

PSRN 2014-2020 - Mis. 4.3.1 - Misure per Investimenti Infrastrutture Irrigue

OGGETTO: Progetto per il ripristino ed adeguamento funzionale della condotta principale ubicata tra c.da "Sigona", nel comune di Lentini e c.da "Grotta S.Giorgio" nel comune di Catania

PROGETTO ESECUTIVO 1° STRALCIO FUNZIONALE

0	0	1	1	7	C	T	S	R	15.6	
Codice Lavoro					Anno				Provincia	ALLEGATO

RELAZIONE DI CALCOLO ATTRAVERSAMENTO RFI

il Progettista:



Vittorio Angelo Longo
Dott. Ing. Vittorio Angelo Longo

Il R.U.P.



Vito D'Angelo
Dott. Ing. Vito D'Angelo

Visto: Il Dirigente Tecnico:



Massimo Paterna
Dott. Ing. Massimo Paterna

REV.	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	ANNOTAZIONI
0	Giugno 2017	LNG	DNG	DNG	
1					
2					



RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA

Progetto per il ripristino ed adeguamento Funzionale della condotta principale ubicata tra c.da Sigona nel comune di Lentini e c.da Grotta S. Giorgio nel comune di Catania
- Attraversamento Ferrovia Tratto: Bicocca - Lentini Diramazione -
- Km 254+820 -

Comune di ubicazione:

LENTINI (SR) – C.da Sigona

INDICE

1. PREMESSA	pag. 3
1.1. Condotta principale zona sud Area Irrigua Gerbini 1	pag. 4
1.2. Attraversamento Ferroviario Linea Bicocca - Siracusa	pag. 6
2. INFORMAZIONI SINTETICHE SULL'ATTRAVERSAMENTO	pag. 6
3. MANUFATTI PREVISTI	pag. 7
4. CALCOLI IDRAULICI	pag. 8
5. CALCOLI CONDOTTA DI PROTEZIONE	pag. 13

1. PREMESSA

Lo schema irriguo Gerbini 1 è uno dei più importanti schemi del Piano per la integrale utilizzazione delle risorse idriche del sistema Salso-Simeto a servizio della Piana di Catania.



Fig. 1

Tale piano, approvato dal Consiglio Superiore dei LL.PP. con voti n. 58 dell'11/07/78 e n. 42 del 13/10/82, è ormai da oltre un ventennio in corso di realizzazione prevedendo una serie di interventi, al fine di una migliore e più adeguata distribuzione delle risorse idriche, consistenti principalmente nell'adeguamento funzionale e nella ristrutturazione del sistema di canali e condotte di adduzione primaria, nella riconversione dell'attuale sistema di irrigazione a scorrimento, nella realizzazione di vasche di accumulo nelle ore di sosta dell'irrigazione e di impianti di sollevamento ove necessari.

Si sono così conseguite nel tempo, diminuzioni di perdite di risorse idriche e possibilità di adeguamento dell'esercizio irriguo a tecniche più moderne e produttive, una maggiore disciplina delle utenze con drastica riduzione degli sprechi insiti nel sistema di adduzione e distribuzione a pelo libero.

In particolare la zona nord dello schema Gerbini 1 viene alimentata dall'adduttore "Gerbini-Magazzinazzo" mentre la zona sud dalla Condotta "Lodigiani" che prende il nome dall'omonima impresa che realizzò, a suo tempo, tale opera.

**SCHEMA IRRIGUO GERBINI 1
(G + L = 10.294,88 Ha)**

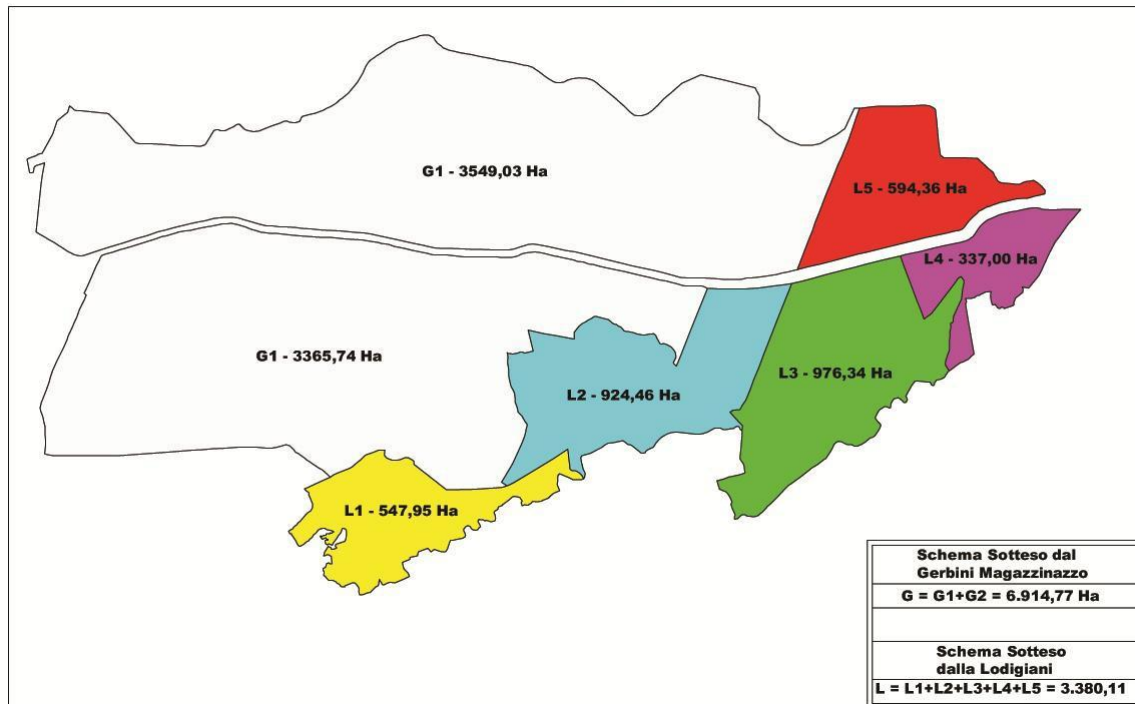


fig. 2

1.1 CONDOTTA PRINCIPALE ZONA SUD AREA IRRIGUA GERBINI 1

Gli interventi in oggetto riguardano proprio la sostituzione di parte di tale condotta in quanto

Esso, in breve sintesi, prevede la sostituzione della parte interrata delle esisterie condotte in CAP Dn 1600 e dell'intera condotta in PRFV Dn 800.

Tale adduttore principale è allocato a sud della Piana di Catania, nell'ambito dello schema irriguo "Gerbini 1".

Il tracciato della condotta irrigua oggetto di intervento, sviluppandosi con una direttrice Est-Ovest, si colloca prevalentemente contigualmente al canale di scolo Benante individuandosi geograficamente sia nel quadrante sud-orientale del territorio comunale di Catania e, per taluni tratti, anche nel limitrofo distretto territoriale comunale di Lentini in Provincia di Siracusa.

SCHEMA IRRIGUO SOTTESO DALLA CONDOTTA OGGETTO DI INTERVENTO



fig. 3

La condotta di adduzione primaria incomincia nel territorio comunale di Lentini, in provincia di Siracusa, dalla “Vasca di Sigona”, ubicata nell’omonima contrada a quota 74,40 mt s.l.m., e prosegue, dopo aver alimentato n° 18 derivazioni (secondarie e unità irrigue), fino alla “Vasca di Grotta S. Giorgio”, ubicata ad una quota di 52,75 mt s.l.m. nel territorio comunale di Catania.

Da quest’ultimo serbatoio, alimentando ulteriori n° 4 derivazioni, la condotta in argomento prosegue ancora per ulteriori 1.785,00 mt, fino al raggiungimento della parte finale dello schema irriguo in argomento.

In breve sintesi, l’intervento in studio riguarda la sostituzione dell’intero tratto dell’esistente condotta interrata in CAP DN 1600 e in PRFV DN 600, 700 e 800.

L’intero tratto di progetto si snoda dalla progr. 5.416,00 alla progr. 14.920,70 per uno sviluppo complessivo di 9.504,70 ml.

1.2 ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO LINEA BICOCCA-SIRACUSA

La condotta anzidetta oggetto di intervento, nella zona in cui originariamente la stessa insiste all'interno dell'alveo del torrente Benante, per ovvii motivazioni idrauliche viene spostata a monte dello stesso torrente.

Il nuovo tracciato incontrerà, alla progr. 3.147,91 incontrerà la linea ferrata Bicocca-Siracusa al Km 254+820. Il suo attraversamento sarà garantito mediante la tecnica dello spingitubo le cui modalità sono appresso descritte. (Tav. 5.4.1)

La portata convogliata sarà di 1.077 l/s, detta condotta di adduzione, che nel predetto tratto ha un DN 1000, alimenta, con diametri via via decrescenti (DN 800 - DN 700) i comprensori in cui sono accorpate le unità irrigue, la cui configurazione delle reti secondarie e terziarie si sviluppa prevalentemente a Nord dell'adduttore oggetto di intervento.

La tavola grafica 7.7 "particolare attraversamento ferrovia e SP ex consortile n.4" riassume l'intera struttura del progetto. In essa si evince che il pozzetto di monte dell'attraversamento ferroviario è ubicato nei pressi di un fosso secondario che garantirà lo smaltimento delle acque in caso di rottura della tubazione e il suo recapito (canale Benante).

La tavola grafica 7.7.2 riportano le piante, sezioni, particolari etc.

2. INFORMAZIONI SINTETICHE DELL'ATTRAVERSAMENTO

Linea ferrata interessata	Bicocca - Lentini Derivazione;
Numero binari	1;
Attraversamento	Progr. 8.536,00, Km 254+820;
Liquido convogliato	acqua in pressione a destinazione irrigua;
Lunghezza attraversamento	m 59,69;
Distanza pozzetti di ispezione	m 30,71 dalla rotaia est e m 27,10 dalla rotaia ovest;

Tubo di protezione:	calcestruzzo armato - diametro interno 1600 mm spessore 18 cm pendenza c ;
Condotta idrica	Acciaio LS 355 DN 1000; spessore 10 mm a saldatura elicoidale secondo UNI EN10224 con rivestimento esterno in polietilene estruso a triplo strato spess. minimo 2,5 mm secondo UNI 9099;
Collari distanziatori:	interamente realizzati in polietilene ad alta densità (HDPE) privi di parti metalliche di connessione (rigidità dielettrica > 37 kV/mm secondo ASTM D 149/64. I distanziatori non occupano più di un quarto dell'area dell'intercapedine e sono in numero tale da garantire che i due tubi non vengano in nessun caso a contatto;
Profondità estradosso tubo	
Protezione/cunetta RFI a monte:	6,35 m
Profondità estradosso tubo	
Protezione/cunetta RFI a valle:	6,14 m
Dim. Pozzetto sfioratore a monte:	3,70 x 4,10 x 6,40 m
Distanza soglia sfiorante intradosso	
Tubo di protezione:	
Dimensioni soglia sfiorante:	3,50 x 1,45 m

3. MANUFATTI PREVISTI

Esaminando le TAVV. 7.7, 7.7.1 e 7.7.2 notiamo che l'attraversamento ha inizio 27,10 m dalla rotaia ovest dopo aver attraversato un fosso di scolo secondario e termina a 30,71 m dalla rotaia est (seguendo il percorso dell'acqua).

La condotta di attraversamento è in acciaio L 355 DN 1000 spessore 14 mm a saldatura elicoidale con caratteristiche specifiche secondo le UNI EN 10224 provvista di rivestimento esterno in polietilene estruso a triplo spessore spessore min 2,5 mm secondo le UNI 9099.

Detta condotta sarà alloggiata dentro un tubo di protezione in acciaio DN 1500 sp. 25 mm ed è dotata di collari distanziatori interamente realizzati in polietilene ad

alta densità (HDPE) e privi di parti metalliche di connessione. Essi assicurano un facile inserimento del tubo in quello di protezione (tubo camicia) prevenendo danneggiamenti al rivestimento esterno del tubo condotta, determinando, per natura del materiale che li costituisce, un ottimo isolamento elettrico ed una lunga protezione contro la corrosione (rigidità dielettrica > 37 kV/mm secondo le ASTM D 149/64).

L'attraversamento è "in salita" con pendenza del 8,03‰ cosicchè, in caso di rottura, l'acqua ritorna verso monte pervenendo in un pozzetto di m 3,70 x 4,10 x 6,40 in cui è alloggiato il limitatore di portata . Il pozzetto ispezionabile, è in comunicazione con il canale di scarico a mezzo di sfinestratura di idonee dimensioni che garantirà lo smaltimento dell'acqua in caso di rottura improvvisa della condotta

4. CALCOLI IDRAULICI

La condotta che attraversa la linea ferrata è alimentata da una vasca delle capacità di 79.000 m³ e con il max invaso a quota 74,40 m s.l.m.

La portata di esercizio dell'intera rete è di 2.284 l/s

Il collegamento vasca - attraversamento RFI è esteso m 8.536,00 ed è costituito per i primi m 1.159,00 da tubazione in CAP DN 2000, per i secondi 4.256,00 in CAP DN 1600 e per i residui 3.121,00 da tubazione in Ghisa Sferoidale DN 1000.

Inoltre alle seguenti diramazioni, nel tratto oggetto di intervento si sono previsti n. 2 sezionamenti con valvola motorizzata e più precisamente:

- Secondario F4 – progr. 6.538,00 m
- Secondario G – progr. 7.242,00 m

La quota asse tubo in corrispondenza dell'attraversamento RFI è di 5,40 m s.l.m.

In queste condizioni, e senza alcun accorgimento, in caso di rottura al di sotto dell'attraversamento ferroviario, si avrebbe, da monte una portata pari a:

$\sqrt{(74,40-5,40)*\{[2^5/(74,40-58,15)]+[1,6^5/(58,15-66,06)]+[1,0^5/(66,06-49,56)]\}} = 6,97 \text{ m}^3/\text{s}$
che porterebbe allo svuotamento della vasca di Sigona in poco più di tre ore:

Tempo di svuotamento:

$$T = 79.000 / 6,97 * 3600 = 3,15 \text{ h}$$

e, da valle, una portata di pari entità ma per una durata molto minore.

Queste portate, senza la necessità di fare opportune verifiche idrauliche, sono incompatibili con le dimensioni del tubo di protezione e della condotta al suo interno oltre

che con quella del canale di scarico.

Si è quindi ritenuto pertanto di dover adottare i seguenti accorgimenti:

1. a monte dell'attraversamento sarà previsto un limitatore di portata tarata in modo da far transitare una portata nominale di 768 l/s
2. a valle dell'attraversamento è prevista una valvola a farfalla di ritegno (non ritorno) che chiudendosi istantaneamente impedisce il riflusso di acqua da valle in caso di rottura

nella figura 5 è rappresentata la sezione della valvola a farfalla di ritegno mentre nella figura 4 è rappresentata la valvola di Regolazione di linea (Valvola a Fuso).

La **valvola a fuso** (in inglese *needle valve*) è un'apparecchiatura idraulica utilizzata per lo più come organo di regolazione delle portate convogliate nelle condotte in pressione.

Le **valvole a fuso classiche** o **Larner-Johnson**, sono costituite da:

- un corpo fisso esterno, cilindrico nella parte mediana, di diametro superiore a quello della tubazione in cui la valvola è inserita, e gradualmente passante al diametro di quest'ultima ai due estremi;
- da un corpo interno fusiforme con la parte di monte e quella centrale (di forma cilindrica), fisse, e quella di valle mobile, longitudinalmente guidata dalla parte centrale (funzionamento a telescopio). Il corpo interno è sagomato in modo da creare minime perturbazioni della corrente liquida qualunque sia il grado di chiusura.

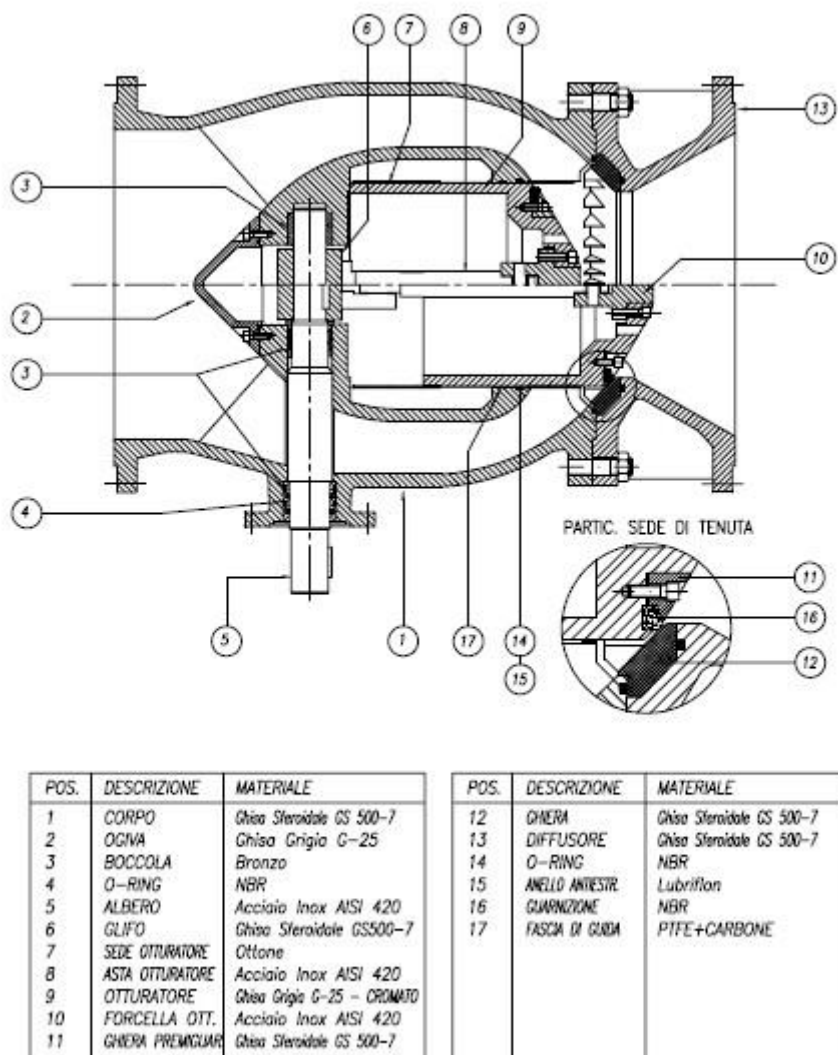
La parte mobile che costituisce l'**otturatore**, in posizione di chiusura aderisce al tratto convergente di valle del corpo esterno.

Tramite dispositivi meccanici tipo biella-manovella, motorizzati e/o manovrabili a mano (in questo caso motorizzati), si può spostare l'otturatore verso monte o verso valle, determinando così i vari gradi di apertura della valvola.

La vena liquida, in condizioni di apertura, effluisce compatta attraverso un passaggio, compreso fra corpo esterno e il fusso interno, avente sezione a forma di corona circolare progressivamente decrescente dalla sezione d'ingresso verso la sede di tenuta.

Il profilo interno della valvola è realizzato in modo da ottimizzare il comportamento nei confronti della cavitazione.

La superiore valvola avrà una taratura tale da garantire una portata tale da consentire il deflusso in caso di rottura attraverso la sfinestratura posta sul pozzetto di monte.



POS.	DESCRIZIONE	MATERIALE	POS.	DESCRIZIONE	MATERIALE
1	CORPO	Ghisa Sferoidale GS 500-7	12	GHERA	Ghisa Sferoidale GS 500-7
2	OGIVA	Ghisa Grigia G-25	13	DIFFUSORE	Ghisa Sferoidale GS 500-7
3	BOCCOLA	Bronzo	14	O-RING	NBR
4	O-RING	NBR	15	ANELLO ANTISTR.	Lubriflon
5	ALBERO	Acciaio Inox AISI 420	16	GUARNIZIONE	NBR
6	GLIFO	Ghisa Sferoidale GS500-7	17	FASCE DI GIUDA	PTFE+CARBONE
7	SEDE OTTURATORE	Ottone			
8	ASTA OTTURATORE	Acciaio Inox AISI 420			
9	OTTURATORE	Ghisa Grigia G-25 - CROMATO			
10	FORCELLA OTT.	Acciaio Inox AISI 420			
11	GHERA PREMIGLIA	Ghisa Sferoidale GS 500-7			

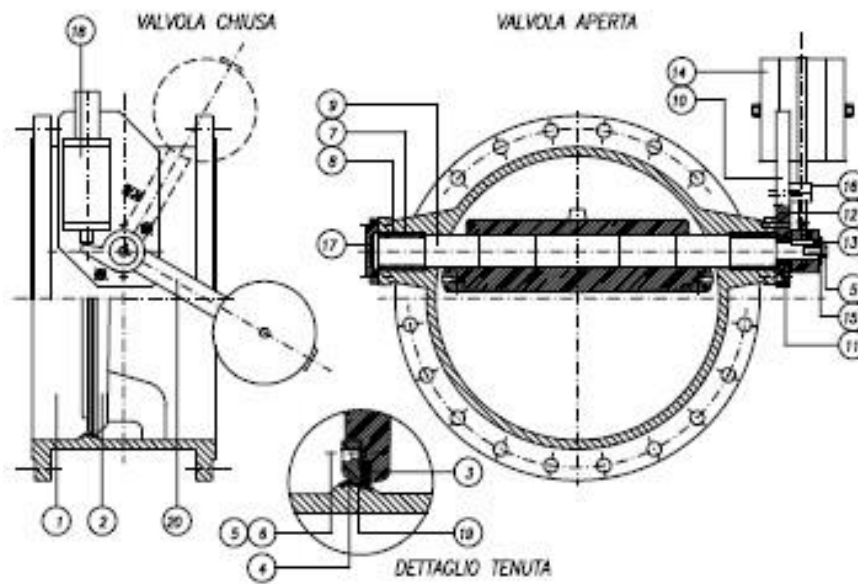
Fig. 4

Invece la **valvola di ritegno** o di **non ritorno** (in inglese *check valve*), posizionata sul pozzetto di valle, è una valvola che permette una sola direzione del flusso.

In particolare in questo caso utilizzeremo una farfalla di sicurezza con chiusura a contrappeso.

Essa viene utilizzata per l'intercettazione delle condotte su impianti di pompaggio (nel caso di mancanza di tensione sui gruppi pompe per evitare il ritorno del flusso sulla girante) o **condotte forzate**.

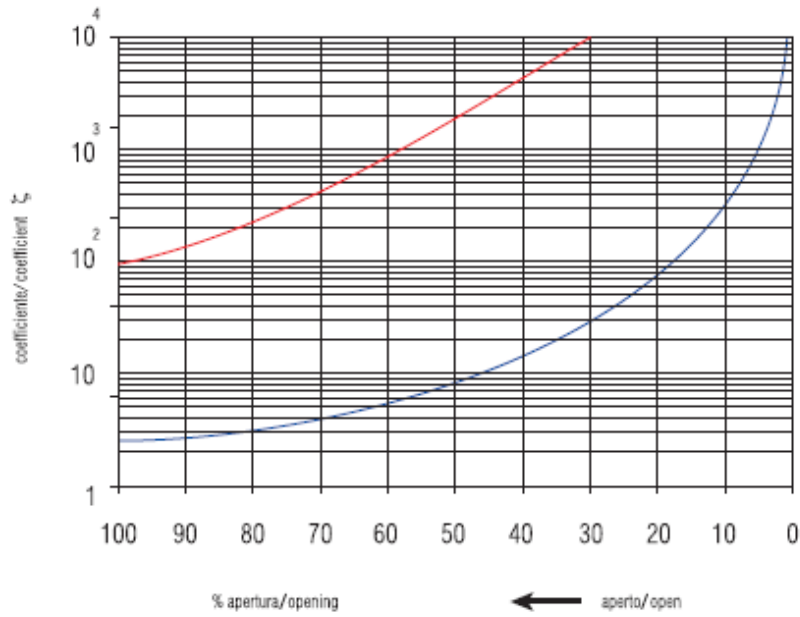
Pertanto per tali caratteristiche sarà impedito al fluido transitato di tornare indietro, proprio in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario da proteggere.



POS.	DESCRIZIONE	MATERIALE	POS.	DESCRIZIONE	MATERIALE
1	CORPO	GHISA SFEROIDALE GS 500-7	16	FERMO	ACCIAIO AL CARB.
2	DISCO	GHISA SFEROIDALE GS 500-7	17	FLANGIA POST.	ACCIAIO AL CARB.
3	GUARNIZIONE	NBR	18	FRENO	---
4	GHIERA	ACCIAIO AL CARB.	19	SEDE TENUTA	ACCIAIO INOX AISI 304 L REALT
5	VITE	ACCIAIO CL. 8.8-ZINC.	20	LEVA	ACCIAIO AL CARB.
6	GRANO	ACCIAIO CL. 12.9-ZINC.			
7	BOCCOLA	BRONZO			
8	O-RING	NBR			
9	ALBERO	ACCIAIO INOX AISI 420 B			
10	PISTON	ACCIAIO AL CARB.			
11	BOCCOLA	BRONZO			
12	SPINA ELASTICA	ACCIAIO ARM.			
13	LINGUETTA	ACCIAIO C40			
14	CONTRAPPESO	ACCIAIO AL CARB.			
15	RONDELLA	ACCIAIO AL CARB.			

Fig. 5

Inoltre, nella figura 6 di seguito riportata viene riprodotto il diagramma delle perdite di carico della Valvola a Fusso.



$$\Delta H = \frac{V^2}{2g} \times \zeta$$

- ΔH = perdita di carico in metri c. a /headloss in meters w.c.
- V = velocità dell'acqua nella tubazione (m/s) /water speed in the pipeline (m/s)
- ζ = coefficiente di perdita di carico /headloss coefficient
- g = accelerazione di gravità (9,81 m/s²) /gravitational acceleration (9,81 m/s²)

Infine appresso si riportano le caratteristiche ed i calcoli per la verifica del tubo di protezione in acciaio.

L'attraversamento ferroviario, è stato progettato in base alle prescrizioni contenute nel D.M. 2445/1971 “Norme tecniche per gli attraversamenti e per i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto.” e successivo aggiornamento con D.M. 10/08/2004 ed ultima versione con D.M. 04/04/2014. La normativa prevede una serie di prescrizioni relative al posizionamento altimetrico e planimetrico del manufatto di attraversamento ed impone inoltre l'allontanamento e lo smaltimento dei volumi d'acqua derivanti da eventuali rotture della condotta, la realizzazione di appositi pozzetti di ispezione e la collocazione di organi di sezionamento, opportunamente protetti, in grado di intercettare il flusso in caso di necessità. Si rimanda per la visione di dettaglio agli specifici elaborati grafici.

Tale normativa impone tra l'altro che la “[...] condotta attraversante deve essere contenuta entro un tubo di maggior diametro (tubo di protezione) [...] e deve avere una pendenza uniforme non inferiore al due per mille in direzione dello spurgo [...]”. Per questo motivo sarà messo in opera, mediante la tecnica spingitubo, un tubo di protezione in acciaio aventi diametro DN 1800 per la protezione del nuovo tratto del collettore

Per il calcolo del tubo di protezione DN1800 si considerano le seguenti sollecitazioni esterne:

- Peso della tubazione;
- Carico ripartito superiore corrispondente al peso del terreno sovrastante la tubazione e ai carichi transitanti sulla sede ferroviaria;
- Carico ripartito laterale corrispondente alla parte rettangolare del diagramma di spinta (pressione dovuta al terreno + pressione dovuta al sovraccarico accidentale);
- Carico triangolare laterale, corrispondente alla parte triangolare del diagramma di spinta (pressione dovuta al terreno);
- Reazione radiale costante in un settore corrispondente ad un angolo al centro di 60° in funzione del carico Q, pari alla somma di tutti i carichi verticali agenti sulla tubazione.

Le sollecitazioni massime cui sarà sottoposto il tubo di protezione dovranno essere inferiori o uguali a quelle previste come ammissibili dalla vigente normativa. Si sceglie di utilizzare un tubo di acciaio classificato secondo la norma UNI EN 10224:2004 come:

EN 10224 – S420 – 1500 x 25

Il calcolo di tali sollecitazioni viene eseguito facendo ricorso alle relazioni riportate di seguito.

- D_e : è il diametro esterno del tubo di protezione;
- D_i : è il diametro interno del tubo di protezione;
- s : è lo spessore del tubo di protezione;
- r : è il raggio medio del tubo di protezione;
- γ_a : è il peso specifico dell'acciaio assunto pari a 7850 kg/m³;
- P : è il peso proprio del tubo di protezione;
- p : è il carico ripartito superiore, funzione di γ_t e H;

- γ_t : è il peso specifico del terreno;

VIA CENTURIPPE N° 1/A – CATANIA– TEL: 095.559111 - FAX: 095.559320

- H : è la distanza tra l'estradosso del tubo di protezione ed il piano inferiore delle traverse;
- q : è il carico ripartito laterale costante, funzione di γ_t , H e ϕ ;
- ϕ : è l'angolo di attrito del terreno;
- z : è il carico triangolare laterale, funzione di r e s ;
- Q : è la reazione radiale costante;
- P_c : è il peso proprio della condotta interna;
- P_a : è il peso dell'acqua contenuta nella condotta interna.

dove il peso di volume del terreno γ_t e l'angolo d'attrito ϕ sono stati assunti in seguito alle caratterizzazione geologica dei terreni in situ. Pertanto i dati di progetto sono i seguenti:

γ_t	18,14 kN/m ³
γ_c	78,5 kN/m ³
s	0,025 m
r	0,75 m
p	140,11 kN/m ²
q	77,37 kN/m ²
z	15,03 kN/m ²
Q	226,86 kN/m
H	7,10 m
P	6,351 kN/m ²
P_c	2,48 kN/m ²
P_a	7,85 kN/m ²
k_0	0,55
$\text{sen } \phi$	0,39
D_e	1,5 m
A	25000 mm ²
W	104167 mm ³

In funzione di tali valori vengono determinati i carichi agenti sulla tubazione.

Il carico ripartito superiore risulta come somma del carico permanente pp e del carico accidentale pa . Sarà dunque $p = p + p_a$ ossia:

$$p = \gamma_t H + 150 / (2.6 + 1.5H) = \mathbf{140.11} \quad \text{KN/mq}$$

col significato dei simboli già indicati in precedenza.

La pressione laterale uniformemente ripartita risulta quindi:

$$q = k_0 * p = \mathbf{77.37} \text{ KN/mq,}$$

dove k_0 è il coefficiente di spinta a riposo, funzione di ϕ , valutato con l'espressione di Jaky:

$$k_0 = (1 + (2/3) \sin\phi) * ((1 - \sin\phi) / (1 + \sin\phi)) = \mathbf{0,55}$$

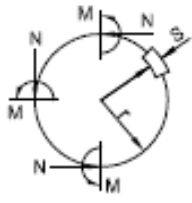
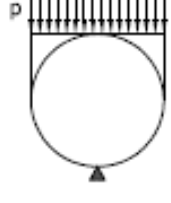
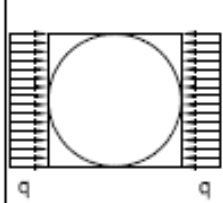
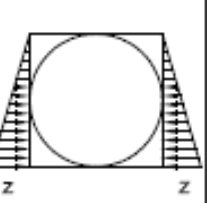

La pressione laterale variabile sarà:

$$z = k_0 * D_e * \gamma_t = \mathbf{18.3 \text{ kN/mq}}$$

La reazione totale Q sarà data dalla somma di tutti i carichi verticali agenti sulla tubazione:

$$Q = p - D_e + P + P_C + P_G = 268.89 \text{ kN/m}$$

Valutati così i carichi agenti sulla condotta, si possono ottenere le sollecitazioni unitarie nelle sezioni radiali del tubo guaina utilizzando le formule fornite dalla normativa stessa e riportate nella Figura

	A	B	C	D	E
	PESO PROPRIO	CARICO RIPARTITO SUPERIORE	CARICO RIPARTITO LATERALE	CARICO TRIANGOLARE LATERALE	REAZIONE RADIALE COSTANTE SETTORE $2\phi_1 = 60^\circ$
SCHEMA					
SEZIONE VERTICALE SUPERIORE	$M = \frac{1}{2} \gamma_t s r^2$ $N = -\frac{1}{2} \gamma_t s r$	$M = \left(\frac{4}{3\pi} - \frac{1}{8} \right) p r^2 = 0,29941 p r^2$ $N = -\frac{1}{3\pi} p r = -0,10610 p r$	$M = -\frac{1}{4} q r^2$ $N = q r$	$M = -\frac{5}{48} z r^2 = -0,10417 z r^2$ $N = \frac{5}{16} z r = 0,31250 z r$	$Q =$ (reazione totale) $M = -0,0073038 Q r$ $N = 0,014817 Q$
SEZIONE ORIZZONTALE MEDIANA	$M = -\frac{\pi-2}{2} \gamma_t s r^2 = -0,57080 \gamma_t s r^2$ $N = \frac{\pi}{2} \gamma_t s r = 1,57080 \gamma_t s r$	$M = \left(\frac{1}{\pi} - \frac{5}{8} \right) p r^2 = -0,30669 p r^2$ $N = p r$	$M = \frac{1}{4} q r^2 =$ $N = 0$	$M = \frac{1}{8} z r^2 = 0,125 z r^2$ $N = 0$	$M = 0,0075118 Q r$ $N = 0$
SEZIONE VERTICALE INFERIORE	$M = \frac{3}{2} \gamma_t s r^2$ $N = \frac{1}{2} \gamma_t s r$	$M = \left(\frac{2}{3\pi} + \frac{3}{8} \right) p r^2 = 0,58721 p r^2$ $N = \frac{1}{3\pi} p r = 0,10610 p r$	$M = -\frac{1}{4} q r^2$ $N = q r$	$M = -\frac{7}{48} z r^2 = -0,14583 z r^2$ $N = \frac{11}{16} z r = 0,68750 z r$	$M = -0,11165 Q r$ $N = 0,11916 Q$
<p>M = momento flettente</p> <p>N = sforzo assiale</p> <p>p = carico uniformemente ripartito, dovuto ai carichi mobili ed al peso della massicciata</p> <p>q = pressione uniforme dovuta alle spinte orizzontali</p> <p>z = pressione variabile dovuta alle spinte orizzontali</p> <p>r = raggio medio della tubazione</p>		<p>s = spessore della tubazione</p> <p>γ_t = peso specifico del materiale costituente la tubazione</p> <p>Q = reazione radiale totale</p>			

Si è così ottenuto:

	A		B		C		D		E		tot				σ
sezione verticale superiore	M	0,55	M	23,60	M	10,88	M	-0,88	M	-1,24	Mt	32,91	σM	315,91	318
	N	0,74	N	-11,15	N	58,03	N	3,52	N	3,36	Nt	54,50	σN	2,18	
sezione orizzontale mediana	M	0,63	M	-24,17	M	10,88	M	1,06	M	1,28	Mt	-10,33	σM	-99,13	-95
	N	2,31	N	105,09	N	0	N	0	N	0,00	Nt	107,40	σN	4,30	
sezione verticale inferiore	M	1,66	M	46,28	M	10,88	M	-1,23	M	-19,00	Mt	38,59	σM	370,45	375
	N	0,74	N	11,15	N	58,03	N	7,75	N	27,03	Nt	104,70	σN	4,19	

A tali sollecitazioni unitarie corrispondono le tensioni massime riportate in Tabella, calcolate per una sezione circolare presso-inflessa, utilizzando la nota relazione:

$$\sigma_{\max} = N/A + M/W = N/(1*s) + 6*M/s^2$$

La massima sollecitazione sarà pari a 375 N/mm²

La sollecitazione è minore del valore dello snervamento dell'acciaio S420

La verifica risulta soddisfatta

Il Progettista
(Dott. Ing. Vittorio Angelo Longo)