

ACQUEDOTTO DELLA ROMAGNA - 4LSUB26/27

TERZA DIRETTRICE DELLA RETE DI ADDUZIONE
DELL'ACQUEDOTTO DELLA ROMAGNA

(CODICI ATERSIR 2014RAAC0005 e 2017RAAC0003)



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA
ED ECONOMICA



ALPINA S.p.A.
Via Ripamonti, 2
20123 Milano, Italy
www.alpina-spa.it
+39.02.58305010

ELTEC S.r.l.

Società di ingegneria
Via C. Seganti 73/F int. 5/6
47121 Forlì (FC)
Tel. +39-(0543)-473892
E-mail: info@eltec-service.it

IL PROGETTISTA Ing. PAOLA ERBA R.T.O. ALPINA S.p.A.	IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO Ing. PAOLO BALDONI ROMAGNA ACQUE - SOCIETA' DELLE FONTI S.p.A.
	

<p align="center">INQUADRAMENTO GENERALE RELAZIONE TECNICA SCELTA DEI MATERIALI E DURABILITA' DELL' OPERA</p>			1.03											
Revisioni	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Rev.</th> <th>Descrizione</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td></td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>EMISSIONE</td> </tr> </tbody> </table>	Rev.	Descrizione	C		B		A	EMISSIONE	Data 06/08/2021				
Rev.	Descrizione													
C														
B														
A	EMISSIONE													
Numero elaborato	<table border="1" style="text-align: center;"> <tr> <td>P</td><td>1</td><td>G</td><td>E</td><td>N</td><td>T</td><td>E</td><td>C</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td><td>A</td> </tr> </table>		P	1	G	E	N	T	E	C	0	0	3	A
P	1	G	E	N	T	E	C	0	0	3	A			
		Scala -												

SOMMARIO

1	PREMESSA	4
2	INTERVENTI DI PROGETTO ED OPERE COMPLEMENTARI	4
3	SCELTA DEL MATERIALE	6
3.1	L'ACCIAIO	6
3.1.1	Sistemi di giunzione	6
3.2	GHISA SFEROIDALE	7
3.2.1	Sistemi di giunzione	8
4	CARATTERIZZAZIONE DELL'ACCIAIO	9
4.1	Rivestimenti esterni	9
4.1.1	Polietilene estruso	9
4.1.2	Poliuretano (PUR)	10
4.1.3	Scelta progettuale	11
4.2	Rivestimenti interni	11
4.2.1	Resine epossidiche e termoplastiche poliammidiche	11
4.2.2	Malte cementizie	12
4.2.3	Rivestimenti poliuretanic (PUR)	12
4.2.4	Scelta progettuale	12
4.3	Protezione attiva	13
4.4	Unioni	13
5	CARATTERIZZAZIONE DELLA GHISA	13
5.1	Rivestimenti esterni	13
5.1.1	Rivestimenti in zinco alluminio	14
5.1.2	Rivestimenti in polietilene	14
5.1.3	Rivestimenti in poliuretano PUR	15
5.1.4	Scelta progettuale	16
5.2	Rivestimenti interni	16
5.2.1	Rivestimento in malta cementizia	16
5.2.2	Rivestimento in poliuretano	16
5.2.3	Scelta progettuale	16
5.3	Rivestimenti interni esterni – Pezzi speciali	17
5.3.1	Rivestimento epossidico	17
6	CONFRONTO GHISA - ACCIAIO	17
6.1	Caratteristiche idrauliche	17
6.2	Semplicità ed economicità di posa	17



6.2.1	Ghisa sferoidale	17
6.2.2	Acciaio	19
6.3	Tenuta idraulica.....	19
6.4	Resistenza ai carichi	20
6.5	Resistenza alla corrosione	23
6.6	Pezzi speciali.....	24
7	MONITORAGGIO STRUTTURALE PER CONDUTTURE INTERRATE	25
8	INTRODUZIONE SULLA METODOLOGIA DI ANALISI TCO-LCA	26
9	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO	27
9.1	Obiettivi del modello	27
9.2	Il Sistema studiato	28
9.3	Descrizione del modello di valutazione del Costo globale dell'opera (TCO).....	28
9.4	Descrizione del metodo di valutazione dell'Impronta Ambientale dell'opera (LCA).....	29
10	DESCRIZIONE DEI PARAMETRI DI RIFERIMENTO UTILIZZATI NEL TCO E NEL LCA.....	29
10.1	Parametri nel metodo di valutazione del Costo globale dell'opera (TCO)	29
10.2	Parametri nel metodo di valutazione dell'Impronta Ambientale dell'opera (LCA).....	30
11	DESCRIZIONE DEI RISULTATI	30
11.1	Tratto Lotto 1_A	32
11.2	Tratto Lotto 1_B	35
11.3	Tratto Lotto 2.....	39
11.4	Tratto Lotto 3.....	43
12	CONCLUSIONI.....	47

1 PREMESSA

La presente relazione si inserisce nell'ambito della redazione del progetto di fattibilità tecnica ed economica dell'infrastruttura "Terza direttrice della rete di adduzione dell'acquedotto della Romagna" (CODICI ATESIR 2014RAAC0005 e 2014RAAC0003). Tale intervento risulta fondamentale sia dal punto di vista strategico che di impegno economico per il Committente, Romagna Acque – Società delle Fonti S.p.A.

Il progetto interessa l'area della Romagna e in particolare attraversa i Comuni di Ravenna (provincia di Ravenna), Forlimpopoli, Bertinoro, Cesena, Cesenatico, S. Mauro Pascoli, Gatteo, Savignano sul Rubicone (provincia di Forlì-Cesena), Rimini e Bellaria-Igea Marina (provincia di Rimini). Esso prevede lo sviluppo complessivo di m 52.927,05 di condotte di diametro DN800 e DN900.

La presente relazione tecnica tratta il confronto tra i materiali che andranno a costituire tali condotte ad oggi disponibili sul mercato. In particolare, in considerazione dei diametri elevati, ci si è focalizzati sulla ghisa e sull'acciaio. Sono stati, quindi, descritti i tipi di rivestimenti interni ed esterni, le tipologie di unioni e le tecniche di posa evidenziando per ognuno le peculiarità positive e negative. Successivamente, sono trattati la metodologia ed il confronto dei materiali ghisa-acciaio in relazione al costo complessivo dell'opera (TCO) e all'impronta ambientale (LCA).

In conclusione, si riportano le valutazioni di confronto tecnico ed economico tra i materiali e si espongono le scelte progettuali adottate.

Per quanto attiene il collegamento con il serbatoio di Monte Casale, in continuità con il tratto discendente già realizzato, la connessione con il collettore di distribuzione principale (circa 130 m) sarà realizzato con una tubazione in acciaio del DN 1000.

2 INTERVENTI DI PROGETTO ED OPERE COMPLEMENTARI

Come già esposto, l'opera in oggetto prevede lo sviluppo complessivo di m 52.927,05 di condotte di diametro DN800 e DN900 e quattro nuove Cabine denominate: Cabina di Via Masullo (in Comune di Ravenna), Cabina di Sant'Andrea in Bagnolo (in Comune Cesena), Cabina di Macerone (in Comune Cesena) e Cabina di Via Longana (in Comune di Rimini).

La Terza direttrice si innesta in quattro punti all'esistente Acquedotto della Romagna. Essi sono:

- in località Standiana (Fosso Ghiaia, Comune di Ravenna), sull'esistente condotta in ghisa DN 900 della linea che dall'impianto di potabilizzazione NIP2 (o Impianto di potabilizzazione Standiana) raggiunge la Cabina di Gramadora (4LSUB24), in corrispondenza di cui è progettata la Cabina di Via Masullo;
- in corrispondenza dell'impianto di sollevamento di Forlimpopoli (o serbatoio Maraldi, Comune di Forlimpopoli) collegato al Serbatoio di Monte Casale in Comune di Bertinoro (4LSUB16 e 4LSUB17) e al campo pozzi di Via Montaspro di Forlì (4LSUB13);



- in località Macerone (Comune di Cesena), sull'esistente condotta in acciaio DN1200 della linea Serbatoio Monte Casale – Cabina Cesenatico (4LSUB1) in corrispondenza di cui è progettata la Cabina di Macerone;
- in località Case Pedrera Grande (Comune di Rimini) sull'esistente condotta in ghisa DN900 della linea Cabina Bellaria – Cabina Rimini (4LSUB7) in corrispondenza di cui è progettata la Cabina di Via Longana.

L'organizzazione dei lavori è prevista in tre lotti funzionali per garantire una progressiva messa in esercizio dell'opera. Essi sono:

- I Lotto: collegamento tra l'impianto di sollevamento di Forlimpopoli e l'impianto di potabilizzazione NIP2
Lunghezza complessiva: m 25.409,84
 - Tratta Cabina di Sant'Andrea in Bagnolo (Comune di Cesena) – Cabina di Via Masullo
Lunghezza: m 15.804,21; diametro condotta da utilizzare: DN800
 - Tratta impianto di sollevamento di Forlimpopoli - Cabina di Sant'Andrea in Bagnolo
Lunghezza: m 9.605,63; diametro condotta da utilizzare: DN900
- Il Lotto: collegamento tra Cabina di Sant'Andrea in Bagnolo e Cabina di Macerone
Lunghezza: m 11.372,30
Diametro condotta da adottare: DN900
- III Lotto: collegamento tra Cabina di Macerone e Cabina di Via Longana
Lunghezza: m 16.144,91
Diametro condotta da adottare: DN800.

Oltre alle condotte ed alle cabine di nodo sopracitate sono previsti: opere connesse al loro funzionamento ed interventi puntuali; tra questi ultimi, l'allaccio al serbatoio di Monte Casale della tubazione già posata DN1000, con i lavori conclusi nel novembre 2002, per una lunghezza di circa m 130 che consentirà di veicolare la risorsa all'impianto di sollevamento di Forlimpopoli (4LSUB17).

Vengono indicati con gli ID ATERSIR: 2014RAAC0005 - 4LSUB26 il collegamento Standiana-Forlimpopoli-Macerone (I e II Lotto) e 2017RAAC0003 - 4LSUB27 il collegamento Macerone-Torre Pedrera (III Lotto).

3 SCELTA DEL MATERIALE

Come riportato in premessa, ai fini della scelta del materiale più idoneo per la realizzazione delle condotte della terza direttrice è fondamentale caratterizzare i materiali disponibili sul mercato dai punti di vista: tecnico, in considerazione degli aspetti progettuali, esecutivo di cantiere, manutentivo ed economico.

Risulta altresì importante valutare il TCO (Total Cost Ownership che è il valore economico totale dell'investimento per ciascuna fase del ciclo di vita) e LCA (Life Cycle Assessment che mira a valutare l'impronta ambientale dei prodotti) per il cui dettaglio del metodo utilizzato si veda il paragrafo 4 e quelli a seguire.

Le verifiche effettuate, focalizzate sulla ghisa e sull'acciaio, per una sostanziale incompatibilità tecnica degli altri materiali, conducono prevalentemente alla scelta delle tubazioni in acciaio che è risultata sempre più conveniente soprattutto dal punto di vista economico, pur essendo la tubazione in ghisa, dal punto di vista ambientale, del tutto confrontabile.

Si è comunque ritenuto opportuno prevedere anche l'utilizzo della tubazione in ghisa, per beneficiare dei vantaggi legati alla messa in opera più rapida, là dove la gestione degli scavi (profondi ed in acqua) può essere critica in ragione delle caratteristiche geotecniche ed idrogeologiche.

In via generale i due materiali a confronto, acciaio e ghisa, essendo entrambi di provenienza siderurgica non differiscono di molto considerata anche la longevità dei prodotti stessi; si rimanda comunque alle specifiche analisi effettuate.

3.1 L'ACCIAIO

Acciaio è il nome dato ad una lega di ferro contenente carbonio in percentuale non superiore al 2.11%. Oltre tale limite le proprietà del materiale cambiano e la lega assume la denominazione di ghisa. Oltre al carbonio possono essere presenti degli ulteriori elementi alliganti (acciai legati).

Esistono moltissimi tipi di acciaio, le cui composizioni e denominazioni sono stabilite da apposite norme tecniche: in Europa le Euronorme (EN) emesse dal Comitato Europeo di Normazione (CEN) e in America l'ASTM (America Society Testing Materials), in collaborazione con l'AISI (American Iron and Steel Institute) ed internazionalmente le ISO (International Standard Institute). I tubi commerciali sono in acciaio non legato, conformi alle norme UNI EN 10224 per le condizioni tecniche di fornitura relative ai tubi per condotte d'acqua.

Le tubazioni sono prodotte da lamiere saldate longitudinalmente con tecnologia HFI (alta frequenza di induzione) senza apporto di materiale con controllo ultrasonico dell'intera saldatura per ogni singola tubazione.

3.1.1 Sistemi di giunzione

Nel presente confronto il tipo di acciaio utilizzato per la formazione dei tubi è del tipo L355 aventi le seguenti caratteristiche meccaniche e chimiche.

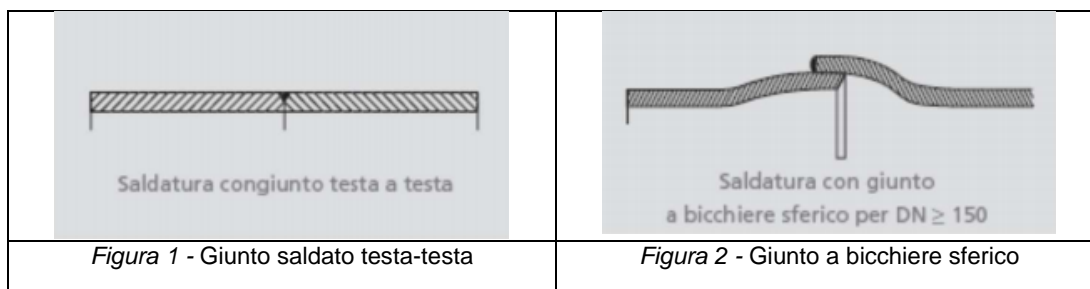
Parametro	Unità di misura	valore
R_{min}	MPa	510
$R_s min$	MPa	355-345
A_{min}	%	21 al. long.- 19 al. tang

Le tubazioni in acciaio sono normalmente fornite in barre della lunghezza di 12 metri.

Uno dei vantaggi delle tubazioni in acciaio è la vasta gamma degli spessori commerciali, questo permette dimensionamenti specifici in funzione delle condizioni di esercizio anche le più gravose sia in termini di verifica statica che di PFA di esercizio.

È importante ricordare che l'aumento di spessore oltre a garantire superiori performance statiche ed idrauliche, contribuisce alla protezione dalla corrosione nel tempo. In questo specifico caso sia per il DN 800 (812,8 mm) che per il DN 900 (914,4 mm) sarebbe sufficiente uno spessore di parete pari a 8 mm ma come vedremo la differenza economica con uno spessore 8,8 mm risulta ampiamente giustificata in termini di durata nel tempo.

I tubi generalmente sono forniti con estremità smussate (bisellate) e predisposte per la saldatura di giunzione in opere del tipo testa a testa. Possono essere richiesti anche con estremità a bicchiere sferico che permettono maggiori deviazioni angolari. Nel ns. caso si prevede l'utilizzo di estremità smussate per la saldatura di testa che consentirà di ottenere un miglior risultato all'indagine radiografica.



3.2 GHISA SFEROIDALE

La ghisa è una lega ferro-carbonio a tenore di carbonio relativamente alto (> 2,14%) ottenuta per riduzione o comunque trattamento a caldo dei minerali di ferro.

La produzione della ghisa avviene generalmente per riduzione degli ossidi di ferro mediante combustione di carbone a contatto degli stessi, in apparecchiature chiamate altiforni. Il minerale viene disposto a strati alternati con carbone a basso tenore di zolfo (solitamente coke); il ferro contenuto nel minerale, quando raggiunge lo stato fuso, cola verso il basso raccogliendosi in appositi contenitori.

La ghisa sferoidale presenta un notevole miglioramento di tutte le caratteristiche meccaniche ed inoltre una proprietà che è sconosciuta alla ghisa "normale" o ghisa grigia: la duttilità. Tali caratteristiche meccaniche

rendono la ghisa particolarmente adatta per la realizzazione di tubazioni e condotte. La normativa di riferimento per le tubazioni in ghisa sferoidale è la UNI EN 545.

Le tubazioni in ghisa sferoidale sono classificate in base alla norma EN 545 in classi di prestazione. In considerazione della norma EN545, la classe di prestazione definita per i DN 800 e DN 900 è la C25 (PFA 25 bar). Per questa classe gli spessori minimi previsti dalla norma sono: per il DN 800 7,5 mm per il DN 900 8,4 mm.

Per le tubazioni in ghisa secondo la EN 545:

- PFA pressione di servizio in continuo senza colpo d'ariete (bar)
- PMA pressione massima ammissibile con colpo d'ariete (1,2 PFA bar)
- PEA pressione di prova ammissibile (PMA+5 bar)

3.2.1 Sistemi di giunzione

Nella fase di progettazione è opportuno prestare massima attenzione alla scelta del tipo di giunzione in funzione dell'applicazione specifica prevista.

- Giunto rapido automatico secondo UNI 9163 o DIN 28603.
- Giunto elastico automatico antisfilamento con inserti metallici.

Giunto antisfilamento a doppia camera con cordone di saldatura.

<i>Tyton DIN 28603 DN80-2200</i>	<i>Rapido UNI 9163 DN80-200</i>
<i>Elastico automatico Antisfilamento DN80-600</i>	<i>Elastico automatico Antisfilamento DN80-600</i>
<i>Antisfilamento doppia camera con inserti DN100-1800</i>	<i>Antisfilamento doppia camera con anello DN100-1200</i>

Tabella 1 – tipi di giunto antisfilamento con cordone di saldatura

Per il DN 800 e DN 900 la PFA dei giunti rapidi automatici può essere 25 o 30 bar a seconda della classe del tubo, mentre per i giunti antisfilamento a doppia camera vedi tabella seguente.

DN	Classe tubo	PFA (bar)	Deviazione angolare. (°)
[mm]	[-]	[bar]	[°]
800	C30	25	1,5°-2°
900	C30	25	1,5°

4 CARATTERIZZAZIONE DELL'ACCIAIO

4.1 Rivestimenti esterni

La corrosione può essere definita come la degradazione di un materiale a causa di una reazione chimica con l'ambiente ed è tipica dei materiali metallici. Le cause più frequenti di corrosione sulla superficie esterna delle tubazioni in acciaio dipendono da differenti fattori presenti nel luogo di posa quali: resistenza ed aggressività del terreno, correnti galvaniche locali, correnti vaganti (es. ferrovie, elettrodotti, altre tubazioni in protezione catodica, ecc.). La corrosione non può essere totalmente eliminata ma può essere ridotta drasticamente con metodi di protezione Passiva o Attiva.

La protezione Passiva fa ricorso a rivestimenti isolanti, eseguiti sulle superfici esterne delle tubazioni. Questi rivestimenti hanno la capacità di ridurre gli scambi di corrente tra la superficie esterna del tubo ed il terreno. I rivestimenti esterni sono aderenti al metallo, resistenti agli urti, alle abrasioni, alle aggressioni atmosferiche.

Esistono vari tipi di rivestimenti esterni: bituminosi, in polietilene, in resina termoindurente costituite da resine epossidiche o da poliuretano.

Per le tubazioni in acciaio i rivestimenti esterni analizzati sono il polietilene estruso ed il poliuretano.

4.1.1 Polietilene estruso

Il polietilene estruso a triplo strato prevede Polietilene stabilizzato contro gli U.V. di colore nero in conformità alle Norme ISO 21809-1 in classe "B2", ovvero secondo le Norme UNI 9090/89 tipo "R3R".

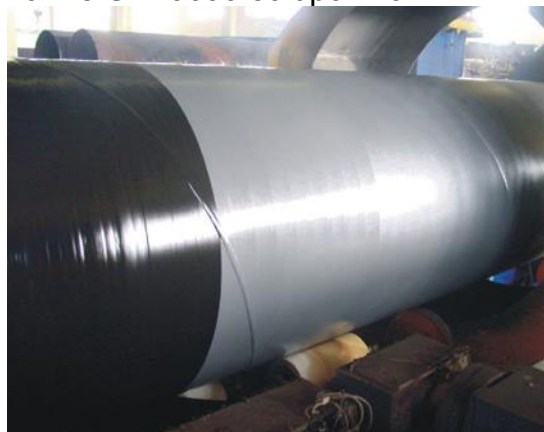


Figura 3 - rivestimento esterno acciaio



ELTEC S.r.l.

Società di ingegneria

Via C. Seganti 73/F int. 5/6

47121 Forlì (FC)

Tel. +39-(0543)-473892

E-mail: info@eltec-service.it

Lo spessore del rivestimento è:

Diametro nominale [mm]	Spessore medio totale [mm]
550-800	2.5
900-1500	3.0

In corrispondenza dei giunti saldati tra le tubazioni o tra tubazione e pezzi speciali è necessario garantire la continuità del rivestimento mediante l'impiego di speciali fasce o manicotti termo-restringenti conformi alle norme DIN EN 12068 e DIN 30672. La guaina deve assicurare la continuità della protezione della protezione anticorrosiva passiva esterna dei giunti di linea dei tubi in fase di posa in opera.

I pezzi speciali possono essere forniti già rivestiti oppure grezzi da rivestire in cantiere con nastri o manicotti termo - restringenti per la protezione anticorrosiva passiva della superficie esterna.

I nastri sono normalmente forniti in rotoli con altezza minima 100 mm e composti da una pellicola di supporto a base di Polietilene reticolato e stabilizzato, rivestita sul lato interno con un adesivo copolimero ad elevata resistenza al taglio.

Al fine di ottenere una migliore prestazione del rivestimento è opportuno che venga lasciato alle fasi di cantiere il solo ripristino dei giunti saldati.

4.1.2 Poliuretano (PUR)

Recentemente si sono perfezionate le tecniche di applicazione delle resine termoindurenti e dei poliuretani (PUR); questi ultimi iniziano ad essere proposti su scala industriale, anche se ad oggi sono ancora da considerarsi rivestimenti ottenibili solo su specifica richiesta. Al momento i rivestimenti esterni in poliuretano trovano più larga applicazione nelle tubazioni in ghisa.

Il rivestimento esterno in poliuretano per condotte in acciaio è un sistema di protezione meccanica ed anticorrosiva che può essere sottoposto ad applicazioni anche gravose. La buona elasticità del prodotto offre una buona resistenza alle sollecitazioni meccaniche, resistenza all'urto e aderenza alla tubazione. Inoltre l'impermeabilità all'acqua gli conferisce una notevole resistenza ai fenomeni di corrosione.

Per l'applicazione del poliuretano il tubo grezzo viene sottoposto ad un preventivo trattamento di sabbiatura al grado SA 2,5, secondo la norma ISO 8501-1, per preparare la superficie esterna alla successiva applicazione delle vernici con sistema bimixer (spruzzatura bicomponente ad alto contenuto di solidi) fino ad ottenere uno spessore di $0,9 \div 1$ mm.

Il rivestimento viene successivamente sottoposto a controlli visivi, dimensionali (spessore) e prove tecnologiche di aderenza.

La norma specifica è la UNI EN 10290 che prevede i requisiti per i rivestimenti esterni in poliuretano (PUR) e poliuretano- modificato (PUR-MOD) applicato allo stato liquido. Secondo le norme EN 545 ed EN 598, relative alla ghisa

sferoidale è considerato un rivestimento rinforzato, utilizzabile in tutti i terreni con qualsivoglia corrosività (pH 1–14) ed in presenza di correnti parassite.

4.1.3 Scelta progettuale

Essendo il PUR ancora una tecnologia di recente applicazione, in questa fase progettuale si è optato per il rivestimento in polietilene più largamente normato e testato. Una volta che la tecnologia PUR sarà adeguatamente normata, che i processi di applicazione saranno meglio industrializzati ed i rivestimenti saranno testati in opera per un periodo più lungo, nelle successive fasi progettuali, è auspicabile una rivalutazione della scelta del rivestimento.

4.2 Rivestimenti interni

I rivestimenti interni delle tubazioni in acciaio svolgono fondamentalmente la funzione di protezione alla corrosione, oltre a ridurre la scabrezza della superficie interna e quindi favorire l'abbattimento delle perdite di carico.

Le cause più frequenti della corrosione sulla superficie interna sono essenzialmente di tipo elettrochimico, ma essa può derivare anche da microrganismi come i ferrobatteri. A prevenzione della corrosione interna possono essere adottati metodi di protezione passiva quali i rivestimenti interni.

Premesso che le tubazioni sono destinate al trasporto di acqua potabile per il consumo umano, i rivestimenti interni da applicare sulla tubazione in acciaio devono rispondere a specifici requisiti, in particolare:

- Perfetta adesione al supporto.
- Conformità al DM 174/04 per le parti applicabili; infatti, nel caso di distribuzione di acqua per uso alimentare i materiali utilizzati devono essere privi di solventi e conformi a quanto per l'appunto prescritto dal D.M. n. 174 del 06/04/2004.

4.2.1 Resine epossidiche e termoplastiche poliammidiche

La resina epossidica è una resina che presenta elevata inerzia chimica, elevata aderenza alle superfici metalliche, buona durezza e resistenza agli urti. Il rivestimento è prodotto con spessori di 250-400 µm, indipendentemente dal diametro.

Le resine termoplastiche poliammidiche sono con rivestimento costituito da un primer epossidico più uno strato di resina poliammidica per uno spessore di circa 250 µm indipendentemente dal diametro.

Il rivestimento più utilizzato per facilità di applicazione e adattabilità alla flessibilità dell'acciaio (tubi e raccordi) è la resina epossidica. Tipicamente applicata a spruzzo previa sabbiatura, di spessore non inferiore ai 250 µm.

Questo tipo di rivestimento presenta principalmente due problematiche:

- il supporto (acciaio) deve essere trattato e preparato molto bene per garantire l'adesione da parte della resina epossidica; in corrispondenza del giunto saldato si dovrebbe provvedere al ripristino in opera del rivestimento interno mediante applicazione a spruzzo o a pennello del medesimo materiale, su superficie preventivamente pulita e spazzolata. Tale operazione risulta complicata da eseguire in opera e risulta difficile garantire la perfetta continuità del rivestimento.
- negli ultimi anni gli studi scientifici hanno trovato delle correlazioni tra i materiali epossidici e i cosiddetti inquinanti "PFAS" anche se al



momento in Italia non ci sono effettivi divieti all'utilizzo. Di tale condizione se ne deve necessariamente tenere conto.

4.2.2 Malte cementizie

Il rivestimento interno in malta cementizia secondo EN 10298 e DIN 2614 consente di assicurare, da un lato, l'ineccepibile tutela delle acque potabili trasportate e, dall'altro, l'assoluta protezione anticorrosiva del tubo d'acciaio. La malta cementizia viene normalmente preparata senza utilizzare alcun additivo ed è dunque costituita unicamente da acqua potabile, sabbia fine quarzosa e cemento Portland e applicata per centrifugazione.

Ci sono esperienze soprattutto in nord Europa ma su diametri medio piccoli (DN 200-DN 500), relative alla capacità di auto cicatrizzazione della malta cementizia, cioè alla chiusura spontanea delle intercapedini previste per consentire la saldatura di testa dei tubi. In linea teorica quando la superficie viene imbevuta da parte dell'acqua potabile, lo strato di malta inizia a rigonfiarsi, circa in ragione dell'uno per mille.

L'applicazione della malta cementizia sui pezzi speciali è ad oggi del tutto artigianale, la composizione della malta per pezzi speciali è analoga a quella dei tubi. Per i diametri in esame, in corrispondenza del giunto saldato si dovrebbe provvedere al ripristino in opera del rivestimento interno mediante applicazione manuale del medesimo materiale, su superficie preventivamente pulita e spazzolata. In questo caso tale operazione, seppur complicata da eseguire in opera, risulta meno difficoltosa rispetto all'applicazione delle resine. Non è comunque possibile garantire la perfetta continuità di rivestimento se non per i già menzionati effetti cicatrizzanti e di saturazione degli interstizi che potranno avvenire nel corso dell'utilizzo delle tubazioni.

4.2.3 Rivestimenti poliuretanic (PUR)

Le tecniche di applicazione per il rivestimento interno sono per iniezione a caldo (norma UNI EN 15655 per le tubazioni in ghisa) o per spruzzatura con sistema bimoto, sino a raggiungere spessori di 0,9 mm.

Il rivestimento elastico in PUR segue le deformazioni dell'acciaio e si adatta alla forma del tubo e nel caso di taglio del tubo, il rivestimento in PUR rimane intatto, senza scheggiature.

La minima rugosità della parete $k = 0,0014$ mm (secondo SVGW W4) ed il diametro idraulico più elevato dato dallo spessore più ridotto rispetto a quello con malta cementizia garantirebbe un più elevato rendimento idraulico.

Dal punto di vista della compatibilità alimentare il rivestimento in PUR soddisfa i requisiti della direttiva del Ministero federale dell'ambiente tedesco (UBA) sulla valutazione igienica di rivestimenti organici a contatto con l'acqua potabile nonché i requisiti del foglio di lavoro DVGW W 270.

4.2.4 Scelta progettuale

Anche in questo caso, essendo il PUR una tecnologia di recente applicazione, in questa fase progettuale si è optato per il rivestimento in malta cementizia più largamente testato. Una volta che la tecnologia PUR sarà adeguatamente normata, che i processi di applicazione saranno meglio industrializzati ed i rivestimenti saranno testati in opera per un periodo più lungo, nelle successive fasi progettuali, è auspicabile una rivalutazione della scelta del rivestimento.

Il rivestimento cementizio offre ottime caratteristiche sia in termini idraulici che in termini di resistenza alla corrosione interna; inoltre al momento è l'unico



materiale per il quale è possibile ottenere la chiusura spontanea delle intercapedini previste per consentire la saldatura di testa dei tubi ed ottenere così una continuità di rivestimento interno.

Nelle successive fasi progettuali, dovranno essere fatte specifiche analisi sull'acqua trasportata per valutarne le caratteristiche chimico-fisiche così da avere evidenza sul fatto che la capacità di auto cicatrizzazione possa effettivamente verificarsi.

4.3 Protezione attiva

Le tubazioni in acciaio necessitano oltre che delle protezioni passive (rivestimento esterno) precedentemente descritto, anche di una protezione attiva del tipo corrente impressa con dispersore verticale profondo.

Il dimensionamento degli impianti viene eseguito in funzione dello sviluppo lineare delle tubazioni per la circonferenza esterna, ovvero viene previsto un impianto di protezione catodica per una superficie esposta compresa tra 10.000 m² ÷ 15.000 m²; con corrente max di erogazione per alimentatore compresa tra 12 A e 18 A. Il dispersore profondo è tipicamente costituito da barre di ferro acciaioso pieno, il dimensionamento del dispersore viene eseguito in relazione alla resistività del terreno di posa e alla durata prevista di 20 anni alla corrente di 18 A.

4.4 Unioni

Le tubazioni in acciaio saranno unite mediante saldatura di testa. La realizzazione dei giunti saldati in cantiere viene normalmente ottenuta con procedimento di saldatura manuale all'arco elettrico con elettrodi rivestiti, cellulosici o basici, previo allineamento delle tubazioni ottenuto per mezzo di appositi accoppiatori.

Appositi procedimenti di saldatura dovranno essere redatti e certificati come adeguati al materiale base. Le saldature dovranno essere eseguite da personale qualificato secondo DNV-GL presso Ente Morale (RINA, Istituto Italiano Saldatura, ecc.). I controlli delle saldature saranno adeguati al procedimento adottato ed all'importanza della condotta: controllo radiografico e ultrasuoni.

5 CARATTERIZZAZIONE DELLA GHISA

5.1 Rivestimenti esterni

Nel presente paragrafo sono riportate le principali informazioni di sintesi relative ai rivestimenti per tubi e raccordi di ghisa sferoidale per acquedotto conformi alla norma UNI EN 545, nelle diverse condizioni di posa, standard e non-standard.

Si considera "rivestimento standard", un rivestimento utilizzabile nei casi in cui ci si trovi in condizioni di posa standard, ossia condizioni in cui non siano presenti significative criticità, in termini di aggressività dei terreni o interferenze elettromagnetiche. In particolare, possono definirsi condizioni standard quelle in cui: il terreno non si presenti particolarmente acido e/o di tipo misto e/o caratterizzato da un elevato contenuto di sostanze inquinanti; il terreno abbia resistività non inferiore a 1000 ohmxcm; non vi sia presenza di acqua di falda o acqua di mare; per tratte fuori terra, non vi sia ambiente aggressivo (es.

esposizione a spray marino); non vi sia interferenza elettrica (es. correnti vaganti per presenza di ferrovie) e/o elettromagnetica (es. per presenza di elettrodotti in corrente alternata, secondo quanto stabilito dalla norma CEI EN 50443). Nei casi di condizioni standard può essere adottato un rivestimento esterno di lega Zinco-Alluminio, omogenea, di tipo monofasico.

Nei casi di condizioni “non-standard”, possono essere adottati i seguenti tipi di rivestimento: rivestimento esterno di polietilene estruso oppure rivestimento esterno di poliuretano.

Esistono anche ulteriori possibilità, di seguito elencate, ma non valutate perché non propriamente adeguate alle caratteristiche dei terreni attraversati. Ad esempio il rivestimento in malta cementizia EN 15542 viene normalmente adottato come rivestimento “antiroccia”, cioè in presenza di rinfianchi grossolani e appunto rocciosi.

Nelle successive fasi progettuali, in possesso dell’affinamento delle indagini geologiche, sarà possibile effettuare una valutazione sulla possibile utilizzazione di questi ultimi rivestimenti elencati.

- malta cementizia rinforzato con fibre (tubi) in conformità alla EN 15542;
- lega di alluminio 85-15 arricchita in rame;
- lega di alluminio 85-15 arricchita in rame con malta cementizia.

5.1.1 Rivestimenti in zinco alluminio

Come in precedenza anticipato il rivestimento attualmente più utilizzato, idoneo per la maggior parte dei terreni, è la lega di zinco-alluminio avente una massa non inferiore a 400 gr/m² come indicato nell’appendice D al punto D.2.2 della norma EN 545.

Bisogna sempre comunque considerare le possibili variazioni dell’ambiente circostante alle tubazioni dovute ad esempio alle escursioni della falda con presenza di solfuri in grado di sviluppare una corrosione batterica innescata da graffi e scalfitture sul rivestimento che si possono verificare in fase di posa in opera.

Per tali motivi, ma soprattutto per garantire una durata della condotta nel tempo indipendentemente dall’aggressività del terreno e alle escursioni della falda si è adottato un rivestimento esterno “rinforzato” come previsto dalla norma EN 545 nell’allegato D al punto D.2.3.

I rivestimenti rinforzati previsti dalla norma EN 545, più utilizzati sono:

- polietilene estruso (tubi) in conformità alla EN 14628 per DN <700;
- poliuretano (tubi) in conformità alla EN 15189 per DN >700;
- resina epossidica spessore medio di almeno 250 microns (raccordi) in conformità alla EN 14901;

5.1.2 Rivestimenti in polietilene

Da recenti ricerche di mercato il rivestimento in polietilene EN 14628 viene prodotto solo fino al DN 700 e quindi di per sé non applicabile, anche se per il futuro potrà esserci tale applicazione anche per condotte di diametro superiore.

Questo rivestimento dello spessore di 700-900 microns viene applicato per spruzzatura automatica e riveste l’intero tubo escluso solo la parte della giunzione (estremo liscio e interno bicchiere) che viene resinata secondo quanto previsto dalla norma EN 14901 (rivestimento rinforzato).



Figura 4 - rivestimento esterno applicato per spruzzatura

5.1.3 Rivestimenti in poliuretano PUR

Recentemente si sono perfezionate le tecniche di applicazione delle resine termoindurenti e dei poliuretani (PUR); questi ultimi sono proposti per le tubazioni in ghisa con diametro superiore a DN 700.



Il rivestimento esterno in poliuretano per condotte in ghisa è un sistema di protezione meccanica ed anticorrosiva che può essere sottoposto ad applicazioni anche gravose. La buona elasticità del prodotto offre una buona resistenza alle sollecitazioni meccaniche, resistenza all'urto e aderenza alla tubazione. Inoltre l'impermeabilità all'acqua gli conferisce una notevole resistenza ai fenomeni di corrosione. L'incamiciatura in poliuretano secondo EN 15189 funge da rivestimento rinforzato secondo EN 545 Appendice D.2.3. e secondo EN 598 Appendice B.2.3.

Per l'applicazione del poliuretano il tubo grezzo viene sottoposto ad un preventivo trattamento di sabbiatura al grado SA 2,5, secondo la norma ISO 8501-1, per preparare la superficie esterna alla successiva applicazione delle vernici con sistema bimixer (spruzzatura bicomponente ad alto contenuto di solidi) sino ad ottenere uno spessore di 0,9 ÷ 1 mm. Il rivestimento viene sottoposto a controlli visivi, dimensionali (spessore) e prove tecnologiche di aderenza.

La norma specifica è la UNI EN 15489 che prevede i requisiti per i rivestimenti esterni in poliuretano (PUR) e poliuretano- modificato (PUR-MOD) applicato allo stato liquido. Secondo le norme EN 545 ed EN 598, il PUR è considerato un rivestimento rinforzato, utilizzabile in tutti i terreni con qualsivoglia corrosività (pH 1–14) ed in presenza di correnti parassite.

5.1.4 Scelta progettuale

Avendo a priori optato per un rivestimento esterno rinforzato, essendo il rivestimento in cls una precauzione eccessiva, non essendo disponibile il rivestimento in polietilene per i diametri progettuali si è optato per il rivestimento in poliuretano.

5.2 Rivestimenti interni

5.2.1 Rivestimento in malta cementizia

Il rivestimento in malta cementizia previene la corrosione della parte interna delle tubazioni determinando un elevato livello del pH al contatto con la parete metallica. La malta cementizia viene applicata per centrifugazione che porta alla formazione di un rivestimento denso e compatto, quale risultato dell'uso di bassi rapporti acqua/cemento nell'impasto alla fine del processo.

Il rivestimento presenta una superficie liscia con basso coefficiente di scabrezza. Per i tubi acquedotto viene applicata una malta di cemento d'altoforno.

La seguente tabella fornisce i valori dello spessore del rivestimento di malta cementizia nei tubi in ghisa sferoidale; questo può presentare, alle estremità del tubo, un cianfrino della lunghezza massima di 20 mm.

DN	Spessore		Massima larghezza delle fessure e spostamento radiale
	Valore nominale	Deviazione limite	
700 a 1200	6,0	-2,5	0,6

5.2.2 Rivestimento in poliuretano

Le tecniche di applicazione per il rivestimento interno sono per iniezione a caldo (norma UNI EN 15655) sino a raggiungere spessori di 1,3-1,5 mm.

Il rivestimento elastico in PUR segue le deformazioni della ghisa e si adatta alla forma del tubo e nel caso di taglio del tubo, il rivestimento in PUR rimane intatto, senza scheggiature.

La minima rugosità della parete $k = 0,0014$ mm (secondo SVGW W4) ed il diametro idraulico più elevato dato dallo spessore più ridotto rispetto a quello con malta cementizia garantirebbe un più elevato rendimento idraulico.

Dal punto di vista della compatibilità alimentare il rivestimento in PUR soddisfa i requisiti della direttiva del Ministero federale dell'ambiente tedesco (UBA) sulla valutazione igienica di rivestimenti organici a contatto con l'acqua potabile nonché i requisiti del foglio di lavoro DVGW W 270.

5.2.3 Scelta progettuale

Essendo il PUR ancora una tecnologia di recente applicazione, in questa fase progettuale si è optato per il rivestimento interno in malta cementizia più largamente testato. Una volta che essa sarà adeguatamente normata dal

punto di vista della compatibilità alimentare, nelle successive fasi progettuali, è auspicabile una rivalutazione della scelta del rivestimento.

5.3 Rivestimenti interni esterni – Pezzi speciali

5.3.1 Rivestimento epossidico

I pezzi speciali sono rivestiti internamente ed esternamente da uno strato di resina epossidica applicata a caldo conforme alla norma EN 14901 e certificata conforme all'utilizzo per acque destinate al consumo umano secondo la normativa dei principali Paesi europei.

L'applicazione della resina epossidica sulla superficie metallica avviene a mezzo di pistola spray o in letto fluido, in modo da generare uno spessore del rivestimento di almeno 250 micron, cosiddetto rivestimento "pesante". In queste condizioni, secondo le prescrizioni della norma citata, i pezzi speciali sono adatti all'impiego in tutti i tipi di terreni.



Figura 5 – pezzi speciali ghisa sferoidale

6 CONFRONTO GHISA - ACCIAIO

Nel presente capitolo viene effettuato un confronto tecnico tra la posa in opera delle tubazioni in ghisa sferoidale (a giunto STANDARD e ANTISFILAMENTO) e le tubazioni in acciaio saldato, nei diametri DN 800-900 mm.

6.1 Caratteristiche idrauliche

Le caratteristiche idrauliche dei due materiali sono molto simili in quanto per entrambi è previsto un rivestimento interno in malta cementizia applicata per centrifugazione; per le condotte di adduzione in pressione si assume un coefficiente di scabrezza pari a $\varepsilon = 0.10$ mm (formula di Colebrook – White) ovvero un coefficiente $K=105$ secondo la formula di Manning-Strickler.

6.2 Semplicità ed economicità di posa

6.2.1 Ghisa sferoidale

Le giunzioni a bicchiere delle tubazioni che consentono cadenze di posa elevate e la semplicità del montaggio che consente l'impiego anche di maestranze non particolarmente specializzate, garantiscono tempi di posa ridotti; condizione essenziale in caso di terreni argillosi e quota di falda alta. Il controllo della corretta posizione della guarnizione a tubazione montata può essere effettuato in tempi rapidi e garantisce il corretto montaggio e la tenuta del giunto.

Gli accorgimenti da seguire nella giunzione delle tubazioni sono la perfetta pulizia del giunto e della sede di tenuta della guarnizione, la lubrificazione della guarnizione e dell'estremità del tubo, l'inserimento dell'estremità della tubazione deve risultare perfettamente allineata al giunto. Ad ogni esecuzione si dovrà poi verificare tramite uno spessimetro che la profondità della guarnizione sia uniforme lungo tutta la circonferenza.



La posa è agevole anche in condizioni meteorologiche non ottimali, o in presenza di umidità nello scavo a causa della presenza di acqua di falda in trincea. Per i diametri previsti in progetto, in campo aperto, è possibile ottenere una produzione che prevede di posare nr. 9 -10 tubi al giorno.

Un ulteriore vantaggio presentato dai sistemi in ghisa sferoidale è costituito dalla deviazione angolare offerta dai giunti a bicchiere, che varia dai 1,5 a 3 gradi per i giunti tradizionali ai 1,5 - 2 gradi per i giunti antisfilamento.

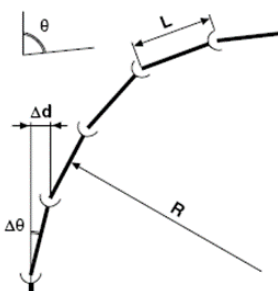


Figura 7 - dettagli angolo di posa tubazioni in ghisa sferoidale

Tale deviazione angolare, da eseguire dopo l'esecuzione del giunto stesso, permette così di evitare l'uso di raccordi in caso sia possibile adottare di curve ad ampio raggio. Per le curve di entità più elevata e per tutte le ulteriori necessità di realizzare diramazioni, connessioni flangiate, ecc., è disponibile una gamma di raccordi a bicchiere ed a flangia, per il collegamento con le

apparecchiature idrauliche, tali da soddisfare tutte le esigenze, mantenendo le doti di semplicità e rapidità di montaggio proprie delle tubazioni.

6.2.2 Acciaio

L'acciaio, specie in terreni aperti, è saldabile fuori scavo, per i diametri in esame e per via del rivestimento cementizio, per massimo 3 barre, ovvero 36 m circa, necessitando poi di calo nello scavo dei segmenti preassemblati, e in nicchia (ovvero nello scavo) con le dovute attenzioni per garantire la continuità del rivestimento interno.

Per i diametri previsti in progetto è possibile ottenere una produzione che prevede l'esecuzione di tre saldature al giorno per ogni coppia di saldatori impiegata. Tipicamente, per le tubazioni in acciaio, il cantiere viene suddiviso in due fronti: il primo fronte prevede lo sfilamento, l'assemblaggio e la saldatura fuori terra per trochi (circa 36 m); il secondo fronte prevede lo scavo, la posa in trincea dei tronchi preassemblati e la giunzione in nicchia.



Figura 8 - dettagli posa tubazioni in acciaio

Ciò considerato risulta evidente che il costo di posa dell'acciaio saldato, a parità di produzione, risulta decisamente maggiore di quello della ghisa sferoidale.

6.3 Tenuta idraulica

L'acciaio non ha nessun tipo di criticità riguardo alla tenuta idraulica se non quello legato alla corretta saldatura, che viene verificata adottando i controlli radiografici o altri controlli non distruttivi (indagine ad ultrasuoni). Il controllo di tutti gli elementi saldati consente quindi di effettuare collaudi idraulici di lunghe tratte, tipicamente quelle racchiuse tra due intercettazioni di linea. Chiaramente come per la ghisa deve essere fatta particolare attenzione agli accoppiamenti flangiati (unione tra pezzi speciali e/o apparecchiature idrauliche) comunque sempre da prevedersi all'interno di camerette di manovra ed ispezione. L'esito delle prove idrauliche (1,5 volte la pressione di esercizio), per le tubazioni in acciaio, normalmente non registra cali di pressioni tipico indice di perdite e microperdite.

Le tubazioni in ghisa sferoidale affidano la tenuta idraulica al sistema giunto a bicchiere con anello in gomma e non esistono controlli da eseguire post giunzione. Le procedure di imbicchieramento sono semplici, ma vanno attentamente verificate soprattutto negli assemblaggi delle curve plano-altimetriche e là dove è previsto l'uso di spezzoni di tubo (liscio-liscio) dove deve essere rifatto il cianfrino. Prima di procedere al collaudo idraulico definitivo è necessario effettuare precollaudi parziali, anche soventi (specialmente in presenza di falde acquifere elevate) al fine di verificare i singoli tratti e soprattutto di rintracciare le eventuali perdite.

Da segnalare che nei collaudi si riscontra sempre un iniziale assorbimento di acqua nella malta cementizia, con un certo tempo di stabilizzazione, ed anche fluttuazioni di pressione dovute a formazione di bolle d'aria presenti nei bicchieri.

Ciò considerato risulta evidente che mentre per l'acciaio i collaudi idraulici sono conclusivi e non richiedono ulteriori indagini, per la ghisa occorre un considerevole frazionamento delle prove, indagando in primis per tratti ridotti e poi per tratte più lunghe e comunque spesso senza ottenere pressioni di riscontro stabili che garantiscano l'effettiva perfetta tenuta della condotta. Tutte le prove idrauliche da effettuarsi per la ghisa incrementano i costi di posa della stessa.

6.4 Resistenza ai carichi

Entrambi i materiali sono di tipo semi-rigido, gli spessori della parete delle tubazioni sono tali da consentire di resistere ai carichi del terreno di rinterro.

In presenza di carichi stradali, si può rendere necessario per i diametri medio elevati il ricorso ad un certo livello di compattazione del terreno di scavo e solo eccezionalmente ad un rinfianco in terreno granulare.

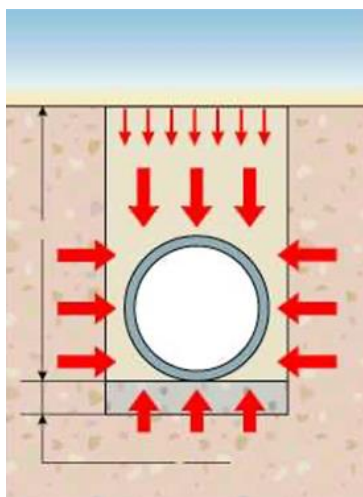


Figura 9 - distribuzione dei carichi sulla sezione della condotta

I tubi semi-rigidi si ovalizzano perché una parte del carico verticale dei terreni mobilita l'appoggio laterale sul rinterro. Gli sforzi così messi in gioco sono le reazioni passive di appoggio da parte del rinterro e gli sforzi di flessione interna nella parete del tubo. La resistenza al carico verticale è quindi ripartita fra la



resistenza propria del tubo e quella del rinterro circostante, in quanto il contributo di ognuno di questi è funzione del rapporto delle rigidità fra il tubo e il suolo.

Criterio di dimensionamento: sforzo massimo di flessione ammissibile (caso di piccoli diametri) oppure ovalizzazione massima ammissibile (caso di grandi diametri).

Conseguenze: ripartendo gli sforzi fra tubo e rinterro, il sistema suolo-tubo semi rigido offre una sicurezza in caso di cambiamento nel tempo delle sollecitazioni meccaniche o delle condizioni di appoggio.

6.4.1.1 Sollecitazioni dovute a sisma o cedimenti differenziati

L'effetto di un sisma su un'opera interrata di grande lunghezza si riduce quindi essenzialmente alle deformazioni imposte all'opera dagli spostamenti differenziali tra i punti del terreno o tra il terreno e le costruzioni comprese nell'opera.

La verifica antisismica delle tubazioni interrate può essere svolta secondo due criteri fondamentali:

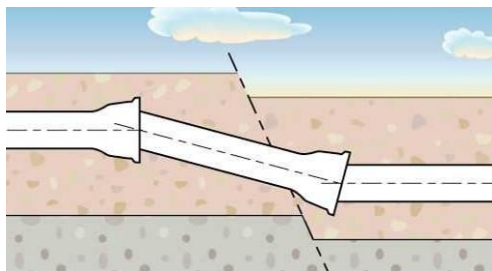
- verifica antisismica in senso stretto, utilizzando il criterio della condotta continua;
- verifica antisismica flessibile, utilizzando il criterio della condotta discontinua.

La condizione di condotta continua si ottiene quando si impiegano tubazioni con giunzioni rigide; esempio le giunzioni saldate dei tubi di acciaio, che realizzano una struttura monolitica. In questo caso i giunti garantiscono la continuità assiale della condotta e trasmettono integralmente gli sforzi di compressione, trazione e flessione.

La condotta deve sopportare con la sua resistenza e rigidità gli sforzi causati dal sisma con i fattori di sicurezza richiesti; per ottenere questo risultato spesso è necessario sovradimensionare la condotta stessa.

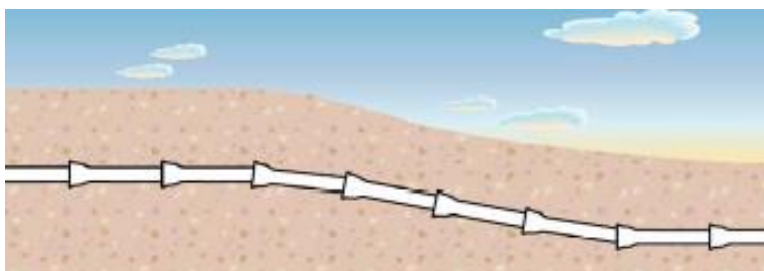
Poiché la struttura monolitica non presenta punti di discontinuità, se la tubazione è sufficientemente lunga da ritenersi solidale al terreno, la sollecitazione assiale che si genera è direttamente conseguente alla deformazione del terreno stesso ed è indipendente dallo spessore della condotta.

La condizione di condotta discontinua si ottiene quando si impiegano tubazioni con giunzioni flessibili (ghisa sferoidale giunto standard), quindi con tubazioni con giunti a guarnizione, che realizzano una struttura flessibile. In questo caso i giunti non trasmettono sollecitazioni assiali e consentono spostamenti e rotazioni tra tubi successivi.



La condotta, in questo modo, risulta meno sollecitata e le deformazioni indotte dal sisma sono concentrate nei giunti stessi. È necessario verificare che non si determinino sfilamenti o eccessive deviazioni angolari. Poiché l'attrito tubo - terreno non è annullato dalla presenza di giunti, per prima cosa occorre verificare le condizioni di slittamento del tubo rispetto al terreno. Bisogna valutare cioè se il tubo effettivamente può scorrere rispetto al terreno e realizzare le condizioni di discontinuità complete, oppure se per determinate condizioni al contorno la tubazione sia impedita di scivolare liberamente e quindi la situazione della tubazione è quella di condotta continua (utilizzo di giunti antisfilamento).

Nel complesso quindi la tubazione viene a comportarsi ed a disporsi in forma di una catena capace di seguire i movimenti del terreno senza che i suoi elementi siano soggetti ad alcuno stato apprezzabile di deformazione e di sollecitazione a patto naturalmente che i parametri delle sollecitazioni siano compresi negli elevati limiti delle caratteristiche meccaniche del materiale e nelle elevate caratteristiche elastiche dei giunti. In particolare, la ghisa sferoidale ha eccellenti referenze delle sue prestazioni in aree con attività sismica dichiarata. Le vibrazioni, infatti, producono onde periodiche nel terreno, onde che su una rete che è ritenuta in grado di seguirne i movimenti, si traduce come movimento trasversale e longitudinale. Tali onde producono di conseguenza all'interno della struttura forze di compressione e trazione oltre che movimenti di flessione.



Le tubazioni in acciaio, pur presentando elevate caratteristiche di resistenza meccanica, riguardo a questi fenomeni di instabilità, estesa o puntuale, hanno grandi limiti di assorbire in modo elastico i movimenti del suolo imposti alle condotte da sismi, frane, cedimenti per cui, anche in questo caso le rotture avvengono e si verificano con parametri di sollecitazione inferiori a quelli per cui si verificano eventuali rotture e distacchi di giunzione per i tubi in ghisa sferoidale.

Nel caso della ghisa sferoidale ogni giunto costituisce:



- un punto di momento pari a 0 (non trasmissione dei momenti di flessione) entro il range di deviazione massima ammissibile;
- un punto di “stress” pari a 0 (non trasmissione di forze assiali di compressione- trazione).

Le tubazioni in acciaio con giunti saldati sono invece soggette a ogni movimento di terreno e di conseguenza alle sollecitazioni risultanti, a possibili rotture soprattutto nelle zone di saldatura.

6.4.1.2 Blocchi di ancoraggio e giunti antisfilamento

Per contro la ghisa richiede, ogni qualvolta si presenti una deviazione angolare o un pezzo speciale, l’inserimento dei blocchi di ancoraggio in c.a. che, per via delle elevate pressioni in gioco e anche delle scarse caratteristiche geotecniche dei terreni, possono risultare di dimensioni non trascurabili; esse, in condizioni particolari, possono anche eccedere i limiti di servitù della condotta. Ricorrendo alle tubazioni con giunto antisfilamento, si consente di limitare il numero dei blocchi di ancoraggio, ma, allo stesso tempo, si rende la condotta monolitica così come l’acciaio e quindi soggetta alle medesime problematiche.

Per la ghisa l’uso di giunti antisfilamento si rende necessario anche quando si presentano condizioni geomorfologiche instabili e con presenza di falda pressoché superficiale che tendono a far rifluire verso l’alto la tubazione.

Il costo d’investimento per stabilizzare le tubazioni in ghisa sferoidale non è trascurabile e per le opere in oggetto di studio è possibile ipotizzare una incidenza delle tubazioni con giunto antisfilamento pari al 35% della lunghezza con un conseguente non trascurabile aumento dei costi su investimento.

6.5 Resistenza alla corrosione

La vulnerabilità delle tubazioni in acciaio saldato alla corrosione rappresenta una costante nella progettazione.

Per questi materiali è quindi necessario prevedere la protezione dalla corrosione attiva a mezzo di impianti di protezione catodica a corrente impressa con dispersori profondi. Gli impianti di protezione catodica attivi hanno un basso costo iniziale, ma si deve prevedere a priori un costo gestionale nel tempo, specialmente dovuto alle spese per l’energia elettrica a corrente impressa.

Interazioni con altri servizi elettrici, tipicamente gli attraversamenti ferroviari, possono instaurare rischi di “cathodic disbondment” ovvero di disequilibrio catodico per la struttura che può avere a monte delle suddette interazioni zone protette e a valle zone in totale squilibrio e quindi soggette a rischio di corrosione; per tali motivazioni è necessario prevedere in tali casi l’uso di giunti dielettrici.

Per quanto concerne la protezione interna, la “teoria” della autocicatrizzazione del giunto, per ottenere la continuità del rivestimento interno, dovuta all’espansione della malta cementizia o alla sedimentazione di materiali calcarei, non è una condizione di garanzia di continuità specialmente in presenza di acque di provenienza superficiale. Conseguentemente, nel rispetto delle norme di sicurezza, e per quanto più possibile, dovrà essere eseguito un riempimento dell’interspazio manualmente intervenendo

dall'interno della tubazione adottando materiali compatibili con il resto del rivestimento interno,

Per quanto concerne la ghisa sferoidale analogamente all'acciaio, il rivestimento esterno in poliuretano (acciaio triplo strato PE) è tale da costituire un'efficace protezione passiva sia ai fenomeni di corrosione elettrochimica, che a quelli di natura batterica, dovuti all'azione di colonie di ferrobatteri che possono svilupparsi in terreni anaerobi, ricchi di solfati e sostanze organiche. L'elevata resistenza meccanica della protezione in poliuretano è tale da consentire poi una più agevole movimentazione delle tubazioni. Per quanto concerne invece la protezione interna la configurazione del bicchiere consente una sostanziale continuità del rivestimento; inoltre, il bicchiere viene comunque fornito protetto con resine epossidiche.

Gli aspetti sopra elencati rappresentano, solo per le condotte in acciaio, un costo di investimento iniziale (impianti di protezione catodica) ed un costo di manutenzione a carico del Gestore che si protrae per tutta la vita utile dell'opera.

6.6 Pezzi speciali

Per l'acciaio i pezzi speciali vengono realizzati "su misura" a seconda delle esigenze da soddisfare; tali pezzi richiedono l'esecuzione di ulteriori saldature, rivestimenti ed un ulteriore aggravio per i controlli radiografici delle saldature che risultano normalmente più concentrate rispetto ai giunti di linea (uno ogni 12 m).



Le estremità vengono previste smussate, pronte per la saldatura di testa, o flangiate. Le saldature, così come per le saldature di linea, vengono effettuate a piena penetrazione all'arco sommerso, con elettrodo. Sono previsti controlli visivi, dimensionali e non distruttivi quali ultrasuoni, radiografia ecc. nel rispetto dei più severi standard costruttivi che devono garantire il perfetto accoppiamento con le tubazioni di linea.

Anche per i pezzi speciali vengono applicati rivestimenti protettivi esterni in polietilene mediante manicotti o nastri termorestringenti e rivestimenti interni in malta cementizia per continuità con la tubazione.



ELTEC S.r.l.

Società di ingegneria

Via C. Seganti 73/F int. 5/6

47121 Forlì (FC)

Tel. +39-(0543)-473892

E-mail: info@eltec-service.it

La gamma di raccordi per le tubazioni in ghisa sferoidale consente una adeguata scelta e non vi è quindi necessità di inserire pezzi speciali in diverso materiale (acciaio), ogni raccordo viene inserito sulla condotta per mezzo di giunti che possono essere:

- di tipo meccanico con controflangia e bulloni, il cui serraggio assicura la tenuta di una guarnizione in elastomero all'interno di un bicchiere;
- di tipo automatico con guarnizione in elastomero (come la tubazione), atta ad assicurare la tenuta attraverso la reazione elastica della gomma, anche nella versione antisfilamento a doppia camera come per le tubazioni;
- a flangia in conformità alla UNI EN 1092-2, utilizzabili esclusivamente in camerette di ispezione.

Particolare attenzione dovrà essere fatta nel collegamento curva-tubo, utilizzando idonee attrezzature per il montaggio in grado di lavorare in sicurezza e con la dovuta precisione.

Anche in questo l'applicazione dei rivestimenti interne ed esterni avviene manualmente come per i pezzi speciali in acciaio.

Per entrambe le tipologie il costo dei pezzi speciali è ben superiore alle tubazioni ed in sostanza si equivalgono.

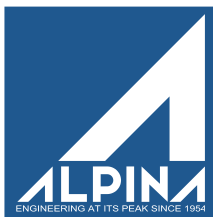
Nell'ambito della scelta dei materiali ricade anche la scelta del tracciato delle condotte che nel caso della ghisa presenta i vincoli derivanti dalla gradazione predeterminata delle curve (90°, 45°, 22,5°, 11,25°); per l'acciaio i pezzi speciali sono su misura, pertanto, non si configurano tali vincoli.

7 MONITORAGGIO STRUTTURALE PER CONDUTTURE INTERRATE

Per investimenti così importanti dove è fondamentale la vita utile della condotta è importante poterne monitorare in tempo reale il comportamento in esercizio della stessa con l'ausilio di software predittivi che consentano di valutarne la vita residua. Per questo tema, indipendentemente dal materiale, viene di seguito illustrata una tecnologia di monitoraggio in continuo che potrebbe essere adottata nei casi particolari e più caratteristici (risalita a Monte Casale, attraversamento ferroviario, attraversamento autostradale, attraversamenti fluviali principali, ecc).

Tra le nuove tecnologie applicabili alle condotte interrato vi è quella che consente il monitoraggio strutturale delle condotte interrato. Si tratta di una tecnologia innovativa di recente applicazione ed è costituita da particolari sensori (in tessuto in poliestere e resina epossidica) da applicare sulla superficie delle tubazioni in grado di effettuare la lettura delle deformazioni (e quindi dello stato tensionale) lungo tre direttrici simultaneamente:

- deformazione circonferenziale
- deformazione longitudinale
- schiacciamento apicale (ovalizzazione)



Vantaggi del sistema:

1. Verifica immediata dell'assetto della condotta già al momento della posa, del rinterro e del collaudo idraulico.
2. Monitoraggio continuo e da remoto, capace di intercettare sul nascere ogni spostamento della tubazione e di ciascun elemento rispetto a quelli contigui, dovuti ad esempio a movimenti o cedimenti del piano di posa, quale che sia la causa scatenante.
3. Monitoraggio continuo e da remoto, capace di intercettare sul nascere e individuare con grande precisione la presenza di perdite e la loro posizione, indirizzando di conseguenza gli interventi manutentivi riducendone i costi al minimo.
4. Il monitoraggio in continuo, integrato dal software per la manutenzione predittiva e la stima della vita residua della struttura, assicura la durabilità dell'opera nel lungo periodo e minimizza i costi della manutenzione nel tempo.

Tale tecnologia potrà trovare applicazione nei punti sensibili delle condotte (attraversamenti con altre infrastrutture, declivi, ecc.) o in tratti in cui il terreno presenta instabilità. Pertanto, nelle successive fasi progettuali, è auspicabile una valutazione sulla possibile applicazione del sistema sopra descritto.

8 INTRODUZIONE SULLA METODOLOGIA DI ANALISI TCO-LCA

Nella scelta del materiale per la realizzazione di un'opera acquedottistica sono da considerarsi diversi aspetti tra essi, si ricordano:

- i diametri necessari per convogliare le portate di progetto
- l'uso delle acque da convogliare
- la tipologia di terreno cui sono destinate le opere
- la tipologia di accesso alle aree di cantiere
- i dislivelli da superare

In considerazione di quanto sopra, risulta molto utile, per una scelta tarata sulle effettive necessità, considerare un tipo di analisi che tenga conto del:

- ✓ *Total Cost of Ownership (TCO)*, o costo globale dell'opera, che rappresenta tutte le spese in cui il proprietario dell'opera incorre nel corso di tutta la vita utile di quest'ultima ed è calcolato secondo la norma ISO 15686-5.
- ✓ *Life Cycle Assessment (LCA)*, cioè una metodologia che mira alla quantificazione dell'impronta ambientale di un prodotto considerando tutte le fasi del suo ciclo di vita considerando diversi fattori ambientali (impronta di carbonio, consumo di risorse naturali) ed è calcolata secondo la norma ISO 14040-44.

È chiaro che la produzione e la posa di una condotta comportano dei costi e degli impatti ambientali, ad essi vanno aggiunti altri aspetti, dettagliati nei paragrafi successivi, che durante l'intero ciclo di vita dell'opera, influiscono sulla prestazione economica e ambientale, tra essi si ricordano:

- durata di vita



- affidabilità (idraulica e meccanica)
- tassi di fallanza (perdite)
- condizioni operative (costi di pompaggio, necessità di manutenzione, protezione catodica, ...)
- ecc.

Lo studio di tali aspetti ha dato origine ad un modello che ha lo scopo di quantificare e comparare i costi globali e le impronte ambientali di una stessa condotta realizzata con diversi tipi di materiali, considerando tutte le fasi del ciclo di vita della condotta stessa, in particolare, gli aspetti esaminati, possono essere riconducibili alle seguenti fasi:

- l'acquisto delle tubazioni: produzione, trasporto e posa
- l'esercizio: pompaggi, riparazioni, manutenzioni e perdite idriche
- la fine vita: smantellamento e percentuale di smaltimento / riutilizzo

Nei paragrafi successivi saranno meglio dettagliati il modello di calcolo utilizzato ed esplicitati i parametri presi di riferimento per l'analisi in questione.

9 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Il modello di calcolo utilizzato si basa su un sistema di parametri che consentono di quantificare e dunque monetizzare gli aspetti di cui tener conto durante l'intera vita utile dell'opera e che permettono una scelta ponderata sul tipo di materiale più opportuno da utilizzare.

Il modello di calcolo e i parametri in esso considerati servono a determinare il Total Cost of Ownership e il Life Cycle Assessment, in particolare, il modello, denominato TCO-LCA, offre la possibilità di confrontare le prestazioni economiche e ambientali di tutte le possibili alternative nelle soluzioni di scelta delle condotte.

I parametri coinvolti nell'analisi sono, tra gli altri:

- vita utile
- tasso di fallanza
- tasso di perdita
- costo dell'eventuale pompaggio, correlato alla perdita di carico del tubo
- ecc.

9.1 Obiettivi del modello

Il modello di calcolo TCO - LCA ha lo scopo di ricavare il costo economico complessivo nonché l'impronta ambientale di una tubazione dell'acqua potabile durante il suo intero ciclo di vita.

Per questo strumento sono definiti i seguenti obiettivi:

Consentire la stima del costo economico complessivo che si dovrà affrontare durante l'intero ciclo di vita dell'opera, ovvero il Total Cost of Ownership (TCO), ispirato agli standard ISO 15686-5;

Consentire la stima dell'impronta ambientale dell'intero ciclo di vita dell'opera che è il Life Cycle Assessment (LCA), in conformità con gli standard LCA ISO 14040 e 14044.

9.2 Il Sistema studiato

Il modello di analisi può essere definito da 8 parametri principali, definiti di seguito, che possono essere divisi in due tipologie:

- *Parametri Generali*, riferiti alle caratteristiche del progetto e quindi comuni a tutti i sistemi a confronto;
- *Parametri di Sistema*, riferiti alle caratteristiche della soluzione del tubo, e quindi scelti separatamente per ogni sistema.

<i>Parametri Generali</i>	Località geografica
	Ambiente di posa
	Lunghezza della rete
	Pressione di servizio per la distribuzione dell'acqua
	Portata per la distribuzione dell'acqua
	Tipo di distribuzione (gravità/pompaggio)
<i>Parametri di Sistema</i>	Materiale
	Diametro nominale (DN)

Nel sistema di valutazione dei costi delle tubazioni e dell'impronta ambientale si tiene conto di tutte le fasi del ciclo di vita dei i tubi ed in particolare:

- *Acquisizione* (inclusa acquisizione, trasporto e posa di tubi)
- *Funzionamento* (inclusi pompaggio, riparazione, manutenzione e perdite d'acqua)
- *Fine vita* (compresi i lavori di smantellamento e recupero materiale)

9.3 Descrizione del modello di valutazione del Costo globale dell'opera (TCO)

Il modello di calcolo del Costo Globale dell'opera (TCO), basato sullo standard ISO 15686-5 Edifici e beni costruiti - Pianificazione della vita utile - Parte 5: Costo del ciclo di vita (ISO 2008), è dato dalla somma dei costi e dei ricavi economici totali di un investimento, costi che si hanno per l'intero ciclo di vita del prodotto.

Nel calcolo del TCO è incluso sia il costo per l'acquisto e la posa dell'opera, sia il costo di esercizio del sistema, come ad esempio i costi delle riparazioni, i costi dei danni generati da guasti ai tubi, ecc.

Per una corretta analisi di confronto economico è stata effettuata una ricerca di mercato sui possibili fornitori di entrambi i materiali e sulle dinamiche commerciali.

Il mercato dell'acciaio è più volubile di quello della ghisa in quanto i produttori dei tubi in acciaio sono direttamente legati alle oscillazioni di mercato del prezzo dei coils (lamiere bobinate). Spesso il mercato dei coils è influenzato da speculazioni finanziarie così come in questo particolare momento, dove il prezzo dell'acciaio è lievitato di circa il 25%.

Diverso è nella ghisa i prezzi sono più calmierati, in quanto i principali produttori di tubazioni in ghisa partono dalla prima fusione e quindi dalla



riduzione del minerale. L'acquisto del minerale direttamente dalle miniere normalmente prevede contratti a lungo termine per cui le oscillazioni di mercato sono meno frequenti.

In ogni caso entrambi i materiali sono soggetti alle variazioni (normalmente aumenti) dei costi di trasporto e logistica dovuti agli aumenti dei carburanti e soprattutto dalla scarsa reperibilità di navi da trasporto impegnate su altre rotte.

I prezzi di fornitura per le tubazioni sono stati assunti in base agli attuali prezzi medi di mercato per i quali è sempre consigliabile operare opportune verifiche al momento delle successive fasi progettuali.

9.4 Descrizione del metodo di valutazione dell'Impronta Ambientale dell'opera (LCA)

Il modello di analisi LCA valuta alcuni degli impatti relativi e potenziali sull'ambiente e sulla salute umana associati a prodotti e servizi durante il loro ciclo di vita.

Le fasi considerate nell'analisi comprendono l'estrazione delle materie prime, il trasporto, la produzione, l'utilizzo e la gestione delle materie a fine vita (EOL). È importante notare che gli impatti descritti dal LCA sono stime degli impatti relativi e potenziali, piuttosto che misurazioni dirette degli impatti reali, con limitazioni come descritto nella serie ISO 14040.

L'analisi riguarda i materiali utilizzati, l'energia consumata, gli scarti e le emissioni prodotti da ogni processo compreso nel sistema.

10 DESCRIZIONE DEI PARAMETRI DI RIFERIMENTO UTILIZZATI NEL TCO E NEL LCA

Si possono individuare le seguenti fasi del ciclo vita analizzate e i parametri da considerare per ognuna di esse:

10.1 Parametri nel metodo di valutazione del Costo globale dell'opera (TCO)

Fase	parametro
Acquisizione	Materiali tubi
	Posa - Scavo e Rinterro
	Posa - Assemblaggio dei giunti
	Posa - Controllo assemblaggio giunto
	Posa - Installazione di protezioni complementari
Esercizio	Costo riparazioni in caso di guasti e rotture
	Perdite di carico
	Protezione catodica - consumo medio annuo di elettricità
	Protezione catodica - costi di gestione (escluso il consumo di elettricità)
Fine vita	Smantellamento
	Guadagno derivante da recupero materiale

10.2 Parametri nel metodo di valutazione dell'Impronta Ambientale dell'opera (LCA)

Fase	parametro
Acquisizione	Materiali tubi
	Materie prime di rivestimento e rivestimento
	Produzione di tubi
	Materie prime e produzione congiunte
	Trasporto del tubo al sito di posa
	Installazione
Esercizio	Protezione catodica (se prevista)
	Sostituzione del tubo in caso di guasto e/o rottura
	Perdite di carico
Fine vita	Rimozione e smantellamento
	Trattamento dei rifiuti
	Potenziali benefici derivanti da recupero materiale

Nell'ambito del caso in esame, sono stati identificati 4 tratti principali, per ognuno dei quali è stata condotta l'analisi TCO - LCA.

La scelta di suddividere lo studio in 4 distinti tratti dipende da:

- Numero di rami/tratti funzionali,
- DN previsti per ogni tratto/ramo funzionale,

Di seguito sono sintetizzati i principali dati generali individuati per ogni tratto analizzato:

ID	Località	L	DN
[-]	[-]	[m]	[mm]
Lotto 1_A	S. Andrea in Bagnolo - Standiana	15'804.21	800
Lotto 1_B	Forlimpopoli – S. Andrea in Bagnolo	9'605.63	900
Lotto 2	S. Andrea in Bagnolo - Macerone	11'372.30	900
Lotto 3	Macerone – Torre Pedrera	16'144.91	800

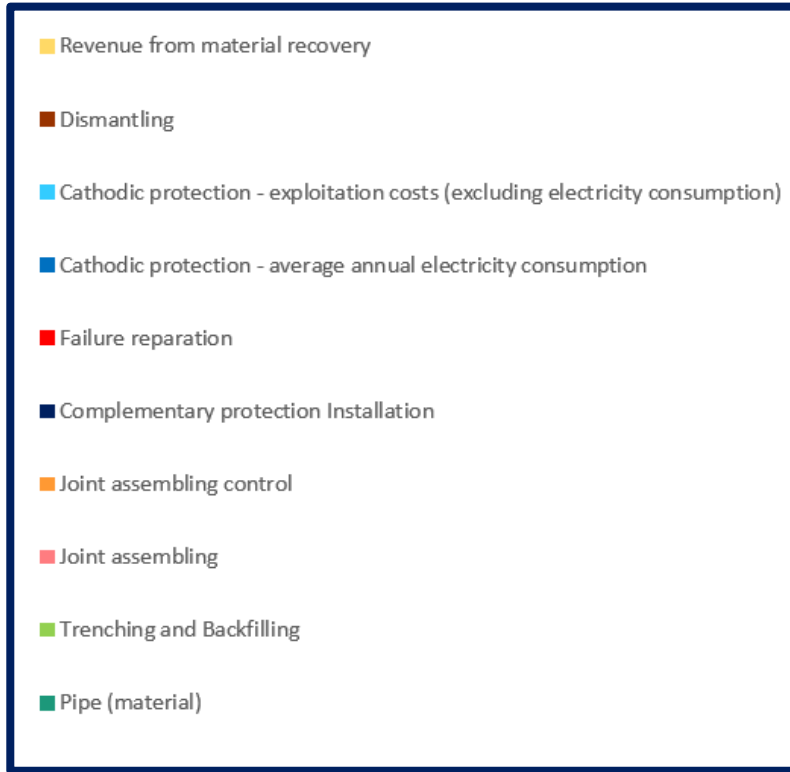
11 DESCRIZIONE DEI RISULTATI

Di seguito si riportano i risultati delle analisi condotte, divisi per tratti.

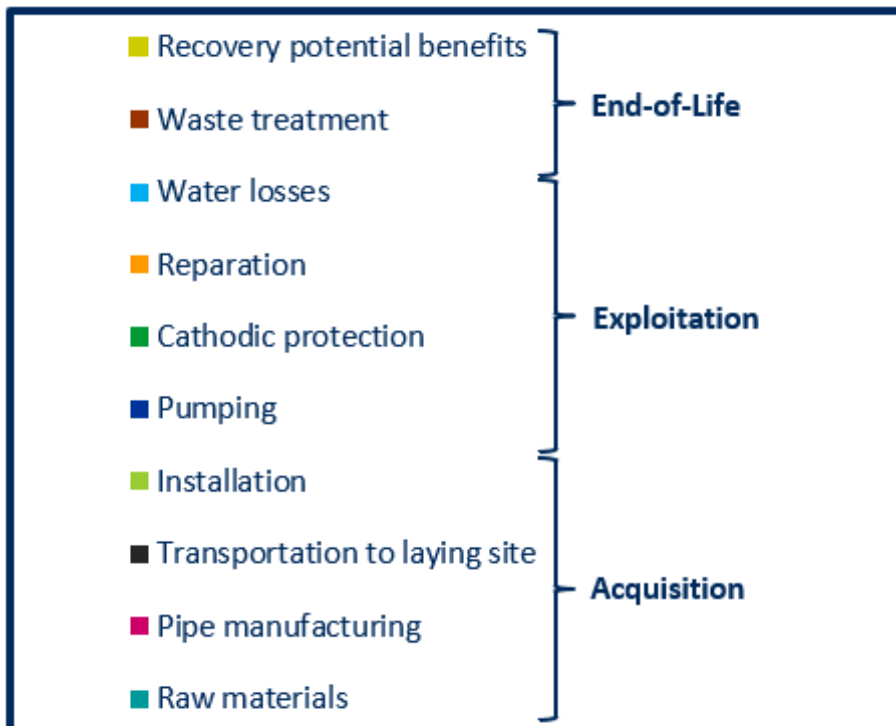
I risultati sono riportati in forma tabellare, con esplicitazione dei valori dei singoli fattori e quindi in forma grafica, ove si rende con maggiore immediatezza il risultato delle analisi rispetto al confronto tra i materiali.

Si riportano le legende valide per i due tipi di analisi condotte che sono comuni a tutti i tratti analizzati.

Legenda TCO



Legenda LCA



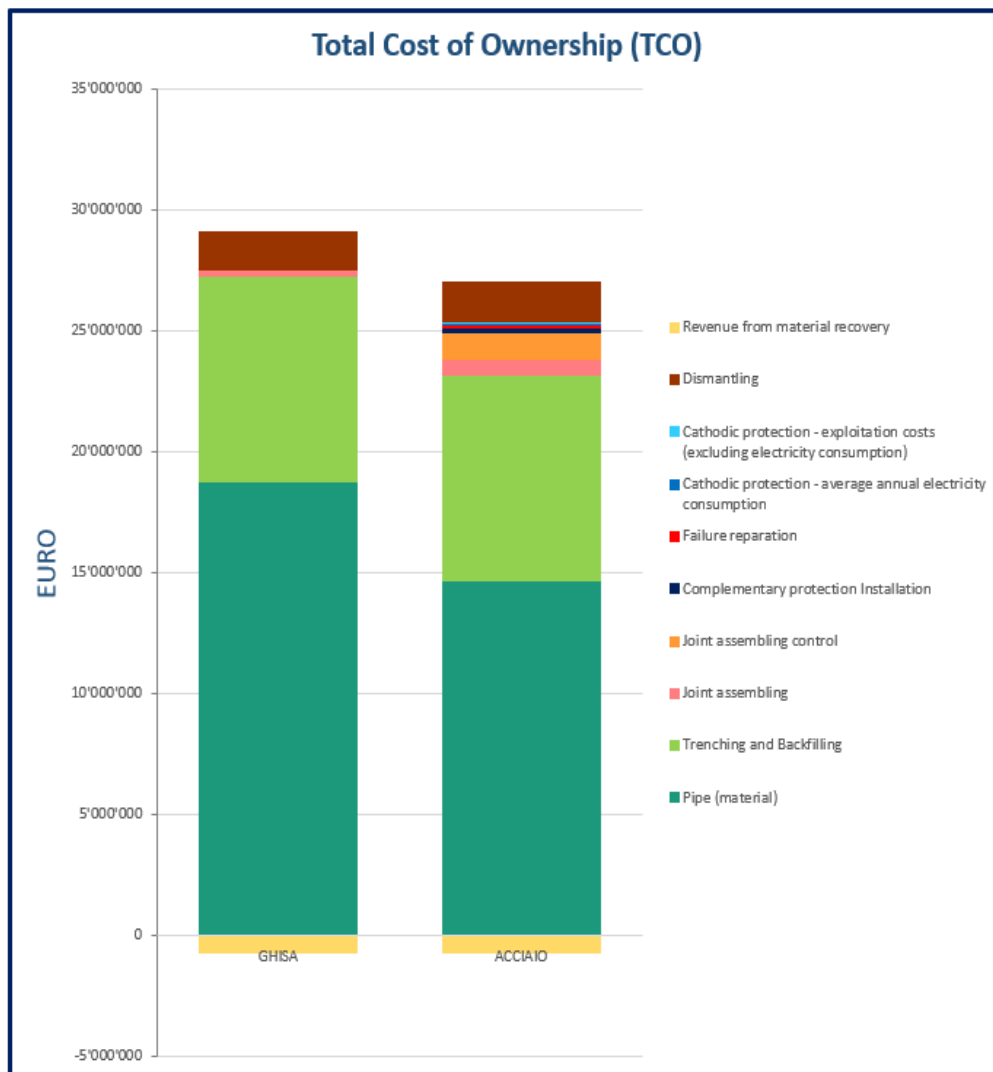
11.1 Tratto Lotto 1_A

Il seguente tratto fa parte del lotto 1 del progetto, si estende da Ravenna a Sant'Andrea in Bagnolo, ed in totale è di 15'804.21 metri, il tratto in esame è caratterizzato da un DN800, di seguito le tabelle di sintesi dell'analisi TCO, complete di grafici di confronto e dell'analisi LCA, anche questa completa di grafici.

I risultati restituiscono un parametro TCO inferiore per l'acciaio rispetto alla ghisa, mentre risultano del tutto confrontabili i parametri relativi all'impronta ambientale.

Risultati analisi TCO

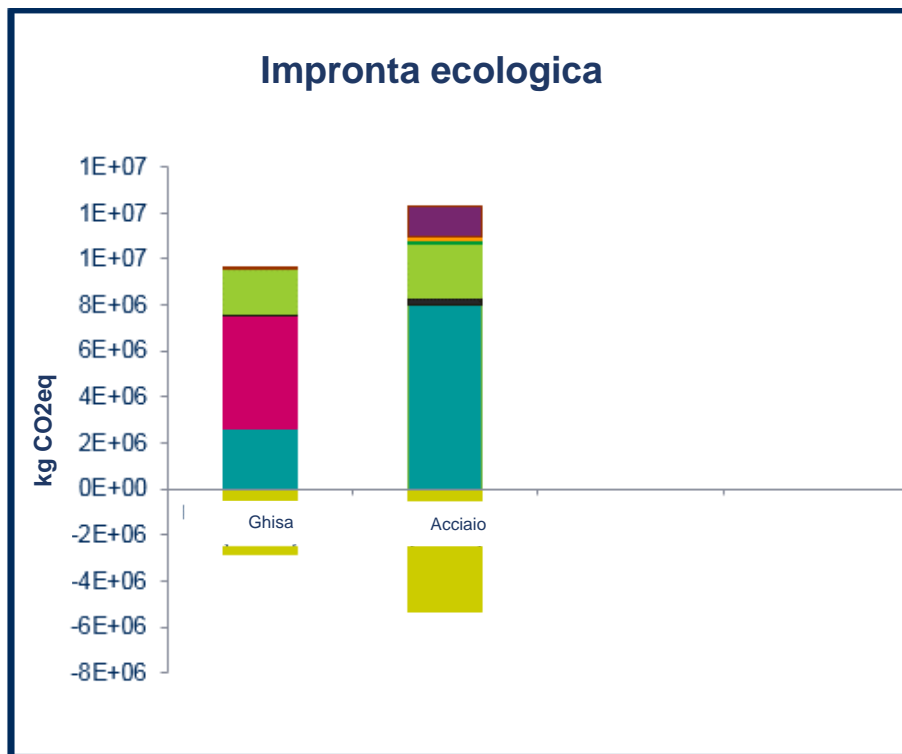
		Ghisa sferoidale (DN800)	Steel (EN 10224) (DN800)	Unit
Costi di acquisizione	di			
	Materiali tubi	18'749'120.31	14'701'014.79	€
Costi di posa	Scavo e Rinterro	8'522'327.41	8'522'327.41	€
	Assemblaggio dei giunti	245'246.83	639'174.56	€
	Controllo assemblaggio giunto	0.00	1'100'800.62	€
	Installazione di protezioni complementari	0.00	174'707.71	€
Costi di esercizio	Riparazioni in caso di guasti e rotture	27'271.45	133'800.54	€
	Protezione catodica – consumo medio annuo di elettricità	0.00	70'392.78	€
	Protezione catodica – costi di sfruttamento (escluso il consumo di elettricità)	0.00	87'906.45	€
Costi di dismissione	Smantellamento	1'575'400.00	1'575'400.00	€
	Entrate da recupero	-710'536.91	-699'320.06	€
Total		28'408'829.10	26'306'204.80	€
Costi di acquisizione	di			
	Materiali tubi	66%	56%	%
Costi di posa	Scavo e Rinterro	30%	32%	%
	Assemblaggio dei giunti	1%	2%	%
	Controllo assemblaggio giunto	0%	4%	%
	Installazione di protezioni complementari	0%	1%	%
Costi di esercizio	Riparazioni in caso di guasti e rotture	0%	1%	%
	Protezione catodica – consumo medio annuo di elettricità	0%	0%	%
	Protezione catodica – costi di sfruttamento (escluso il consumo di elettricità)	0%	0%	%
Costi di dismissione	Smantellamento	6%	6%	%
	Entrate da recupero	-3%	-3%	%



Risultati analisi LCA

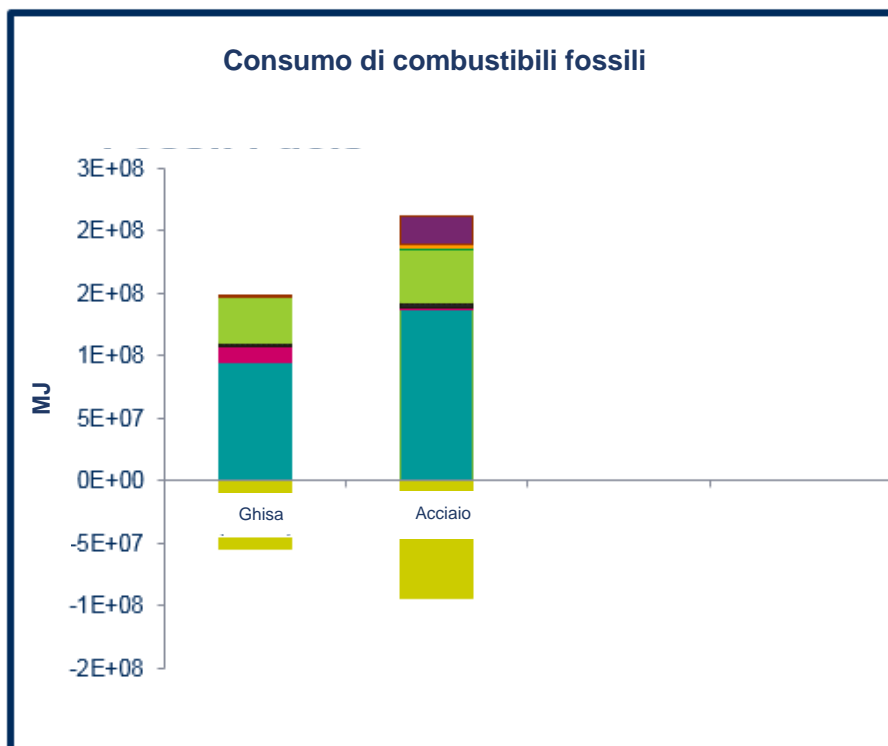
Impronta ecologica

		Ghisa sferoidale (DN800)	Steel (EN 10224) (DN800)	Unit
Acquisizione	Materiali grezzi	2.60E+06	7.98E+06	kg CO2eq
	Produzione di tubi	4.91E+06	3.75E+04	kg CO2eq
	Trasporto al sito di posa	1.41E+05	2.80E+05	kg CO2eq
	Installazione	1.91E+06	2.39E+06	kg CO2eq
Esercizio	Pompaggio	0.00E+00	0.00E+00	kg CO2eq
	Protezione catodica	0.00E+00	1.01E+05	kg CO2eq
	riparazioni	5.78E+03	1.50E+05	kg CO2eq
	Perdite di carico	0.00E+00	0.00E+00	kg CO2eq
Fine vita	Trattamento dei rifiuti	7.52E+04	1.36E+06	kg CO2eq
	Potenziali benefici dal recupero	-2.82E+06	-5.33E+06	kg CO2eq
	TOTAL	6.83E+06	6.97E+06	kg CO2eq



Consumo di combustibili fossili

		Ghisa sferoidale (DN800)	Steel (EN 10224) (DN800)	Unit
Acquisizione	Materiali grezzi	9.42E+07	1.37E+08	MJ
	Produzione di tubi	1.35E+07	6.19E+05	MJ
	Trasporto al sito di posa	2.05E+06	4.06E+06	MJ
	Installazione	3.72E+07	4.32E+07	MJ
Esercizio	Pompaggio	0.00E+00	0.00E+00	MJ
	Protezione catodica	0.00E+00	1.49E+06	MJ
	riparazioni	2.09E+05	2.59E+06	MJ
	Perdite di carico	0.00E+00	0.00E+00	MJ
Fine vita	Trattamento dei rifiuti	1.06E+06	2.30E+07	MJ
	Potenziali benefici dal recupero	-5.44E+07	-9.37E+07	MJ
	TOTAL	9.38E+07	1.19E+08	MJ



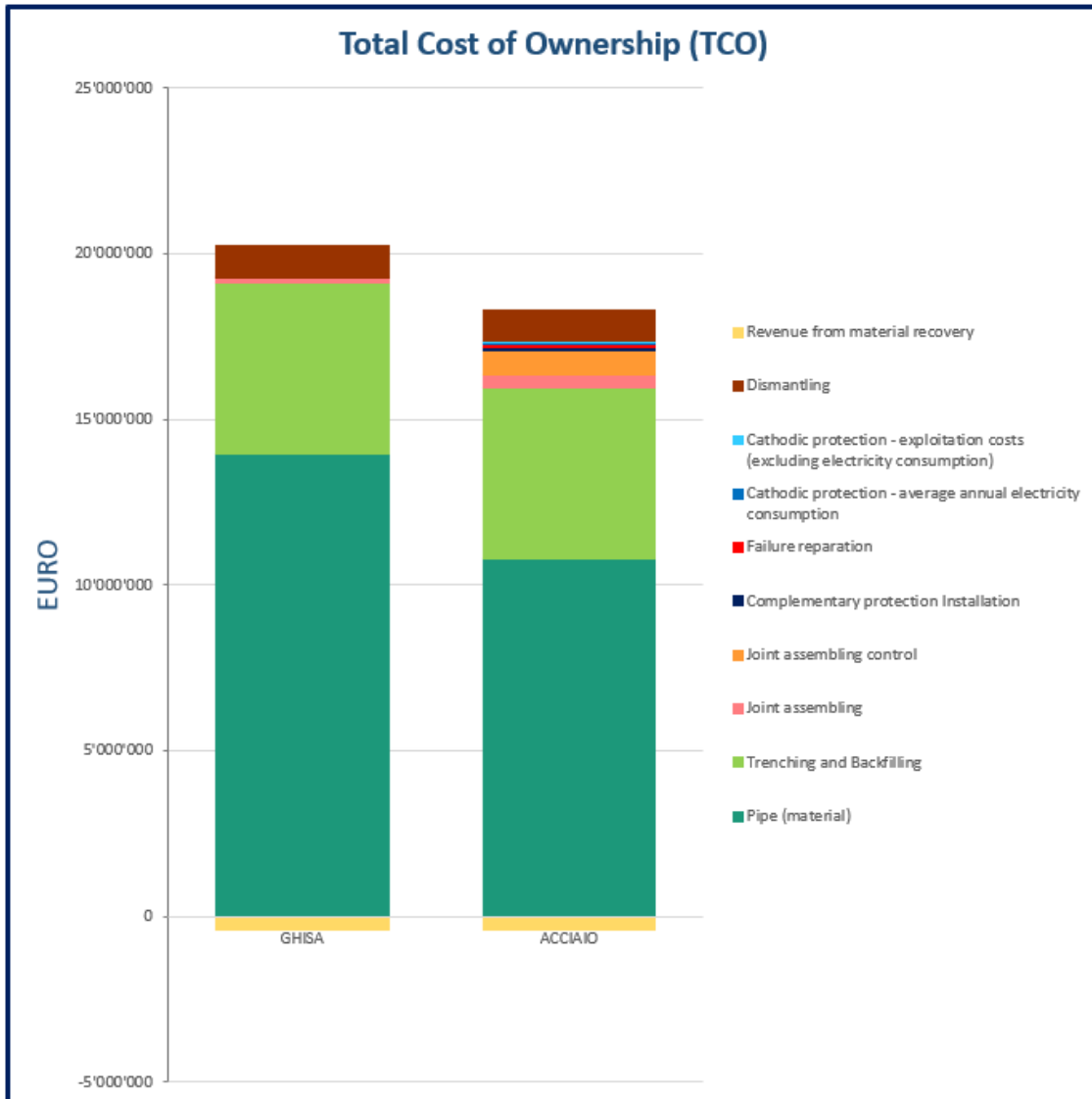
11.2 Tratto Lotto 1_B

Il seguente tratto fa parte del lotto 1 del progetto, si estende da Sant'Andrea in Bagnolo a Forlimpopoli, ed in totale è di 9'605.63 metri, il tratto in esame è caratterizzato da un DN900, di seguito le tabelle di sintesi dell'analisi TCO, complete di grafici di confronto e dell'analisi LCA, anche questa completa di grafici.

La TCO restituisce un valore più basso e quindi conseguentemente un costo complessivo minore per l'acciaio, dal punto di vista ambientale i parametri risultano confrontabili per entrambi i materiali.

Risultati analisi TCO

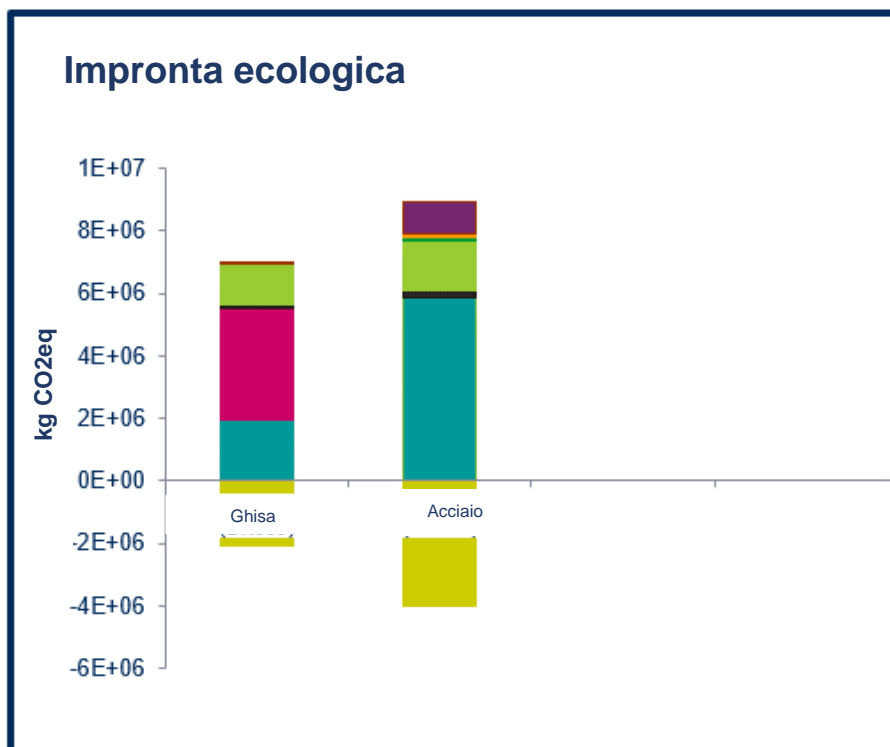
		Ghisa sferoidale (DN900)	Steel 10224 (EN 10224) (DN900)	Unit
Costi di acquisizione	Materiali tubi	13'945'803.72	10'769'259.54	€
Costi di posa	Scavo e Rinterro	5'165'112.49	5'165'112.49	€
	Assemblaggio dei giunti	148'636.33	387'383.44	€
	Controllo assemblaggio giunto	0.00	748'941.31	€
	Installazione di protezioni complementari	0.00	105'884.81	€
Costi di esercizio	Riparazioni in caso di guasti e rotture	16'528.36	81'092.27	€
	Protezione catodica – consumo medio annuo di elettricità	0.00	48'078.07	€
	Protezione catodica – costi di sfruttamento (escluso il consumo di elettricità)	0.00	53'420.07	€
Costi di dismissione	Smantellamento	954'800.00	954'800.00	€
	Entrate da recupero	-430'633.90	-423'835.72	€
Total		19'800'247.00	17'890'136.27	€
Costi di acquisizione	Materiali tubi	70%	60%	%
Costi di posa	Scavo e Rinterro	26%	29%	%
	Assemblaggio dei giunti	1%	2%	%
	Controllo assemblaggio giunto	0%	4%	%
	Installazione di protezioni complementari	0%	1%	%
Costi di esercizio	Riparazioni in caso di guasti e rotture	0%	0%	%
	Protezione catodica – consumo medio annuo di elettricità	0%	0%	%
	Protezione catodica – costi di sfruttamento (escluso il consumo di elettricità)	0%	0%	%
Costi di dismissione	Smantellamento	5%	5%	%
	Entrate da recupero	-2%	-2%	%



Risultati analisi LCA

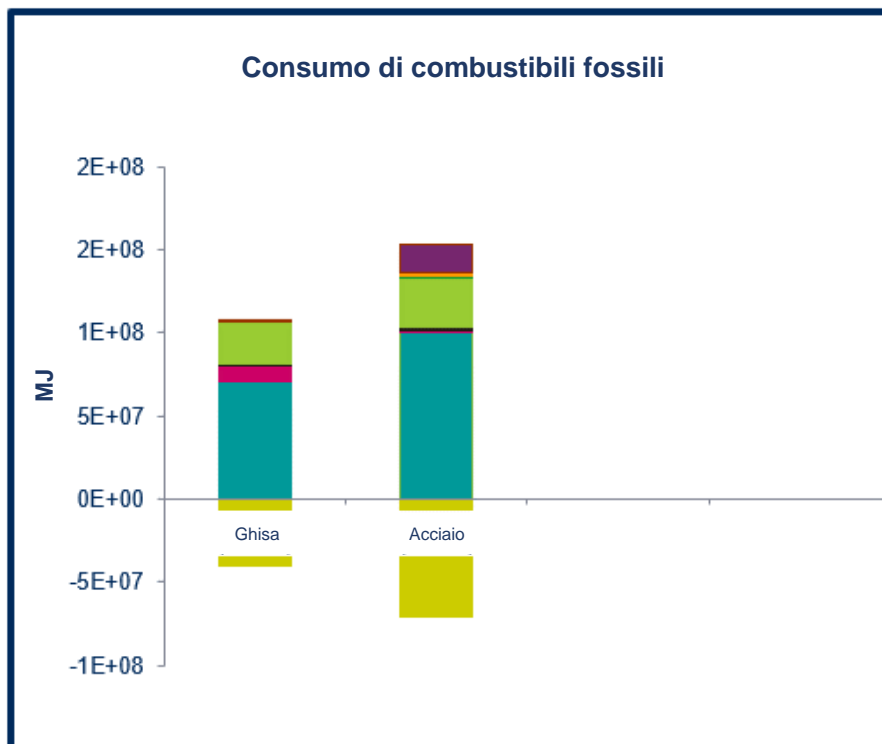
Impronta ecologica

		Ghisa sferoidale (DN900)	Steel (EN 10224) (DN900)	Unit
Acquisizione	Materiali grezzi	1.93E+06	5.86E+06	kg CO2eq
	Produzione di tubi	3.62E+06	2.73E+04	kg CO2eq
	Trasporto al sito di posa	1.04E+05	2.11E+05	kg CO2eq
	Installazione	1.27E+06	1.60E+06	kg CO2eq
Esercizio	Pompaggio	0.00E+00	0.00E+00	kg CO2eq
	Protezione catodica	0.00E+00	6.93E+04	kg CO2eq
	riparazioni	4.30E+03	1.10E+05	kg CO2eq
	Perdite di carico	0.00E+00	0.00E+00	kg CO2eq
Fine vita	Trattamento dei rifiuti	5.54E+04	1.02E+06	kg CO2eq
	Potenziamenti benefici dal recupero	-2.08E+06	-4.02E+06	kg CO2eq
	TOTAL	4.91E+06	4.89E+06	kg CO2eq



Consumo di combustibili fossili

		Ghisa sferoidale (DN900)	Steel (EN 10224) (DN900)	Unit
Acquisizione	Materiali grezzi	7.05E+07	1.01E+08	MJ
	Produzione di tubi	9.92E+06	4.50E+05	MJ
	Trasporto al sito di posa	1.51E+06	3.06E+06	MJ
	Installazione	2.48E+07	2.89E+07	MJ
Esercizio	Pompaggio	0.00E+00	0.00E+00	MJ
	Protezione catodica	0.00E+00	1.01E+06	MJ
	riparazioni	1.57E+05	1.89E+06	MJ
	Perdite di carico	0.00E+00	0.00E+00	MJ
Fine vita	Trattamento dei rifiuti	7.84E+05	1.74E+07	MJ
	Potenziali benefici dal recupero	-4.00E+07	-7.07E+07	MJ
	TOTAL	6.77E+07	8.26E+07	MJ



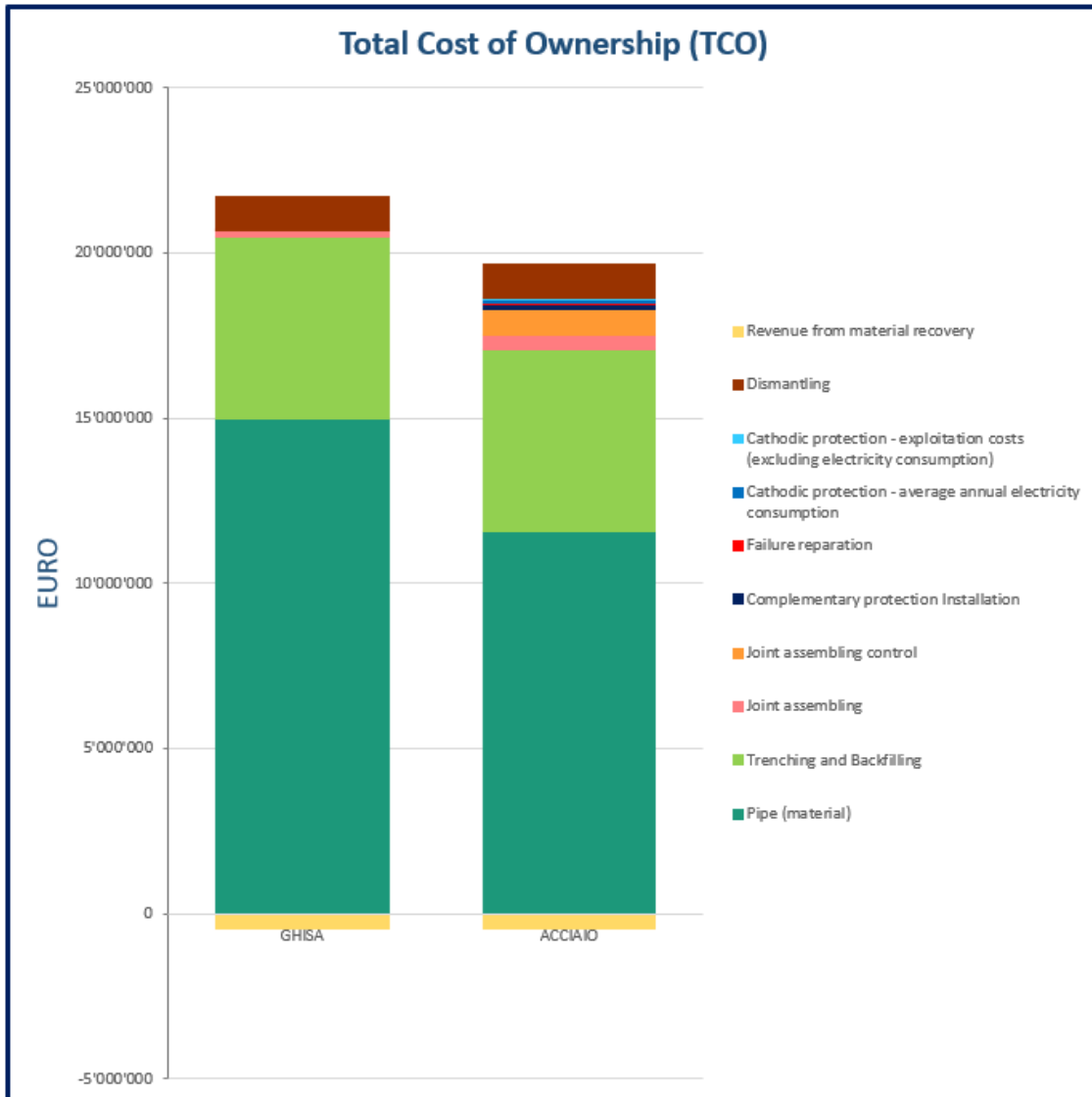
11.3 Tratto Lotto 2

Il seguente tratto fa parte del lotto 2 del progetto, si estende da Sant'Andrea in Bagnolo a Macerone, ed in totale è di 11'372.30 metri, il tratto in esame è caratterizzato da un DN900, di seguito le tabelle di sintesi dell'analisi TCO, complete di grafici di confronto e dell'analisi LCA, anche questa completa di grafici.

La TCO restituisce un costo complessivo minore per l'acciaio, dal punto di vista ambientale i parametri risultano confrontabili per entrambi i materiali.

Risultati analisi TCO

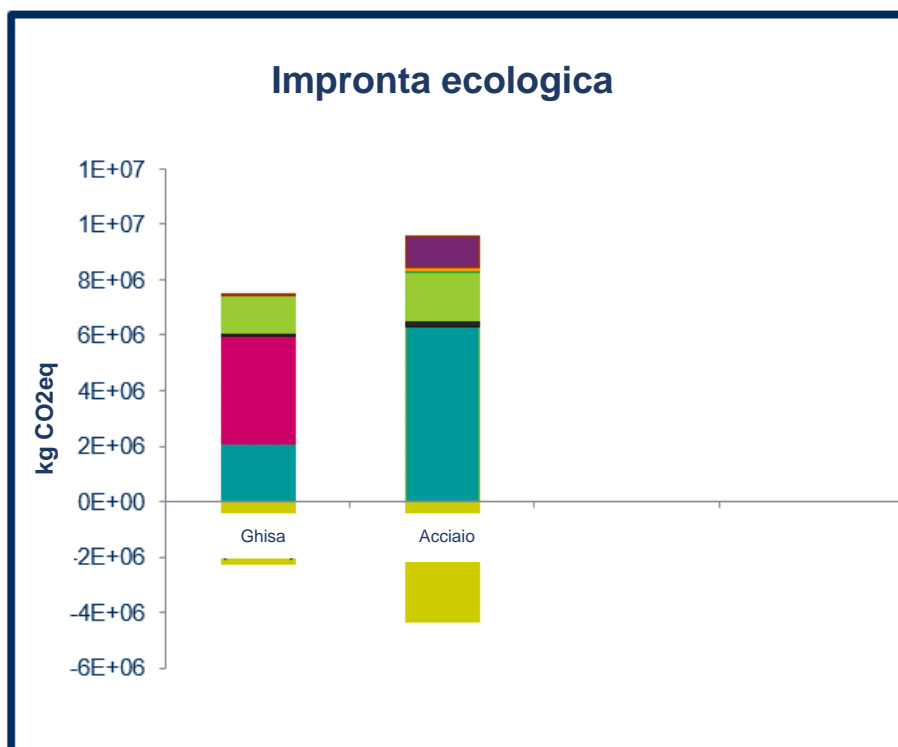
		Ghisa sferoidale (DN900)	Steel (EN 10224) (DN900)	Unit
Costi di acquisizione	Materiali tubi	14'959'459.75	11'552'027.25	€
	Costi di posa			
	Scavo e Rinterro	5'540'540.65	5'540'540.65	€
	Assemblaggio dei giunti	159'440.02	415'540.55	€
	Controllo assemblaggio giunto	0.00	803'378.39	€
	Installazione di protezioni complementari	0.00	113'581.08	€
Costi di esercizio	Riparazioni in caso di guasti e rotture	17'729.73	86'986.49	€
	Protezione catodica – consumo medio annuo di elettricità	0.00	51'526.70	€
	Protezione catodica – costi di sfruttamento (escluso il consumo di elettricità)	0.00	56'801.09	€
Costi di dismissione	Smantellamento	1'024'200.00	1'024'200.00	€
	Entrate da recupero	-461'914.20	-454'539.96	€
Total		21'239'455.95	19'190'042.25	€
Costi di acquisizione	Materiali tubi	70%	60%	%
	Costi di posa			
	Scavo e Rinterro	26%	29%	%
	Assemblaggio dei giunti	1%	2%	%
	Controllo assemblaggio giunto	0%	4%	%
	Installazione di protezioni complementari	0%	1%	%
Costi di esercizio	Riparazioni in caso di guasti e rotture	0%	0%	%
	Protezione catodica – consumo medio annuo di elettricità	0%	0%	%
	Protezione catodica – costi di sfruttamento (escluso il consumo di elettricità)	0%	0%	%
Costi di dismissione	Smantellamento	5%	5%	%
	Entrate da recupero	-2%	-2%	%



Risultati analisi LCA

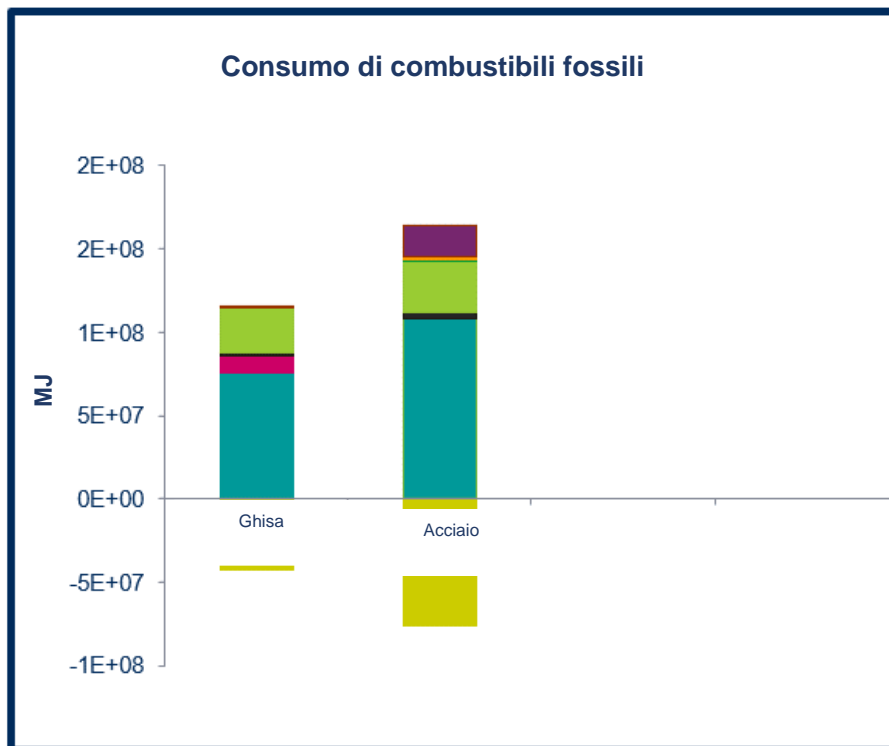
Impronta ecologica

		Ghisa sferoidale (DN900)	Steel (EN 10224) (DN900)	Unit
Acquisizione	Materiali grezzi	2.07E+06	6.29E+06	kg CO2eq
	Produzione di tubi	3.88E+06	2.93E+04	kg CO2eq
	Trasporto al sito di posa	1.12E+05	2.27E+05	kg CO2eq
	Installazione	1.37E+06	1.72E+06	kg CO2eq
Esercizio	Pompaggio	0.00E+00	0.00E+00	kg CO2eq
	Protezione catodica	0.00E+00	7.42E+04	kg CO2eq
	riparazioni	4.61E+03	1.18E+05	kg CO2eq
	Perdite di carico	0.00E+00	0.00E+00	kg CO2eq
Fine vita	Trattamento dei rifiuti	5.94E+04	1.10E+06	kg CO2eq
	Potenziamenti benefici dal recupero	-2.23E+06	-4.31E+06	kg CO2eq
	TOTAL	5.27E+06	5.24E+06	kg CO2eq



Consumo di combustibili fossili

		Ghisa sferoidale (DN900)	Steel (EN 10224) (DN900)	Unit
Acquisizione	Materiali grezzi	7.57E+07	1.08E+08	MJ
	Produzione di tubi	1.06E+07	4.83E+05	MJ
	Trasporto al sito di posa	1.62E+06	3.29E+06	MJ
	Installazione	2.66E+07	3.10E+07	MJ
Esercizio	Pompaggio	0.00E+00	0.00E+00	MJ
	Protezione catodica	0.00E+00	1.09E+06	MJ
	riparazioni	1.68E+05	2.03E+06	MJ
	Perdite di carico	0.00E+00	0.00E+00	MJ
Fine vita	Trattamento dei rifiuti	8.41E+05	1.86E+07	MJ
	Potenziali benefici dal recupero	-4.30E+07	-7.58E+07	MJ
	TOTAL	7.26E+07	8.86E+07	MJ



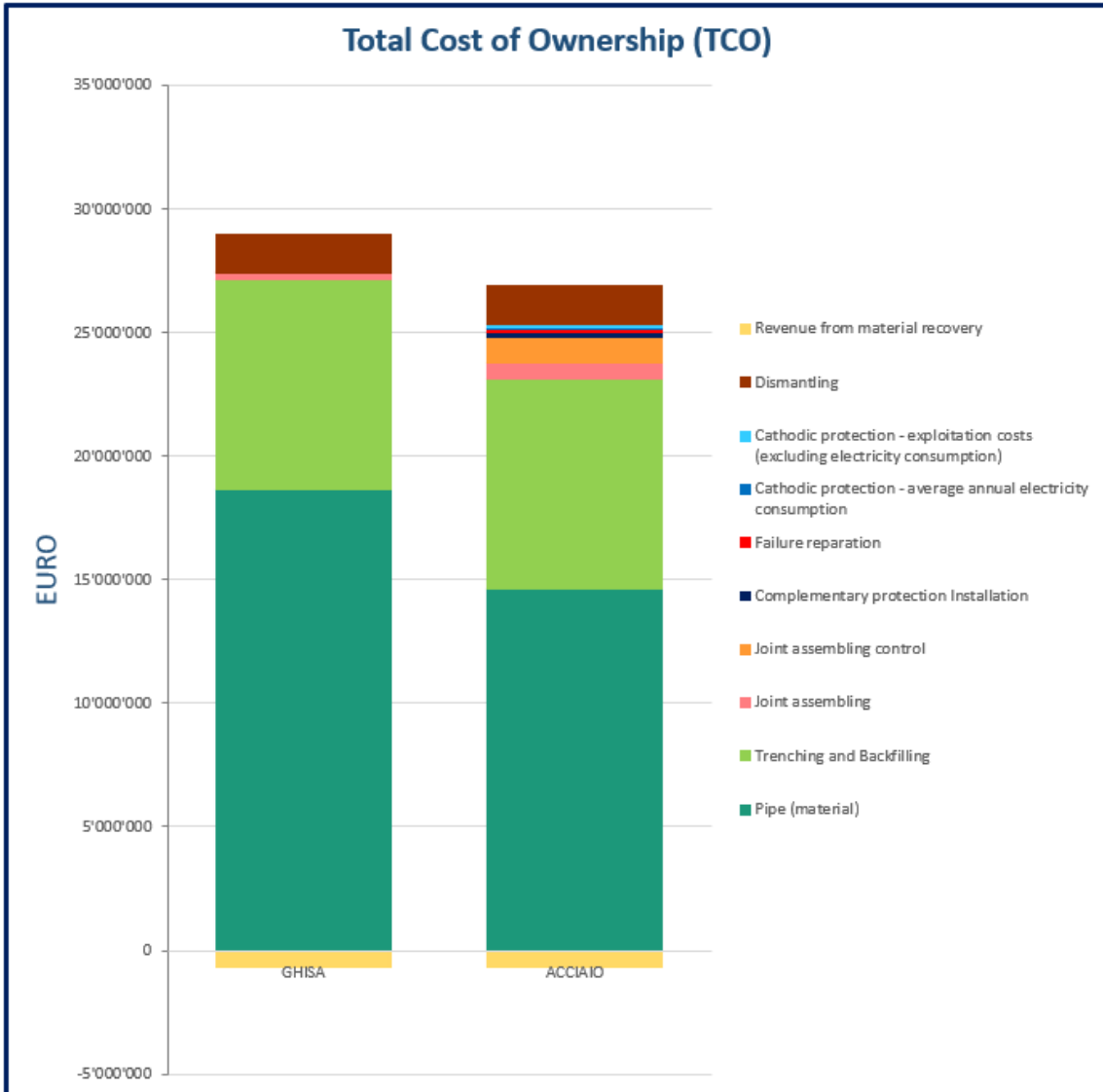
11.4 Tratto Lotto 3

Il seguente tratto fa parte del lotto 3 del progetto, si estende da Macerone a Via Longana (Torre Pedrera), ed in totale è di 16'144.91 metri, il tratto in esame è caratterizzato da un DN800, di seguito le tabelle di sintesi dell'analisi TCO, complete di grafici di confronto e dell'analisi LCA, anche questa completa di grafici.

La TCO restituisce un costo complessivo minore per l'acciaio, dal punto di vista ambientale i parametri risultano confrontabili per entrambi i materiali.

Risultati analisi TCO

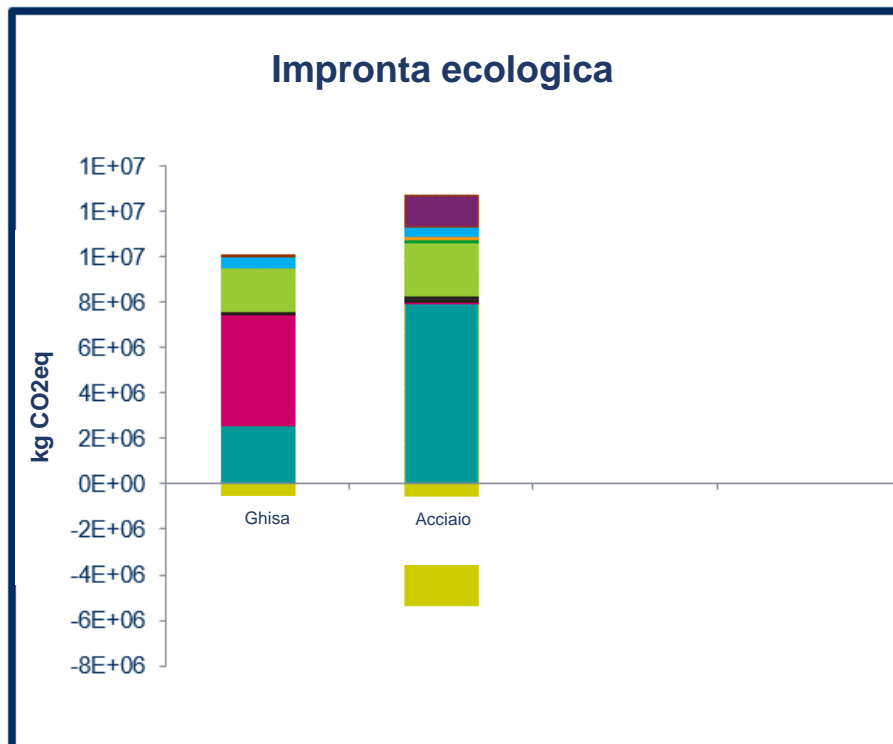
		Ghisa sferoidale (DN800)	Steel (EN 10224) (DN800)	Unit
Costi di acquisizione	Materiali tubi	18'668'192.28	14'637'559.86	€
	Costi di posa			
	Scavo e Rinterro	8'485'541.95	8'485'541.95	€
	Assemblaggio dei giunti	244'188.26	636'415.65	€
	Controllo assemblaggio giunto	0.00	1'096'049.17	€
	Installazione di protezioni complementari	0.00	173'953.61	€
Costi di esercizio	Riparazioni in caso di guasti e rotture	27'153.73	133'223.01	€
	Protezione catodica – consumo medio annuo di elettricità	0.00	70'189.92	€
	Protezione catodica – costi di sfruttamento (escluso il consumo di elettricità)	0.00	87'230.25	€
Costi di dismissione	Smantellamento	1'568'600.00	1'568'600.00	€
	Entrate da recupero	-707'438.60	-696'144.68	€
Total		28'286'237.62	26'192'618.72	€
Costi di acquisizione	Materiali tubi	66%	56%	%
	Costi di posa			
	Scavo e Rinterro	30%	32%	%
	Assemblaggio dei giunti	1%	2%	%
	Controllo assemblaggio giunto	0%	4%	%
	Installazione di protezioni complementari	0%	1%	%
Costi di esercizio	Riparazioni in caso di guasti e rotture	0%	1%	%
	Protezione catodica – consumo medio annuo di elettricità	0%	0%	%
	Protezione catodica – costi di sfruttamento (escluso il consumo di elettricità)	0%	0%	%
Costi di dismissione	Smantellamento	6%	6%	%
	Entrate da recupero	-3%	-3%	%



Risultati analisi LCA

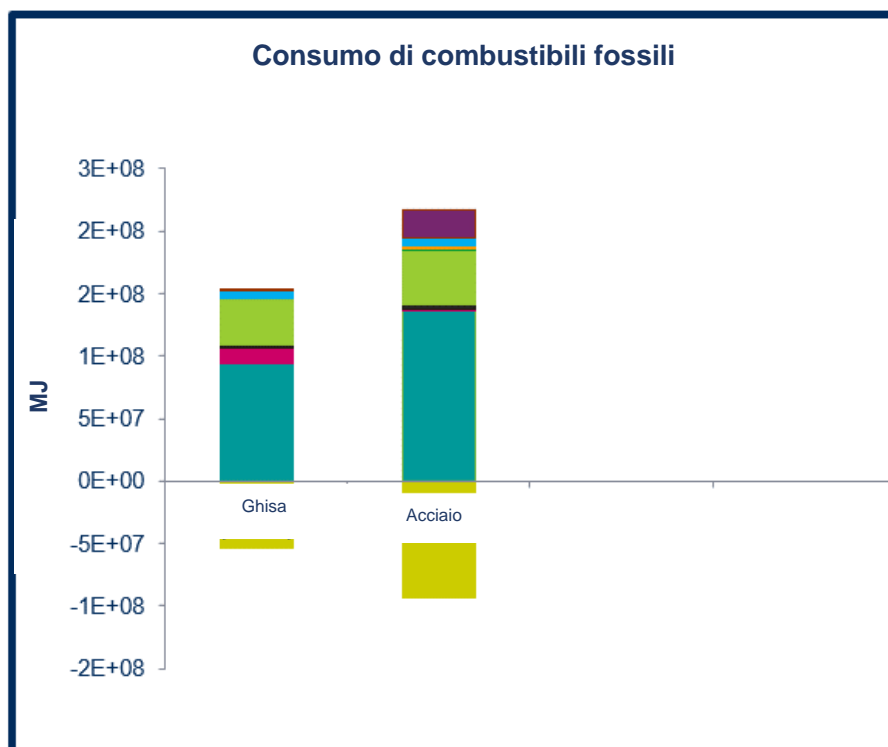
Impronta ecologica

		Ghisa sferoidale (DN800)	Steel (EN 10224) (DN800)	Unit
Acquisizione	Materiali grezzi	2.59E+06	7.94E+06	kg CO2eq
	Produzione di tubi	4.89E+06	3.73E+04	kg CO2eq
	Trasporto al sito di posa	1.41E+05	2.79E+05	kg CO2eq
	Installazione	1.91E+06	2.38E+06	kg CO2eq
Esercizio	Pompaggio	0.00E+00	0.00E+00	kg CO2eq
	Protezione catodica	0.00E+00	1.01E+05	kg CO2eq
	riparazioni	5.76E+03	1.50E+05	kg CO2eq
	Perdite di carico	0.00E+00	0.00E+00	kg CO2eq
Fine vita	Trattamento dei rifiuti	7.48E+04	1.35E+06	kg CO2eq
	Potenziali benefici dal recupero	-2.81E+06	-5.30E+06	kg CO2eq
	TOTAL	6.80E+06	6.94E+06	kg CO2eq



Consumo di combustibili fossili

		Ghisa sferoidale (DN800)	Steel (EN 10224) (DN800)	Unit
Acquisizione	Materiali grezzi	9.38E+07	1.37E+08	MJ
	Produzione di tubi	1.34E+07	6.16E+05	MJ
	Trasporto al sito di posa	2.04E+06	4.05E+06	MJ
	Installazione	3.70E+07	4.30E+07	MJ
Esercizio	Pompaggio	0.00E+00	0.00E+00	MJ
	Protezione catodica	0.00E+00	1.48E+06	MJ
	riparazioni	2.09E+05	2.58E+06	MJ
	Perdite di carico	0.00E+00	0.00E+00	MJ
Fine vita	Trattamento dei rifiuti	1.06E+06	2.29E+07	MJ
	Potenziali benefici dal recupero	-5.41E+07	-9.33E+07	MJ
	TOTAL	9.34E+07	1.18E+08	MJ



12 CONCLUSIONI

Dall'esame dei risultati delle analisi condotte su tutti i tratti delle opere in progetto, appare evidente che la scelta consigliata risulta essere sempre quella dell'acciaio che è più conveniente soprattutto dal punto di vista economico, mentre riguardo agli aspetti ambientali i materiali risultano confrontabili.



ELTEC S.r.l.

Società di ingegneria

Via C. Seganti 73/F int. 5/6

47121 Forlì (FC)

Tel. +39-(0543)-473892

E-mail: info@eltec-service.it

Si è comunque ritenuto opportuno di utilizzare la ghisa per alcuni tratti per beneficiare dei vantaggi legati alla messa in opera più rapida soprattutto in quelle condizioni e siti ove la gestione di scavi importanti può essere critiche in ragione delle caratteristiche geotecniche ed idrogeologiche. In particolare, i tratti per i quali si è valutato l'impiego della ghisa sono i seguenti:

- Tratto di condotta DN800 di lunghezza 11'594 m nell'ambito del Lotto 1_A tra via Masullo (Standiana) e l'attraversamento della SS3
- Tratto di condotta DN800 di lunghezza 3'422 m nell'ambito del Lotto 3 a valle dell'attraversamento del Fiume Uso sino a Torre Pedrera

Per entrambi i materiali in considerazione delle scelte progettuali adottate (materiale base, rivestimenti interni ed esterni, protezioni catodiche ecc.) si può inoltre far riferimento ad una vita utile delle condotte dell'ordine dei 50 anni.

A valle del confronto effettuato tra i due materiali, esaminandone gli aspetti sia tecnici sia economici ed inoltre sulla base dell'analisi TCO ed LCA si può concludere che:

- dal punto di vista tecnico ognuno dei materiali presenta propri aspetti positivi e negativi;
- alcune caratteristiche alternativamente meglio si adattano alla eterogeneità dei terreni attraversati;
- l'aspetto economico risulta significativo, in quanto le tubazioni in acciaio, così come da valutazioni effettuate, risultano più competitive rispetto alla ghisa sferoidale

Pertanto, la scelta progettuale prevede l'utilizzo di entrambi i materiali, l'individuazione dei tratti in cui utilizzare un materiale o l'altro è funzione di valutazioni legate alla migliore rispondenza del materiale alle caratteristiche dei terreni attraversati e dei relativi tracciati. In ogni caso in successiva fase progettuale tale scelta potrà essere ulteriormente approfondita alla luce dei maggiori dati che potranno essere disponibili in relazione alle campagne di rilievi e indagini previste sul territorio così come anche ad eventuali ulteriori aggiornamenti in merito ai temi tecnico-economici.