

# PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

Provincia di Sondrio

## COMMITTENTE:

**CONSORZIO DELLA MEDIA VALTELLINA  
PER IL TRASPORTO DEL GAS**  
Via Nazario Sauro,33 – 23100 Sondrio (SO)

## OGGETTO:

**RETE DI TRASPORTO DEL GAS-METANO DI III<sup>A</sup> SPECIE  
TRA CHIURO E TEGLIO (F.ne Tresenda)  
1° LOTTO METANODOTTO DN 350  
CHIURO-TIRANO**

# 1.2

## RELAZIONE DI CALCOLO



**TECNICO PROGETTISTA: DOTT. ING. MARCO RIVA**

Sede: Via Tartano, 48 - 23018 TALAMONA (SO) tel./fax 0342-67.30.13

Unità Operativa: Via Vanoni, 98 - 23100 SONDRIO (SO) tel./fax. 0342-01.48.90

P.IVA 00840850143 C.F. RVI MRC 69A28 F7120 e-mail: info@ingmarcoriva.com

**Studio**  
Tecnico  
Dott. Ing. Marco Riva

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DELLA TUBAZIONE IN ACCIAIO</b>	<b>4</b>
2.1	Definizione del diametro della condotta	4
2.2	Materiale e caratteristiche della condotta	4
2.3	Calcolo dello spessore dei tubi	7
2.4	Calcolo di stabilità della condotta in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario	8
<b>3</b>	<b>CALCOLO DELLE STRUTTURE IN C.A. (PIL, PID)</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>VERIFICA DELLE OPERE DI DIFESA IDRAULICA IN MASSI</b>	<b>17</b>

## 1 PREMESSA

Su incarico del Consorzio della Media Valtellina per il Trasporto del Gas è stata affidata allo scrivente la redazione del progetto definitivo - esecutivo del gasdotto di 3<sup>a</sup> specie collegante Chiuro con Teglio (F.ne Tresenda).

Tale opera viene descritta nella Relazione tecnica e nei vari disegni di progetto ad essa allegati.

Essa comprende la posa di una condotta in acciaio di diametro 14" (350 mm) per una lunghezza di 8,327 m attraversante i territori dei comuni di Teglio e Castello dell'Acqua.

La condotta, usualmente posata ad una profondità tale da garantire 90 cm di copertura, attraversa una volta il F. Adda in sub-alveo in cui viene adeguatamente approfondita e protetta dagli effetti erosivi della corrente tramite opere di difesa idraulica.

Ogni 2 km massimo di tracciato, sono previste strutture di intercettazione di linea (PIL), con la possibilità di prelievo per la distribuzione del gas (PID). Tali strutture sono usualmente fuori terra; quando impossibile per particolari condizioni locali esse verranno interrate ed alloggiate in una costruzione ipogea in c.a.

La presente relazione di calcolo comprende pertanto i seguenti 3 aspetti:

- Dimensionamento della tubazione in acciaio
- Calcolo delle strutture in c.a. (PIL, PID)
- Verifiche idrauliche delle scogliere.

## 2 DIMENSIONAMENTO DELLA TUBAZIONE IN ACCIAIO

### 2.1 Definizione del diametro della condotta

Il diametro della condotta, che alimenta il metanodotto in esame, è DN 350 (14").

A monte dell'inizio del tratto in progetto è già prevista una stazione trappole di lancio dei pigs sulla suddetta condotta DN 350.

Poiché l'estensione del metanodotto Chiuro-Teglio è di soli 8,327 km, si è ritenuto opportuno mantenere il diametro DN 350 per tutta la lunghezza della condotta.

Tale scelta consentirà, con il completamento del secondo lotto di metanodotto, di trasferire a Tirano tutta la portata, consegnata ai limiti di batteria di monte, nell'ipotesi estrema improbabile di nessun spillamento intermedio, garantendo così una maggiore capacità di trasporto per eventuali incrementi di consumo futuro.

La stazione di ricevimento PIG di Tirano rappresenterà il punto di partenza del successivo tratto, il cui diametro potrà venire dimensionato sulla base delle portate da convogliare verso Bormio.

### 2.2 Materiale e caratteristiche della condotta

Il materiale previsto per il gasdotto è l'acciaio API 5L – X52, le cui caratteristiche sono equivalenti al Fe 410 previsto per il tratto di monte.

La scelta del API 5L X52 è, però, motivata dal più facile e dunque più conveniente approvvigionamento, risultando questo un materiale di più comune utilizzo (infatti è usualmente utilizzato da Snam, Agip, Edison, etc.).

Le caratteristiche della condotta sono dunque le seguenti:

- Diametro est. della condotta	De = 355,6 mm (14")
- Diametro int. della condotta	Di = 342,8 mm
- Spessore della condotta	s = 6.4 mm
- Qualità acciaio condotta	API 5L-X52
- Carico di snerv. min. acciaio cond.	Rt <sub>min</sub> = 358,7 N/mm <sup>2</sup>

### 2.2.1 Processo di produzione

I tubi per la costruzione della condotta saranno fabbricati con acciaio di qualità calmato, ottenuto al forno elettrico, al Martin-Siemens, al convertitore basico ad ossigeno o simili con saldature longitudinali.

I tubi saranno saldati a Resistenza Elettrica (ERW), secondo le API Spec. 5L para. 5.1.3.3.2 con livello di produzione PSL 2

La composizione chimica dell'acciaio sarà in accordo con le prescrizioni della sezione 4, di questa specifica.

L'acciaio sarà completamente calmato e a grano fine uguale o maggiore del grado 8 dell'ASTM E 112.

### Trattamenti termici

I tubi forniti in accordo con la presente specifica possono essere normalizzati o rinvenuti in modo da evitare martensite residua.

### Magnetismo residuo

I tubi devono avere un magnetismo residuo max di 25 gauss

### 2.2.2 Composizione chimica

Gli elementi di lega saranno limitati come sotto riportato;

Carbonio max	: 0.16
Manganese max	: 1.35
Silicio min	: 0.15
Silicio max	: 0.40
Fosforo max	: 0.025
Zolfo maz	: 0.015
Ni + Va + Ti max	: 0.15
Carbonio eq. Max	: 0.42

### Note:

- Per ogni riduzione dello 0.01% di carbonio, indicato nella tabella sopra riportata, si ammette un aumento dello 0.05% di Manganese fino ad un massimo di 1.60% .
- Il contenuto di Cr + Ni + Cu non supererà lo 0.50% complessivamente.
- Il carbonio equivalente sarà calcolato con la seguente formula:

$$C.E. = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+V+Mo}{5} + \frac{Cu+Ni}{15}$$

### 2.2.3 Proprietà Meccaniche

#### Prove di trazione

Per tutti i tubi il rapporto tra il carico di snervamento e la resistenza alla trazione non eccederà 0.90.

#### Prove di resilienza

La prova di resilienza sarà fatta in accordo con la prescrizione supplementare SR5

#### Prove di durezza

Su provini, per ogni colata, saranno fatte delle prove di durezza sui bordi e nella mezzeria dei tubi e la durezza dovrà essere inferiore a 240 HV per tutti i gradi dei materiali

### 2.2.4 Prove e controlli di officina

Su tutti i tubi saranno eseguiti:

- prova a pressione idraulica, in ottemperanza alle prescrizioni di cui al DM 17.04.2008 e s.m.i..
- controllo non distruttivo della saldatura, per i tubi saldati, per valutarne l'integrità.

Sui tubi saranno controllati a campione il diametro e lo spessore.

La qualità delle saldature sarà controllata a campione con prove di piegamento e prove di trazione.

## 2.3 Calcolo dello spessore dei tubi

### 2.3.1 Tensione ammissibile

La tensione ammissibile deve corrispondere al valore:

$$\sigma_{amm} = \frac{R_{t_{min}}}{K} = 102,48 \text{ N/mm}^2$$

dove:

$$R_{t_{min}} = 358,7 \text{ N/mm}^2$$

carico unitario al limite di allungamento totale, minimo garantito per il tipo di materiale prescelto (N/mm<sup>2</sup>)

$$K = 3,5$$

fattore di sicurezza, stabilito dal DM 17.04.2008 e s.m.i. per le condotte di 3.a specie

### 2.3.2 Calcolo spessore minimo

In ottemperanza al DM 24.11.84 e s.m.i. lo spessore minimo dei tubi, inteso come spessore nominale diminuito della tolleranza negativa garantita di fabbricazione, viene calcolato con la seguente formula:

$$T_c = \frac{P D_e}{20 \sigma E} = 2,08 \text{ mm}$$

dove:

$$T_c = \text{spessore di calcolo del tubo (mm)}$$

$$P = 12 \text{ bar} \quad (\text{pressione di progetto per condotte di 3.a Specie})$$

$$D_e = 355,6 \text{ mm} \quad (\text{diametro esterno di progetto del tubo})$$

$$\sigma_{amm} = 102,5 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{tensione ammissibile para 2.3.1})$$

$$E = 1 \quad (\text{fattore di efficienza del giunto})$$

### 2.3.3 Spessore della condotta

In accordo al D.M. 24/11/1984 e s.m.i., la pressione di progetto delle condotte di 3° specie è pari a 12 bar. Inoltre lo spessore minimo ammesso dal D.M. 24/11/1984 e s.m.i., per i tubi DN 350, è 4,5 mm.

Per uniformità con il tratto di monte, nonché per ragioni costruttive, in particolare per preservare i tubi da ovalizzazioni durante le operazioni di trasporto, posa e reinterro, è stato scelto lo spessore di 6,4 mm.

Tenuto conto del calcolo effettuato ( para 2.3.2), il materiale e lo spessore previsto garantiscono, dunque, ampiamente la sicurezza dell'impianto, potendo sopportare nel rispetto del coefficiente di sicurezza fissato dal D.M. 24.11.1984 e s.m.i. una pressione superiore di 3 volte la pressione di progetto.

Ne consegue che il coefficiente di sicurezza effettivo è pari a 10.7.

## 2.4 **Calcolo di stabilità della condotta in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario**

Le caratteristiche tecniche, le modalità esecutive ed i calcoli di stabilità relativamente all'attraversamento della linea ferroviaria RFI Sondrio-Tirano al km 11 + 689 sono specificati nella relazione 1.5.

Per il calcolo di verifica della stabilità della condotta e del tubo di protezione al di sotto della linea ferroviaria si sono utilizzate le "Norme tecniche per gli attraversamenti e per i parallelismi di condotte e canali convoglianti gas e liquidi con ferrovie ed altre linee di trasporto" approvate con D.M. 2445 del 23.02.1971 e pubblicato nel B.U. n.8 del 23 Aprile 1971 e nel supplemento ordinario alla G.U. - n.132 del 26.02.1971 e le precisazioni dell'Azienda Autonoma Ferrovie dello Stato — Circolare n.216/n.6 del Servizio Lavori e Costruzione e Circolare n. 173/508 - 604. del Servizio Impianti Elettrici del 5 maggio 1972.

L'attraversamento verrà realizzato mediante trivella spingi-tubo in accordo all'elaborato di progetto 4.8.



### 3 CALCOLO DELLE STRUTTURE IN C.A. (PIL, PID)

I disegni delle strutture PIL e PID sono riportati nella tav. 4.21: da fg.30 a fg.34 e fg. 47 e 48.

Tali strutture sono costituite da una gabbia parallelepipedica in c.a. interamente interrata, con apertura a passo d'uomo richiudibile tramite botola in ghisa.

I calcoli sono eseguiti in conformità alle vigenti Norme Tecniche emanate dal Ministero dei Lavori Pubblici ai sensi dell'art. 21 della legge 5 novembre 1971 n.1086 e successivi aggiornamenti tenendo presenti le caratteristiche, le qualità e le dosature dei materiali da impiegarsi nelle opere da costruire.

#### MATERIALI IMPIEGATI

Calcestruzzi classe  $R'_{ck} = 25 - 30 \text{ kN/mm}^2$

Acciaio classe  $R_{fks} = 440 \text{ kN/mm}^2$

#### ANALISI DEI CARICHI

I carichi in base ai quali sono state calcolate e dimensionate le varie parti delle strutture delle opere in oggetto, sono quelli indicati dalle norme tecniche CNR-UNI 10012-67 "Ipotesi di carico nelle costruzioni" o previsti nel D.M. 14.01.2008 e circolari 02.02.2009 N.617 C.S.L.L.P, cioè:

Carichi permanenti - Tenuti presenti i pesi dei materiali da costruzione dei terreni ed elementi costruttivi di cui ai prospetti 2-I, 2-II, 2-III della predetta CNR-UNI, si precisa che come carichi permanenti sono stati assunti i seguenti:

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| a) peso proprio del terreno                    | 18 kN/m <sup>3</sup>  |
| b) peso proprio del cls (per murature e solai) | 25 kN/m <sup>3</sup>  |
| c) peso proprio dei solai in c.a. h=25-30cm    | 7,5 kN/m <sup>2</sup> |
| d) carico concentrato in soletta               | 100 kN/m <sup>2</sup> |

Carichi di esercizio - Quali sovraccarichi di esercizio, comprensivi degli effetti dinamici ordinari, sono stati adottati, ai sensi del Prospetto 5.1 del succitato D.M. 14.01.2009, i valori seguenti:

- |  |                             |
|--|-----------------------------|
| a) locali di abitazione o di servizio e di ufficio non aperto al pubblico e relativi terrazzi di copertura praticabili                             | 2,5 kN/m <sup>2</sup>       |
| b) locali pubblici suscettibili di affollamento (negozi, ristoranti, caffè, uffici, aule scolastiche) e relativi terrazzi di copertura praticabili | 3,5 kN/m <sup>2</sup>       |
| c) locali pubblici suscettibili di grande affollamento (sale di riunioni, cinema, teatri, chiese, tribune a posti fissi, palestre)                 | 5,0 kN/m <sup>2</sup>       |
| d) sale da ballo, tribune senza posti fissi  | 6,0 kN/m <sup>2</sup>       |
| e) balconi e scale per edifici di civile abitazione  | 4,0 kN/m <sup>2</sup>       |
| f) sottotetti accessibili  | 1,5 - 2,5 kN/m <sup>2</sup> |
| g) rimesse per autovetture fino a 2,5 t di peso  | 3,0 kN/m <sup>2</sup>       |
| h) sovraccarico sulla soletta esterna di copertura con (peso proprio, 50cm di terra vegetale, impermeabilizzazione in asfalto)                     |                             |

$\text{Kg/mq} (700+900+220+440) = \text{circa } 25 \text{ kN/m}^2$

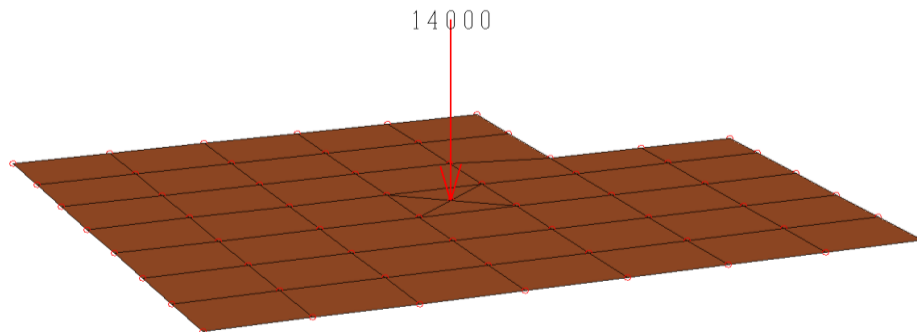
i) carico accidentale concentrato sulla soletta 100kN +40% inc. dinamico 14 kN/m<sup>2</sup>

Carico di neve - Il carico di neve sulla copertura, considerata la altitudine e l'ubicazione regionale della località in cui sorgerà la costruzione in oggetto Zona I (430 m s.l.m.) viene fissata in 2,29 kN/m<sup>2</sup> di proiezione orizzontale.

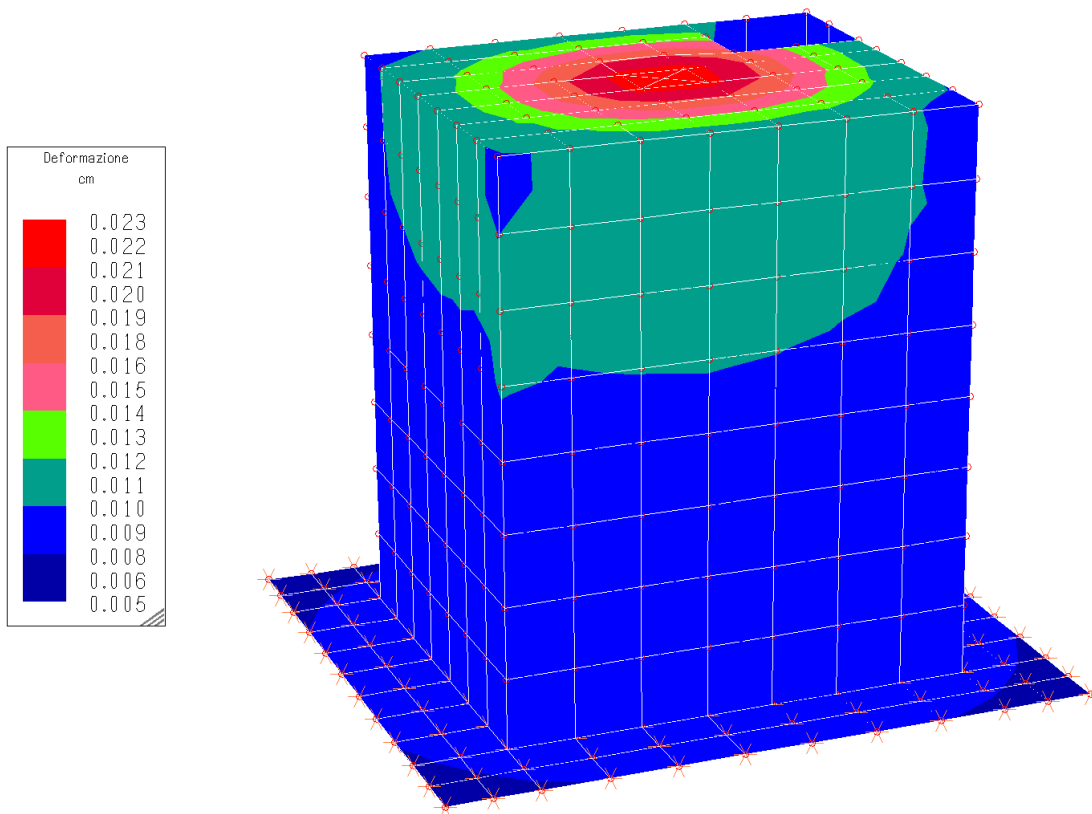
### **CALCOLI STATICI**

A scavi aperti, o con dati di sondaggi realizzati in vicinanza delle aree interessate, la D.L verificherà se le ipotesi di calcolo sono compatibili con la situazione rilevata in cantiere. In fase di progetto ed in via cautelativa si ritiene accettabile una sollecitazione di 200 kN/m<sup>2</sup>. Si è quindi proceduto, in base ai metodi di calcolo della Scienza delle Costruzioni, al dimensionamento degli elementi strutturali, con il metodo degli stati limite, nel modo successivamente indicato.

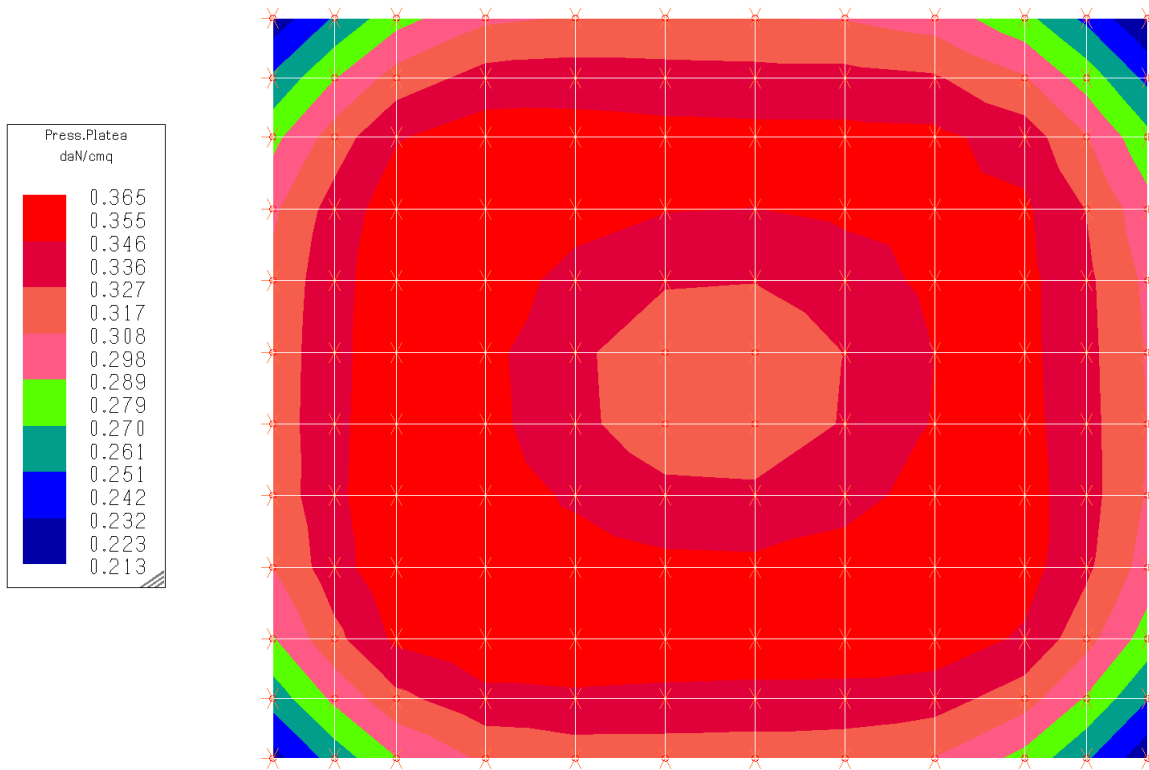
## CARICO SULLA SOLETTA



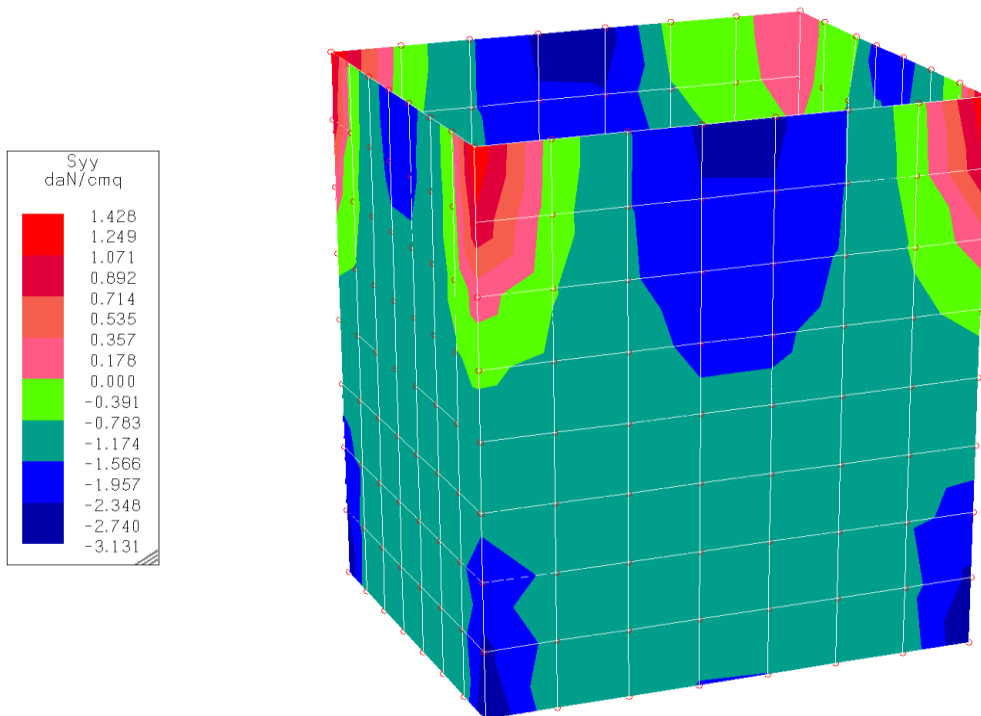
## DEFORMAZIONI MODELLO



## PRESSIONE SULLA FONDAZIONE



## SOLLECITAZIONI MURATURE



## VERIFICA ZONE PIU' SOLLECITATE DELLA MURATURA

Spessore: **25.0** cm    Coeff. di partecipazione Mxy: **0.50**    Coeff. di partecipazione Sxy: **0.50**  
 Diam. vertic.: **10** mm    Passo vertic.: **20** cm    ρ vertic.: **0.31** %    Diam. agg. vertic.: **10** mm    Passo agg. vertic.: **25** cm  
 Diam. orizz.: **10** mm    Passo orizz.: **20** cm    ρ orizz.: **0.31** %    Diam. agg. orizz.: **10** mm    Passo agg. orizz.: **25** cm

La armature aggiuntive, riferite al proprio passo, vanno aggiunte all'armatura di base: vedere riga riassuntiva

El. comb.	Nxx	Mxx	Nyy	Myy	V	Ao	Av	Indice di resistenza		Note
	daN/20 cm	daN*m/20 cm	daN/20 cm	daN*m/20 cm	daN/20 cm	cmq/20 cm	cmq/20 cm	N, M	V/Vrd2	scorr.
1 1	-756	-58	-1683	67	27	1.57	1.57	0.04	0.00	--

Spess.= 25.0 cm    Ao= --    Av= --    ( e arm. base nelle due direzioni )

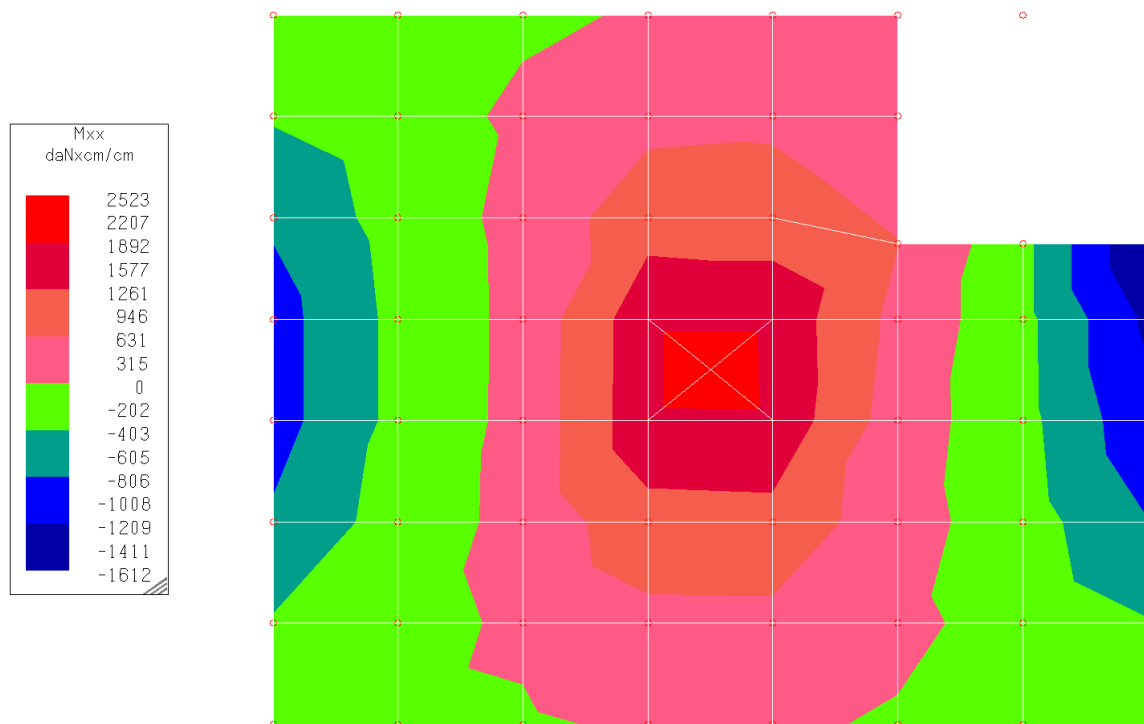
Rck: **250.00** daN/cmq    fyk: **4400.0** daN/cmq    Copriferro: **3.0** cm  
 Spessore: **25.0** cm    Coeff. di partecipazione Mxy: **0.50**    Coeff. di partecipazione Sxy: **0.50**  
 Diam. vertic.: **10** mm    Passo vertic.: **20** cm    ρ vertic.: **0.31** %    Diam. agg. vertic.: **10** mm    Passo agg. vertic.: **25** cm  
 Diam. orizz.: **10** mm    Passo orizz.: **20** cm    ρ orizz.: **0.31** %    Diam. agg. orizz.: **10** mm    Passo agg. orizz.: **25** cm

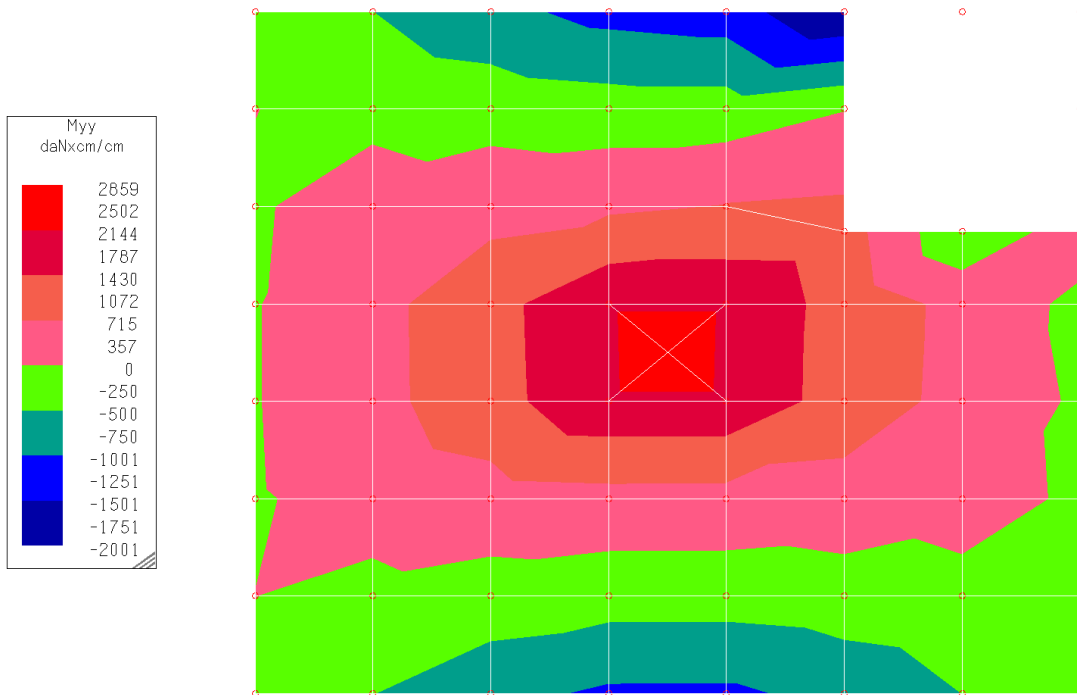
La armature aggiuntive, riferite al proprio passo, vanno aggiunte all'armatura di base: vedere riga riassuntiva

El. comb.	Nxx	Mxx	Nyy	Myy	V	Ao	Av	Indice di resistenza		Note
	daN/20 cm	daN*m/20 cm	daN/20 cm	daN*m/20 cm	daN/20 cm	cmq/20 cm	cmq/20 cm	N, M	V/Vrd2	scorr.
1 1	-849	51	-1749	-62	177	1.57	1.57	0.04	0.01	--

Spess.= 25.0 cm    Ao= --    Av= --    ( e arm. base nelle due direzioni )

## SOLLECITAZIONI NELLA SOLETTA





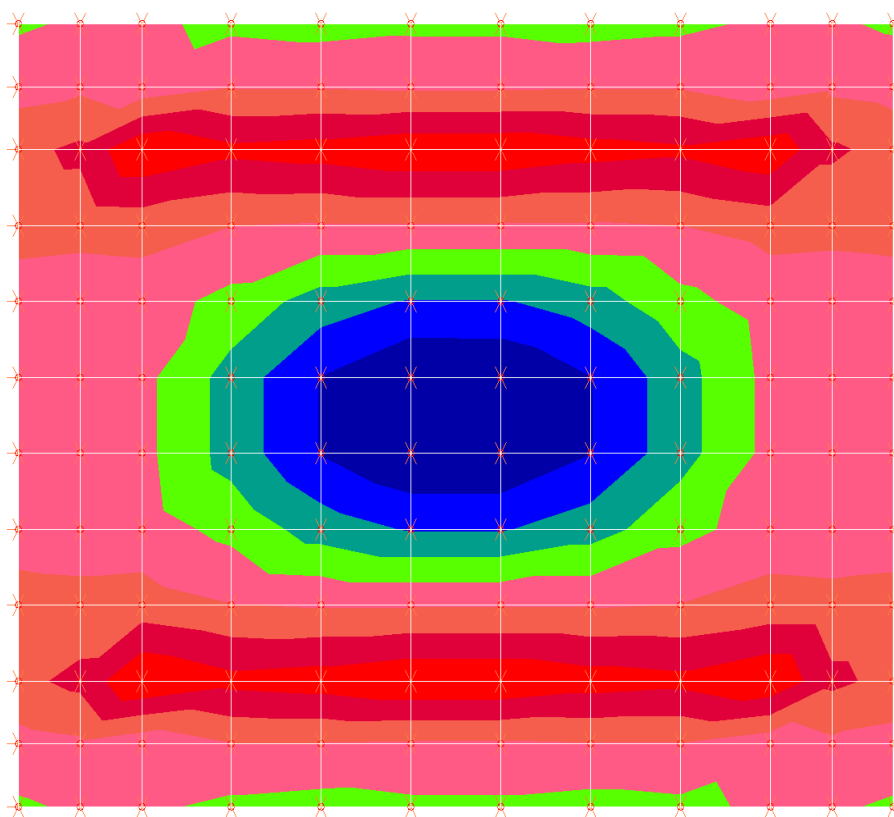
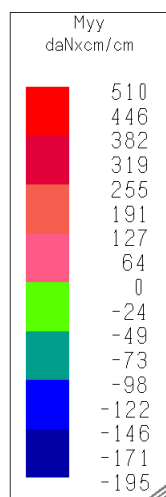
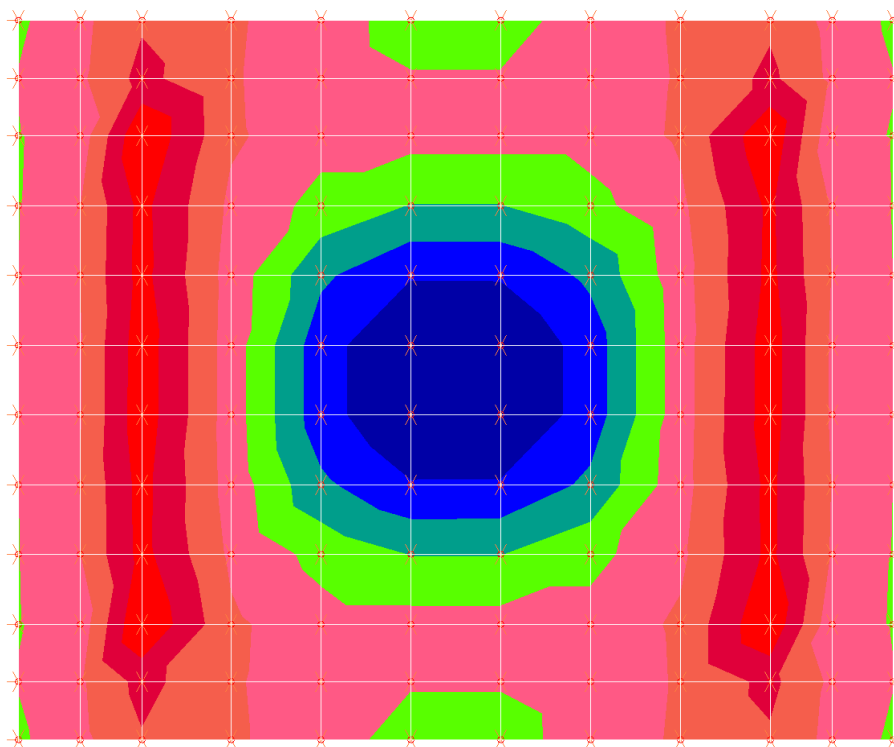
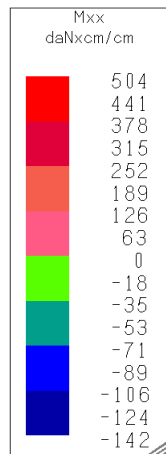
### VERIFICA ZONE PIU' SOLLECITATE DELLA SOLETTA

Coeff. di partecipazione Mxy: **0.50**      Coeff. di partecipazione Sxy: **0.00**  
 dxx base sup.: **10 mm**    dxx base inf.: **10 mm**    pxx agg.: **25 cm**    dxx agg.: **10 mm**  
 dyy base sup.: **10 mm**    dyy base inf.: **10 mm**    pyy agg.: **25 cm**    dyy agg.: **10 mm**  
 Orientamento armature: **rif\_globale**    Angolo di posa delle armature: **0.00 gradi**

La armature aggiuntive, riferite al proprio passo, vanno aggiunte all'armatura di base: vedere riga riassuntiva

El. comb.	Nxx	Mxx	Nyy	Myy	Vz	Axx inf.	Axx sup.	Ayy inf.	Ayy sup.	Indice di			
resistenza	---	---	---	---	--	---	---	---	---	---			
Vz/Vrd1	daN/25 cm	daN*m/25 cm	daN/25 cm	daN*m/25 cm	daN/m	cmq /25 cm	cmq /25 cm	cmq /25 cm	cmq /25 cm	N, M			
45	1	-532	735	-1077	969	10209	1.57	0.79	1.57	0.79	0.69	0.00	1.21
Spess.=		25.0 cm	Axxinf= 1 d 10/25	Axxsup= --		Ayyinf= 1 d 10/25	Ayysup= --	(e arm. base nelle due direz.)					
46	1	-551	833	-1050	813	11790	1.57	0.79	1.57	0.79	0.62	0.00	1.36
Spess.=		25.0 cm	Axxinf= 1 d 10/25	Axxsup= --		Ayyinf= 1 d 10/25	Ayysup= --	(e arm. base nelle due direz.)					
47	1	-542	720	-1033	963	10535	1.57	0.79	1.57	0.79	0.69	0.00	1.24
Spess.=		25.0 cm	Axxinf= 1 d 10/25	Axxsup= --		Ayyinf= 1 d 10/25	Ayysup= --	(e arm. base nelle due direz.)					
48	1	-522	836	-1060	804	12111	1.57	0.79	1.57	0.79	0.63	0.00	1.40
Spess.=		25.0 cm	Axxinf= 1 d 10/25	Axxsup= --		Ayyinf= 1 d 10/25	Ayysup= --	(e arm. base nelle due direz.)					

## SOLLECITAZIONI NELLA PLATEA



## VERIFICA ZONE PIU' SOLLECITATE DELLA SOLETTA

Coeff. di partecipazione Mxy: 0.50      Coeff. di partecipazione Sxy: 0.00  
 dxx base sup.: 10 mm    dxx base inf.: 10 mm    pxx: 25 cm    dxx agg.: 10 mm    pxx agg.: 25 cm  
 dyy base sup.: 10 mm    dyy base inf.: 10 mm    pyy: 25 cm    dyy agg.: 10 mm    pyy agg.: 25 cm  
 Orientamento armature: **rif\_globale**      Angolo di posa delle armature: 0.00 gradi

La armature aggiuntive, riferite al proprio passo, vanno aggiunte all'armatura di base: vedere riga riassuntiva

El. comb. resistenza	Nxx	Mxx	Nyy	Myy	Vz	Axx inf.	Axx sup.	Ayy inf.	Ayy sup.	Indice di		
	---	---	---	---	--	-----	-----	-----	-----	N, M	txy	
Vz/Vrd1	daN/25 cm	daN*m/25 cm	daN/25 cm	daN*m/25 cm	daN/m	cmq /25 cm	cmq /25 cm	cmq /25 cm	cmq /25 cm			
25 1	0	-23	0	-45	3	0.79	0.79	0.79	0.79	0.07	0.00	0.00
Spess.= 25.0 cm	Axxinf= --		Axxsup= --		Ayyinf= --		Ayysup= --			(e arm. base nelle due direz.)		
32 1	0	-13	0	-37	362	0.79	0.79	0.79	0.79	0.06	0.00	0.04
Spess.= 25.0 cm	Axxinf= --		Axxsup= --		Ayyinf= --		Ayysup= --			(e arm. base nelle due direz.)		
36 1	0	55	0	176	1508	0.79	0.79	0.79	0.79	0.27	0.00	0.18
Spess.= 25.0 cm	Axxinf= --		Axxsup= --		Ayyinf= --		Ayysup= --			(e arm. base nelle due direz.)		
43 1	0	106	0	129	722	0.79	0.79	0.79	0.79	0.20	0.00	0.09
Spess.= 25.0 cm	Axxinf= --		Axxsup= --		Ayyinf= --		Ayysup= --			(e arm. base nelle due direz.)		



#### 4 VERIFICA DELLE OPERE DI DIFESA IDRAULICA IN MASSI

Il progetto prevede un attraversamento in subalveo del fiume Adda da parte della condotta del gasdotto. In corrispondenza di tale attraversamento necessita ripristinare le sponde interessate dagli scavi per la posa della tubazione e garantirne la protezione da parte dell'azione erosiva della corrente tramite difese in pietrame di grossa dimensione (elementi di peso 2000 kg, intasati con scapolame).

Inoltre la tubazione, seppur posata a profondità ritenuta di garanzia nei confronti di eventuali fenomeni di approfondimento temporaneo o permanente del fondo alveo, viene ulteriormente protetta tramite la realizzazione di una platea trasversale al corso d'acqua realizzata anch'essa in pietrame di grosse dimensioni della stessa dimensione delle difese spondali.

La verifica della stabilità delle difese in pietrame, sia spondali che di fondo, viene effettuata utilizzando la teoria di Stevens et al. (1976), basata sul criterio dell'equilibrio limite; essa tiene in conto l'inclinazione del paramento dell'opera, le dimensioni medie degli elementi solidi che la costituiscono e la velocità della corrente.

I calcoli vengono effettuati prendendo in considerazione i parametri idraulici e geometrici più severi; in particolare per le difese di sponda si considera una inclinazione del paramento di 27° e, relativamente sia alle difese di sponda stesse che alle platee di fondo, si assume la pendenza d'alveo di 0.003 e la velocità di 3.62 m/s che risultano essere quelle più elevate emerse dallo studio idraulico per le 4 sezioni interessate dagli attraversamenti (v. Rel. 3017). Per quanto attiene le dimensioni del masso di cui si verifica la stabilità, per precauzione si è preso in considerazione un elemento assimilabile ad una sfera di 80 cm di diametro e di peso quindi sensibilmente inferiore al pietrame grossolano con cui viene realizzata la protezione.

Le relazioni utilizzate sono:

$$\begin{aligned}u_r &= 3.4 v / \ln (12.3 y_o / d_m) \\ \sigma &= 0.3 u_r^2 / \{[(\gamma_s / \gamma_w) - 1] g d_m\} \\ \beta &= \operatorname{tg}^{-1} \{ \cos \lambda / [(2 \operatorname{sen} \theta / (\sigma \operatorname{tg} \phi) + \operatorname{sen} \lambda)] \} \\ \sigma' / \sigma &= [1 + \operatorname{sen}(\lambda + \beta)] / 2 \\ F_s &= \cos \theta \operatorname{tg} \phi / (\sigma' \operatorname{tg} \phi + \operatorname{sen} \theta \cos \beta)\end{aligned}$$

dove:

- v = velocità media della corrente;
- $y_o$  = battente idrico;
- $d_m$  = diametro medio del masso;
- $u_r$  = velocità della corrente contro il masso;
- $\gamma_s / \gamma_w$  = rapporto tra il peso di volume del masso e quello dell'acqua;
- $\beta$  = angolo formato tra la direzione di caduta del masso e la linea di massima pendenza della scogliera;
- $\phi$  = angolo di attrito dei massi in acqua;
- $\lambda$  = angolo corrispondente alla pendenza dell'alveo;
- $\theta$  = angolo che il paramento esterno della scogliera forma con l'orizzontale;
- $\sigma' / \sigma$  = numeri di stabilità del masso rispettivamente su sponda inclinata ed orizzontale ( $\theta=0^\circ$ );
- $F_s$  = coefficiente di sicurezza.

Per quanto riguarda la velocità della corrente contro il masso “ $u_r$ ”, la relazione precedentemente scritta è valida nei casi in cui  $y_o/d_m > 6$ , cioè nei casi in cui la scabrezza non è macroscopica; nel caso in cui la scabrezza è macroscopica ( $y_o/d_m \leq 6$ ), e conseguentemente è molto alta la turbolenza e l'erosione della corrente, in via pratica si può assumere:

$$u_r = v$$

Dalle verifiche effettuate emerge che, pur utilizzando massi del peso minimo di 700 kg equivalenti ad un diametro medio di 0.80 m, i singoli elementi risultano stabili con una pendenza di 27° avendo un fattore di sicurezza  $F_s = 1.31$ . La platea di fondo, disposta orizzontalmente, mostra un coefficiente di sicurezza assai più elevato, pari a 3.29.

**PROTEZIONE DI SPONDA CON SCOGLIERE IN MASSI**  
**VERIFICA DI STABILITA' DEI MASSI (metodo di Stevens et al., 1976)**

**DATI DI INPUT**

Velocità media di deflusso (m/s)	3.62		
Diametro medio dei massi (m)	0.80		
Angolo di inclinazione del paramento (°)	27.00	Angolo di inclinazione del paramento (rad)	0.471
Angolo di attrito dei massi (°)	42.00	Angolo di attrito dei massi (rad)	0.733
Pendenza del fondo alveo (-)	3.00E-03	Pendenza del fondo alveo (rad)	0.003
		Pendenza del fondo alveo (°)	0.172

**RISULTATI**

Numero di stabilità del masso su sponda orizzontale	0.304	
Angolo tra direzione di caduta del masso e linea di massima pendenza del paramento (rad)	0.292	Angolo tra direzione di caduta del masso e linea di massima pendenza del paramento (°) 16.745
Numero di stabilità del masso su sponda inclinata	0.196	
<b>Coefficiente di sicurezza <math>F_s =</math></b>	<b>1.31</b>	

**PLATEA DI PROTEZIONE ATTRAVERSAMENTO F. ADDA**  
**VERIFICA DI STABILITA' DEI MASSI (metodo di Stevens et al., 1976)**

**DATI DI INPUT**

Velocità media di deflusso (m/s)	3.62		
Diametro medio dei massi (m)	0.80		
Angolo di inclinazione del paramento (°)	0.00	Angolo di inclinazione del paramento (rad)	0.000
Angolo di attrito dei massi (°)	42.00	Angolo di attrito dei massi (rad)	0.733
Pendenza del fondo alveo (-)	3.00E-03	Pendenza del fondo alveo (rad)	0.003
		Pendenza del fondo alveo (°)	0.172

**RISULTATI**

Numero di stabilità del masso su sponda orizzontale	0.304		
Angolo tra direzione di caduta del masso e linea di massima pendenza del paramento (rad)	1.568	Angolo tra direzione di caduta del masso e linea di massima pendenza del paramento (°)	89.874
Numero di stabilità del masso su sponda inclinata	0.304		
<b>Coefficiente di sicurezza <math>F_s</math> =</b>	<b>3.29</b>		

Sondrio, febbraio 2013

**IL TECNICO**  
Dott. Ing. Marco Riva

