

Committente:



# AUTOCAMIONALE DELLA CISA S.p.A.

Via Camboara 26/A - Frazione Ponte Taro - 43015 NOCETO (PR)

Impresa Esecutrice:



**AUTOSTRADA DELLA CISA A15  
RACCORDO AUTOSTRADALE A15/A22  
CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENO-BRENNERO  
RACCORDO AUTOSTRADALE FRA L' AUTOSTRADA DELLA CISA-FONTEVIVO (PR)  
E L' AUTOSTRADA DEL BRENNERO-NOGAROLE ROCCA (VR). I LOTTO.**

C.U.P. G61B04000060008

C.I.G. 307068161E

## PROGETTO ESECUTIVO

AUTOCAMIONALE DELLA CISA S.p.A.  
Il Direttore TIBRE:

Il Responsabile del Procedimento:

Il Presidente:

IMPRESA PIZZAROTTI & C. S.p.A.  
Il Direttore Tecnico: **IMPRESA PIZZAROTTI & C. S.p.A.**  
*Il Responsabile di Progetto*  
*Dott. Ing. Luca Bondanelli*

Il Geologo:

PROGETTAZIONE DI:



Il Progettista:

**Ing. Fabio Nigrelli**  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Palermo n. 3581

A.T.I.:



Coordinatore per la Sicurezza in fase di Progettazione:

**Ing. Giovanni Maria Cepparotti**  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Viterbo n. 392

Consulenza specialistica a cura di:

Progettista Responsabile: **Ing. PIETRO MAZZOLI**

Impresa Pizzarotti **IMPRESA PIZZAROTTI**  
**SCRITTO ORDINE**  
**INGEGNERI PARMA n. 821**  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Parma n. 821

Titolo Elaborato:  
**ST - Smaltimento e trattamento acque di piattaforma  
01 - Asse ATST da Km -2+350 A Km 0+450,78  
G - Generale  
COLLETTORI DI ATTR.NTO LINEA A.V. (SOTTOVIA SLE 3 - SLE5)  
Relazione tecnica e di calcolo**

Data Emissione Progetto:

18/03/2014

Scala:

-

Identif. Elaborato:

N.RO IDENTIFICATIVO	CODICE COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	AMBITO	CAT OPERA	N OPERA	PARTE OP	TIPO DOC	N Progr. Doc.	REV.
	RAAA	1	E	I	AP	ST	01	G	RE	003	A
A	21/11/2014	RIEMMISSIONE PROGETTO ESECUTIVO	Costantini	Nigrelli	Mazzoli						
Rev.	Data	DESCRIZIONE REVISIONE	Redatto	Controllato	Approvato						



**SOMMARIO**

1	PREMESSA .....	3
2	DIMENSIONAMENTO IDRAULICO DEI COLLETTORI.....	4
2.1	CALCOLO DELLE PORTATE .....	4
2.2	VERIFICA DELLE SEZIONI .....	5
3	DESCRIZIONE DEGLI ATTRAVERSAMENTI.....	6
3.1	SLE3 - Collettore TAP02A tra i nodi 76 e 123 all'interno del sottovia AV .....	6
3.2	SLE5 - Collettore CED1 tra i nodi 129 e 130 all'interno del sottovia AV .....	6
3.3	Conclusioni .....	7
4	VERIFICHE STATICHE.....	8
4.1	Caratteristiche dei materiali .....	8
4.2	Caratteristiche dei materiali .....	9
4.3	Definizione delle azioni – Analisi dei carichi .....	10
4.4	Combinazioni delle azioni .....	11
4.5	Calcolo delle sollecitazioni – Modelli di calcolo .....	12
4.6	Criteri Di Verifica.....	17
4.7	Collettore CED1 – Verifiche Strutturali Rinfilo in C.A. ....	18
4.8	Collettore TAP02A – Verifiche Strutturali Tubazione DN1200 in Acciaio.....	19



## 1 PREMESSA

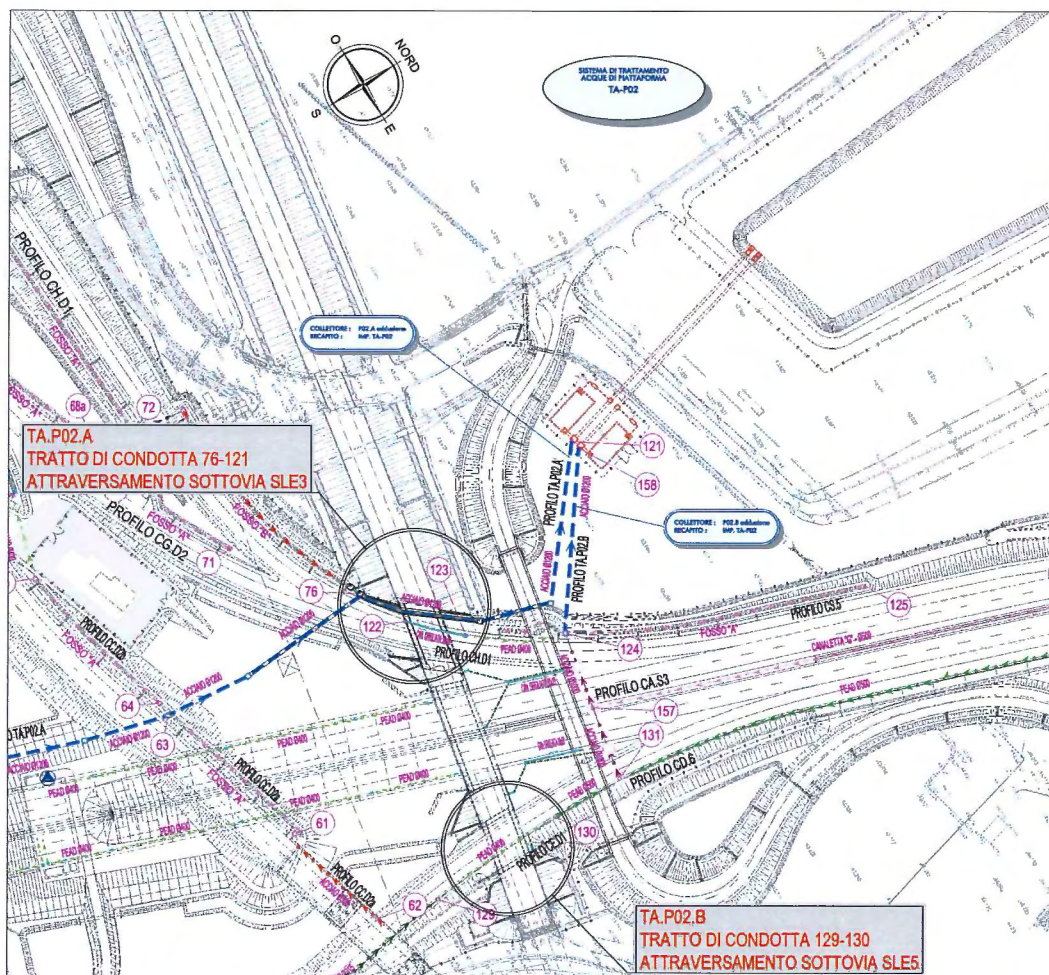
La realizzazione del Raccordo Autostradale Autostrada della Cisa A15 – Autostrada del Brennero A22 da Fontevivo all'Autostazione Trecasali-Terre Verdiane, comporta la realizzazione di una rete di smaltimento delle acque zenitali che nel suo insieme è composta da:

- elementi primari di intercettazione delle acque di piattaforma;
- rete di canali/collettori per lo smaltimento ed il trasferimento delle acque;
- impianti di trattamento;
- bacini di laminazione e di riequilibrio ecologico;
- scarichi nella rete idrica superficiale.

Le scelte effettuate per la definizione del sistema di smaltimento e trattamento delle acque di piattaforma hanno portato alla definizione di un sistema che si configura come una vera e propria fognatura a tenuta idraulica.

La rete di smaltimento che raccoglie le acque di piattaforma e le convoglia alla vasca di laminazione TAP02 interferisce in due diversi punti con la linea ferroviaria AV-Milano Bologna.

Le interferenze sono con il collettore TAP02A (in acciaio DN1200) tra i nodi 76 e 121 all'interno del sottovia AV (SLE3) ed il collettore CED1 (in PEAD-DN400) tra i nodi 129 e 130 all'interno del sottovia AV (SLE5), vedi schema planimetrico seguente:







## 2.2 VERIFICA DELLE SEZIONI

Le caratteristiche idrauliche delle sezioni di progetto sono determinate mediante l'applicazione della formula di Chezy con la notazione di Manning per la scabrezza n:

$$Q = A \frac{1}{n} R^{2/3} i^{1/2} \quad (1)$$

con:

Q = portata di progetto [m<sup>3</sup>/s];

A = sezione idraulica bagnata [m<sup>2</sup>];

n = coefficiente di Manning ;

R = raggio idraulico [m];

i = pendenza di fondo [m/m]

La scabrezza K di Gauckler-Strickler, pari al reciproco del coefficiente n di Manning K=1/n è stata assunta pari a:

K<sub>Sacciaio</sub>=80 m<sup>1/3</sup>/s per tubazioni in acciaio (n=0,0125),

K<sub>SPeAD</sub>=80 m<sup>1/3</sup>/s per tubazioni in PEAD (n=0,0125),

Generalmente viene adottato un franco di sicurezza minimo di 0.50φ per le tubazioni di diametro < 400 mm, 0.80φ per le tubazioni di diametro ≥ 400 mm.

Si riportano di seguito i tabulati di calcolo con tutte le verifiche svolte. I tratti interessati dai due attraversamenti della linea AV sono evidenziati con una riquadratura in grassetto:

### INTERCONNESSIONE IMPIANTO TAP02

Legge di pioggia	Tr	50	anni
	a	57,9	mm
	n	0,311	

Coeff. di afflusso	Φ <sub>strada</sub>	0,9
	Φ <sub>scarpata</sub>	0,4

Riempimenti ammessi	canali	0,8 h
	tubi<400	0,5 Ø
	tubi>=400	0,8 Ø

	Tronco	nodo		L tronco (m)	Pendenza media (%)	A <sub>strada</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>scarpata</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>totale</sub> (m <sup>2</sup> )	tc (minuti)	Q <sub>50</sub> (l/s)	u (l/sxha)	Dimensioni opera	Ks (Strickler)	i (%)	hu (m)	riemp (%)	v (m/s)
		monte	valle														
<b>SLE3</b>	<b>collettore-TAP02A</b>	76	121	176,0	0,15	45,164	8,659	53,823	29	1,229	228	acciaio-1200	80	0,15	0,80	67	1,54
<b>SLE5</b>	<b>CED1</b>	129	130	53,2	1,82	1,800	0	1,800	12	79	438	pead-400	80	1,30	0,17	49	1,76

Per entrambi i collettori quindi il funzionamento idraulico avviene a superficie libera con un grado di riempimento del tubo pari a:

- TAP02A tubazione DN1200 riempimento massimo 67% in SLE3
- CED1 tubazione DN400 riempimento massimo 49% in SLE5



### 3 DESCRIZIONE DEGLI ATTRAVERSAMENTI

#### 3.1 SLE3 - COLLETTORE TAP02A TRA I NODI 76 E 123 ALL'INTERNO DEL SOTTOVIA AV

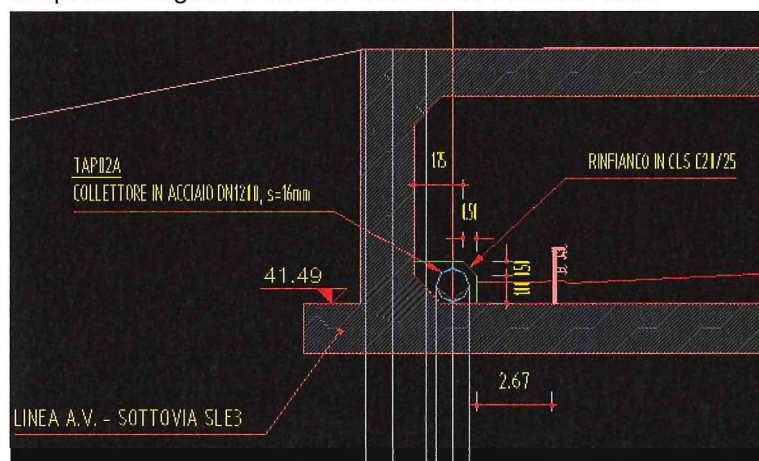
Il collettore è posizionato a margine della carreggiata tra il guard-rail ed il piedritto del sottopasso AV.

E' prevista una tubazione in acciaio DN1200 spessore 16mm conforme alle norme UNI EN 10224 (acciaio tipo L355) con giunzioni saldate, rivestimento protettivo esterno bituminoso ed interno epossidico.

La tubazione è prevista rinfiata con un getto in cls armato classe C20/25.

Le modalità di posa prevedono nell'ordine: 1) svuotamento e pulizia del sottopasso esistente 2) posa della condotta in acciaio DN1200 3) esecuzione del rinfianco in cls 4) posa del rilevato e delle pavimentazioni stradali

Si riporta di seguito la sezione trasversale dell'intervento:



#### 3.2 SLE5 - COLLETTORE CED1 TRA I NODI 129 E 130 ALL'INTERNO DEL SOTTOVIA AV

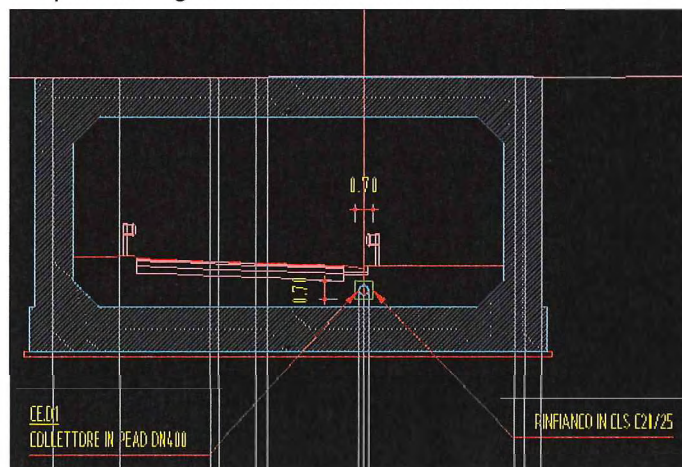
Il collettore è posizionato a margine della carreggiata sotto la cunetta alla francese di raccolta dell'acqua di piattaforma

E' prevista una tubazione in PEAD DN400 secondo le prescrizioni EN - 13476 - 1 e UNI 10968/1.

La tubazione è prevista rinfiata con un getto in cls armato classe C20/25.

Le modalità di posa prevedono nell'ordine: 1) svuotamento e pulizia del sottopasso esistente 2) posa del rilevato stradale 3) scavo e posa della tubazione in PEAD-DN400 con relativo rinfianco 4) esecuzione delle pavimentazioni.

Si riporta di seguito la sezione trasversale dell'intervento:





### 3.3 CONCLUSIONI

Per la progettazione degli attraversamenti si è fatto riferimento a quanto previsto nell'allegato A del D.M. 04/04/2014 n° 137 ed in particolare di quanto esposto al punto 5, di seguito riportato:

5 - Norme tecniche per gli attraversamenti di ferrovie con condotte o canali convoglianti acque a pelo libero.

5.1 - Gli attraversamenti con canali o con grandi collettori per fognature devono essere realizzati mediante manufatti le cui caratteristiche sono da definirsi di volta in volta.

5.2 - Per le fognature possono ammettersi attraversamenti interrati realizzati con tubazioni di materiale che non venga attaccato dai liquidi di scarico e che siano auto resistenti.

Le condotte non autoresistenti dovranno essere munite di un tubo di protezione le cui estremità dovranno terminare in pozzetti praticabili realizzati secondo lo schema della Figura n. 2.

I materiali impiegati: (acciaio – polietilene) sono stabili nei confronti dei liquidi trasportati (acque di pioggia), inoltre in entrambi gli attraversamenti le tubazioni vengono rinfiancate con un getto di cls e si sviluppano all'interno dei sottopassi esistenti (SLE3 - SLE5).



## 4 VERIFICHE STATICHE

Nel presente capitolo sono riportate le analisi e le verifiche statiche del collettore TAP02A e del collettore CED1. In particolare si verificano le seguenti strutture:

- Collettore TAP02A  $\Rightarrow$  tubazione in acciaio *DN1200 spessore 16 mm*. Il rinfiacco è previsto con un getto in calcestruzzo armato classe C20/25; il riempimento viene considerato collaborante con la tubazione in termini di rigidità (si ipotizza un calcestruzzo fessurato ovvero dotato di un "basso" modulo di reazione).
- Collettore CED1  $\Rightarrow$  tubazione in PEAD-DN400-rinfiacco in cls armato classe C20/25.

### 4.1 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

#### Collettore Tap02a - Acciaio Tubazione In Acciaio

Per la tubazione in acciaio è previsto l'impiego di acciaio tipo **L355**, con le seguenti caratteristiche:

Modulo elastico	$E_s$	=	210000	MPa	
Tensione caratteristica di rottura ( <i>frattile 5%</i> )	$f_{tk}$	=	500.0	MPa	
Tensione caratteristica di snervamento ( <i>frattile 5%</i> )	$f_{yk}$	=	355.0	MPa	
<b>Stato Limite Ultimo</b>					
Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_s$	=	1.05	-	
Tensione di snervamento di calcolo	$f_{yd}$	= $f_{yk}/\gamma_s$	$\cong$	338.1	MPa

#### Collettore Tap02a - Rinfiacco In Calcestruzzo Armato

<b>Resistenza cubica caratteristica a compressione</b>	$R_{ck}$	=	25	MPa	
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck}$	= $0.83 \times R_{ck}$	=	20.75	MPa
Resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm}$	= $f_{ck} + 8$	=	28.75	MPa
Modulo elastico	$E_c$	= $22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3}$	$\cong$	30200	MPa
Resistenza a trazione semplice	$f_{ctm}$	= $0.30 \times f_{ck}^{2/3}$	$\cong$	2.27	MPa
Resistenza a trazione caratteristica ( <i>frattile 5%</i> )	$f_{ctk}$	= $0.70 \times f_{ctm}$	$\cong$	1.59	MPa

#### - Stato Limite Ultimo

Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_C$	=	1.50	-	
Coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata	$\alpha_{cc}$	=	0.85	-	
Resistenza a compressione di calcolo	$f_{cd}$	= $\alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_C$	$\cong$	11.76	MPa
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd}$	= $f_{ctk} / \gamma_C$	=	1.19	MPa

#### - Stato Limite di Esercizio

Tensione max di compressione - Comb. rara	$\sigma_c$	< $0.60 \times f_{ck}$	=	12.45	MPa
---	------------	------------------------	---	-------	-----

## 4.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Il calcolo delle sollecitazioni è condotto in campo elastico lineare, utilizzando la teoria della Scienza e Tecnica delle Costruzioni. Le verifiche sono eseguite con il metodo agli Stati Limite; si riportano pertanto in particolare:

- Stato Limite di Esercizio  $\Rightarrow$  Verifiche dello stato tensionale per le sollecitazioni di flessione semplice e/o presso-tenso flessione e verifiche a fessurazione.
- Stato Limite Ultimo  $\Rightarrow$  Verifica a rottura per le sollecitazioni di flessione semplice e/o presso-tenso flessione e taglio.

### **Legame Costitutivo Del Conglomerato Cementizio**

Si adotta il diagramma parabola rettangolo definito da un arco di parabola con la seguente equazione:

$$\sigma_c = f_{cd} \cdot \left[ 2 \cdot \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right) - \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^2 \right]; \quad \text{per: } \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2}$$

$$\sigma_c = 0.85 \cdot f_{cd}; \quad \text{per: } \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2}$$

in cui  $\varepsilon_{c2}$  e  $\varepsilon_{cu2}$  assumono i seguenti valori:

deformazione al valore massimo della tensione

$$\varepsilon_{c2} = 2.0\text{‰} ;$$

deformazione unitaria a rottura

$$\varepsilon_{cu2} = 3.5\text{‰} .$$

### **Legame Costitutivo Acciaio per C.A.**

Si adotta il diagramma elastico perfettamente plastico considerando un limite della deformazione unitaria ultima di progetto "eud" pari a

$$\varepsilon_{ud} = 0.9 \times \varepsilon_{uk} = (A_{gt})_k = 6.75\%$$

e considerando il valore di calcolo della tensione di snervamento  $f_{yd}$ .

### 4.3 DEFINIZIONE DELLE AZIONI – ANALISI DEI CARICHI

Nel presente paragrafo si definiscono le azioni considerate ai fini delle verifiche, secondo le indicazioni fornite dalla normativa vigente. Non si considera l'azione della spinta del rinfianco sulle tubazioni in quanto temporanea e tale da potere essere trascurata. Si evidenzia inoltre che in relazione alla tipologia di opera non si considera l'azione sismica tra le azioni di progetto in quanto non dimensionante per le strutture in esame.

#### Carichi Permanenti - Peso Proprio Elementi Strutturali (G1)

I carichi del peso delle singole componenti strutturali sono valutati assumendo i seguenti pesi per unità di volume

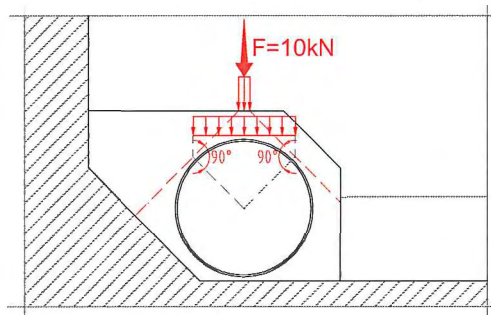
- Calcestruzzo Armato  $\Rightarrow 25 \text{ KN/m}^3$
- Acciaio  $\Rightarrow 78.5 \text{ KN/m}^3$ .

#### Sovraccarichi Permanenti (G2)

Si considera per il solo collettore CED1 un carico permanente portato, rappresentate la pavimentazione sovrastante il rinfianco, pari a: Peso Pavimentazione  $p_{pav} = H_{pav} \times B_{rnf} \times \gamma_{pav} \cong 0.5\text{m} \times 0.7\text{m} \times 22\text{kN/m}^3 \cong 7.7 \text{ kN/m}$ .

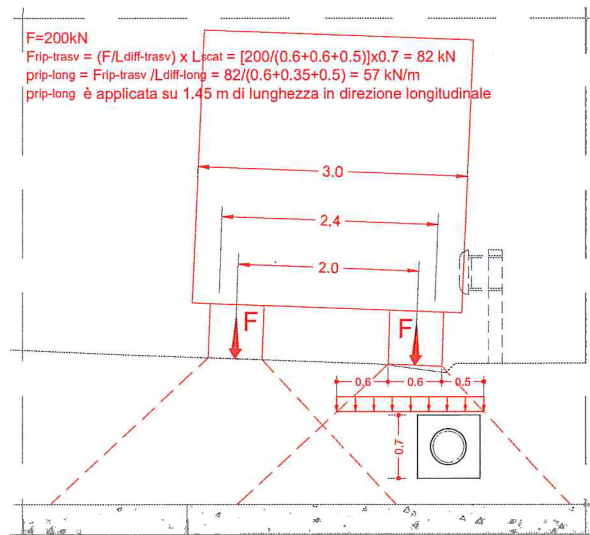
#### Carichi Accidentali (Qk)

Per il collettore TAP02A si considera come azione variabile da traffico lo *schema di carico 4* così come previsto nel D.M. 2008 ovvero un carico isolato da 10 kN con impronta quadrata di lato 0.1 m. Tale carico è applicato ad estradosso rinfianco e ripartito a 45° all'interno del rinfianco così come riportato nello schema sottostante.



*Azioni da traffico – Schema di carico 4 – Diffusione carico su tubazione*

Per il collettore CED1 si considera come azione variabile da traffico lo *schema di carico 2* ovvero un carico isolato da 200 kN con impronta rettangolare di larghezza 0.6 m ed altezza 0.35 m.



*Azioni da traffico – Schema di carico 2 – Diffusione carico su rinfianco strutturale*





#### 4.4 COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Si riportano di seguito le combinazioni di carico utilizzate nei calcoli. Ai fini delle verifiche agli stati limite, in accordo con il *DM2008*, si definiscono le seguenti combinazioni di:

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

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{G3} G_3 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \Psi_{02} \cdot \gamma_{Q2} \cdot Q_{k2} + \Psi_{03} \cdot \gamma_{Q3} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- *Combinazione RARA, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:*

$$G_1 + G_2 + G_3 + P + Q_{k1} + \Psi_{02} \cdot Q_{k2} + \Psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

con

$$\gamma_{G1} = \gamma_{G2} = \gamma_{Q1} = 1.35.$$

Nelle combinazioni per le verifiche allo stato limite di esercizio (*SLE*), ovvero quelle rare si intende che vengono omessi i carichi  $Q_{kj}$  che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi  $G_2$ . Le verifiche agli stati limite ultimi sono eseguite per le parti in c.a. ed in acciaio facendo riferimento allo *stato limite ultimo di tipo strutturale STR* ovvero per il raggiungimento della resistenza ultima negli elementi strutturali valutata considerando l'*Approccio 1 – Combinazione 1* secondo la seguente combinazione:

$$- A_1 + M_1 + R_1 .$$

#### 4.5 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI – MODELLI DI CALCOLO

Le sollecitazioni indotte, nella tubazione metallica DN1200 del collettore TAP02A e sul rinfianco della tubazione DN400 del collettore CED1, dal comportamento longitudinale sono valutate con riferimento a schemi statici piani di travi su suolo elastico ovvero di trave su un letto di molle (molle rappresentanti il rinfianco per la tubazione metallica ed il riempimento in misto cementato per la struttura di rinfianco). Le analisi sono condotte utilizzando modelli piani delle strutture che impiegano elementi tipo "trave"; l'interazione della tubazione DN1200 in acciaio con il rinfianco in calcestruzzo per il collettore TAP02A e l'interazione del rivestimento in calcestruzzo armato della tubazione DN400 del collettore CED1 è modellata, in entrambe i casi, considerando un "suolo elastico alla Winkler" e quindi con una serie di molle verticali indipendenti.

Per la sola tubazione metallica DN1200 si implementa inoltre un modello di calcolo per valutare le sollecitazioni indotte dal comportamento trasversale; il particolare si considera cautelativamente un modello piano di una sezione anulare simulando l'interazione con il rinfianco con una serie di molle radiali. Anche in questo caso le analisi sono condotte utilizzando elementi tipo "trave".

##### Modello Di Calcolo Longitudinale - Input

Per determinare le sollecitazioni negli elementi strutturali si implementano due opportuni modelli di calcolo bidimensionali agli elementi finiti tramite l'ausilio di un apposito programma di calcolo. Per modellare la tubazione ed il rinfianco si impiegano elementi lineari monodimensionali tipo "beam" a due nodi; nella valutazione delle rigidità è considerato l'effetto deformativo del taglio. La geometria dei modelli è tale da riprodurre l'effettiva geometria della struttura in tutte le sue parti. La rigidità degli elementi strutturali è valutata facendo riferimento alla sezione interamente reagente. Il materiale acciaio ed il materiale c.a. sono schematizzati come materiali dal comportamento elastico lineare; le caratteristiche adottate pertanto:

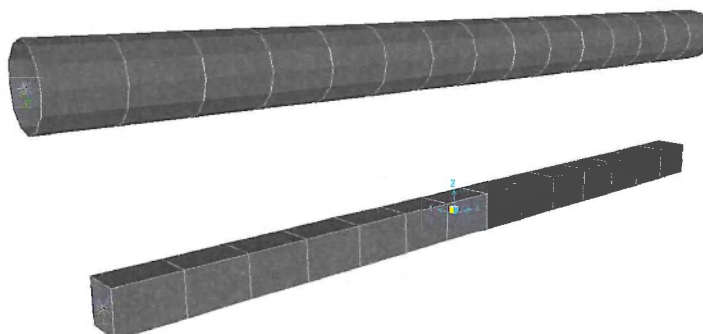
<i>Tubazione in acciaio</i>	$\Rightarrow E_s \cong 2.1 \times 10^8 \text{ kPa}$	$\nu = 0.3.$
<i>Rinfianco in c.a. - <math>R_{ck} = 25 \text{ MPa}</math></i>	$\Rightarrow E_{cm} \cong 3.02 \times 10^7 \text{ kPa}$	$\nu = 0.2.$

I vincoli verticali adottati tengono conto dell'interazione della struttura con il rinfianco in calcestruzzo per il collettore TAP02A e della struttura con il riempimento in magrone per il rivestimento in c.a. del collettore CED1; in particolare si considera un suolo elastico alla *Winkler* con molle dotate di una costante di sottofondo del valore, assolutamente cautelativo, di 10000 kN/m<sup>3</sup> (1.0 kg/cm<sup>3</sup>); si è impedito poi lo spostamento orizzontale e fuori dal piano. I carichi considerati nei modelli di calcolo sono quelli precedentemente descritti. Le combinazioni implementate sono in linea con quanto riportato ai paragrafi precedenti. Si riportano di seguito alcune figure del modello di calcolo.



**Modelli di calcolo – Geometria e mesh degli elementi**

(collettore TAP02A modello superiore tubazione DN1200 – collettore CED1 modello inferiore rinfianco)



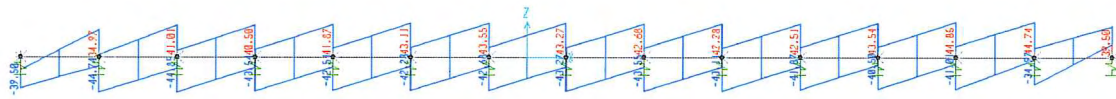
**Modello di calcolo – Estrusione degli elementi**

(collettore TAP02A modello superiore tubazione DN1200 – collettore CED1 modello inferiore rinfianco)



**Modello Di Calcolo Longitudinale - Output**

Si riportano di seguito i diagrammi delle principali caratteristiche di sollecitazione (sforzo assiale, taglio nel piano e momento flettente) per la combinazione SLU.



**Combinazione SLU – Taglio**

(collettore TAP02A modello superiore tubazione DN1200 – collettore CED1 modello inferiore rinfiango)



**Combinazione SLU – Momento flettente**

(collettore TAP02A modello superiore tubazione DN1200 – collettore CED1 modello inferiore rinfiango)



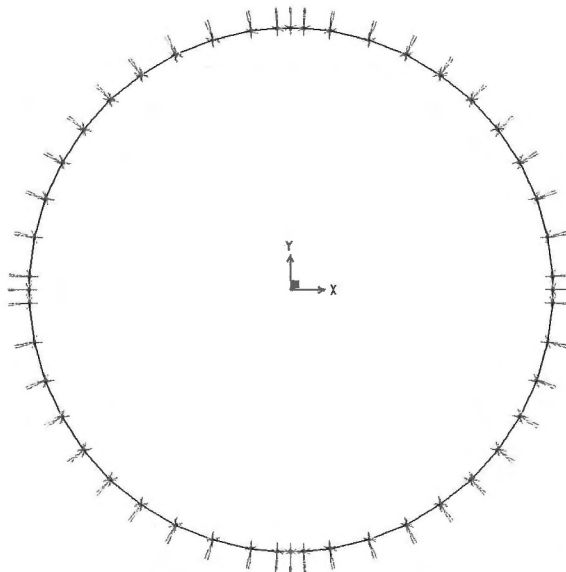


### Modello Di Calcolo Trasversale - Input

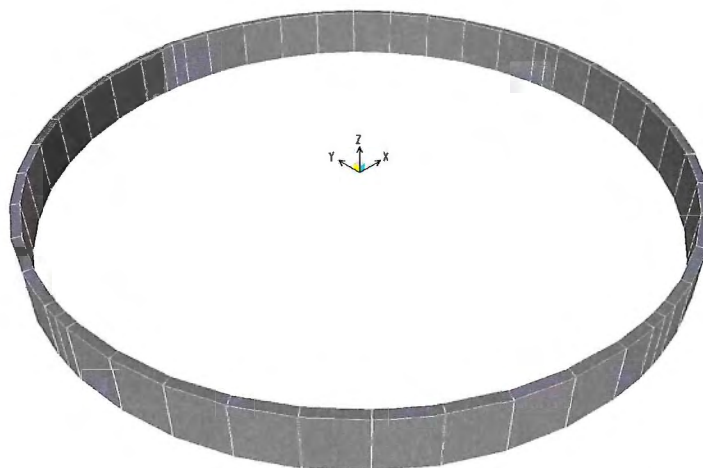
Per determinare le sollecitazioni nell'anello della tubazione si implementa un modello di calcolo bidimensionale agli elementi finiti tramite l'ausilio di un apposito programma di calcolo. Per modellare la tubazione si impiegano elementi lineari monodimensionali tipo "beam" a due nodi. La geometria dei modelli è tale da riprodurre l'effettiva geometria della struttura in tutte le sue parti; in particolare si considera cautelativamente una striscia di profondità pari a 10 cm (dimensione pari all'impronta dello schema di carico 4). La rigidezza degli elementi strutturali è valutata facendo riferimento alla sezione interamente reagente. Il materiale acciaio è schematizzato come elastico lineare con le seguenti caratteristiche:

$$E_s \cong 2.1 \times 10^8 \text{ kPa} \quad \nu = 0.3.$$

I vincoli radiali tengono conto dell'interazione dell'anello con il rinfiacco in calcestruzzo; in particolare si considera un suolo elastico alla *Winkler* CON molle dotate di una costante di sottofondo pari a 10000 kN/m<sup>3</sup> (1.0kg/cm<sup>3</sup> – valore assolutamente cautelativo); si è impedito poi lo spostamento fuori dal piano. L'unico carico considerato è quello accidentale (carico mobile). La combinazione implementata è solo quella allo **SLU**. Si riportano di seguito alcune figure del modello di calcolo.



*Modelli di calcolo – Geometria e mesh degli elementi*

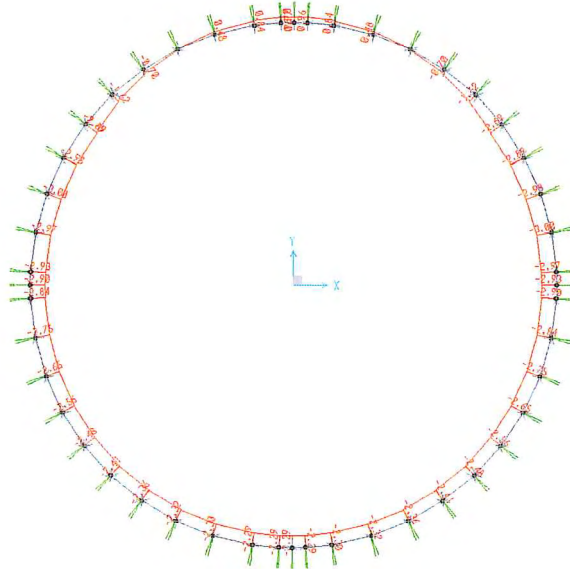


*Modello di calcolo – Estrusione degli elementi*

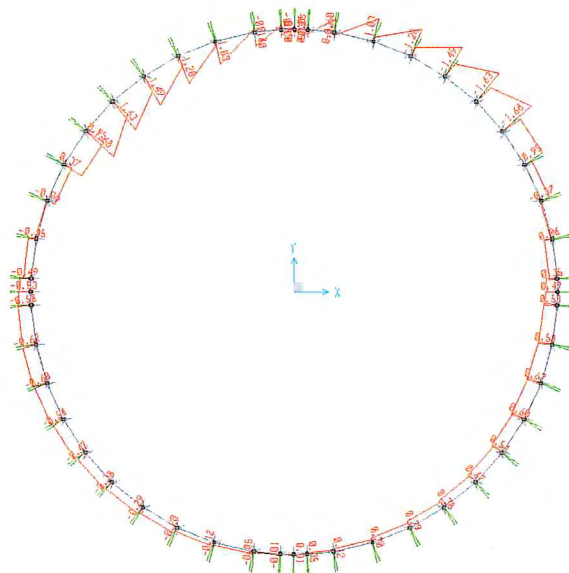


**Modello Di Calcolo Trasversale - Output**

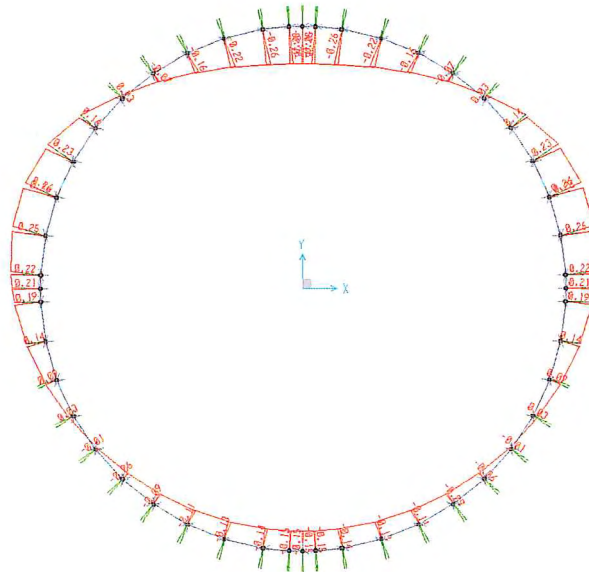
Si riportano di seguito i diagrammi delle principali caratteristiche di sollecitazione (sforzo assiale, taglio nel piano e momento flettente) per la combinazione *SLU*.



**Combinazione SLU – Sforzo Assiale**



**Combinazione SLU – Taglio**



**Combinazione SLU – Momento flettente**



## 4.6 Criteri Di Verifica

Si riportano di seguito, per le sezioni maggiormente significative, le verifiche di resistenza allo **Stato Limite Ultimo** e per la sola struttura di rinfiacco in c.a. del collettore CED1 anche le verifiche dello stato tensionale allo **Stato Limite di Esercizio**.

Per la sezione in acciaio le verifiche di resistenza allo **SLU** a presso-flessione e taglio sono effettuate determinando lo stato tensionale totale, somma dello stato tensionale longitudinale e trasversale, sotto le sollecitazioni esterne e controllando che sia verificato il seguente criterio di resistenza:

$$- [\sigma_{X,Sd}^2 + \sigma_{Z,Sd}^2 - \sigma_{X,Sd} \times \sigma_{Z,Sd} + 3 \times (\tau_{X,Sd}^2 + \tau_{Z,Sd}^2)]^{1/2} \leq f_{yd};$$

con

$$\sigma_{X,Sd} = M_{Sd-long} / W_{el-long};$$

$$\sigma_{Z,Sd} = N_{Sd-trasv} / A_{trasv} + M_{Sd-trasv} / W_{el-trasv};$$

$$\tau_{X,Sd} = V_{Sd-long} / A_{w-long};$$

$$\tau_{Z,Sd} = V_{Sd-trasv} / A_{w-trasv};$$

$$f_{yd} = f_{sd} / \gamma_s \cong 338 \text{ MPa.}$$

Per la sezione in c.a. le verifiche di resistenza allo **SLU** a flessione semplice sono effettuate determinando il valore del minimo momento resistente  $M_{Rd}$  e controllando che sia maggiore del massimo momento sollecitante  $M_{Ed}$ :

$$M_{Rd} \geq M_{Ed};$$

ovvero che il coefficiente di sicurezza definito come:

$$FS = M_{Rd} / M_{Ed};$$

sia sempre maggiore o uguale all'unità.

Le verifiche di resistenza allo **SLU** della sollecitazione di taglio verticale sono effettuate determinando il valore del minimo taglio resistente  $V_{Rd}$ , tra quello delle bielle di acciaio ottenuto cautelativamente con  $ctg\theta=1$  e delle bielle di calcestruzzo ottenuto cautelativamente con  $ctg\theta=2.5$ , e controllando che sia maggiore del massimo taglio sollecitante  $V_{Ed}$ :

$$V_{Rd} \geq V_{Ed};$$

ovvero che il coefficiente di sicurezza definito come:

$$FS = V_{Rd} / V_{Ed};$$

sia sempre maggiore o uguale all'unità.

Le verifiche dello stato tensionale allo **SLE** consistono nel controllo dello stato tensionale limite. I calcoli sono eseguiti assumendo per le barre di armatura un coefficiente di omogeneizzazione  $n=15$ . Si segnala che per la verifica dello stato tensionale si effettua un calcolo nell'ipotesi di sezione con calcestruzzo non reagente a trazione.

#### 4.7 Collettore CED1 – Verifiche Strutturali Rinfiacco in C.A.

Tale elemento è caratterizzato da una sezione rettangolare forata di dimensioni esterne  $B \times H = 75 \text{ cm} \times 75 \text{ cm}$  e foro interno di diametro  $\Phi = 40 \text{ cm}$ . L'armatura corrente è composta da:

- Armatura superiore ( $5\phi 16$ )  $\Rightarrow A_s = 10.05 \text{ cm}^2$ ;
- Armatura lato dx ( $3\phi 16$ )  $\Rightarrow A_{l-dx} = 6.03 \text{ cm}^2$ ;
- Armatura lato sx ( $3\phi 16$ )  $\Rightarrow A_{l-sx} = 6.03 \text{ cm}^2$ ;
- Armatura inferiore ( $5\phi 16$ )  $\Rightarrow A'_s = 10.05 \text{ cm}^2$ .

Le verifiche sono effettuate per le sezioni maggiormente sollecitate.

##### Verifica a rottura a flessione semplice SLU

Il massimo momento flettente risulta pari a:

$M_{Sd} \cong 81 \text{ kN} \times \text{m}$  – momento flettente di verifica.

Nel caso in esame il momento resistente minimo (verifica a flessione semplice) è stimato in prima approssimazione, ed in assoluto favore di sicurezza, pari a:

$M_{Rd} \cong 0.9 \times d \times A_s \times f_{yd} = 0.9 \times 64 \times (5 \times 2.01) \times 3913 \cong 230 \text{ kN} \times \text{m} > M_{Sd} \Rightarrow$  Verifica soddisfatta.

##### Verifica a rottura a taglio SLU

La sollecitazione di taglio massima risulta pari a:

$V_{Sd} \cong 45 \text{ kN}$  – massimo sforzo di taglio.

Il taglio resistente è calcolato in accordo al *DM2008* ovvero secondo la seguente espressione:

$V_{Rd} \cong [0.18 \times k \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{0.3} / \gamma_c] \times b_w \times d \cong 144 \text{ kN} > V_{Sd}$ ;

con

$b_w = 750 \text{ mm}$ ;

$d \cong 640 \text{ mm}$ ;

$k = 1 + (200/d)^{1/2} \cong 1.56$ ;

$\rho_l \cong 0.0023$ ;

$f_{ck} = 20.75 \text{ MPa}$ ;

$\gamma_c = 1.5$ .

##### Verifica dello stato tensionale SLE

Il massimo momento flettente risulta pari a:

$M_{Sd} \cong 60 \text{ kN} \times \text{m}$  – momento flettente di verifica.

Nel caso in esame il controllo dello stato tensionale restituisce:

$\sigma_{c-comp} \cong 2.2 \text{ MPa} (< 0.6 \times f_{ck})$  – massima tensione di compressione nel calcestruzzo;

$\sigma_{s-traz} \cong 134 \text{ MPa} (< 0.8 \times f_{yk})$  – massima tensione di trazione nelle barre di acciaio.

Le verifiche dello stato tensionale sono pertanto soddisfatte. Si segnala che la massima tensione di trazione nel calcestruzzo, determinata nell'ipotesi di sezione interamente reagente (calcestruzzo resistente a trazione) con la sollecitazione flettente da combinazione rara, è pari a:

$\sigma_{c-traz} \cong 1.0 \text{ MPa} (< f_{ctm}/1.2)$  – massima tensione di trazione nel calcestruzzo.

La verifica a fessurazione è pertanto soddisfatta nei riguardi della formazione delle fessure.



#### 4.8 Collettore TAP02A – Verifiche Strutturali Tubazione DN1200 in Acciaio

Tale elemento è caratterizzato da un diametro esterno  $\Phi=1200$  mm e spessore pari a 16 mm. Le verifiche sono effettuate per le sezioni maggiormente sollecitate.

##### Verifica a rottura

Il massimo momento flettente dedotto dal modello longitudinale risulta pari a:

$$M_{Sd-long} \cong 18 \text{ kN}\times\text{m}.$$

La massima tensione normale longitudinale è pari a:

$$\sigma_{X,Sd} = M_{Sd-long} / W_{el} \cong 1.0 \text{ MPa};$$

con

$$W_{el} = 17400 \text{ cm}^3.$$

Il massimo taglio longitudinale risulta pari a:

$$V_{Sd-long} \cong 9 \text{ kN}.$$

La massima tensione tangenziale longitudinale è pari a:

$$\tau_{X,Sd} = V_{Sd-long} / A_w \cong 0.3 \text{ MPa};$$

con

$$A_w = A/2 \cong 297 \text{ cm}^2.$$

La combinazione più gravosa dedotta dal modello trasversale risulta pari a:

$$N_{Sd-trasv} \cong 3.0 \text{ kN};$$

$$M_{Sd-trasv} \cong 0.28 \text{ kN}\times\text{m};$$

$$V_{Sd-trasv} \cong 1.7 \text{ kN}.$$

La massima tensione normale trasversale e la massima tensione tangenziale trasversale sono pari a:

$$\sigma_{z,Sd} = N_{Sd-trasv} / A + M_{Sd-trasv} / W_{el} \cong 1.9 + 65.6 \cong 67.5 \text{ MPa};$$

$$\tau_{X,Sd} = V_{Sd-trasv} / A_w \cong 1.6 \text{ MPa};$$

con

$$A = 10 \times 1.6 = 16 \text{ cm}^2;$$

$$W_{el} = 10 \times 1.6^2 / 6 \cong 4.27 \text{ cm}^3;$$

$$A_w = 2/3 \times A \cong 10.67 \text{ cm}^2.$$

La massima tensione ideale indotta dallo stato pluriassiale è pari a:

$$[\sigma_{X,Sd}^2 + \sigma_{z,Sd}^2 - \sigma_{X,Sd} \times \sigma_{z,Sd} + 3 \times (\tau_{X,Sd}^2 + \tau_{z,Sd}^2)]^{1/2} \cong 67.1 \text{ MPa} \leq f_{yd} \Rightarrow \text{Verifica soddisfatta.}$$