapporto fra azione resistente di progetto ed azione sollecitante di progetto risulta pari alla seguente quantità:

$$\frac{N_{Rd}}{N_{Ed}} = \frac{439}{262.4} = 1.67 > 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

$$\frac{V_{Rd}}{V_{Ed}} = \frac{175}{105.2} = 1.52 > 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

9.2 OPERA DI ATTRAVERSAMENTO DEL RILEVATO


Le opere di attraversamento del rilevato consistono, come precedentemente illustrato, in due travi rovesce in c.c.a. sostenenti una serie di elementi detti “coppelle” che riparano la condotta dai carichi esercitati dall’azione veicolare prodotta dalla sede stradale situata al di sopra.

Nei seguenti sottoparagrafi, si illustrano le principali verifiche di resistenza per le azioni SLU differenziando elemento per elemento.

9.2.1 VERIFICHE DELLA TRAVE DI FONDAZIONE

Si analizza la singola trave di fondazione. Le azioni sulla trave hanno unicamente direzione verticale in quanto le lastre sono pensate collegate in maniera tale da non trasferire sollecitazioni flessionali. La struttura è sollecitata nel piano.

L’armatura resistente a flessione consiste in 4 $\Phi 22$ disposti nell’anima della trave, mentre l’armatura resistente a taglio risulta essere composta da staffe a 2 bracci di diametro pari a 10[mm] e disposte ad interasse di 200[mm] come descritto in figura seguente.

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 27	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE				

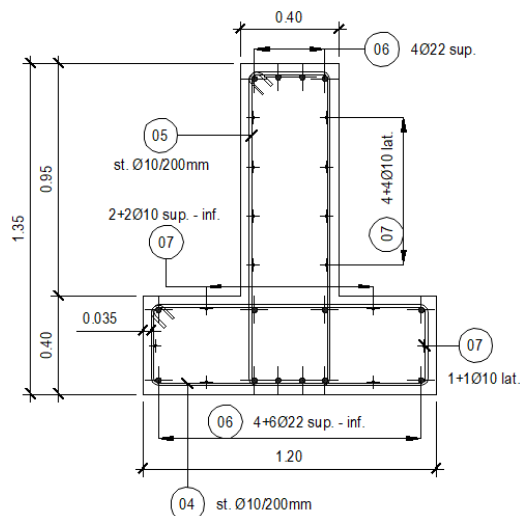


Figura 9.1: Armatura della trave di fondazione

Dunque, note le sollecitazioni agenti sulla struttura (vedi §8.3.38.2) è possibile eseguire le verifiche di resistenza per le azioni statiche agli SLU.

Flessione

La verifica a flessione viene condotta in accordo alla vigente normativa adottando l'applicativo di calcolo VCA_slv.

Come si evince dalla figura seguente, il momento resistente della sezione risulta pari a 748.1[kNm] mentre il momento massimo sollecitante risulta 338.6[kNm]. Dunque:

$$\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} = 2.21 > 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

Verifica C.A. S.L.U. - File: Trave di fondazione

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo: Trave di fondazione a T

N° figure elementari 2 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	40	95	1	15.21	5.6
2	120	40	2	15.21	129.4

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{xEd} 0 kNm
M_{yEd} 0 kNm

P.to applicazione N
Centro Baricentro cls
Coord. [cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali
B450C C35/45
ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
E_s 200'000 N/mm² f_{cd} 19.83 ‰
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8 ?
ε_{syd} 1.957 ‰ σ_{c,adm} 13.5 ‰
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.8 ‰
τ_{c1} 2.257 ‰

M_{xRd} 748.8 kNm
σ_c -19.83 N/mm²
σ_s 391.3 N/mm²
ε_c 3.5 ‰
ε_s 64.76 ‰
d 129.4 cm
x 6.635 x/d 0.05127
δ 0.7


Tipo Sezione
Rettan.re Trapezi
a T Circolare
Rettangoli Coord.
DXF

Metodo di calcolo
S.L.U. S.L.U.
Metodo n

Tipo Flessione
Retta Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello
M-curvatura
Precompresso

Figura 9.2: Momento resistente della sezione (trave di fondazione)

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 28	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE				

Taglio

La verifica a taglio per elementi con armature trasversali resistenti a taglio viene condotta in accordo al §4.1.2.3.5.2. delle NTC2018.

1) DATI GENERALI

1.1) CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

- calcestruzzo

f_{ck}	35.0	MPa
α_{cc}	0.85	-
γ_c	1.50	-
f_{cd}	12.1	MPa
f_{ctm}	3.2	MPa

- acciaio

f_{yk}	450.0	MPa
f_{yd}	391.3	MPa

1.2) CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

- altezza
- larghezza minima
- copriferro di calcolo

h	1350	mm
b_w	400	mm
c	56	mm

- area cls
- altezza utile
- braccio coppia interna (= 0,9 d)

A_c	5.40E+05	mm ²
d	1294	mm
z	1164.6	mm

1.4) SOLLECITAZIONI DI CALCOLO

- taglio di calcolo
- compressione (+) / trazione (-)

V_{Ed}	196.2	kN
N_{Ed}	0.0	kN

3) ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO

3.1) STAFFE

- diametro	ϕ	10	mm
- n° braccia	n_b	2	-
- passo	s	200	mm
- area di acciaio per ogni staffa	A_{sw}	157	mm ²
- area staffe per metro	A_{sw}/s	785	mm ² /m

3.3) RESISTENZA DEI PUNTONI IN CLS

- coefficiente maggiorativo	α_c	1.00	-
- resistenza a compressione ridotta	f'_{cd}	6.1	MPa
- resistenza a compressione dei puntoni	f_{cdw}	6.1	MPa
- resistenza minima lato cls	$V_{Rcd,min}$	971.8	kN
- resistenza max lato cls	$V_{Rcd,max}$	1409.2	kN

VERIFICA $V_{Rcd,max} > V_{Ed}$

OK

3.4) VERIFICA A TAGLIO

- taglio resistente di progetto	V_{Rd}	894.8	kN
VERIFICA $V_{Rd} > V_{Ed}$		OK	
- inclinazione ultima dei puntoni	$\cotg\theta_u$	2.50	-
	θ_u	21.8	deg

Figura 9.3: Verifica a taglio (trave di fondazione)

Dunque:

$$\frac{V_{Rd}}{V_{Ed}} = \frac{894.8}{196.2} = 4.56 > 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

9.2.2 VERIFICHE DELLE DELLA COPERTURA CON LASTRE IN C.C.A.

Si analizza la singola lastra di dimensioni 1.10x4x0.3[m]. Si considerano i carichi del terreno, della pavimentazione ed ai carichi da traffico indotti dallo Schema di Carico 1 e dallo Schema di Carico 2. La struttura è sollecitata nel piano.

L'armatura resistente a flessione consiste in 11 $\Phi 22$, mentre l'armatura resistente a taglio risulta essere composta da staffe a 4 bracci di diametro pari a 10[mm] e disposte ad interasse di 200[mm] come descritto in figura seguente.

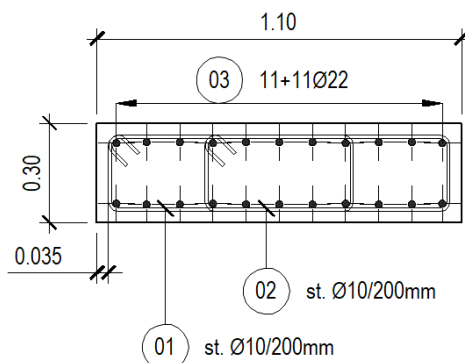



Figura 9.4: Armatura della coppella di protezione

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 29	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE				

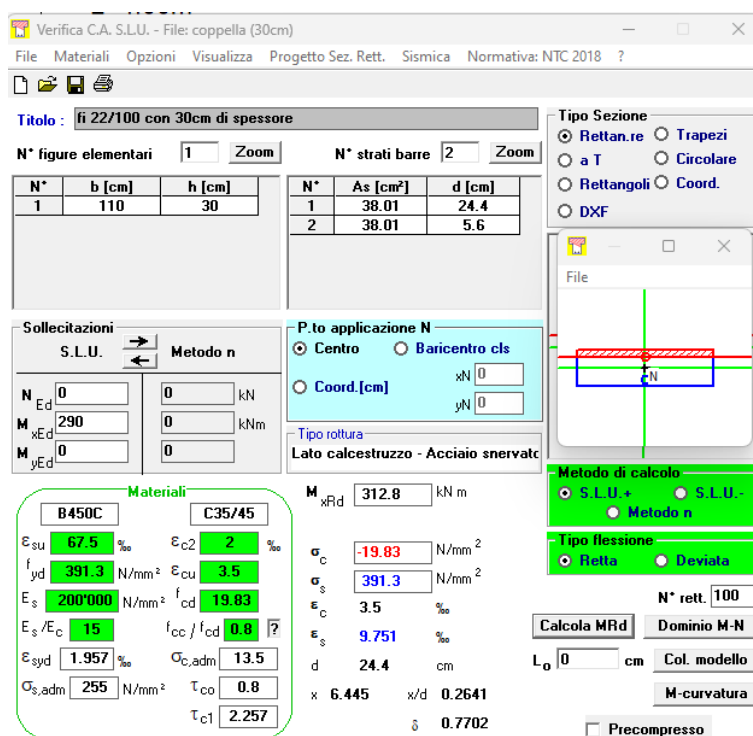
Dunque, note le sollecitazioni agenti sulla struttura (vedi §8.3.38.2) è possibile eseguire le verifiche di resistenza per le azioni statiche agli SLU.

Flessione

La verifica a flessione viene condotta in accordo alla vigente normativa adottando l'applicativo di calcolo VCA_slv.

Come si evince dalla figura qui sopra, il momento resistente della sezione risulta pari a 312.8[kNm] mentre il momento massimo sollecitante risulta 297.8[kNm]. Dunque:

$$\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} = 1.05 > 1 \quad \text{VERIFICATO}$$



The screenshot displays the VCA_slv software interface for structural verification. The main window shows the following data:

- Titolo:** fi 22/100 con 30cm di spessore
- N° figure elementari:** 1 (Zoom)
- N° strati barre:** 2 (Zoom)
- Table 1:**


N°	b [cm]	h [cm]
1	110	30
- Table 2:**

N°	As [cm²]	d [cm]
1	38.01	24.4
2	38.01	5.6
- Sollecitazioni:** S.L.U. Metodo n
- Materiali:**
 - B450C: ϵ_{su} 67.5 ‰, f_{yd} 391.3 N/mm², E_s 200'000 N/mm², E_s/E_c 15, ϵ_{syd} 1.957 ‰, $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²
 - C35/45: ϵ_{c2} 2 ‰, ϵ_{cu} 3.5 ‰, f_{cd} 19.83 N/mm², f_{cc}/f_{cd} 0.8, $\sigma_{c,adm}$ 13.5 N/mm², τ_{co} 0.8 N/mm², τ_{c1} 2.257 N/mm²
- P.to applicazione N:** Centro, Baricentro cls, Coord.[cm] (xN 0, yN 0)
- Tipo rottura:** Lato calcestruzzo - Acciaio snervato
- Metodo di calcolo:** S.L.U.+, S.L.U.-, Metodo n
- Tipo flessione:** Retta, Deviata
- Calcoli:**
 - M_{xRd} 312.8 kNm
 - σ_c -19.83 N/mm²
 - σ_s 391.3 N/mm²
 - ϵ_c 3.5 ‰
 - ϵ_s 9.751 ‰
 - d 24.4 cm
 - x 6.445 cm, x/d 0.2641
 - δ 0.7702
- Other parameters:** N° rett. 100, L₀ 0 cm, Col. modello, M-curvatura, Precompresso (unchecked)

Figura 9.5: Momento resistente della sezione (coppella di protezione)

Taglio

La verifica a taglio per elementi con armature trasversali resistenti a taglio viene condotta in accordo al §4.1.2.3.5.2. delle NTC2018. L'azione tagliante viene presa in corrispondenza della sezione della lastra in corrispondenza del bordo esterno dell'anima della trave di fondazione, cioè a 0.2[m] dall'asse di quest'ultima.

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 30	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE TELERISCALDAMENTO EFFICIENTE				

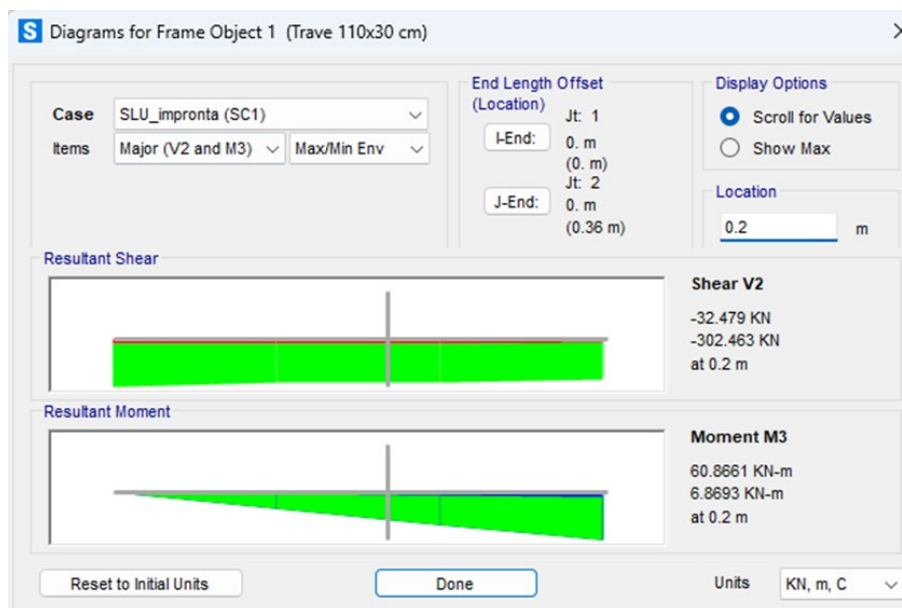


Figura 9.6: Sforzo tagliante sollecitante da modello SAP2000

1) DATI GENERALI

1.1) CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

- calcestruzzo

f_{ck}	35.0	MPa
α_{cc}	0.85	-
γ_c	1.50	-
f_{cd}	12.1	MPa
f_{ctm}	3.2	MPa

- acciaio

f_{yk}	450.0	MPa
f_{yd}	391.3	MPa

1.2) CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

- altezza
- larghezza minima
- copriferro di calcolo

h	300	mm
b_w	1100	mm
c	56	mm

- area cls
- altezza utile
- braccio coppia interna (= 0,9 d)

A_c	3.30E+05	mm ²
d	244	mm
z	219.6	mm

1.4) SOLLECITAZIONI DI CALCOLO

- taglio di calcolo
- compressione (+) / trazione (-)

V_{Ed}	302.5	kN
N_{Ed}	0.0	kN

3.1) STAFFE

- diametro
- n° braccia
- passo
- area di acciaio per ogni staffa
- area staffe per metro

ϕ	10	mm
n_b	4	-
s	200	mm
A_{sw}	314	mm ²
A_{sw}/s	1571	mm ² /m

3.3) RESISTENZA DEI PUNTONI IN CLS

- coefficiente maggiorativo
- resistenza a compressione ridotta
- resistenza a compressione dei puntoni
- resistenza minima lato cls
- resistenza max lato cls

α_c	1.00	-
f'_{cd}	6.1	MPa
f_{cdw}	6.1	MPa
$V_{Rcd,min}$	503.9	kN
$V_{Rcd,max}$	730.7	kN

VERIFICA $V_{Rcd,max} > V_{Ed}$

OK

3.4) VERIFICA A TAGLIO

- taglio resistente di progetto
- inclinazione ultima dei puntoni

V_{Rd}	337.4	kN
$\cotg\theta_u$	2.50	-
θ_u	21.8	deg

VERIFICA $V_{Rd} > V_{Ed}$

OK

Figura 9.7: Verifica a taglio (coppella di protezione)

Dunque:

$$\frac{V_{Rd}}{V_{Ed}} = \frac{337.4}{302.5} = 1.12 > 1 \quad \text{VERIFICATO}$$

	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO STRUTTURALE (PRELIMINARE)				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12300092910 12300092923	ID DOC. (DOC. ID) N11682CX00NR202_0	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 31	DI (LAST) 31
	POTENZIAMENTO FONTE GEOTERMICA DI FERRARA ED ESTENSIONE RETE Teleriscaldamento efficiente				

10 CONCLUSIONI

La presente relazione illustra i risultati del dimensionamento e le principali verifiche del “ponte-tubo” situato lungo la Strada Comunale Urbana “Via Diamantina” all’altezza di “Via Gherardo Monari” nel Comune di Ferrara (FE).

In sostanza, l’intervento di cui sopra si configura nella progettazione di:

- una condotta DN650 in acciaio strutturale S235 ($D_{ext}=660.4[mm]$, sp. $9.52[mm]$) in grado di permettere lo scavalco della nuova rete di teleriscaldamento (TLR);
- un sistema di fondazione composto da coppie di pali trivellati in c.a. ($D=600[mm]$ e $L=16[m]$) collegati in testa dalle spalle in c.a. sostenenti il nuovo ponte-tubo;
- un’opera in c.a. situata nel corpo di rilevato in grado di permettere l’attraversamento dello stesso da parte della condotta TLR. Tale opera consiste in un sistema di travi di fondazione che fungono da appoggio per delle lastre di protezione anch’esse realizzate in c.a.;
- un sistema di difesa spondale realizzato con pietrame non gelivo di piccola pezzatura ($d=40[cm]$) e uno strato di geo-tessuto ($400[g/m^2]$) per un’estensione complessiva di circa $15[m]$;
- opere accessorie composte da parapetti di protezione in legno di castagno con siepe sempreverde.

Tali lavorazioni si configurano nell’ambito degli interventi di potenziamento della fonte geotermica ed estensione delle reti TLR efficienti nel Comune di Ferrara.

Sono quindi state effettuate le principali verifiche in accordo al DM 17 gennaio 2018. In particolare, si sono condotte le verifiche flessionali e taglianti del profilo tubolare cavo, delle lastre di protezione, dei pali e delle travi di fondazione di cui si presentano i risultati in termini di rapporto fra azioni resistenti (R_d) ed azioni sollecitanti (S_d).

Profilo tubolare metallico	Verifica a taglio – $R_d/S_d=20.0$	Verifica a flessione – $R_d/S_d=5.56$
Palo di fondazione	Verifica a portata orizzontale – $R_d/S_d=1.67$ Verifica a capacità portante verticale – $R_d/S_d=1.52$	
Trave di fondazione in c.c.a.	Verifica a taglio – $R_d/S_d=4.56$	Verifica a flessione – $R_d/S_d=2.21$
Lastre di protezione in c.c.a.	Verifica a taglio – $R_d/S_d=1.12$	Verifica a flessione – $R_d/S_d=1.05$

Tabella 10.1: Sintesi dei risultati