



**COMUNE DI
MALNATE (VA)**

Lavori di risanamento della condotta fognaria di via G. Brusa nel tratto compreso tra P.zza Libertà e Via Maccazzola in Comune di Malnate (VA).

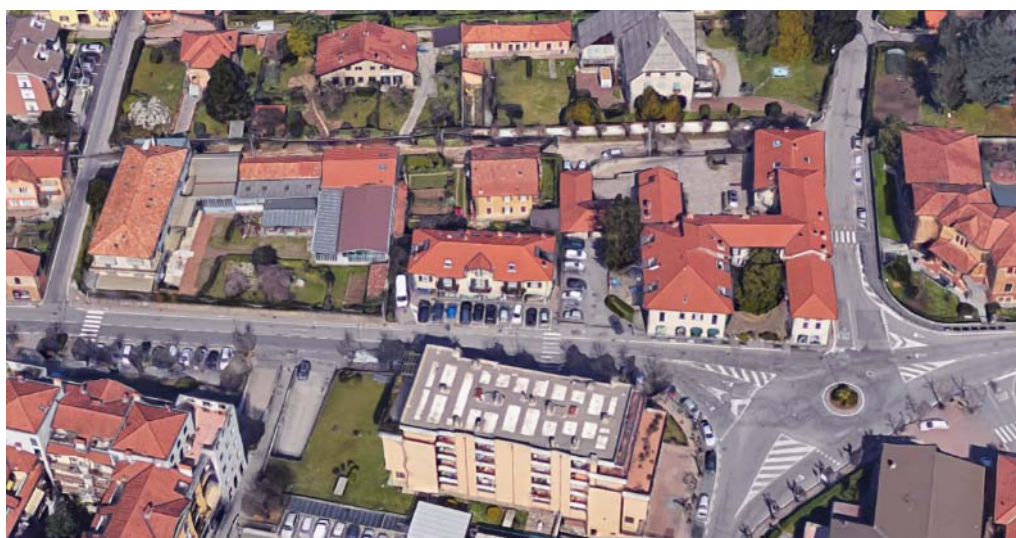
Responsabile Unico del Procedimento: Arch. Rosalba Russo

IL PROGETTISTA:



DATEK22 S.r.l.
Via Garibaldi, 118
22073 Fino Mornasco (CO)
tel: 031 539022 – fax: 031 539160
P.IVA - C.F. : 03691010130

Ing. David D'Ambrosio



gennaio 2021

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

Verifiche risanamenti strutturali

D.02

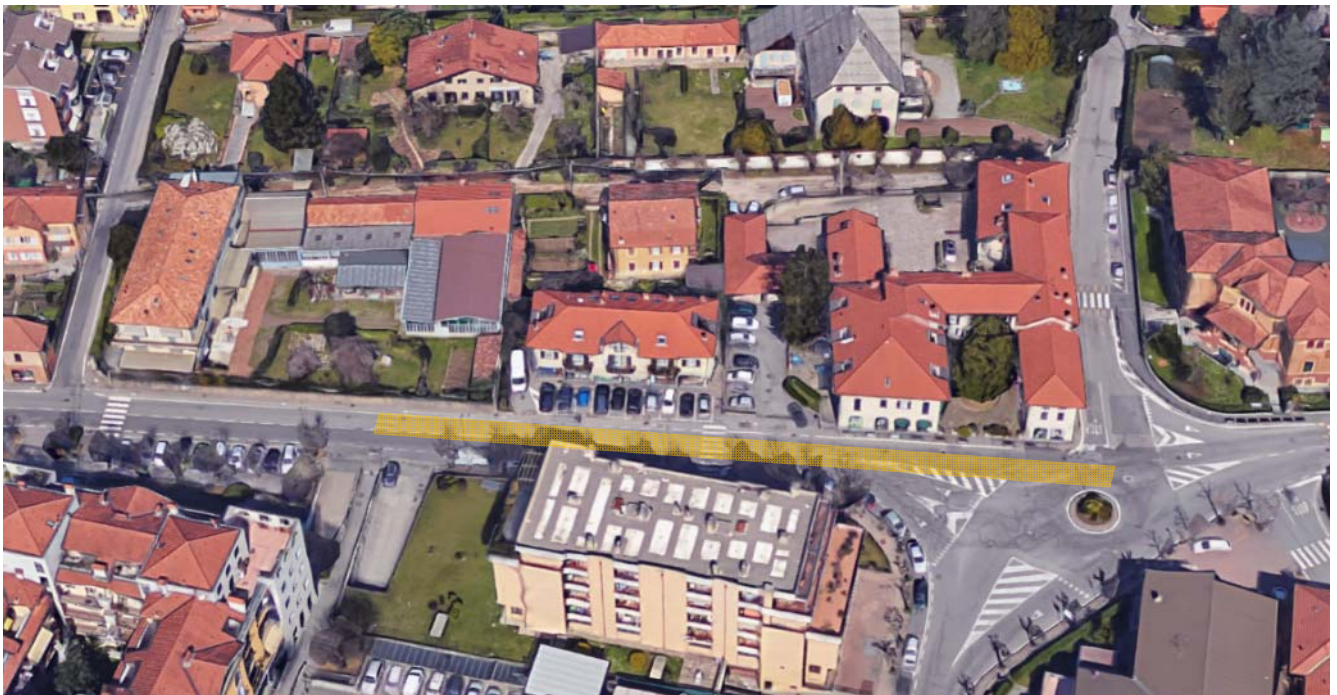
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	20.02.17	Emissione per gara	G. Mercurio	G. Mercurio	G. Mercurio
01	20.11.18	Istruttoria validazione	Pera	Pera	D'Ambrosio
02	25.01.21	Revisione Progetto	Datek22	Datek22	D'Ambrosio

SOMMARIO

1.	DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO	2
2.	ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO STRUTTURALE	2
3.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO E CRITERI DI CALCOLO	4
4.	MATERIALI	5
	Calcestruzzo secondo prescrizioni del D.M.17.01.2018 e UNI EN 206:2016	5
	Acciaio per cemento armato	5
	Malta cementizia per ripristini e consolidamenti strutturali pareti ammalorate	5
	Rivestimento in materiale composito	6
	Accettazione dei materiali	6
	Prescrizioni di durabilità	6
5.	CARICHI	7
	Carico stradale	7
6.	COMBINAZIONI DI CARICO	10
	Stato limite ultimo – sisma assente	10
	Stato limite ultimo – sisma presente	10
	Stato limite ultimo – azioni eccezionali (incendio piano interrato)	10
	Stato limite di esercizio	11
	Valori dei coefficienti dei carichi	11
7.	CARATTERIZZAZIONE DEL TERRENO DI FONDAZIONE	12
8.	ANALISI STRUTTURALI	13
	Soletta in c.a. della cameretta di ispezione	13
	Giudizio motivato di accettazione dei risultati	18
	Relining del tubo esistente	18
9.	DICHIARAZIONE DEL PROGETTISTA	23

1. DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO

La presente relazione ha per oggetto la verifica delle opere di risanamento strutturale di una condotta fognaria sita nel Comune di Malnate, in via Brusa nel tratto ad ovest di piazza della Libertà.



Il tubo esistente ha struttura in calcestruzzo non armato o debolmente armato, per quanto è stato visibile durante la video ispezione, ed è oggetto a tratti di degrado strutturale. In alcuni punti è visibile l'effetto del dilavamento operato dall'acqua che ha comportato il distacco localizzato di porzioni superficiali di calcestruzzo. In alcuni punti, probabilmente a causa di dilavamento del terreno al di fuori della condotta, si rileva il collasso della parete laterale.

La tubazione ha sezione ovoidale di dimensioni 80x120cm e si affonda, all'estradosso, tra 1,5m e 1,8m dal piano stradale.

2. ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO STRUTTURALE

L'intervento strutturale in progetto si colloca nell'ambito degli interventi di risanamento strutturale conservativo nei confronti della struttura esistente. La tecnologia prescelta ricade nelle tecnologie di riabilitazione e rinnovamento di infrastrutture a rete con limitato ricorso a scavi con metodi tradizionali (trenchless-no dig), così come definiti dalla "Italian Association for trenchless technology" (IATT).

Le tecnologie "trenchless" o "no-dig" o anche dette "a basso impatto ambientale" (come denominate dal DPR 207/2010¹ e s.m.i. - Regolamento di esecuzione ed attuazione del D. Lgs. n. 163/2006 che per esse ha previsto una categoria specifica di Opere Specialistiche OS35), per

¹ Questa parte del Regolamento è ancora in vigore in attesa dell'emanazione del Nuovo Regolamento del D.Lgs. 50/16

evidenziarne il loro carattere di poca invasività, sono tecnologie che permettono di intervenire nel sottosuolo per la posa, la manutenzione e il risanamento delle infrastrutture dei servizi a rete, riducendo drasticamente o annullando del tutto lo scavo a cielo aperto. Nella letteratura tecnica e scientifica di settore, il termine anglosassone “Rehabilitation” comprende tutte le tecnologie atte a ripristinare, mantenere ed eventualmente incrementare le performance di un sistema di tubazioni esistenti.

La classificazione internazionale per la riabilitazione delle condotte, così come descritta nelle UNI EN 15885:2018 e UNI EN ISO 11295:2018, comprende le tre seguenti macro categorie:

- “**renovation**”: contempla tutte le tecnologie necessarie per incorporare tutto o parte della tubazione originaria recuperandone o incrementandone le performance;
- “**replacement**”: contempla tutte le tecnologie che comportano la riabilitazione di una tubazione esistente mediante l’installazione di una nuova tubazione senza il mantenimento di quella originaria;
- “**repair**”: contempla tutte le tecnologie e operazioni idonee alla riparazione di danneggiamenti localizzati.

Valutati i danni strutturali rilevati e la necessità di dover intervenire senza l’esecuzione di scavi o opere che possano comportare l’interruzione del traffico, la scelta progettuale, tipicamente e diffusamente adottata in casi analoghi, prevede un intervento di rinnovo (**renovation**) con un sistema denominato C.I.P.P (acronimo inglese di **Cured In Place Pipe** - tubi compositi polimerizzati in loco), intervento a cui nel seguito ci riferiremo con il termine “relining”.

L’intervento è caratterizzato da una prima fase di risanamento delle superfici di calcestruzzo ammalorate che prevede:

- pulizia e rimozione delle parti superficiali di calcestruzzo interessate dal distacco;
- stesa di idoneo primer per ripresa di getto e ripristino dei volumi e della superficie originarie con malta cementizia ad alta resistenza (classe minima C42/50).

Nella seconda fase, una volta ripristinata la superficie interna originaria del tubo, si procederà alla posa del rivestimento interno con tubo composito polimerizzato in loco, con liner fotoindurente.

Il progetto prevede inoltre il rifacimento della soletta di copertura della cameretta di ispezione n. 24B (riferimento tavola A.04). La soletta ha struttura in calcestruzzo armato di spessore 30 cm e dimensioni in pianta 2,10 x 2,60 metri. Il comportamento strutturale assunto nel dimensionamento è a piastra in semplice appoggio sui quattro lati.

Verrà inoltre sostituita la soletta (prefabbricata) della cameretta di arrivo (n. 600).

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO E CRITERI DI CALCOLO

Per il calcolo del sistema relining si fa riferimento alle specifiche prescrizioni della normativa americana ASTM F 1216-16 "Standard Practice for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Inversion and Curing of a Resin-Impregnated Tube".

Per il calcolo della struttura in calcestruzzo armato della soletta di copertura della cameretta di ispezione, così come per la definizione delle caratteristiche dei materiali e dei carichi agenti si considera quanto prescritto dal D.M. 17.01.2018 – "Norme tecniche per le costruzioni" e alla relativa circolare esplicativa.

Per l'opera in oggetto si considera una vita nominale $V_N = 100$ anni; l'opera è classificabile come costruzione di tipo 3, opera di importanza strategica, e classe d'uso IV (§ 2.4.2 DM 17.01.2018), cui corrisponde un coefficiente d'uso $C_U=2,0$.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

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

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

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

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.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

CLASSI D'USO SECONDO § 2.4.2 D.M. 17.01.2018

Dal punto di vista sismico le opere sono situate in Zona 4 come previsto dalla vigente classificazione sismica regionale. Gli interventi in oggetto sono classificabili, ai sensi del §8 del D.M. 17.01.2018

“Costruzioni esistenti” come interventi di riparazione locale, ovvero come interventi atti a ripristinare la sicurezza originaria dell'opera. Le sollecitazioni sismiche, ai fini del dimensionamento delle opere in oggetto, sono ininfluenti e non significative.

4. MATERIALI

Calcestruzzo secondo prescrizioni del D.M.17.01.2018 e UNI EN 206:2016

Per il calcestruzzo della soletta della cameretta si assumono le seguenti caratteristiche:

- classe di resistenza C35/45;
- classe di esposizione: XD3;
- classe di consistenza: S4;
- dosaggio minimo di cemento: 320 kg/mc;
- rapporto a/c $\leq 0,45$;
- dimensiona massima inerti: 20 mm.

Acciaio per cemento armato

- Acciaio in barre: B450C controllato in stabilimento, ad aderenza migliorata, saldabile
- Reti e tralicci elettrosaldati: B450C controllato in stabilimento, ad aderenza migliorata, saldabile

Malta cementizia per ripristini e consolidamenti strutturali pareti ammalorate

Malta cementizia tissotropica idonea per applicazione su superfici verticali o a plafoni, applicabile a cazzuola senza necessità di casseri, a ritiro compensato resistente ai solfati (tipo Mapegrout Tissotropico / FMR Mapei), conforme a UNI EN 1504-3:2006 per malta strutturale di classe R4 ed additivata con fibre in lega metallica amorfa di ferro-cromo aventi:

- rapporto di aspetto l/Ø 125
- lunghezza 30 mm
- resistenza a trazione 1900 MPa

Rapporto di impasto:

- malta..... 100 kg
- acqua..... 17 ($\pm 0,5$) l
- fibre 1 ($\pm 0,1$) kg

Prestazioni minime:

Caratteristiche prestazionali:	1 giorno	7 giorni	28 giorni
resistenza a compressione (EN 12190:2000) (MPa)	20	50	64
resistenza a flessione (EN 196-1:2016) (MPa)	8	9	11
modulo elastico a compressione (EN 13412:2007) (GPa)			27
adesione su calcestruzzo (EN 1542:2000) (MPa)			> 2
assorbimento capillare (EN 13057:2003) (kg/m ² _ h ^{0,5})			< 0.08

- Temperatura di impiego da +5°C a +35°C
- Spessore massimo di applicazione per strato 50 mm

Rivestimento in materiale composito

Si rimanda alle caratteristiche meccaniche minime descritte nel paragrafo successivo relativo alla verifica statica della condotta. Sarà onere della D.L. verificare che il materiale fornito abbia le caratteristiche minime prestazionali richieste.

Si assume:

- Modulo elastico iniziale: 3500 MPa;
- Modulo elastico a lungo termine (5%): 2250 Mpa.

Accettazione dei materiali

L'accettazione dei materiali e la certificazione dovrà avvenire in accordo al D.M. 17.01.2018, § 11. Tutti i materiali dovranno avere marchiatura CE ed essere approvati preventivamente dalla direzione lavori.

Prescrizioni di durabilità

In accordo alle prescrizioni della UNI EN 206:2016 si assumono le seguenti classi di esposizione:

- SOLETTA INTERRATA CAMERETTA: classe di esposizione XD3.

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tabella C4.1.IV - Copriferri minimi in mm

			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
C _{min}	C ₀	ambiente	C ₀	C _{min} ≤ C < C ₀	C ₀	C _{min} ≤ C < C ₀	C ₀	C _{min} ≤ C < C ₀	C ₀	C _{min} ≤ C < C ₀
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Tabella C4.1.IV "CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP": Copriferri minimi in mm

Considerando le prescrizioni in termini di copriferri minimi della Tabella C4.1.IV della "CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP", considerando il comportamento a piastra dell'elemento in ambiente molto aggressivo, si assume un copriferro minimo pari a 35mm.

5. CARICHI

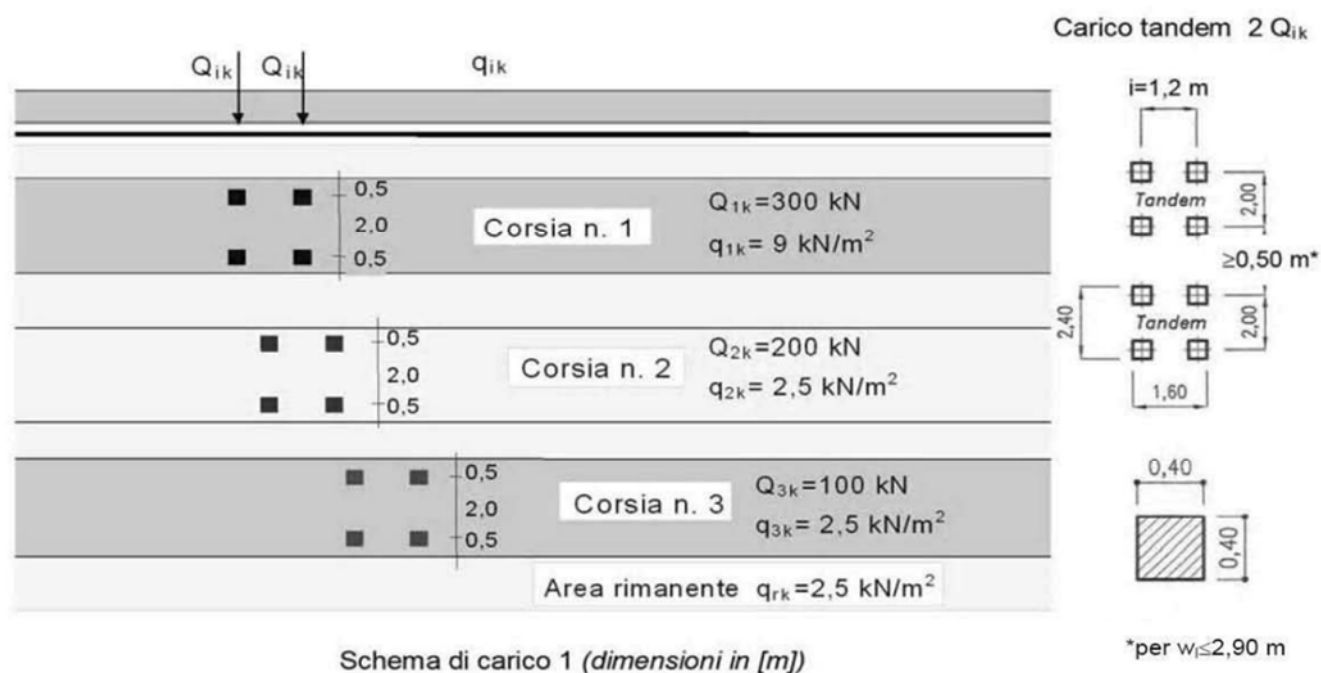
Carico stradale

Per il carico stradale si considerano le distribuzioni di carico previste dal § 5.1.3.3 del D.M. 17.01.2018 con riferimento a ponti di 1° categoria.

Tubo ovoidale interrato

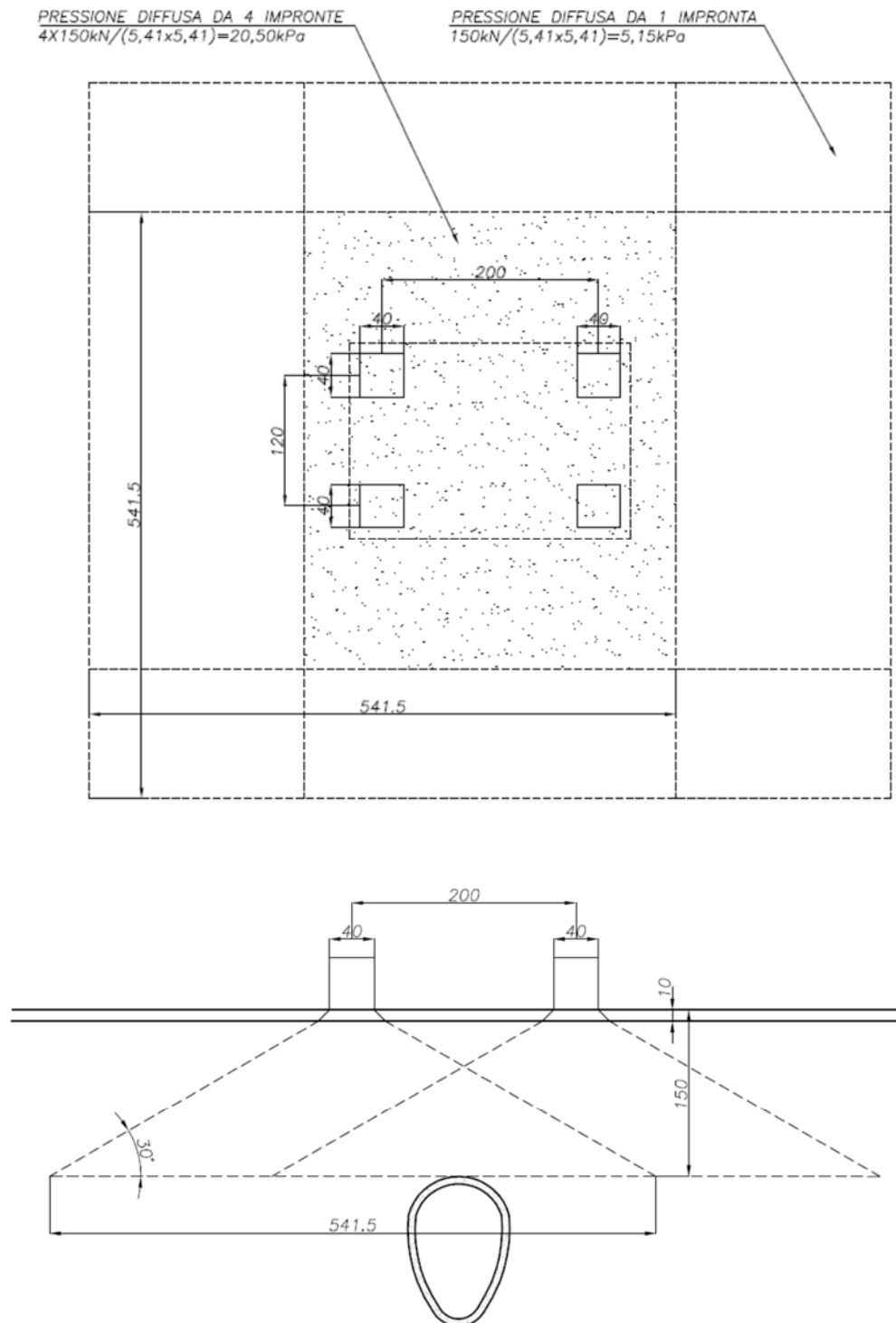
Dei vari schemi di carico definiti dalla normativa, quello che risulta più critico per la statica del condotto è quello individuato dallo schema di carico 1, costituito da un carico tandem su due assi Q_{ik} = 300 kN/asse applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata con lato 0,4 m, interasse longitudinale 2,00 m, interasse trasversale 1,20 m ed un carico uniformemente distribuito q_{ik} = 9.00 kN/m².

La diffusione dei carichi concentrati attraverso la pavimentazione si considera che avvenga con un angolo di 45° (NTC2018 §5.1.3.3.6) mentre, nel terreno consolidato, raggiunge un angolo di 30° (CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP §C5.1.3.3.7.1).



Nella figura seguente viene schematizzata la sezione trasversale presa in considerazione e la posizione del carico che genera la peggiore sollecitazione nel condotto.

PROGETTO ESECUTIVO



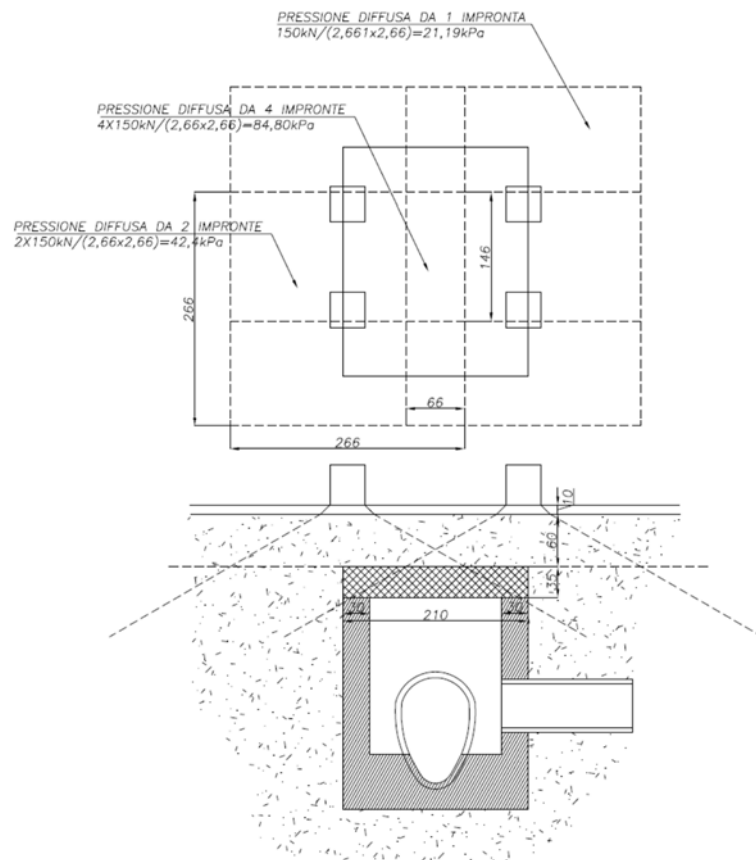
Per effetto della diffusione dei carichi concentrati Q_{1k} e di quelli uniformemente distribuiti q_{1k} si determina una pressione equivalente pari a:

$$Q_k = q_{1k} + Q_{1k} = 9,00 \text{ kPa} + 20,50 \text{ kPa} = 29,50 \text{ kPa}^{(*)}$$

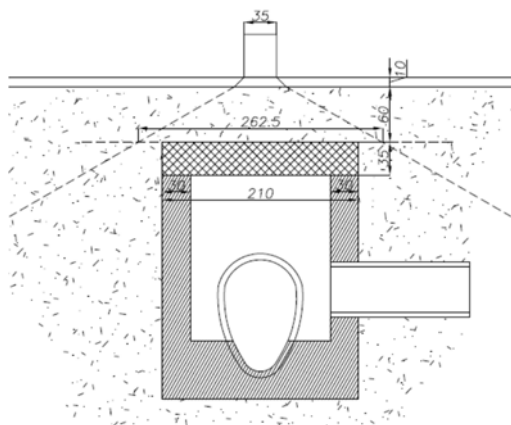
(*) Successivamente cautelativamente adottato **50,00 kPa** nel dimensionamento spessore liner

Cameretta interrata

Per la cameretta interrata si considerano gli schemi raffigurati nel seguito.



Schema tipo 1- 4 impronte da 150 kN ciascuna



Schema tipo 3 - 1 impronta da 200 kN ciascuna

La condizione peggiorativa è quella corrispondente alla distribuzione di carico tipo 1.

Per effetto della diffusione dei carichi concentrati Q_{1k} e di quelli uniformemente distribuiti q_{1k} si determina una pressione equivalente pari a:

- $Q_k = q_{1k} + Q_{1k} = 9,00 \text{ kPa} + 84,80 \text{ kPa} = 93,80 \text{ kPa}$ (nella zona di diffusione centrale);
- $Q_k = q_{1k} + Q_{1k} = 9,00 \text{ kPa} + 42,40 \text{ kPa} = 51,40 \text{ kPa}$ (nelle restanti parti).

6. COMBINAZIONI DI CARICO

Le azioni agenti sulla struttura sono combinate in base al D.M. 17.01.2018 "Norme tecniche per le costruzioni". Si riportano di seguito le espressioni generiche della combinazione di carico nel caso di verifiche allo Stato Limite Ultimo e Stato Limite di Esercizio.

In accordo alla normativa, al paragrafo 2.5.1.3, vengono assunte le seguenti definizioni:

- G_1 = peso proprio di tutti gli elementi strutturali
- G_2 = peso proprio di tutti gli elementi non strutturali
- P = pretensione e precompressione
- Q_{k1} = azioni base
- Q_{ki} = azioni variabili tra loro indipendenti
- A = azioni che si verificano solo eccezionalmente (incendi, esplosioni, urti e impatti)
- E = azioni derivate dai terremoti
- ψ = coefficienti di combinazione
- γ = coefficienti parziali di sicurezza

Stato limite ultimo – sisma assente

Si riporta di seguito l'espressione di riferimento per combinazioni di carico allo stato limite ultimo, senza sisma:

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

Stato limite ultimo – sisma presente

Si riporta di seguito l'espressione di riferimento per combinazioni di carico allo stato limite ultimo, con sisma

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

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

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}.$$

Stato limite ultimo – azioni eccezionali (incendio piano interrato)

Si riporta di seguito l'espressione di riferimento per combinazioni di carico allo stato limite ultimo

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

Stato limite di esercizio

Le combinazioni allo stato limite di esercizio si suddividono in:

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

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

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

Valori dei coefficienti dei carichi

Nella successiva sono indicati i coefficienti parziali sulle azioni da utilizzare nella combinazione di carico fondamentale per le verifiche agli stati limite.

Tab. 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti g_1 e g_3	favorevoli sfavorevoli	γ_{G1} e γ_{G3}	0,90 1,10	1,00 1,35	1,00 1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾ g_2	favorevoli sfavorevoli	γ_{G2}	0,00 1,50	0,00 1,50	0,00 1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli sfavorevoli	γ_Q	0,00 1,35	0,00 1,35	0,00 1,15
Azioni variabili	favorevoli sfavorevoli	γ_{Qi}	0,00 1,50	0,00 1,50	0,00 1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90 1,00 ⁽³⁾	1,00 1,00 ⁽⁴⁾	1,00 1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0,00 1,20	0,00 1,20	0,00 1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

⁽²⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

Coefficienti parziali sulle azioni

Tab. 5.1.VI - Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente ψ_0 di combi- nazione	Coefficiente ψ_1 (valori frequent)	Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	--	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

CARICHI: valori dei coefficienti di combinazione

dove per le verifiche per lo stato limite ultimo si distinguono:

- EQU: stato limite di equilibrio come corpo rigido
- STR: stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione
- GEO: stato limite di resistenza del terreno

7. CARATTERIZZAZIONE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

I parametri caratteristici del terreno vengono desunti, in accordo al §6 del D.M. 17.01.2018, con riferimento ad ipotesi comunque cautelative e a valutazioni dello scrivente in merito a terreni analoghi in idonee situazioni. Si assumono i seguenti parametri:

- Peso specifico: 18 kN/m³;
- Comportamento non coesivo – angolo di attrito $\Phi = 30^\circ$.

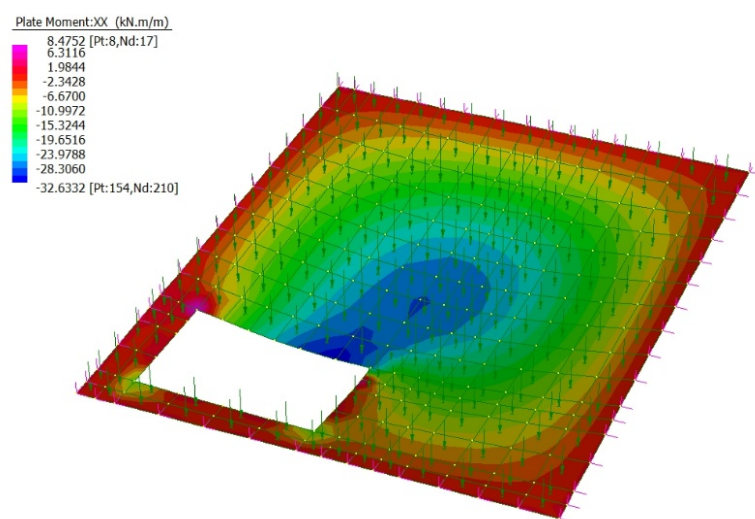
8. ANALISI STRUTTURALI

Soletta in c.a. della cameretta di ispezione

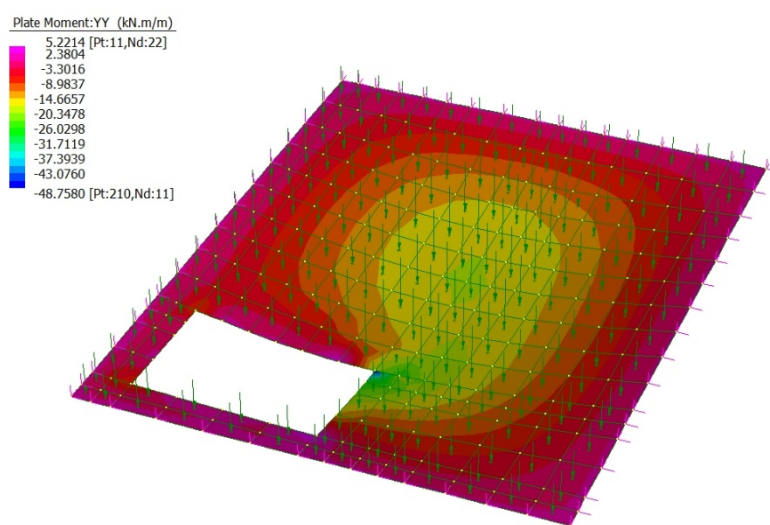
Si considera uno schema statico di piastra su 4 appoggi. Oltre ai carichi variabili da traffico descritti in precedenza si considerano:

- peso proprio soletta: $25 \times 0,35 = 8,75 \text{ kN/m}^2$;
- peso pavimentazione: $20 \times 0,1 = 2,0 \text{ kN/m}^2$;
- peso terreno di ricoprimento: $18 \times 0,60 = 10,80 \text{ kN/m}^2$.

Si esegue una modellazione ad elementi finiti considerando elementi a piastra a 4 nodi.



Combinazione SLU – Mxx [kNm/ml]



Combinazione SLU – Myy [kNm/ml]

Dai diagrammi dei momenti, considerando i valori medi nei punti di gauss e nei centri degli elementi plates si determinano i due momenti dimensionanti: $M_{yy} = 39,85 \text{ kNm/m}$, $M_{xx} = 27,5 \text{ kNm/m}$.

Si considera un'armatura costituita da barre $\Phi 16/15$ inferiori e $\Phi 14/15$ superiori, uguali per entrambe le direzioni. Si riporta nel seguito a titolo esemplificativo la verifica per la sezione più sollecitata.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: SOLETTA CA - MXX SLU

Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C. 2018
Tipologia sezione:	Sezione predefinita
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO	Classe:	C30/37
	Resistenza compress. di calcolo f_{cd} :	170.00 daN/cm ²
	Deform. unitaria max resistenza ϵ_{c2} :	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ϵ_{cu} :	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale E_c :	328360 daN/cm ²
	Resis. media a trazione f_{ctm} :	29.00 daN/cm ²
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	180.00 daN/cm ²
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento f_{yk} :	4500.0 daN/cm ²
	Resist. caratt. a rottura f_{tk} :	4500.0 daN/cm ²
	Resist. a snerv. di calcolo f_{yd} :	3913.0 daN/cm ²
	Resist. ultima di calcolo f_{td} :	3913.0 daN/cm ²
	Deform. ultima di calcolo E_{pu} :	0.068
	Modulo Elastico E_f :	2000000 daN/cm ²
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito

PROGETTO ESECUTIVO

Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50	
Comb.Rare - Sf Limite:	3600.0	daN/cm ²

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	35.0	cm
Barre inferiori:	6Ø16	(12.1 cm ²)
Barre superiori:	6Ø14	(9.2 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	5.0	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	5.0	cm

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

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

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0	3985	0	0

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

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

N°Comb.	N	Mx
1	0	2340

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	4.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	16.4	cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

VerS = combinazione verificata / N = combin. non verificata

N	Sforzo normale [daN] applicato nel Baricentro (positivo se di compressione)
---	---

PROGETTO ESECUTIVO

Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx Ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult) e (N,Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yneutro	Ordinata [cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.
Mx sn.	Momento flettente allo snervamento [daNm]
x/d	Rapp. di duttilità a rottura per sole travi (N = 0)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue
As Tesa	Area armature long. [cm ²] in zona tesa per sole travi

N°CombVer	N	Mx	N Ult	Mx Ult	Mis.Sic.	Yn	M sn	x/dC.Rid.	As Tesa
1 S	0	3985	26	13694	3.436	30.7	12756	0.14 0.70	12.1

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	-0.00882	35.0	-0.00061	30.0	-0.02113	5.0

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm ²])
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm ²])
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm ²]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)

D barre Distanza media in cm tra le barre tese efficaci utilizzata nel calcolo di fessurazione
(se Dbarre > 14Ø viene posto Dbarre=14Ø nel calcolo di fess.

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	18.4	35.0	0.0	26.7	-719	30.0	13.3	1334	12.1	18.0

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata

ScImax Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm²]

ScImin Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm²]

K3 = 0,125 per flessione; = 0,25 (ScImin + ScImax)/(2 ScImin) per trazione eccentrica

Beta12 Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2

Psi = $1 - \text{Beta}12 * (\text{Ssr}/\text{Ss})^2 = 1 - \text{Beta}12 * (\text{fctm}/\text{ScImin})^2 = 1 - \text{Beta}12 * (\text{Mfess}/\text{M})^2$

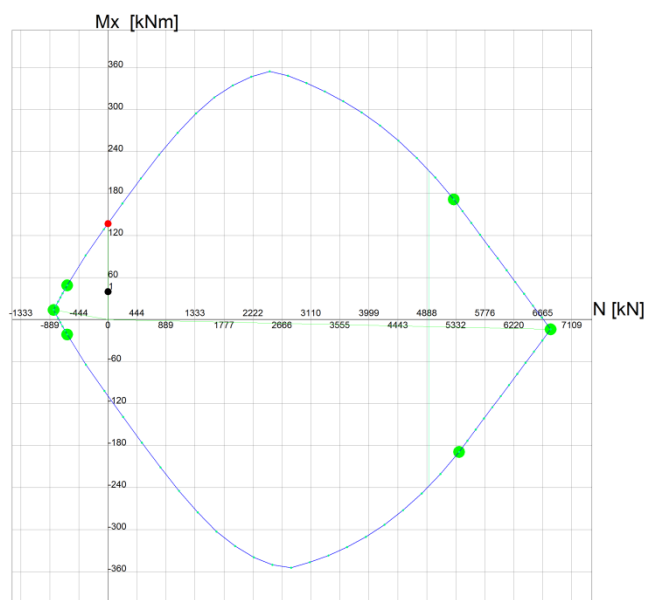
e sm Deformazione unitaria media tra le fessure . Tra parentesi il valore minimo = 0.4 Ss/Es

srm Distanza media in mm tra le fessure

wk Apertura delle fessure in mm = $1,7 * \text{Eps} * \text{Srm}$. Tra parentesi è indicato il valore limite.

M fess. Momento di prima fessurazione [daNm]

N°Comb	Ver	ScImax	ScImin	Sc Eff	K3	Beta12	Psi	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	10.1	-10.0	---	0.125	1.00	0.4000	0.000144 (0.000144)	208	0.051	6801



Digramma M-N

SEZIONE DI APPOGGIO**METODO SLU - VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.3.5.1 NTC)**

Ver	S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vwct	Taglio trazione resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.14)NTC]
d	Altezza utile sezione [cm]
bw	Larghezza minima sezione [cm]
Ro	Rapporto geometrico di armatura longitudinale [<0.02]
Scp	Tensione media di compressione nella sezione [daN/cm ²]

N°Comb	Ver	Vsdu	Vwct	d	bw	Ro	Scp
--------	-----	------	------	---	----	----	-----

1	S1080014998	30.0	100.00.0040	0.0			
---	-------------	------	-------------	-----	--	--	--

Giudizio motivato di accettazione dei risultati

I programmi di calcolo utilizzati sono codici automatici di larghissima diffusione utilizzati da decenni. Si sono utilizzati:

- il codice di calcolo ad elementi finiti Straus7, rel. 2.4.4, distribuito dalla Società HSH s.r.l. di Padova, per la modellazione della soletta;
- il codice di calcolo RC-SEC ID 3-V2016 della GEO STRU s.r.l., per le verifiche sezionali.

Le sollecitazioni sono state verificate con un calcolo eseguito "a mano" con riferimento alla piastra rettangolare su 4 appoggi. Si considera un carico uniforme equivalente, dedotto dall'analisi dei carichi precedentemente riportata, pari a $q_d \approx 150$ kN/m². Considerando il comportamento a piastra della soletta, con il 60% del carico nella direzione XX a maggiore rigidità, si determina un momento flettente: $M_d = 150 \times 0,6 \times 1,8^2 / 8 = 36,5$ kNm/m, valore prossimo a quello massimo deducibile dal programma di calcolo (che tiene conto della concentrazione reale di sforzi in corrispondenza della forometria, qui trascurata in prima battuta).

Relining del tubo esistente

Per il dimensionamento del tubo di relining si fa riferimento alle prescrizioni ed alla metodologia di calcolo della normativa americana F 1216-16. Nel seguito si riporta, in estrema sintesi, la metodologia di calcolo prescritta ed utilizzata nel presente progetto. Per il calcolo si utilizzano le formule analitiche descritte nella normativa riprodotte in un apposito foglio di calcolo.

Si considera la condizione di condotta a gravità (gravity pipe, ovvero condotta non in pressione), affidando la capacità portante al rivestimento composito. Si considerano i carichi permanenti e i sovraccarichi accidentali.

Lo spessore del rivestimento CIPP viene calcolato con la formula (X1.3):

$$q_t = \frac{1}{N} \left[32 R_w B' E'_s C \left(\frac{E_L I}{D^3} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

dove:

- **q_t**: pressione esterna complessiva sul tubo [MPa] $\rightarrow q_t = 0,00981 H_w + \frac{w \cdot H \cdot R_w}{1000} + W_s$
- **R_w**: fattore di galleggiamento dell'acqua (**0,67 min**) $\rightarrow R_w = 1 - 0,33 \cdot \left(\frac{H_w}{H} \right)$
- **w**: densità del terreno [kN/m³];
- **W_s**: sovraccarichi accidentali [MPa];
- **H_w**: altezza del livello di falda sopra l'estradosso della tubazione [m];
- **H**: altezza del ricoprimento di terreno [m];
- **B'**: coefficiente elastico del terreno $\frac{1}{(1+4e^{-0.213H})}$;
- **I**: momento di inerzia del rivestimento CIPP: $\frac{t^3}{12}$ [mm⁴/mm];
- **t**: spessore del rivestimento CIPP [mm];
- **C**: fattore di ovalizzazione;
- **N**: fattore di sicurezza;
- **E'_s**: modulo elastico del terreno [MPa];
- **E_L**: modulo di elasticità a lungo termine del liner impiegato [MPa];
- **D**: diametro interno della tubazione [mm].

Il fattore C tiene conto dell'eventuale schiacciamento del tubo:

$$C = \left[\frac{1 - \frac{\Delta}{100}}{\left(1 + \frac{\Delta}{100} \right)^2} \right]^3$$

Dove Δ rappresenta la percentuale di ovalizzazione del tubo originale:

$$\Delta = 100 \cdot \frac{D_{med} - D_{min}}{D_{med}}$$

Oppure:

$$\Delta = 100 \cdot \frac{D_{max} - D_{med}}{D_{med}}$$

La norma richiede comunque che il valore del rivestimento CIPP non sia inferiore a (**X1.4**):

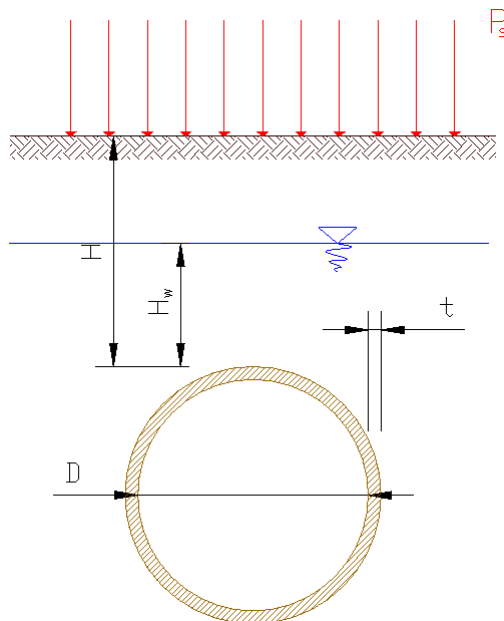
$$\frac{EI}{D^3} = \frac{E}{12(DR)^3} \geq 0,00064$$

Dove:

- **E**: modulo elastico a breve termine del liner impiegato [MPa];
- **DR** = D/t;
- **D**: diametro della condotta [mm];
- **t**: spessore del liner [mm].

Nel seguito si riportano in sintesi i calcoli di dimensionamento eseguiti per un liner avente le seguenti caratteristiche:

- modulo elastico a lungo termine (E_L): 7.500 MPa;
- modulo elastico a breve termine (E): 10.000 MPa;
- spessore rivestimento (t): 10 mm



Al fine di procedere alla verifica si calcola il diametro "equivalente" della tubazione ovoidale oggetto di intervento secondo questa tabella:

PROGETTO ESECUTIVO

TABELLA CALCOLO CONTORNO BAGNATO CONDOTTI OVOIDALI

TUTTE LE MISURE SONO ESPRESSE IN MILLIMETRI					
sezione	forma	rf	moltiplicatore rf	contorno bagnato	diametro equivalente
300X450	ovoidale normale	150	7,930	1189,50	379
400X600	ovoidale normale	200	7,930	1586,00	505
500X750	ovoidale normale	250	7,930	1982,50	631
600x900	ovoidale normale	300	7,930	2379,00	757
700x1050	ovoidale normale	350	7,930	2775,50	883
800X1200	ovoidale normale	400	7,930	3172,00	1010
900x1350	ovoidale normale	450	7,930	3568,50	1136
1000X1500	ovoidale normale	500	7,930	3965,00	1262
1200X1800	ovoidale normale	600	7,930	4758,00	1515
1400X2100	ovoidale normale	700	7,930	5551,00	1767
1600X2400	ovoidale normale	800	7,930	6344,00	2019

L'equazione X1.3 è verificata:

Caratteristiche geometriche e tensionali del terreno			
H	1,8	m	Altezza del suolo sull'estradosso del tubo
H _w	0	m	Livello di falda sull'estradosso del tubo
R _w	1	-	Fattore di galleggiamento
E' _s	15	MPa	Modulo di reazione del suolo
w	18	KN/m ³	densità terreno
Ws	0,05	MPa	Sovraccarichi accidentali
qt	0,082	MPa	Pressione totale su tubazione
Caratteristiche geometriche del tubo			
D	1010	mm	Diametro interno medio del tubo originale
Δ	0	%	Percentuale di ovalizzazione (schiacciamento tubo)
C	1	-	Fattore di riduzione per ovalizzazione
Caratteristiche geometriche e strutturali del rivestimento			
t	10	mm	Spessore rivestimento
I	83,333333	mm ⁴ /mm	Momento d'inerzia rivestimento
B'	0,2683727		Coefficiente di supporto elastico
E _L	7500	MPa	Modulo di elasticità a lungo termine del rivestimento
E	10000	MPa	Modulo di elasticità iniziale del rivestimento
N	3	-	Fattore di sicurezza
P _{MAX}	0,0931808	MPa	Pressione esterna sostenibile
P _{max} > qt		Spessore rivestimento sufficiente	

In quanto la pressione massima sostenibile dalla tubazione (**P_{max}**) è maggiore della pressione a cui sarà sottoposta in esercizio (**q_t**).

Così come l'equazione X1.4:

$$\frac{E}{12(DR)^3} = 0,0008088 > 0,00064$$

Spessore rivestimento sufficiente

Si ricorda che nel caso in cui vengano proposti liner di con caratteristiche prestazionali differenti dovranno essere sottoposti alla D.L. per le opportune verifiche di accettabilità.

9. DICHIARAZIONE DEL PROGETTISTA

Tutte le strutture oggetto della presente relazione tecnica sono state progettate e calcolate a norma del vigente D.M. 17.01.2018, "Norme tecniche per le costruzioni". Per il calcolo del relinig si è fatto riferimento alla normativa americana ASTM F 1216-16 "Standard Practice for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Inversion and Curing of a Resin-Impregnated Tube".

I materiali previsti e le rispettive dosature sono idonei in relazione alle sollecitazioni assunte a base dei calcoli e conformi con le prescrizioni del vigente D.M. 17.01.2018.

I carichi agenti sulle strutture sono conformi al vigente D.M. 17.01.2018 in relazione alla tipologia dell'opera ed alla classe d'uso prevista.