

## Premessa

La Regione Autonoma della Sardegna, con D.G.R. n. 28/61 del 24.06.2011, ha approvato un Programma di spesa fondi di cui al P. O. F.E.S.R. 2007 – 2013, Asse IV Obiettivo operativo 4.1.5. Linea di attività 4.1.5.b, individuando nell'Ente Acque della Sardegna l'Ente attuatore.

Il Programma prevede la realizzazione di quindici interventi urgenti per la riqualificazione, l'adeguamento e il potenziamento del Sistema Idrico Multisetoriale regionale gestito in nome e per conto della RAS in forza dell'art. 18 LR n. 19/2006, con una dotazione complessivamente pari ad € 7.508.000,00.

Di questi interventi, quattro ricadono nelle aree di competenza del Servizio Gestione Nord dell'EnAS, e precisamente due nella provincia di Sassari, uno in quella di Olbia – Tempio e l'ultimo nella provincia d'Ogliastra, per complessivi € 1.873.000,00.

Il presente progetto sviluppa a livello esecutivo l'intervento rubricato *“Interventi di riqualificazione dell'alimentazione della città di Alghero e interconnessione acquedotto Coghinas”*, finanziato per complessivi € 400.000,00.

Gli interventi previsti consistono in:

- ripristino dell'attraversamento sul rio Mannu di Porto Torres della linea Truncu Reale – Porto Torres.

Viene qui sviluppato il dimensionamento idraulico e strutturale delle opere in progetto.

Il progetto è stato predisposto dal Servizio Gestione Nord, con incarico formalizzato mediante DDG EnAS n. 1021 del 23.09.2011.

## 1. Verifiche e determinazioni idrauliche

Viene qui sviluppato il dimensionamento e la verifica delle opere in progetto, sotto il profilo idraulico e strutturale, per quanto di pertinenza.

In particolare, si farà riferimento alla tura provvisoria per la realizzazione della briglia di attraversamento in subalveo ed al canale di aggiramento della stessa, per evitare l'esondazione durante i lavori fornendone una caratterizzazione sintetica sotto il profilo idraulico.

Non sarà svolta alcuna verifica sulla capacità di trasporto dell'intera linea Port Torres – Truncu Reale (percorribile nei due versi, con sollevamento da Porto Torres), in quanto è stato mantenuto il diametro originario, DN 800.

In tutte le elaborazioni si è fatto riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 14.01.2008.

### 1.1. Spessore tubazione

La tubazione su cui insiste l'attraversamento, in acciaio DN 800 con sviluppo di circa 12 km, collega i terminali degli acquedotti industriali del Coghinas I e II, rispettivamente Porto Torres e Truncu Reale con una portata nominale di circa 800 l/s, potendo essere percorsa nei due versi, a gravità da Truncu Reale (85 m slm), con sollevamento da Porto Torres (23 m slm).

Le perdite di carico a regime sono pari a circa 50 m, che sommati al dislivello geodetico forniscono un carico in partenza da Porto Torres, condizione di maggior sollecitazione, pari a circa 11 atm.

Lo spessore della tubazione è fornito dalla seguente relazione, e dovrà essere non inferiore al valore commerciale immediatamente superiore al valore sotto determinato, ossia dovrà essere  $s \geq 10,05$  mm.

s, mm =	p d	+ c	100	=	10,05
	$200 \sigma_{adm} z + p$		(100 - a)		
d, mm	diametro esterno	812,80			
p, kg/cmq	pressione di esercizio	11			
c, mm	sovraspessore $0 \leq s \leq 1$	1,0			
a, %	tolleranza di fabbricazione sullo spessore	15			
$\sigma_{adm}$ , kg/mm <sup>2</sup>	pari a $Rm/K$ , con				
$Rm$ , kg/mm <sup>2</sup>	valore minimo del carico max a trazione dell'acciaio	27			
K,	coefficiente di sicurezza $\geq 2,3$	2,3			
z,	efficienza saldature $0,5 \leq z \leq 1$	0,5			

## 1.2. Caratterizzazione del sito d'intervento

La sezione d'intervento è ubicata nel tratto terminale del rio Mannu di Porto Torres, in località Maccia Appaltada, ricadente entro un'ampia golena, delimitata da scarpate calcaree, sul tratto prefocivo del Rio Mannu, in corrispondenza di un'ansa a ridosso della sponda rocciosa in sinistra idrografica, ubicata a circa 2,5 km dalla foce.

Il fiume è caratterizzato da uno sviluppo dell'asta principale di circa 72,5 km, con una pendenza media dello 0,114%, ed un bacino sotteso di estensione pari a 674 km<sup>2</sup> e di quota media pari a 251,13 m slm.

La sezione ricade nel tronco critico con sezione di controllo di codice B3mpTC001, individuata nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, ed è ubicata leggermente a monte della sezione 03\_MA\_009, rilevata nell'ambito dello studio citato.

L'analisi del comportamento idraulico in piena condotta nel PSFF evidenzia, per il tratto vallivo in cui ricade la sezione d'intervento, una sostanziale inadeguatezza della sezione per valori della piena caratterizzati da tempi di ritorno anche di soli 2 anni (PSFF - Relazione monografica di Bacino idrografico Mannu di Porto Torres, tab. 52).

L'analisi della capacità di trasporto solido condotta nel PSFF evidenzia, per il tratto vallivo in cui ricade la sezione d'intervento, un comportamento in erosione, in particolare per i tratti prossimi alla foce.

Nel corso delle operazioni preliminari alla stesura del progetto, sono state effettuate due misurazioni di portata nella sezione, il 20 Marzo ed il 16 Luglio 2012, riscontrando rispettivamente i seguenti valori:

- 2,03 m<sup>3</sup>/s con un'altezza massima e media del pelo libero rispettivamente di 2,01 m, e 1,26 m;
- 1,55 m<sup>3</sup>/s con un'altezza massima e media del pelo libero rispettivamente di 1,64 m, e 0,93 m.

## 1.3. Tura provvisoria e briglia

Sulla scorta di quanto precedentemente riportato, oltrech  sulle risultanze dei risultati della relazione geotecnica, viene dimensionata la tura provvisoria.

L'altezza dell'opera sar  tale da garantire un franco di 1 m rispetto al livello riscontrato nelle misurazioni del marzo 2012, ossia pari a circa 3 m di altezza massima, e la larghezza in sommit  sar  tale da consentire il transito dei mezzi d'opera, delle maestranze e lo sfilamento della tubazione, ossia pari ad 8 m.

La scarpa dei paramenti di monte e valle viene determinata con riferimento agli angoli d'attrito interno dei quattro litotipi costituenti il materiale *in situ*, gi  individuati nella relazione geotecnica rispettivamente in:

- sabbie medie e fini, da limose ad argillose, con matrice consistente e raramente plastica con angolo di attrito pari a 29,5 ;

- argilla limosa e limoso-sabbiosa, compatta e consistente con angolo di attrito pari a 20°;
- alternanza di limi argilloso-sabbiosi e argille limose, miste a frammenti bioclastici con angolo di attrito pari a 18,3°;
- calcare bioclastico lapideo, mediamente compatto, con intercalazioni calcarenitiche friabili, con angolo di attrito pari a 30°;

assumendo per la scarpa il valore di 2 m di ampiezza per 1 di elevazione.

Si prevede l'inserimento di un doppio schermo di palancole disposte rispettivamente a monte ed a valle della briglia, lungo tutta la sezione trasversale, estese a tutto il tratto di risalita in sponda dx, stante la natura dei litotipi incontrati.

A tale provvedimento si assocerà la stesa di un sottofondo in misto granulometrico per uno spessore di almeno 0,20-0,30 metri, steso su geotessile, per garantire l'uniforme distribuzione carichi e prevenire l'affondamento di massicciata e casseri entro il fondo scavo argilloso.

La sezione di imposta della briglia, che alloggerà la tubazione portante, DN 800 in acciaio spessore 11 mm, con rivestimento esterno bituminoso pesante ed interno epossidico, avrà una larghezza di 2 m, un'estensione di circa 34 m ed una profondità tale da garantire un ricoprimento di 1,50 m rispetto al punto più depresso della sezione.

Stante il comportamento in erosione dell'asta terminale del rio Mannu, si prevede inoltre la stesura di un materasso in pietrame al livello del fondo alveo, per tutta la larghezza della sezione.

La briglia sarà realizzata in calcestruzzo Rck 30 classe di esposizione XC2, debolmente armato con una rete elettrosaldata di  $\phi$  10 con maglia 20 cm .

### 1.4. Canale temporaneo di by-pass

Si è scelto di considerare come portata massima ordinaria transitante nella sezione in corrispondenza ad un'altezza massima del pelo libero di 2,50 m, ossia tale da mantenere un franco di sicurezza di 0,50 m rispetto alla sommità della tura provvisoria, quella registrata nel periodo estivo incrementata del 50%, non disponendo di valutazioni più precise riguardo al contorno bagnato al variare della quota e della pendenza.

Tale portata è quindi pari a 3,00 m<sup>3</sup>/s.

Viene definito un tracciato atto a contenere uno scatolare in lamiera tipo Armco Finsider delle dimensioni quali quelle appresso riportate, di sviluppo complessivo di 42 m, con dislivello di circa 15 cm tra imbocco e sbocco, e pendenza media pari allo 0,119%.

Si assume per l'indice di scabrezza il valore pari a 0,16 m<sup>1/2</sup> di Bazin, corrispondente a canali con pareti metalliche e chiodatura ordinaria.

Si ha quindi, con riferimento ai noti simboli:

$$Q = A V = A C \sqrt{R i}$$

$$C = 87 / (1 + \gamma / \sqrt{R})$$

$$R = A/P$$

A, area della sezione bagnata, in mq;

P, sviluppo del contorno bagnato, m;

R, raggio idraulico, m;

C, coefficiente di scabrezza;

$\gamma$ , indice di scabrezza di Bazin;

i, pendenza;

ed alle caratteristiche dimensionali dello scatolare prescelto, avente luce di m 3,28 (larghezza max), freccia di m 2,20 e peso unitario di 335 kg/m bulloneria inclusa.

<i>h</i>	<i>A</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>C</i>	<i>V</i>	<i>Q</i>	<i>franco idraulico</i>
<i>m</i>	<i>m</i> <sup>2</sup>	<i>m</i>		-	<i>m/s</i>	<i>m</i> <sup>3</sup> / <i>s</i>	<i>m</i>
0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	2,20
0,25	0,47	2,79	0,17	62,61	0,89	0,42	1,95
0,50	1,22	3,47	0,35	68,51	1,40	1,71	1,70
0,75	2,03	3,98	0,51	71,06	1,75	3,54	1,45
1,00	2,83	4,49	0,63	72,41	1,98	5,62	1,20
1,25	3,61	5,03	0,72	73,17	2,14	7,70	0,95
1,50	4,32	5,59	0,77	73,60	2,23	9,65	0,70
1,75	4,95	6,25	0,79	73,74	2,26	11,20	0,45
2,00	5,44	7,14	0,76	73,52	2,21	12,04	0,20
2,15	5,30	8,60	0,62	72,27	1,96	10,37	0,05

Ossia il canale è in grado di convogliare una portata sino a 5 volte quella registrata nella sezione in periodo estivo, con un franco idraulico rispetto al cielo della sezione di circa 50 cm.

## 2. Calcolo blocchi d'ancoraggio

L'attraversamento del rio Mannu, ossia di un punto depressivo del tracciato, per di più con una conformazione incassata in modo assai pronunciato nella gola fluviale, comporta un brusco abbassamento del profilo altimetrico, seguito da un altrettanto brusco reinnalzamento della tubazione al termine del passaggio, determinando due curvature accentuate a ciascuna estremità dell'attraversamento.

Le spinte che si sviluppano in corrispondenza di ciascuna curvatura sono contenute in un piano verticale parallelo alle pareti dello scavo, per cui non possono essere parzialmente assorbite dalla spinta passiva di tali pareti e debbono perciò esserlo interamente da ciascun blocco.

A seconda che la deviazione altimetrica sia caratterizzata dalla concavità verso il basso o verso l'alto, la spinta risultante sarà diretta rispettivamente verso l'alto o verso il basso.

Nel primo caso, tale spinta sarà contrastata dal peso del blocco, e lo strappo indotto sulla tubazione sarà trasmesso al blocco mediante due cravatte in acciaio debitamente ancorate nel calcestruzzo.

Nel secondo, la spinta risultante dovrà essere ripartita sul terreno fino a raggiungere valori unitari compatibili con la portanza dello stesso.

In entrambe i casi si procederà quindi alla verifica di resistenza del terreno, alla verifica allo scorrimento ed al ribaltamento del blocco, applicando le relazioni seguenti:

### *Resistenza del terreno*

$$\sigma = R/b \cdot c (1 \pm 6e/b) \leq \sigma_{adm}$$

con:

R, risultante delle forze agenti, kg;

b, dimensione del blocco giacente sul piano delle forze, m;

c, dimensione del blocco giacente sul piano normale al precedente, m;

e, eccentricità della risultante, m;

### *Verifica allo scorrimento del blocco*

$$T \leq f N / \nu_s$$

con:

T, componente orizzontale della risultante R, kg;

N, componente verticale della risultante R, kg;

f, coefficiente d'attrito terreno/blocco, pari a  $\tan(\phi)$ , con  $\phi$  angolo d'attrito interno;

$\nu_s$ , coefficiente di sicurezza allo scorrimento, assunto pari a 1,2;

### *Verifica al ribaltamento del blocco*

$$M_S \geq \nu_R M_R$$

con:

$M_S$ , momento stabilizzante, kgm;

$M_R$ , momento ribaltante, kgm;

$\nu_R$ , coefficiente di sicurezza al ribaltamento, assunto pari a 2.

Entrambe i blocchi saranno armati per assorbire le tensioni di trazione indotte con una incidenza di barre  $\phi$  12 pari ad  $80 \text{ kg/m}^3$ .

Le operazioni di dimensionamento e verifica saranno effettuate su ciascun blocco maggiormente sollecitato delle due tipologie descritte, coincidente con quello ubicato in sinistra idraulica (lato Porto Torres).

## 2.1. Curva con la concavità verso il basso

Tubazione, DN	800		Pressione	
DE, mm	812,80		T. Reale, m slm	85,00
s, mm	11,00		P. Torres, m slm	23,00
DI, mm	790,80		geodetica, m	62,00
peso unitario, kg/m	217,50		perdite di carico, m	46,00
			Tot, m	108,00
Acqua			sovrapress. collaudo, m	54,00
peso acqua, kg/m	491,16		m	162,00
			Carico di riferimento	17,00
			bar	
curvatura, ° sess.	50,00		Blocco	
Spinta			lato parallelo alla tubaz. alla base, m	6,00
spinta sulla sezione, kg	88.210,00		lato parallelo alla tubaz. in sommità, m	4,00
Spinta risultante, kg	74.558,31		altezza, m	4,15
comp. verticale, kg	67.572,78		lato normale alla tubaz., m	4,50
comp. orizzontale, kg	31.509,70		volume, mc	93,38
			ev. detrazioni (pozzetto)	3,60
			volume netto, mc	89,78
			$\gamma$ cls, kg/mc	2.500,00
			peso, kg	224.437,50
Verifiche				
componenti verticali forze agenti			Componenti orizzontali forze agenti	
Spinta ris. V, kg	-67.572,78		Spinta ris. O, kg	31.509,70
peso blocco, kg	224.437,50			
peso acqua, kg	2.455,80		Risultante O, kg	31.509,70
peso tubo, kg	1.087,50			
Risultante V, kg	160.408,02		gradi sess.	11,11
inclinazione retta d'azione sulla verticale, rad	0,19			
ordinata baricentro blocco, sull'asse di simmetria verticale, m	1,61			
eccentricità e, m	0,32			
Sforzi sul terreno				
$\sigma$ , kg/cm <sup>2</sup>	0,78			VERIFICATO
	0,41			VERIFICATO
Scorrimento				
coefficiente di sicurezza allo scorr. $\nu_s$	1,20			
coefficiente d'attrito terr./blocco, f	0,30		$f \nu_s N$	
Risultante O, kg	31.509,70	<	133.673,65	VERIFICATO
Ribaltamento				
$M_s$ , kgm	683.942,40			

$M_R$ kgm	185.998,72		$M_S/M_R$	
coefficiente di sicurezza al ribalt. $\nu_s$	2,00	<	3,68	VERIFICATO

Lo strappo indotto sulla tubazione sarà trasmesso al blocco mediante due cravatte in acciaio debitamente ancorate nel calcestruzzo.

Su ciascuna di queste insiste una quota pari al 50% della spinta complessiva, ossia pari a 37.280 kg, che viene affidata a fasce in acciaio FE 510 aventi sezione 10x2,5 cm, cui corrisponde uno sforzo indotto pari a  $1.491 \text{ kg/cm}^2$ , inferiore al valore limite di  $2.400 \text{ kg/cm}^2$ .

Ciascun ancoraggio di estremità è infine sollecitato da una quota parte del 50% della spinta agente, pari a 18.640 kg, che richiede l'ammorsamento nel cls per un tratto di sviluppo pari a:

$$l = f_{yd} A / p f_{bd} = 118 \text{ cm}$$

con:

$l$ , lunghezza ancoraggio di base, in cm;

$A$ , area sezione resistente, in  $\text{cm}^2$ ;

$p$ , perimetro sezione resistente, in cm;

$f_{yd}$ , tensione di snervamento di calcolo, per il Fe 510 pari a 355 MPa;

$f_{bd}$ , tensione ultima di aderenza del cls impiegato, che per il cls Rck 30/37 vale 3.

Tenuto conto della diminuzione dell'aderenza nel passaggio dalla sezione circolare a quella rettangolare, si assume per la lunghezza di ancoraggio di ciascuna estremità il valore:

$$l = 150 \text{ cm}.$$



## 2.2. Curva con la concavità verso l'alto

Tubazione, DN	800		Pressione	
DE, mm	812,80		T. Reale, m slm	85,00
s, mm	11,00		P. Torres, m slm	23,00
DI, mm	790,80		geodetica, m	62,00
peso unitario, kg/m	217,50		perdite di carico, m	46,00
			Tot, m	108,00
Acqua			sovrapress. collaudo, m	54,00
peso acqua, kg/m	491,16		<b>m</b>	<b>162,00</b>
			<b>Carico di riferimento</b>	<b>17,00</b>
			<b>bar</b>	
curvatura, ° sess.	50,00		Blocco	
<i>Spinta</i>			lato parallelo alla tubaz. alla base, m	2,00
spinta sulla sezione, kg	88.210,00		lato parallelo alla tubaz. in sommità, m	2,00
<b>Spinta risultante, kg</b>	<b>74.558,31</b>		altezza, m	2,00
comp. verticale, kg	<b>67.572,78</b>		lato normale alla tubaz., m	2,00
comp. orizzontale, kg	<b>31.509,70</b>		volume, mc	8,00
			ev. detrazioni (pozzetto)	0,00
			volume netto, mc	8,00
			$\gamma$ cls, kg/mc	2.500,00
			<b>peso, kg</b>	<b>20.000,00</b>
Verifiche				
componenti verticali forze agenti			Componenti orizzontali forze agenti	
Spinta ris. V, kg	67.572,78		Spinta ris. O, kg	31.509,70
peso blocco, kg	20.000,00			
peso acqua, kg	1.964,64		<b>Risultante O, kg</b>	<b>31.509,70</b>
peso tubo, kg	870,00			
<b>Risultante V, kg</b>	<b>90.407,42</b>		gradi sess.	19,21
inclinazione retta d'azione sulla verticale, rad	0,34			
ordinata baricentro blocco, sull'asse di simmetria verticale, m	1,00			
eccentricità e, m	0,35			
<i>Sforzi sul terreno</i>				
$\sigma$ , kg/cm <sup>2</sup>	0,78			VERIFICATO
	0,41			VERIFICATO
<i>Scorrimento</i>				
coefficiente di sicurezza allo scorr. $v_s$	1,20		$f_{vs}N$	
coefficiente d'attrito terr./blocco, $f$	0,30		75.339,82	VERIFICATO
Risultante O, kg	31.509,70	<		
<i>Ribaltamento</i>				
$M_s$ , kgm	90.407,42			
$M_R$ , kgm	31.509,70		$M_s/M_R$	
coefficiente di sicurezza al ribalt. $v_s$	2,00	<	2,87	VERIFICATO

## SOMMARIO

<b>PREMESSA .....</b>	<b>1</b>
<b>1. VERIFICHE E DETERMINAZIONI IDRAULICHE .....</b>	<b>2</b>
1.1. Spessore tubazione .....	2
1.2. Caratterizzazione del sito d'intervento .....	3
1.3. Tura provvisoria e briglia .....	3
1.4. Canale temporaneo di by-pass .....	5
<b>2. CALCOLO BLOCCHI D'ANCORAGGIO .....</b>	<b>6</b>
2.1. Curva con la concavità verso il basso .....	7
2.2. Curva con la concavità verso l'alto .....	9