



ACQUEDOTTO LANGHE E ALPI CUNEEESI SpA



**COGESI** S.C.R.L.  
consorzio gestori servizi idrici



Comune	CARRU' – LEQUIO TANARO – MONCHIERO – MONFORTE D'ALBA - PIOZZO (CN)
--------	--

Oggetto	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO – ECONOMICA</b> <i>(art. 41 D.Lgs 36/2023)</i> NUOVA CONDOTTA DI ADDUZIONE A SERVIZIO DELLA RETE ACQUEDOTTO LANGHE E ALPI CUNEEESI (COMUNI DI CARRU' - LEQUIO TANARO – MONCHIERO – MONFORTE D'ALBA – PIOZZO)
---------	--

Elaborato	<b>D02 – RELAZIONE TECNICA</b>
-----------	--------------------------------

Committente del progetto	 ACQUEDOTTO LANGHE E ALPI CUNEEESI SpA
--------------------------	---

Progettista	dott. ing. Enrico Piovano - ufficio tecnico ALAC
-------------	--

Responsabile Unico del Procedimento	geom. Mario Giraudo – ufficio tecnico ALAC
-------------------------------------	--

Commessa	Livello di progetto	Approvazione	Data approvazione	N° elaborato	Rev.	Data	Scala
2021_01	<b>FATTIBILITA' TECNICO - ECONOMICA</b>	CdA	04/08/2022	<b>D02</b>	<b>01</b>	08/2023	---

Rev.	Descrizione	Data	Redatto	Verificato	Approvato
<b>00</b>	Prima emissione	07/2022			
<b>01</b>	Aggiornamento testalino D.Lgs 36/2023	08/2023			
<b>02</b>					
--	Studio di fattibilità	07/2021			26/08/2021

Questo elaborato è di proprietà di ACQUEDOTTO LANGHE e ALPI CUNEEESI SpA  
L'elaborato non può essere modificato, copiato, duplicato, riprodotto o divulgato, anche parzialmente, senza autorizzazione scritta del proprietario.

**ACQUEDOTTO LANGHE E ALPI CUNEEESI SpA**  
Corso Nizza 9, 12100 CUNEO – tel. 0171 697550 – e-mail [acquedotto.langhe@legalmail.it](mailto:acquedotto.langhe@legalmail.it) – Capitale Sociale € 5.000.000  
n. iscrizione registro imprese di Cuneo e Codice Fiscale e Partita IVA 00451260046 – n. REA CN - 179339

**CO.GE.S.I. SCRL**  
Corso Nizza 90, 12100 CUNEO – tel. 0171 326771 – e-mail [cogesi@cogesi.it](mailto:cogesi@cogesi.it) – Capitale Sociale € 3.000.000  
n. iscrizione registro imprese di Cuneo e Codice Fiscale e Partita IVA 03434470047 – n. REA CN - 290478

## Indice

<b>1. INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO</b> .....	3
1.1 Premessa .....	3
1.2 Dati generali .....	4
1.3 Descrizione del progetto .....	7
1.4 Contesto geologico .....	10
1.5 Pericolosità sismica .....	11
<b>2. QUADRO PROGETTUALE</b> .....	12
2.1 Analisi delle soluzioni progettuali .....	12
2.1.1 La soluzione zero .....	12
2.1.2 La soluzione scelta.....	13
2.2 La soluzione tecnica scelta .....	14
2.3 Le fasi progettuali .....	14
2.4 Tipologia dell'opera.....	15
2.5 La scelta dei materiali .....	15
2.5.1 Caratteristiche delle tubazioni in ghisa sferoidale .....	26
2.6 Fasi lavorative.....	28
2.7 Modello di simulazione della rete idrica.....	29
2.8 Verifica della condotta.....	32
2.9 Attraversamenti corsi d'acqua.....	33
2.10 Sollecitazioni della condotta interrata.....	34
2.11 Apparecchiature installate lungo le tubazioni .....	36

## 1. INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO

### 1.1 Premessa

La presente relazione tecnica relativa al progetto “*NUOVA CONDOTTA DI ADDUZIONE A SERVIZIO DELLA RETE ACQUEDOTTO LANGHE E ALPI CUNEESI*” che si svilupperà in area compresa sul territorio dei comuni di Carrù, Piozzo, Lequio Tanaro, Monchiero e Monforte D'alba affronta i principali aspetti presi in considerazione nella stesura della documentazione progettuale.

La progettazione è effettuata dall'ufficio tecnico dell'Acquedotto Langhe.

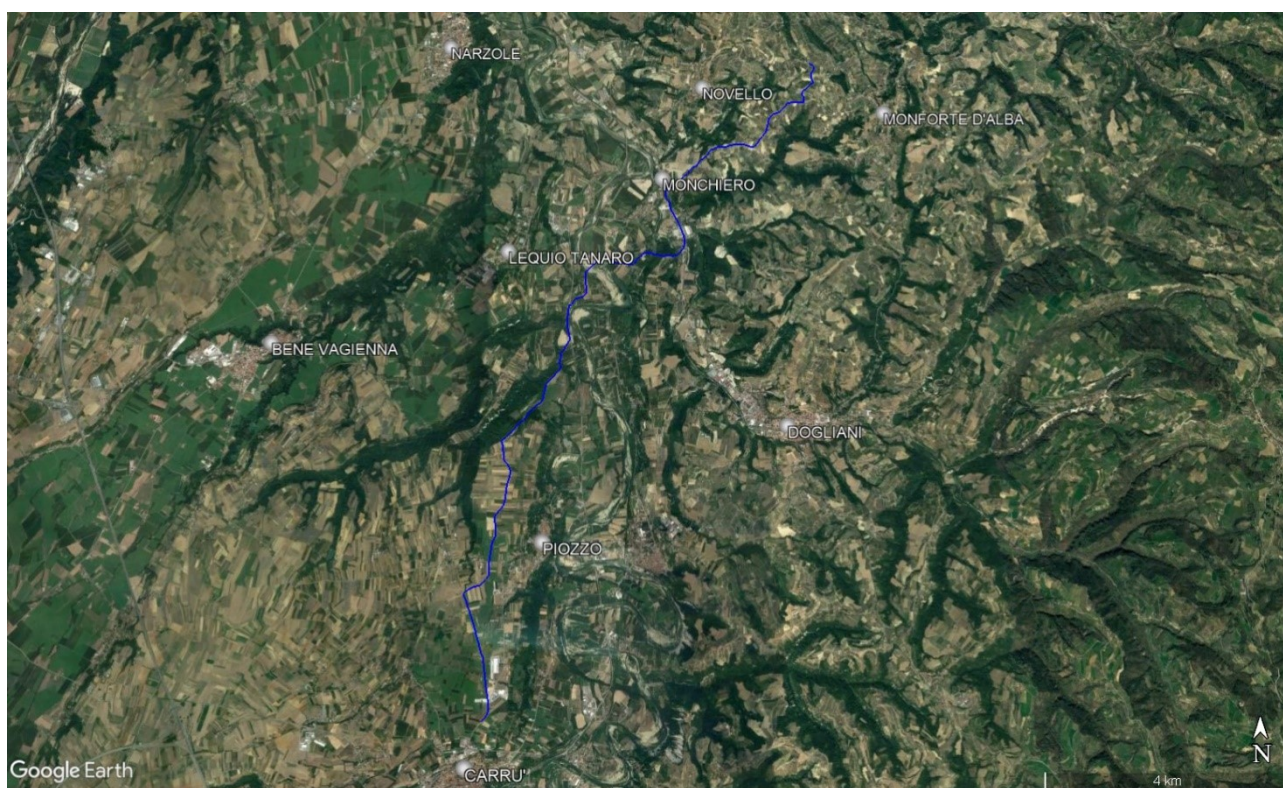


Figura 1 - Foto aerea dell'area di intervento

## 1.2 Dati generali

La rete distributiva dell'Acquedotto Langhe, alimentata da sorgenti ubicate in Valle Corsaglia ed in Valle Vermenagna, è integrata da 5 serbatoi aventi capacità complessiva di 16.000 m<sup>3</sup>, rispettivamente identificati in:

• Bric Berico (Murazzano)	capacità complesso serbatoio	7.500 m <sup>3</sup>
• Mombarcaro	capacità complesso serbatoio	1.500 m <sup>3</sup>
• La Morra	capacità complesso serbatoio	4.000 m <sup>3</sup>
• Neviglie	capacità complesso serbatoio	1.500 m <sup>3</sup>
• Bric Schiappa (Lequio Berria)	capacità complesso serbatoio	1.500 m <sup>3</sup>

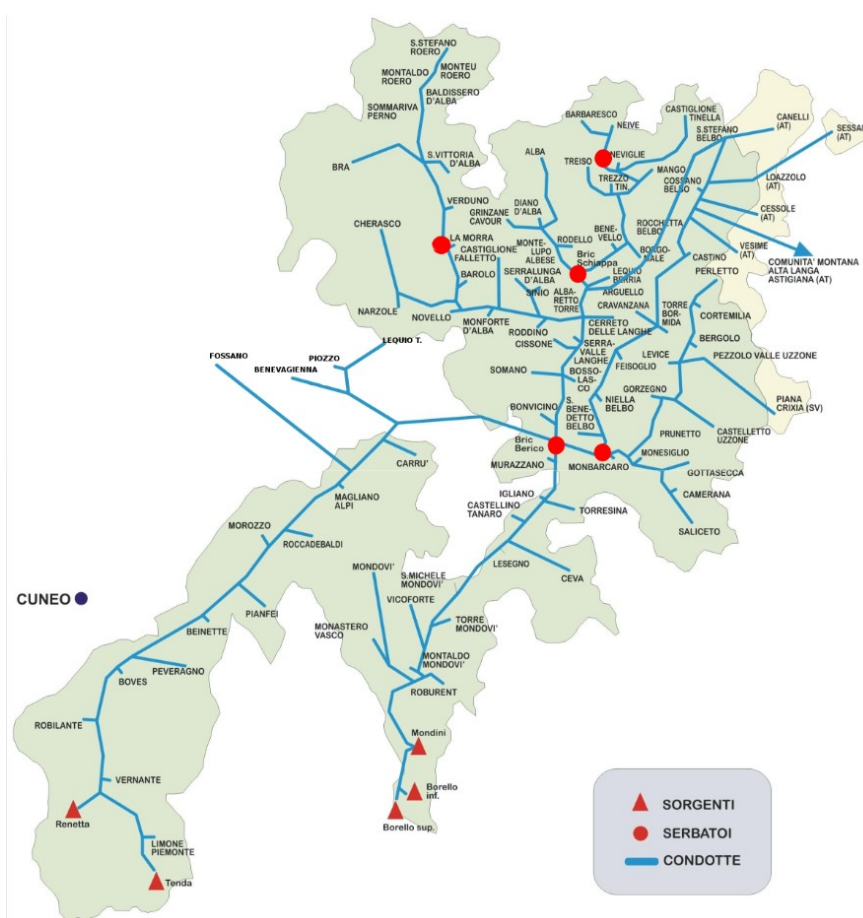


Figura 2- schema rete distributiva Acquedotto Langhe e Alpi Cuneesi

Soprattutto nel periodo estivo, in coincidenza con le maggiori richieste di fornitura, la dorsale Murazzano-Alba (in giallo nel seguente schema distributivo) raggiunge spesso il punto critico in conseguenza della riduzione del carico piezometrico conseguente ad un maggiore volume trasportato e ciò comporta alcuni scompensi distributivi che si ripercuotono sui Comuni allacciati.

Attualmente si sopperisce a tale inconveniente mediante un impianto di pressurizzazione (ubicato a Murazzano all'interno dei serbatoi di accumulo di località Bric Berico) che incrementa il valore piezometrico di circa 3 bar e permette la regolare distribuzione.

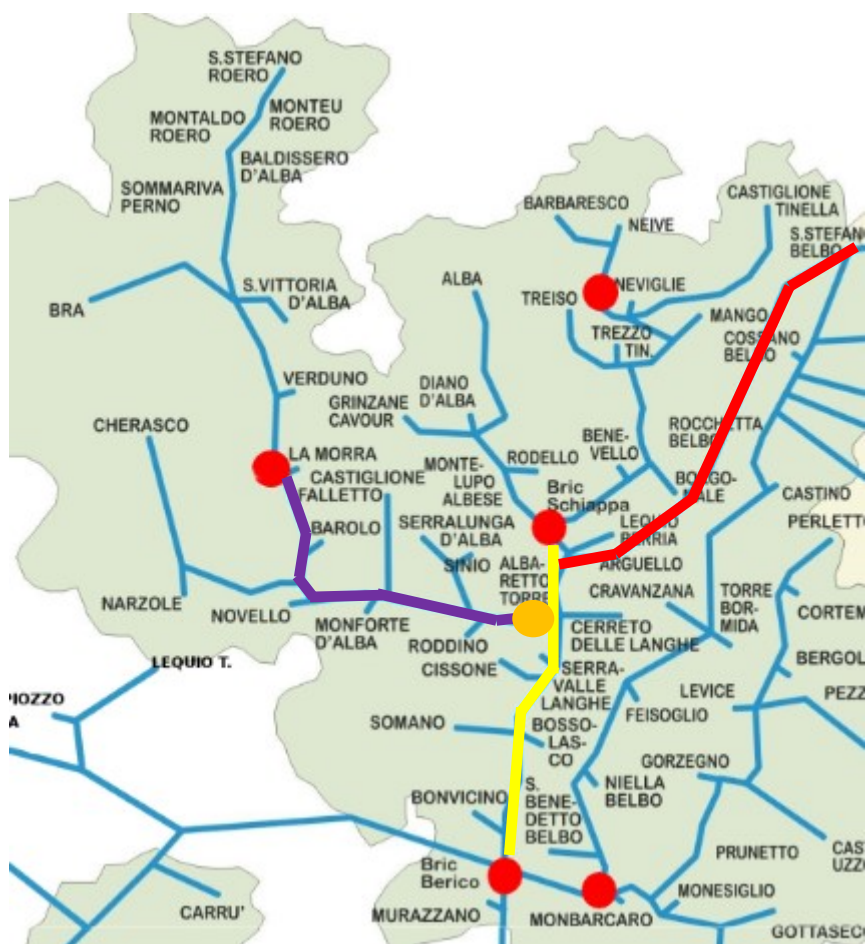


Figura 3 - Estratto schema rete distributiva Acquedotto Langhe e Alpi Cuneesi

Le due aste che contribuiscono a “stressare” il segmento di rete sono relative alla fornitura alle città di Santo Stefano Belbo, Canelli e Nizza Monferrato (portata massima di circa 40 l/s) (in rosso) e, soprattutto, l’asta principale adduttrice verso il serbatoio di La Morra ed Roero (in violetto) che ha origine in località Pedaggera del Comune di Cerretto Langhe.

Di seguito è riportata l’analisi dei volumi distribuiti agli utenti posti a valle del serbatoio rispettivamente:

▪ Roddino	gestore TECNOEDIL
▪ Serralunga	gestore TECNOEDIL
▪ Sinio	gestore TECNOEDIL
▪ Monforte	gestore CALSO
▪ Novello	gestore TECNOEDIL
▪ Narzole	gestore TECNOEDIL
▪ Cherasco	gestore TECNOEDIL
▪ Barolo	gestore TECNOEDIL
▪ La Morra	gestore TECNOEDIL
▪ Verduno	gestore TECNOEDIL
▪ Ospedale Alba Bra	gestore TECNOEDIL
▪ Bra	gestore TECNOEDIL
▪ Santa Vittoria d’Alba	gestore TECNOEDIL
▪ Pocopaglia	gestore TECNOEDIL
▪ Bassa Langa Asciutta	gestore TECNOEDIL

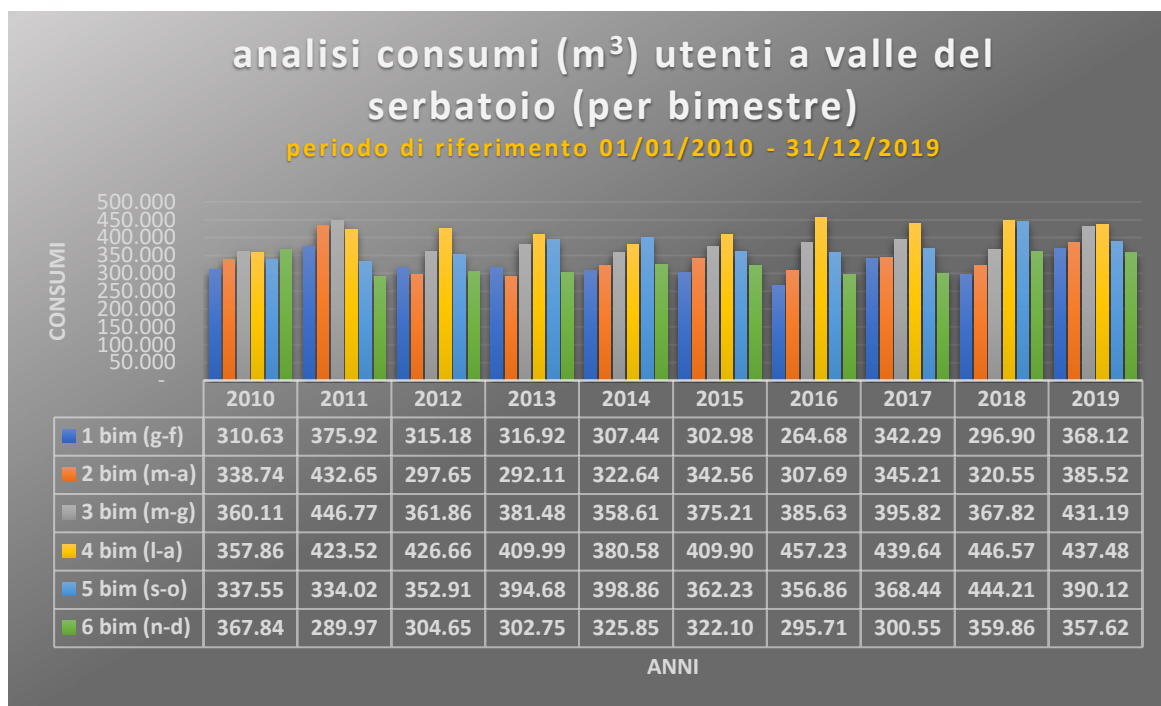


Figura 4 - Analisi consumi per bimestre a valle del serbatoio di Murazzano località Bric Berico

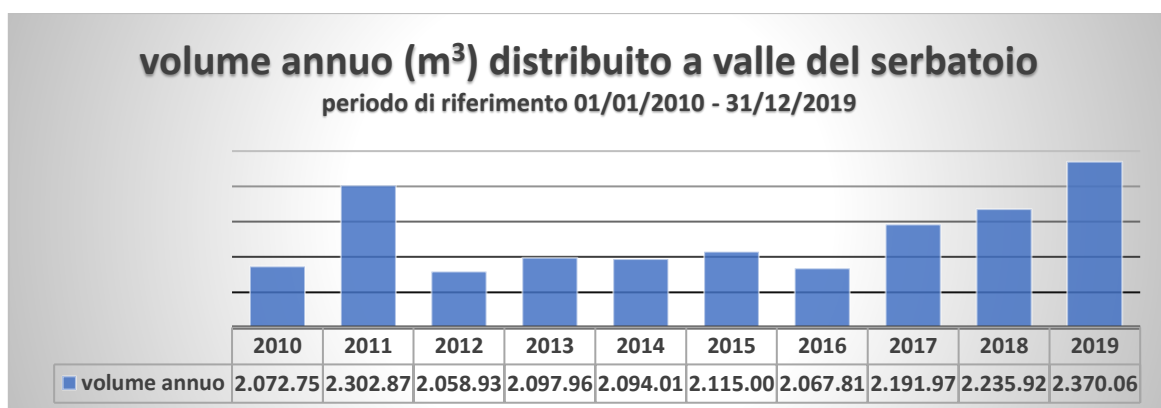


Figura 5 - Volume annuo distribuito a valle del serbatoio di Murazzano località Bric Berico

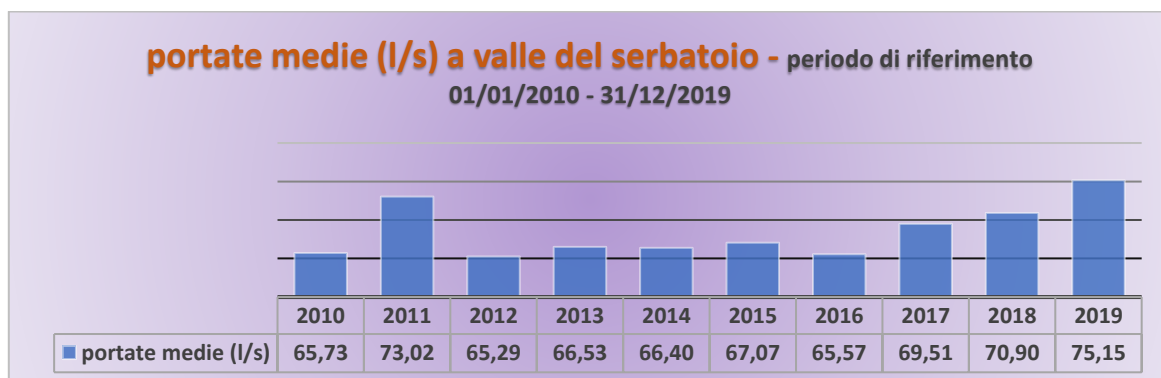


Figura 6 - Portate medie a valle del serbatoio di Murazzano località Bric Berico

Il progetto prevede la realizzazione di una nuova condotta di adduzione di interconnessione dell'attuale rete gestita da ALAC il cui sviluppo interesserà il territorio dei comuni di Carrù, Piozzo, Lequio Tanaro, Monchiero e Monforte d'Alba; tale intervento contribuirà a migliorare il servizio idropotabile verso i Roeri.

### 1.3 Descrizione del progetto

La prima parte dell'intervento necessaria a migliorare il servizio idropotabile verso i Roeri senza modificare il sistema distributivo attuale della rete è rappresentata dalla realizzazione di un nuovo serbatoio di compenso in località Pedaggera in comune di Cerretto Langhe (CN). Il progetto è già stato presentato ed approvato dagli Enti interessati; sono in corso i lavori per la sua costruzione. Il serbatoio rappresenterà un compendio del serbatoio di La Morra, la somma dei volumi di accumulo di entrambe le strutture (8.000 m<sup>3</sup> complessivi) permetterà di ottimizzare le esigenze degli utenti di tutta la rete.

Lo stesso è stato concepito per l'integrazione, in una seconda fase, con un sistema più articolato (anche questo come da previsione del Piano d'Ambito) che consisterà nella realizzazione di una nuova tubazione adduttrice (in colore rosso scuro) delle acque captate in Valle Vermenagna (il tracciato avrà origine in Comune di Carrù e si svilupperà fino a Monforte d'Alba) che saranno addotte all'attuale rete distributiva al fine di poter creare un "anello" che rappresenterà una ridondanza dell'intero sistema distributivo in caso di guasti/emergenze ed ottimizzerà la ripartizione delle portate sull'intero sistema di Acquedotto Langhe.

Il tracciato della nuova condotta avente DN 250 si svilupperà per una lunghezza complessiva di 16,5 km sul territorio dei comuni di Carrù, Piozzo, Lequio Tanaro, Monchiero e Monforte d'Alba.

La condotta sarà realizzata completamente interrata anche nei tratti di attraversamento dei corsi d'acqua. Lungo il suo sviluppo saranno alloggiati all'interno di camerette in calcestruzzo armato completamente interrate gli organi di manovra e controllo.

Gli unici manufatti emergenti rispetto al piano campagna attuale saranno le cabine di manovra da realizzarsi con struttura portante in calcestruzzo armato in corrispondenza delle interconnessioni della nuova infrastruttura con la rete esistente in comune di Carrù e in comune di Monforte d'Alba.

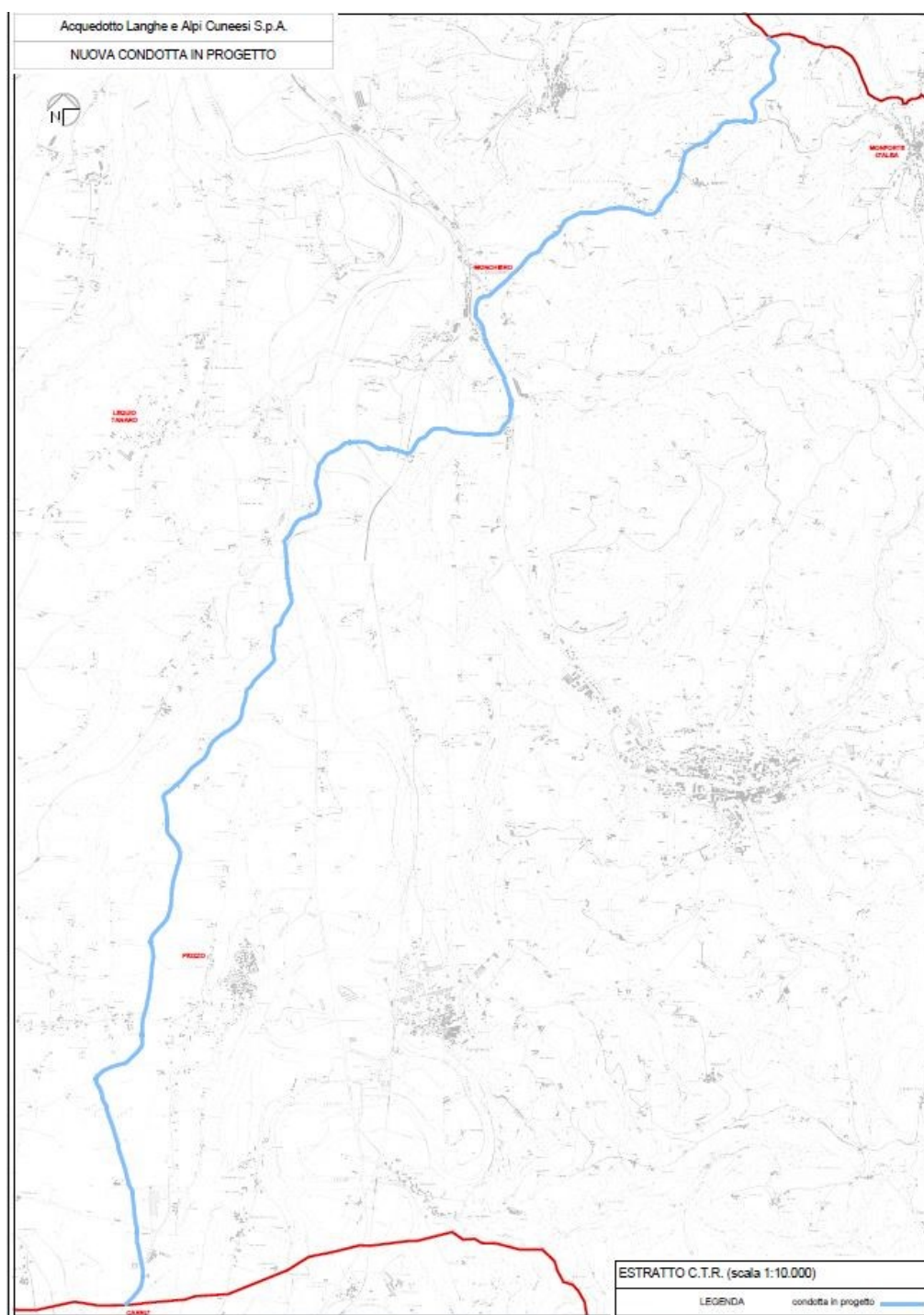


Figura 7 - Estratto CTR con individuazione dell'opera in progetto

L'area (evidenziata in rosa) delle Langhe a valle di Cerretto Langhe in direzione di Roddino, Monforte d'Alba, Novello, Barolo, La Morra, Verduno e Santa Vittoria d'Alba, con le relative diramazioni riferite ai Comuni di Sinio, Serralunga d'Alba, Castiglione Falletto, Narzole e Cherasco, rappresenta la zona a più elevato sviluppo turistico ed economico tra le aree servite dalla rete distributiva di ALAC: negli ultimi anni si è registrato un cospicuo incremento del fabbisogno idropotabile non colmabile con le fonti presenti sul territorio medesimo a causa di costi gestionali elevati unitamente ad una scarsa qualità e limitata quantità delle eventuali fonti.





Figura 8 - Estratto schema rete distributiva Acquedotto Langhe e Alpi Cuneesi

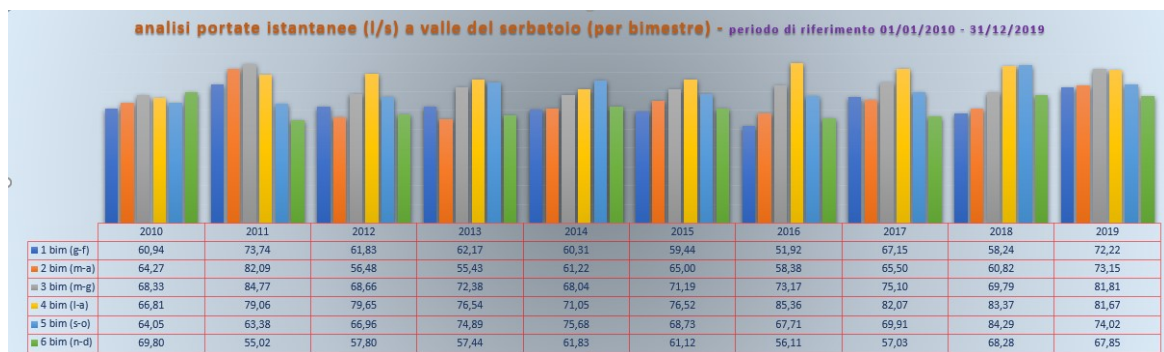


Figura 9 - Analisi portate istantanee a valle del serbatoio di Murazzano località Bric Berico

## 1.4 Contesto geologico

La valutazione degli aspetti geologici è stata affrontata da un'analisi geologica svolta dal geol. Elena Cogo di ENydrion STP S.r.l. e riassunta nella relazione allegata al progetto dalla quale sono emerse le seguenti indicazioni in merito alla realizzazione dell'opera.

Per la posa del piano di fondazione andrà raggiunto l'orizzonte a maggiore compattazione, contraddistinto da una buona capacità portante e modesta compressibilità, la quale determina tendenzialmente cedimenti contenuti. Particolare cura andrà rivolta all'immorsamento della condotta sul fondo degli alvei fluviali, a profondità tali da prevenire il rischio di scalzamento erosivo durante eventi di piena di elevata intensità.

La presenza di falda idrica, verificata a seguito di un periodo anomalo per prolungata siccità idrologica, andrà comunque verificata durante la realizzazione degli stessi, per la risoluzione delle eventuali interferenze; in tal caso, anche a carattere temporaneo/intermittente, si suggerisce la posa in opera di opportuni sistemi di aggettamento o drenaggio per evitare interferenze con la circolazione idrica sotterranea.

Per garantire nel tempo la tenuta delle opere ed evitare l'insorgere di successivi fenomeni dilavanti ed erosivi a carico dei pendii collinari attraversati, sarà valutata la necessità di realizzare opportuni sistemi di drenaggio e opere di regimazione delle acque meteoriche, mediante realizzazione di opportuni sistemi di convogliamento e di smaltimento, al fine di evitare il ruscellamento incontrollato delle stesse.

Per evitare rischi connessi agli scavi, si indicano inoltre i seguenti accorgimenti tecnici.

- le pareti dello scavo non dovranno presentare una pendenza eccessiva al fine di evitare fenomeni di instabilità, anche se localizzati, che potrebbero comunque complicare le fasi di esecuzione dei lavori.
- gli scavi dovranno essere mantenuti aperti il minor tempo possibile ed eventualmente protetti rispetto all'azione dilavante delle acque meteoriche.
- durante le operazioni di scavo si dovrà aver cura di porre gli accumuli di terreno in aree il più possibile pianeggianti, sino ad ultimazione dei lavori.  
In relazione alle caratteristiche geotecniche, la stabilità degli scavi dovrà essere garantita con opportune opere di sostegno provvisoria a garanzia dell'incolumità degli operatori.

Prima dell'avvio del cantiere andranno stabiliti i criteri da rispettare per la corretta gestione dei materiali di risulta derivante dagli scavi per la realizzazione delle opere in progetto, in funzione sia delle ipotesi di gestione adottate per il materiale da scavo, sia dei volumi di terre e rocce da scavo movimentate.

I lavori dovranno essere eseguiti secondo quanto previsto dal progetto definitivo-esecutivo e comunque in scrupolosa osservanza di quanto prescritto dalle Norme di Attuazione dei P.R.G.C, del D.M.LL.PP. 11/03/1988, dal D.M. 14/01/2018 (N.T.C. 2018) e dalla Circolare del 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.

## 1.5 Pericolosità sismica

A partire dagli studi di pericolosità sismica, le Regioni hanno il compito di classificare il proprio territorio secondo criteri fissati a scala nazionale: la classificazione sismica della Regione Piemonte in vigore suddivide il territorio nelle zone 3S, 3 e 4 ed è stata approvata con DGR n. 65-7656 del 21 maggio 2014.

La classificazione sismica del territorio è stata per lungo tempo competenza dello Stato che ha provveduto negli anni '80 alla classificazione per Decreto dell'intero territorio nazionale, e per il Piemonte con DM 4 febbraio 1982.

Secondo l'attuale legislazione, la classificazione sismica del territorio spetta alle regioni, sulla base dei criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche stabiliti dallo Stato, attualmente rappresentati dall'OPCM 3519/06.

Per il Piemonte, l'elenco delle zone sismiche è stato in un primo momento aggiornato con la DGR n. 11-13058 del 19/01/2010 e successivamente precisato dalla DGR n. 65-7656 del 21/05/2014, attualmente vigente, con cui sono state aggiornate anche le procedure di gestione e controllo delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico.

Sul B.U. n. 4 del 23 gennaio 2020 è stata pubblicata la D.G.R. n. 6 – 887 del 30.12.2019 “OPCM 3519/2006. Presa d'atto ed approvazione dell'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte” di aggiornamento della classificazione regionale.

I territori dei comuni attraversati dal progetto della nuova condotta di adduzione sono classificati in zona sismica 4.

Comune di Carrù	zona 4
Comune di Piozzo	zona 4
Comune di Lequio Tanaro	zona 4
Comune di Monchiero	zona 4
Comune di Monforte d'Alba	zona 4

## 2. QUADRO PROGETTUALE

### 2.1 Analisi delle soluzioni progettuali

#### 2.1.1 La soluzione zero

La soluzione zero corrisponde alla non realizzazione della nuova condotta.

In tale situazione, come già anticipato in premessa, soprattutto nel periodo estivo, in coincidenza con le maggiori richieste di fornitura, sulla dorsale Murazzano-Alba (in giallo nel seguente schema distributivo) si registra una riduzione del carico piezometrico che crea alcuni scompensi distributivi sui Comuni allacciati.

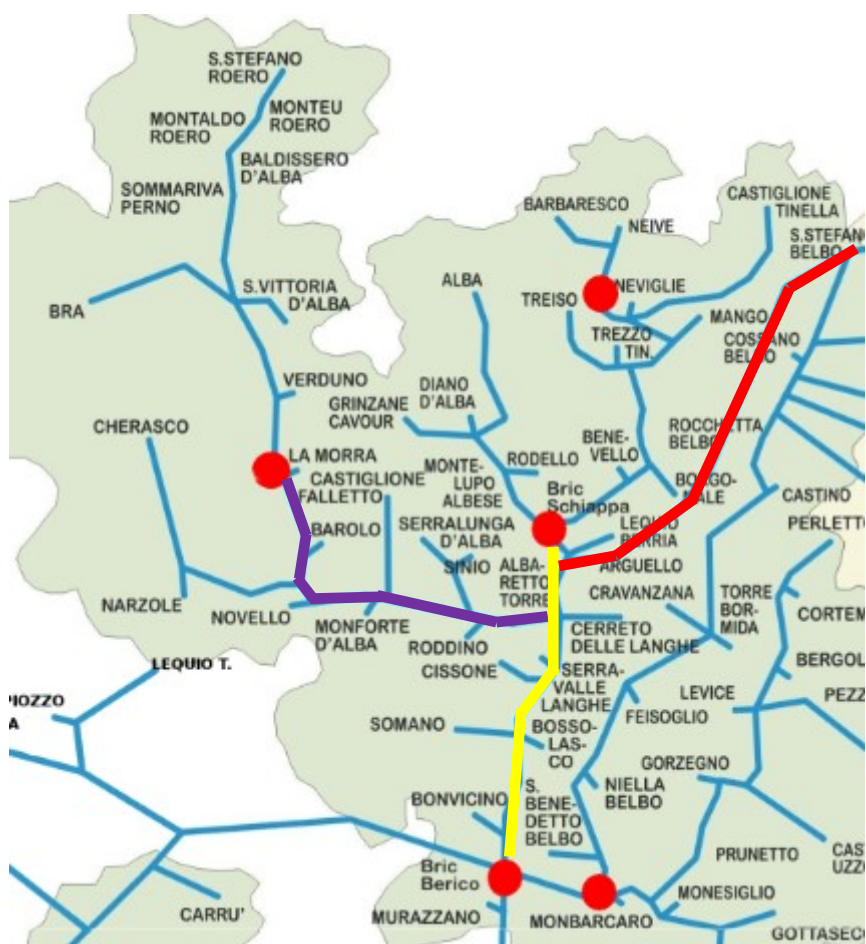


Figura 10 - Estratto schema rete distributiva Acquedotto Langhe e Alpi Cuneesi

Attualmente si sopperisce a tale inconveniente mediante un impianto di pressurizzazione (ubicato a Murazzano all'interno dei serbatoi di accumulo) che incrementa il valore piezometrico di circa 3 bar e permette la regolare distribuzione.

Le due aste che contribuiscono a “stressare” il segmento di rete sono relative alla fornitura alle città di Santo Stefano Belbo, Canelli e Nizza Monferrato (portata massima di circa 40 l/s) (in rosso) e, soprattutto, l’asta principale adduttrice verso il serbatoio di La Morra e Roero (in violetto) che ha origine in località Pedaggera del Comune di Cerretto Langhe.

### 2.1.2 La soluzione scelta

La soluzione progettuale scelta prevede la realizzazione di una nuova tubazione adduttrice (in colore rosso scuro) delle acque captate in Valle Vermenagna (il tracciato avrà origine in Comune di Carrù e si svilupperà fino a Monforte d’Alba) che saranno addotte all’attuale rete distributiva al fine di poter creare un “anello” che rappresenterà una ridondanza dell’intero sistema distributivo in caso di guasti/emergenze ed ottimizzerà la ripartizione delle portate sull’intero sistema di Acquedotto Langhe.

Tale intervento è stato concepito come completamento di un intervento più ampio iniziato con la realizzazione di un nuovo serbatoio di compenso (cerchio colore arancio) in località Pedaggera in comune di Cerretto Langhe (CN).



Figura 11 - Estratto schema rete distributiva Acquedotto Langhe e Alpi Cuneesi

## 2.2 La soluzione tecnica scelta

Per la scelta del tipo di materiale da utilizzare per la realizzazione della condotta è stato effettuato un confronto tecnico tra le tubazioni in ghisa sferoidale e in acciaio rivestito esterno con triplo strato di PE e internamente con epossidico. Il sistema in ghisa sferoidale presenta intrinsecamente un livello elevato di qualità, che può essere difficilmente vanificato da una posa scadente o da mutamenti delle condizioni di posa al contorno, mentre per i sistemi acciaio saldato, la qualità e l'affidabilità finale dell'opera è fortemente subordinata alla cura con cui tutte le fasi dell'opera vengono realizzate e che, anche qualora siano correttamente sviluppate dall'Impresa realizzatrice, possono nel tempo subire mutamenti o variazioni delle condizioni al contorno per tutti i motivi sopra espressi. L'analisi ha evidenziato un maggiore carattere di affidabilità delle condotte in ghisa sferoidale e pertanto si ipotizza la realizzazione del nuovo collegamento mediante l'utilizzo di tubazioni in ghisa sferoidale per acquedotto prodotte in stabilimento certificato a norma ISO 9001:2015 e conformi alla norma EN 545:2010 con certificato di prodotto emesso da organismo terzo accreditato da organismo firmatario il protocollo europeo per l'accreditamento secondo la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17065. Con riferimento all'art. 137 comma 2 del D.lgs. nr. 50/2016, in fase di esecuzione si si proporrà la fornitura di tubazioni fabbricate in Europa, ai sensi del regolamento (UE) n. 952/2013 del Parlamento Europeo. La tubazione avrà giunzioni elastiche di tipo automatico, con deviazioni angolari e spostamenti longitudinali del tubo senza compromissione della tenuta idraulica, con bicchiere a doppia camera realizzata in unica fusione: quella interna alloggia la guarnizione di tenuta idraulica in EPDM conforme alla norma EN 681-1, quella esterna alloggia l'anello antisfilamento che assicura la resistenza contro lo sfilamento grazie al cordone di saldatura sull'estremo liscio del tubo.

## 2.3 Le fasi progettuali

Nelle fasi iniziali sono stati presi contatti con i comuni di Carrù, Piozzo, Lequio Tanaro, Monchiero e Monforte d'Alba che sono concordi nell'autorizzare la costruzione della nuova condotta.

Nell'individuazione del tracciato della condotta si è fatto riferimento specialmente alla viabilità principale e secondaria in modo da limitare l'attraversamento di proprietà private.

Le aree private interessate dal tracciato della condotta saranno sottoposte a servitù.

È stato eseguito un rilievo celerimetrico delle aree interessate oltre un rilievo accurato delle quote e dei dati planimetrici di tutti i manufatti e dispositivi di interesse per la definizione del tracciato della condotta in progetto:

- posizione dei diversi fabbricati per orientare il tracciato della condotta;
- ubicazione dei vari elementi di riferimento quali recinzioni, pozzetti, tubazione di adduzione alla rete ALAC, fossi ricettori degli scarichi di troppo pieno ecc.;
- quote delle tubazioni intercettate dalle opere in progetto e dei fossi superficiali;
- tracciato delle condotte di alimentazione e adduzione;
- manufatti di interesse per l'individuazione dei sottoservizi (quali: pozzetti, caditoie, reti Enel, fognature, acquedotti, gas, telefono ecc.) e posizionati i principali fabbricati di riferimento per i riscontri catastali.

Sono stati altresì contattati i gestori dei pubblici servizi della zona per verificare le interferenze con l'opera in progetto.

## 2.4 Tipologia dell'opera

Il tracciato della nuova condotta avente DN 250 si svilupperà per una lunghezza complessiva di 16,5 km sul territorio dei comuni di Carrù, Piozzo, Lequio Tanaro, Monchiero e Monforte d'Alba.

La condotta sarà realizzata completamente interrata anche nei tratti di attraversamento dei corsi d'acqua. Lungo il suo sviluppo saranno alloggiati all'interno di camerette in calcestruzzo armato completamente interrate gli organi di manovra e controllo.

Gli unici manufatti emergenti rispetto al piano campagna attuale saranno le cabine di manovra da realizzarsi con struttura portante in calcestruzzo armato in corrispondenza delle interconnessioni della nuova infrastruttura con la rete esistente in comune di Carrù e in comune di Monforte d'Alba.

La superficie occupata dall'opera in progetto è limitata al tracciato della condotta.

Per quanto concerne la fascia di rispetto della condotta si è ritenuto opportuno considerare almeno 4 metri complessivamente (2 metri per ogni lato rispetto all'asse della condotta) di inedificabilità; con tale larghezza è infatti possibile intervenire in caso di manutenzione.

## 2.5 La scelta dei materiali

Data l'entità dell'opera si è deciso di procedere ad un'analisi delle diverse tipologie di tubazioni per stabilire quale fosse la migliore da utilizzarsi nella realizzazione del progetto. In particolare si è proceduto ad un confronto tecnico tra le tubazioni in ghisa sferoidale e le tubazioni in acciaio rivestito esterno con triplo strato di PE e internamento con epossidico, sebbene anche il rivestimento interno delle condotte in acciaio sarebbe preferibile in cemento, come per le condotte in ghisa, poiché le vernici epossidiche contengono BISFENOLO tipo A classificato come turbatore endocrino (Legislazione: 2007 AESE, 2008 FDA, 2011 ANSES, 2012 Legge Francese per l'interdizione del BPA).

### 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 allaganti (acciai legati).

Il carbonio si presenta usualmente sotto forma di cementite (carburo di ferro). Le particelle di cementite presenti nella microstruttura dell'acciaio, in determinate condizioni, bloccano gli scorrimenti delle dislocazioni, conferendo all'acciaio caratteristiche meccaniche migliori di quelle del ferro puro. Gli acciai sono leghe sempre plastiche a caldo, cioè fucinabili, a differenza delle ghise.

L'importanza dell'acciaio è nota, i suoi usi sono innumerevoli, come anche le varietà in cui viene prodotto: date le sue caratteristiche meccaniche, per molto tempo, è stato l'unico materiale ritenuto idoneo per la realizzazione di opere di una certa complessità come le condotte forzate per gli impianti idroelettrici, ma oggi non è più così. 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).

## LA 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. L'impiego principale della ghisa è quale intermedio nella produzione di acciaio, che si ottiene per decarburazione della ghisa in apparecchiature (convertitori) in cui viene insufflato ossigeno (o aria): questo, combinandosi con il carbonio, ne riduce il tasso nel metallo fuso e viene evacuato come anidride carbonica. Per le caratteristiche di grande fluidità, la ghisa è usata in larga misura nella produzione di getti di fusione.

Rispetto all'acciaio dolce ( $C < 1,5\%$ ), la ghisa presenta maggiore durezza e quindi resistenza all'abrasione, e minore resilienza e quindi maggiore fragilità.

Tra le varie ghise disponibili la ghisa duttile (detta anche ghisa sferoidale) è un tipo di ghisa in cui la grafite, anziché sotto forma di lamelle, si presenta in noduli a forma di sferoidi. I noduli si trovano in una matrice metallica la cui struttura è funzione della composizione chimica del tipo specifico di ghisa, della velocità di raffreddamento al momento della solidificazione e degli eventuali trattamenti termici successivi.

La forma sferoidale della grafite produce una minore concentrazione di tensione rispetto a quella lamellare; inoltre la forma sferica è quella che a parità di volume presenta la minore superficie e la matrice risulta perciò meno danneggiata riuscendo così a sfruttarne meglio le caratteristiche. Inoltre nella ghisa sferoidale i noduli di grafite esercitano un'azione di arresto per le cricche, a differenza della grafite lamellare che offre una via preferenziale per la loro propagazione. 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 545:2010.

Rispetto all'acciaio dolce ( $C < 1,5\%$ ), la ghisa presenta maggiore durezza e quindi resistenza all'abrasione, e minore resilienza e quindi maggiore fragilità.

Tra le varie ghise disponibili la ghisa duttile (detta anche ghisa sferoidale) è un tipo di ghisa in cui la grafite, anziché sotto forma di lamelle, si presenta in noduli a forma di sferoidi. I noduli si trovano in una matrice metallica la cui struttura è funzione della composizione chimica del tipo specifico di ghisa, della velocità di raffreddamento al momento della solidificazione e degli eventuali trattamenti termici successivi.

La forma sferoidale della grafite produce una minore concentrazione di tensione rispetto a quella lamellare; inoltre la forma sferica è quella che a parità di volume presenta la minore superficie e la matrice risulta perciò meno danneggiata riuscendo così a sfruttarne meglio le caratteristiche. Inoltre nella ghisa sferoidale i noduli di grafite esercitano un'azione di arresto per le cricche, a differenza della grafite lamellare che offre una via preferenziale per la loro propagazione. 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 545:2010.



## CONFRONTO

Il concetto fondamentale intorno a cui ruota la differenza nella scelta tra i due materiali passa attraverso la differenza tra “*costruzione*” della prestazione e “*montaggio*” della prestazione.

In altre parole, se si analizzano gli aspetti tecnici legati alle pressioni, alla statica, alla durevolezza e alla manutenzione emerge che nei sistemi in ghisa la garanzia della conservazione di questi parametri per la durata attesa dell'infrastruttura è insita nelle caratteristiche del sistema già dalla fase di produzione. Di seguito alcune considerazioni in merito.

## LA PRESSIONE

Uno dei parametri più importanti in un acquedotto è senz'altro la pressione nei vari regimi in cui può presentarsi durante l'esercizio, ovvero: la pressione di esercizio, la pressione in regime transitorio e la pressione di collaudo. Secondo la norma EN 805:2000 vengono infatti definite:

1. Pressione di Funzionamento Ammissibile (PFA): massima pressione idrostatica che un componente può sopportare in servizio continuo.
2. Pressione di funzionamento Massima Ammissibile (PMA): massima pressione occasionale, sovrappressione inclusa, che un componente può sopportare in esercizio.
3. Pressione di prova Ammissibile (PEA): massima pressione idrostatica che un componente appena installato può sopportare per un periodo di tempo relativamente breve allo scopo di accertare l'integrità e la tenuta della tubazione.

Nel caso dell'acciaio, questa prestazione dipende dallo spessore della tubazione posata, ma soprattutto dalla qualità delle saldature. Ecco il primo esempio di “*costruzione*” della prestazione che viene demandata a operazioni da realizzarsi in fase di posa.

Il caso della ghisa sferoidale è completamente diverso perché la norma di prodotto UNI EN 545:2010 impone che tale prestazione venga garantita nel sistema tubo-giunto mediante prove realizzate in fase di concezione di prodotto in fabbrica. Una volta scelto il sistema di giunzione più adeguato allo specifico progetto in cantiere ci si dovrà limitare a “*montare*” il sistema poiché la tenuta idraulica è garantita dalle prove effettuate in fabbrica.

In particolare, queste prove di prestazione realizzate sul sistema tubo giunto sono parecchio severe e sono di seguito riportate:

## Prove di prestazione per i giunti

Prova	Requisiti di prova	Condizioni di prova	Metodo di prova
1) Pressione idrostatica interna positiva	Pressione di prova: $(1,5 \text{ PFA} + 5)$ bar Durata della prova: 2 h Nessuna perdita visibile	Giunto a gioco anulare massimo, allineato e con gioco assiale, sottoposto a sforzo di taglio Giunto a gioco anulare massimo, deviato	In conformità al punto 7.2.2
2) Pressione interna negativa	Pressione di prova: $-0,9 \text{ bar}^{\text{a}}$ Durata della prova: 2 h Variazione massima della pressione durante il periodo della prova: $0,09 \text{ bar}$	Giunto a gioco anulare massimo, allineato, con gioco assiale, sottoposto a sforzo di taglio Giunto a gioco anulare massimo, deviato	In conformità al punto 7.2.3
3) Pressione idrostatica esterna positiva	Pressione di prova: 2 bar Durata della prova: 2 h Nessuna perdita visibile	Giunto a gioco anulare massimo, allineato, sottoposto a sforzo di taglio	In conformità al punto 7.2.4
4) Pressione idraulica ciclica interna	24 000 cicli Pressione di prova: tra PMA e $(\text{PMA} - 5)$ bar Nessuna perdita visibile	Giunto a gioco anulare massimo, allineato e con gioco assiale, sottoposto a sforzo di taglio	In conformità al punto 7.2.5

a)  $0,9 \text{ bar}$  sotto la pressione atmosferica (circa  $0,1 \text{ bar}$  di pressione assoluta)

Fonte: Norma UNI EN 545:2010

A rendere ancora più severe queste prove sono le condizioni al contorno che la norma impone nella loro effettuazione ovvero:

- tutti i giunti devono essere sottoposti a prova di prestazione in corrispondenza dei limiti estremi della tolleranza di fabbricazione, in modo che il gioco anulare tra le superfici di tenuta del bicchiere e dell'estremità liscia risulti pari al massimo valore di progetto;
- tutti i giunti devono essere sottoposti a prova di prestazione con una estremità liscia che presenti uno spessore medio della parete di ghisa uguale al valore minimo specificato per il tubo per il quale il giunto è stato progettato più 10%, meno 0%;
- tutti i giunti devono essere sottoposti a prova di prestazione con uno sforzo di taglio risultante attraverso i giunti non minore di  $50 \times \text{DN}$  in newton, tenendo conto della massa del tubo e del suo contenuto e della configurazione geometrica dell'assemblaggio di prova.

Figura 1 Prova della tenuta idraulica dei giunti (pressione interna)

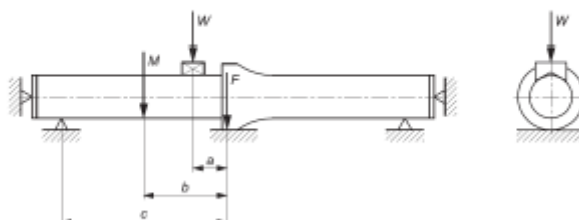
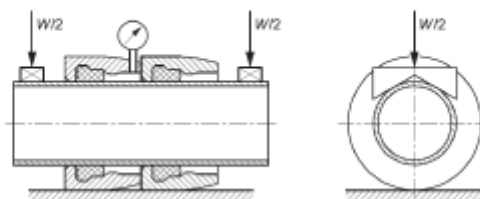


Figura 2 Prova della tenuta idraulica dei giunti (pressione esterna)



Inoltre, una volta certificare le PFA la norma impone che il sistema tubo-giunto sia contemporaneamente garantito alla PME ed alla PEA come sopra definito e secondo i seguenti criteri:

$$PMA = PFA \times 1,2$$

$$PEA = PMA + 5 \text{ bar}$$

Un'ulteriore considerazione merita il coefficiente di sicurezza con cui le prestazioni del sistema tubo giunto vengono calcolate che è portato a 3 proprio per ottenere una massima garanzia su questo parametro. La conseguenza ricade su spessori di parete importanti anche da un punto di vista statico.

Di seguito la formulazione ripresa dalla norma di prodotto UNI EN 545:2010

$$PFA = \frac{20 \times e_{\min} \times R_m}{D \times S_F}$$

dove

$e_{\min}$  è lo spessore minimo delle pareti dei tubi, in millimetri

$D$  è il diametro medio dei tubi ( $D_e - e_{\min}$ ), in millimetri

$D_e$  è il diametro esterno nominale dei tubi, in millimetri

$R_m$  è la resistenza a trazione minima della ghisa sferoidale, in megapascal ( $R_m = 420 \text{ Mpa}$ )

$S_F$  è un fattore di sicurezza uguale a 3.

La massima PFA di un tubo è pari al numero della sua classe, per esempio PFA 40 per tubo classe 40.

### COMPORAMENTO STATICO ED EVENTI SISMICI

I due materiali da questo punto di vista hanno un comportamento molto simile. Il sistema acciaio inteso come condotta saldata in cantiere, ha un comportamento però di tipo monolitico con scarsi gradi di libertà a seguire le deformazioni imposte nel sottosuolo da eventuali cedimenti dello stesso e con freccia di inflessione inferiore a quella rappresentata da tubi in ghisa sferoidale. Questo aspetto

è particolarmente importante poiché nelle classiche verifiche statiche, non si tiene quasi mai in conto il comportamento della condotta nel suo insieme, ovvero non si tiene in conto l'effetto dei cedimenti differenziali del terreno lungo l'asse longitudinale dell'infrastruttura. Viene normalmente effettuata la verifica della sezione. Questo aspetto però è importante in quanto anche l'effetto dei cedimenti differenziali del terreno in direzione longitudinale producono una variazione dello stato tensionale del materiale e quindi anche di un aumento della pressione positiva interna (Mariotte). I sistemi in ghisa possono fare affidamento a grandi deviazioni angolari tra gli elementi che sono in grado di assorbire i cedimenti del terreno senza che questi vadano a gravare sulla tubazione.

La ghisa sferoidale inoltre rientra tra le tubazioni a comportamento semirigido. I tubi semi-rigidi si ovalizzano sufficientemente perché una parte del carico verticale dei terreni mobiliti l'appoggio laterale sul rinterro. Gli sforzi messi in gioco, così, 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.

In particolare, la ghisa sferoidale ha eccellenti referenze delle sue ottime 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

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).

Nel complesso quindi la tubazione viene a comportarsi ed a disporsi in forma di una catenaria 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.

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

### LA RESISTENZA ALLA CORROSIONE

Così come per le due sezioni precedenti ed in linea con quanto premesso, anche nella trattazione del presente argomento si mette in evidenza come, ancora una volta, la concezione del sistema in ghisa sferoidale abbia una vocazione verso soluzioni in grado di "mantenersi" da sole durante la vita attesa dell'infrastruttura. La totale assenza di necessita di protezione catodica ne è un ulteriore esempio e di seguito si illustreranno sinteticamente i principi.

La vulnerabilità delle tubazioni in acciaio saldato alla corrosione rappresenta una costante nella progettazione. Per questi materiali è quindi buona norma prevedere la protezione dalla corrosione esterna a mezzo di impianti di protezione catodica di elevato e poco prevedibile a priori costo gestionale nel tempo, specialmente dovuto alle spese per l'energia elettrica a corrente impressa.

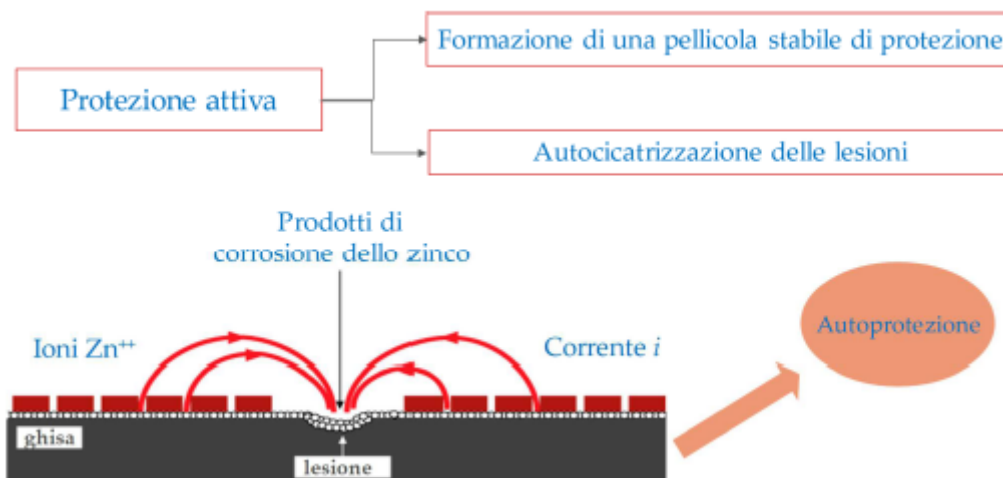
Interazioni con altri servizi elettrici, attraversamenti con rii, ruscelli, fiumi e/o la presenza di falde possono instaurare rischi di "cathodic disbondment" ovvero di disequilibrio catodico per la struttura che può avere a monte delle suddette interazioni zone protette e a valle zone in totale

squilibrio e quindi soggette a forte rischio di corrosione. Come detto, la necessità di assicurare perciò un mezzo omogeneo all'esterno della tubazione impone nella maggioranza dei casi di ricorrere a materiali di posa vagliati (solette, ghiaietto o misto sabbia magrone), a prescindere dalle necessità statiche come per esempio in caso di posa in falda o in terreni cedevoli. In presenza di falda poi l'escursione della stessa può comportare nel tempo il dilavamento del mezzo posto intorno alle tubazioni comportando il decadimento delle iniziali condizioni costruttive a scapito dell'effettiva stabilità delle condotte. Questi aspetti rappresentano di per sé un discreto costo, e per quanto concerne la protezione catodica, un costo di manutenzione a carico del Gestore che si protrae per tutta la vita utile dell'opera. In mancanza di costanti controlli dei valori della protezione catodica (ddp terra-tubo), viene messa a repentaglio l'integrità stessa dell'opera e il sistema di protezione a correnti impresse, più costoso, consente un migliore controllo di quello rappresentato da quello eseguito con anodi sacrificali che, in presenza di zone anodiche sulle tubazioni, può comportare una veloce degradazione degli anodi stessi.

Per quanto concerne la ghisa sferoidale, si osserva che già il materiale base, in virtù dell'elevato tenore di grafite nella matrice metallica, presenta una resistenza intrinseca alla corrosione ben più elevata dell'acciaio saldato. Inoltre il rivestimento esterno applicato per metallizzazione è tale da costituire in presenza di ambiente mediamente aggressivo dei sali di zinco che comportano la formazione di uno strato compatto ed insolubile imprigionato nello strato superiore di vernice di finitura tale da costituire un'efficace barriera ai fenomeni di corrosione. L'elevata resistenza meccanica dello zinco è tale da consentire una movimentazione disinvolta delle tubazioni. Anche in caso di modeste abrasioni e di locale asportazione dello zinco, quando il tubo viene posato nel terreno umido, si instaura un effetto galvanico che comporta la migrazione dei sali di zinco dalla superficie zincata del tubo alla zona danneggiata, che risulta in breve cicatrizzata (autoriparazione).

Il meccanismo di protezione delle condotte in ghisa sferoidale è sempre comunque legato alle tipologie dei rivestimenti esterni che sono a loro volta funzione dell'aggressività specifica dei terreni di posa come riportato all'interno dell'Appendice D della Norma UNI EN 545.

Una particolare cura va quindi osservata nel ripristino dei rivestimenti esterni dell'acciaio dopo le saldature poiché in caso di zone, anche di limitata estensione non accuratamente rifasciate dopo la saldatura, si possono instaurare facilmente zone anodiche preferenziali di rapida dispersione e sedi di importanti veloci corrosioni.



Un ulteriore vantaggio della ghisa da questo punto di vista è ben trattato in un articolo del DIPRA (Ductile Iron Pipe Research Association) e cioè la discontinuità elettrica (Electrical Influences: cut-off role of the junction). Di seguito alcuni stralci.

Sempre in tema di corrosione si evidenzia come la questione vada affrontata anche per la parete interna dove notoriamente si presenta una possibile vulnerabilità delle zone di saldatura per l'acciaio non protette in cantiere. Anche per questa ragione viene preferito il cemento interno sebbene il cemento comunque abbia un'applicabilità sull'acciaio ben diversa rispetto alla ghisa, per colpa della poca rugosità che offre la superficie interna del tubo; questo compromette di molto l'aderenza del cemento all'acciaio, rispetto al suo utilizzo con la ghisa sferoidale. Tanto è vero che nei tubi in acciaio rivestiti internamente in cemento, si preferisce impiegare tubi saldati longitudinalmente, rispetto a quelli saldati spiralati, proprio per evitare zone di assottigliamento del cemento in prossimità della saldatura elicoidale e quindi possibili distacchi già nelle fasi di movimentazione.

Per quanto riguarda la ghisa sferoidale di seguito si schematizza il principio di protezione



## CARATTERISTICHE IDRAULICHE

Per le condotte di adduzione in ghisa sferoidale in pressione si assume un coefficiente di scabrezza pari a  $\epsilon=0.10$  mm (formula di Colebrook – White) ovvero un coefficiente  $K=105$  secondo la formula di Manning-Strickler; per l'acciaio da un'iniziale coefficiente di Colebrook pari a 0,10 mm si passa nel tempo ad un coefficiente cautelativo di almeno 0,20 dovuto all'asportazione del rivestimento epossidico in corrispondenza delle zone interne delle saldature, ove può sussistere pure il rischio dell'aggressione delle acque direttamente a contatto con il metallo.

In realtà, sulla base di quanto espresso in premessa, ovvero la presenza di Bisfenolo tipo A nelle vernici epossidiche, l'attuale direzione nella progettazione delle condotte in acciaio, è indirizzata verso rivestimenti interni in cemento.

## LA POSA IN OPERA

La differenza principale nella posa in opera tra acciaio e ghisa sferoidale risiede ovviamente nel montaggio.

La semplicità di posa delle tubazioni in ghisa sferoidale è ben nota: le giunzioni a bicchiere delle tubazioni consentono cadenze di posa elevate; la semplicità del montaggio consente di utilizzare maestranze non specializzate, e garantisce al tempo stesso una buona esecuzione: il controllo della

corretta posizione della guarnizione a tubazione montata può essere agevolmente effettuato in tempi rapidissimi, e garantisce il corretto montaggio e la tenuta del giunto. Un ulteriore vantaggio presentato dai sistemi in ghisa sferoidale è costituito dalla deviazione angolare offerta dai giunti a bicchiere, che varia dai 5 gradi dei diametri più piccoli, fino ad 1.5 gradi per i diametri più elevati.

Per le curve di entità più elevata e per tutte le ulteriori necessità di realizzare diramazioni, connessioni flangiate, ecc., esiste un'ampia gamma di raccordi a bicchiere ed a flangia anche per il collegamento con le apparecchiature idrauliche, tali da soddisfare le più varie esigenze, mantenendo le doti di semplicità e rapidità di montaggio proprie delle tubazioni.

D'altra parte, per garantire delle buone condizioni di posa delle tubazioni in acciaio, devono essere eseguite le seguenti operazioni

- preparazione adeguata del piano di posa;
- attenzione nell'esecuzione delle operazioni di posa e di giunzione, alla movimentazione di tratte ingombranti e pesanti dei tubi fuori terra e alla realizzazione di slarghi nella trincea tali da consentire l'accessibilità ai giunti, alle tematiche di posa in ambiente adatto alle saldature;
- controlli delle saldature e accuratezza del ripristino del rivestimento esterno.

Per i tubi in acciaio è bene quindi dopo saldatura ripristinare accuratamente il rivestimento esterno stesso accuratamente al fine di evitare zone di innesco per i fenomeni di corrosione che, in presenza di zone non rivestite sono veloci e possono condurre a fenomeni di cathodic disbondment.



### PEZZI SPECIALI

Per l'acciaio i pezzi speciali vengono realizzati "ad hoc" a seconda delle esigenze da soddisfare; tali pezzi sono naturalmente necessari ma comportano rallentamenti di posa, la necessità di eseguire ulteriori saldature e rifasciature successive e specie nei grandi diametri un ulteriore aggravio per i controlli radiografici di collaudo delle saldature.

La gamma di raccordi per le tubazioni in ghisa sferoidale consente al contrario un'ampia scelta, ma soprattutto offre la sicurezza della perfetta tenuta. Ogni raccordo viene inserito sulla condotta per mezzo di pezzi speciali dotati di guarnizioni in elastomero con sistema di giunzione e tenuta a mezzo guarnizione elastomerica automatica (come quella delle tubazioni) e/o a flangia.

L'incidenza degli stessi in termini di costo viene quindi valutata sulla base dei tracciati di posa ed è assai favorevole per le condotte in ghisa sferoidale per la capacità elastica delle giunzioni in elastomero presenti nei giunti sia dei tubi che dei raccordi di assorbire asperità del tracciato, curve ad ampio raggio.



**SINTESI**

La sintesi delle considerazioni tecniche esposte nei punti precedenti evidenzia un carattere di affidabilità delle condotte in ghisa sferoidale decisamente più elevato rispetto ai sistemi di condotte in acciaio saldato principalmente per i seguenti motivi

<b>PARAMETRO</b>	<b>ACCIAIO</b>	<b>GHISA SFEROIDALE</b>
<b>PRESSIONE</b>	Saldature Realizzazione e verifica in cantiere	Giunto Automatico Garanzia prove di prestazione
<b>STATICA</b>	Comportamento monolitico	Comportamento libero a catenaria
<b>SISMICA / FRANE</b>	Comportamento monolitico	Comportamento libero a catenaria
<b>CORROSIONE</b>	Protezione catodica	Autoprotezione Discontinuità elettrica
<b>CORROSIONE</b>	-	Autoprotezione Cemento interno
<b>POSA IN OPERA</b>	Più complessa "costruzione" della condotta	Più semplice "montaggio" della condotta
<b>RACCORDI</b>	Realizzazione ad hoc	Ampia disponibilità Sistema di giunzione automatico

Risulta pertanto evidente che il sistema in ghisa sferoidale presenta intrinsecamente un livello elevato di qualità, che può essere difficilmente vanificato da una posa scadente o da mutamenti delle condizioni di posa al contorno, mentre per i sistemi acciaio saldato, la qualità e l'affidabilità finale dell'opera è fortemente subordinata alla cura con cui tutte le fasi dell'opera vengono realizzate e che, anche qualora siano correttamente sviluppate dall'Impresa realizzatrice, possono nel tempo subire mutamenti o variazioni delle condizioni al contorno per tutti i motivi sopra espressi.

Pertanto si è deciso di utilizzare per la realizzazione della nuova condotta le tubazioni in ghisa sferoidale.

Nell'immagine sottostante si riporta una tubazione tipo in ghisa.

## 2.5.1 Caratteristiche delle tubazioni in ghisa sferoidale

### GIUNTO AUTOMATICO ANTISFILAMENTO A DOPPIA CAMERA CON CORDONE DI SALDATURA

Le tubazioni in ghisa sferoidale dovranno essere prodotte in stabilimento certificato a norma ISO 9001:2015 e conformi alla norma EN 545:2010 con certificato di prodotto emesso da organismo terzo accreditato da organismo firmatario il protocollo europeo per l'accreditamento secondo la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17065. La ghisa sferoidale impiegata per la fabbricazione dei tubi dovrà avere le seguenti caratteristiche: carico unitario di rottura a trazione:  $\geq 420$  MPa; allungamento minimo a rottura:  $\geq 10\%$ ; durezza Brinell:  $\leq 230$  HB. Ai sensi dell'art. 137 comma 2 del D.lgs. nr. 50/2016, l'offerta sarà respinta se il valore economico delle tubazioni prodotte in paesi terzi, ai sensi del regolamento (UE) n. 952/2013 del Parlamento Europeo, supera il 50 per cento del valore totale delle tubazioni offerte. Materiali conformi al D.M. 174 Ministero della Salute del 6/4/2004 per le parti applicabili.

Giunto elastico di tipo automatico, con deviazioni angolari e spostamenti longitudinali del tubo senza compromissione della tenuta idraulica, con bicchiere a doppia camera realizzata in unica fusione: quella interna alloggia la guarnizione di tenuta idraulica in EPDM conforme alla norma EN 681-1, quella esterna alloggia l'anello antisfilamento che assicura la resistenza contro lo sfilamento grazie al cordone di saldatura sull'estremo liscio del tubo.

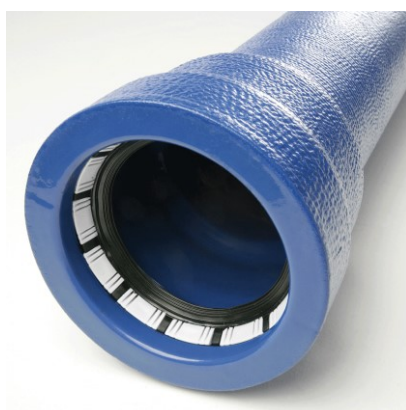


Figura 12 - Tubazione tipo in ghisa

<b>DN</b>	<b>Classe di pressione</b>	<b>PFA</b> [bar]	<b>Deviazione angolare</b> [°]	<b>Lunghezza utile minima</b> [m]
250	C100	100	3	5,9

Le tubazioni saranno rivestite esternamente mediante una lega di zinco – alluminio preferibilmente con presenza di rame (o altro metallo), di massa minima pari a  $400 \text{ g/m}^2$  e con successiva vernice di finitura, esente da bisfenoli, secondo quanto indicato nella norma EN 545:2010.

Rivestimento interno con malta cementizia d'altoforno applicata per centrifugazione secondo quanto previsto nella EN 545:2010 e certificato secondo quanto prescritto al punto 7.1 della suddetta norma da organismo terzo. Il cemento, come prescritto dalla norma EN545:2010 al paragrafo 4.5.3.1, dovrà

essere conforme alla norma EN197-1 ed alla Direttiva Europea 98/83/EC con certificato di organismo terzo. Secondo quanto richiesto dalla norma EN197-1 all'Allegato ZA, dovrà essere esibito il certificato di conformità CE del cemento impiegato rilasciato da ente terzo.

L'imbicchieramento delle tubazioni e dei raccordi in ghisa sferoidale deve avvenire mediante l'utilizzo di uno speciale argano meccanico messo a disposizione dal fornitore prescelto, che consente di effettuare questa operazione in maniera completamente manuale (senza bisogno di spingere con la benna dell'escavatore), veloce e sicura (con una spinta dolce, graduale ed in posizione perfettamente allineata senza rischio alcuno per la guarnizione). Di seguito alcune fotografie inerenti a tale strumento.



Figura 13 - Fasi di "imbicchieramento" delle tubazioni

#### Elenco di certificati richiesti

1. Certificato del Sistema di Gestione Qualità ISO 9001:2015 e di Gestione Ambientale ISO14001 emessi da organismo terzo accreditato da organismo firmatario del protocollo europeo per l'accREDITAMENTO secondo la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17021.
2. Certificato di Prodotto per la conformità alla norma EN 545:2010 per i tubi offerti, emesso da organismo terzo accreditato da organismo firmatario del protocollo europeo per l'accREDITAMENTO secondo la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17065. Il certificato di prodotto dovrà essere relativo allo stabilimento di produzione dove verranno fabbricati i tubi offerti per la fornitura in oggetto e sarà probante dell'origine dei prodotti stessi.
3. Certificato di ente terzo per la rispondenza delle guarnizioni alla norma EN 681-1.
4. Certificati di alimentarietà rilasciati da Laboratorio di analisi accreditato, avente sede in Italia e/o Unione Europea, attestante la conformità alle disposizioni del Decreto Ministeriale n. 174 del 06/04/2004 per tutte le parti a contatto con l'acqua dei materiali offerti per il lavoro in oggetto ed in particolare per ogni singola miscela di elastomero per le guarnizioni e per ogni singola vernice utilizzata per i rivestimenti.
5. Certificato rilasciato da organismo terzo per la conformità della malta cementizia:
  - alla resistenza a compressione del cemento secondo EN 545, § 7.1
  - alla Direttiva Europea 98/83/EC secondo EN 545, § 4.5.3.1
  - alla norma EN197-1 secondo EN 545, § 4.5.3.1
6. Certificato di conformità CE del cemento impiegato per la malta cementizia secondo quanto richiesto dalla norma EN197-1 all'Allegato ZA, rilasciato da ente terzo notificato dalla Comunità Europea.
7. Dichiarazione vincolante del fornitore prescelto dall'impresa emessa in fase di gara a pena di esclusione relativamente alle caratteristiche dei materiali proposti con allegate le relative schede tecniche; tale dichiarazione vincolerà poi l'impresa al rispetto della stessa.

## 2.6 Fasi lavorative

Il cantiere si svilupperà lungo il tracciato della condotta e procederà per piccoli tratti; si prevede infatti la realizzazione dello scavo con la posa della tubazione e l'immediato ritombamento. Lo scavo sarà realizzato giorno per giorno secondo le possibilità di posa della tubazione in modo da limitare le aree interessate dal cantiere e procedere quanto prima al ripristino dello stato dei luoghi.

La realizzazione dell'opera comporterà le seguenti fasi per ogni tratto:

- Preparazione dell'area di cantiere
- Scavo per posa tubazione
- Fornitura e posa tubazioni
- Reinterrro
- Ripristino stato dei luoghi.

La trincea di scavo (sezione 0,80 m x 2,00 m h) avrà le pareti verticali. Sarà realizzato un letto di posa con materiale fine, l'imbicchieramento delle tubazioni e dei raccordi in ghisa sferoidale avverrà direttamente nello scavo mediante l'utilizzo di uno speciale argano meccanico messo a disposizione dal fornitore prescelto. Il rinterro sarà eseguito prima con materiale fine, poi con materiale proveniente dagli scavi mentre nei tratti di attraversamento o percorrenza stradale con misto cementato atto a garantire la stabilità sede stradale interessata. Negli attraversamenti stradali con trivellazione i tratti a monte e a valle della trivellazione ed il tratto relativo alla trivellazione stessa saranno tra loro collegati solamente dopo aver effettuato le prove idrauliche di tenuta.

Si prevede inoltre la realizzazione di n. 6 attraversamenti dei seguenti corsi d'acqua:

- Rio Rordo o Venera attraversamento in subalveo
- Rio Rilavetto attraversamento in subalveo
- Fiume Tanaro attraversamento in subalveo
- Torrente Rea attraversamento in subalveo
- Rivo delle Monache attraversamento in subalveo
- Rivo di Monforte o di Monchiero attraversamento aereo

E inoltre in progetto l'attraversamento delle seguenti infrastrutture:

- Strada Provinciale n. 254 (Piozzo)
- Strada Provinciale n. 12 (Lequio Tanaro)
- Ferrovia dismessa tratto Narzole – Ceva (Monchiero)
- Canale centrale idroelettrica (Monchiero)
- Strada Provinciale n. 661 (Monchiero)
- Strada Provinciale n. 57 (Monchiero e Monforte d'Alba) e percorrenza
- Strada Provinciale n. 163 (Monforte d'Alba) e percorrenza

Per quanto riguarda l'attraversamento della ferrovia dismessa si farà riferimento al Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 04/04/2014 "*Norme Tecniche per gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto*".

## 2.7 Modello di simulazione della rete idrica

Per la verifica idraulica della rete idrica si è utilizzato nella fase di calibrazione e nella fase d'analisi della rete il programma "EPA-NET 2.0" sviluppato dalla United States Environmental Protection Agency's (EPA) divisione Acquedotti e Risorse Idriche.

Nel seguito si riportano le indicazioni sulle modalità di schematizzata della rete idrica con il software "EPA-NET". La rete è rappresentata da archi (LINKS) connessi tra loro tramite nodi (NODES).

Gli archi possono essere:

- tubi;
- pompe

i nodi possono essere:

- semplici punti di giunzione tra tubazioni;
- punti di consumo (nodi di domanda);
- punti di immissione (nodi sorgente);
- punti di conservazione dell'acqua (nodi di deposito).

I singoli componenti della rete sono così definiti:

- tubi (PIPES): trasportano l'acqua da un nodo all'altro; la direzione di scorrimento del flusso va dall'estremità a carico maggiore a quello a minor carico; si esprime la perdita di carico dovuta all'attrito incontrato nel passaggio all'interno dei tubi tramite la relazione:

$$h_L = a \cdot q^b$$

dove:

h è la perdita di carico;

q è la portata;

a e b sono due coefficienti dipendenti dalla formula di resistenza e dall'unità di misura.

EPANET può utilizzare tre tipi di formule di resistenza: la formula di Hazen-Williams, di uso più diffuso; quella di Darcy-Weisbach, più adatta a flussi in moto laminare e ad fluidi diversi dall'acqua; quella di Chezy-Manning, comunemente usata in canali aperti.

- nodi (Junction): è necessario fornire per ciascuno di essi l'altezza sul livello del mare affinché possa essere calcolato il contributo al valore della pressione dovuto all'altitudine; devono essere inoltre fornite al programma tutte le informazioni riguardanti il consumo o l'immissione di nuova acqua per ogni nodo che non sia un serbatoio. Sono classificati come nodi anche i serbatoi (TANKS) e le cisterne (RESERVOIRES) (in entrambi esiste una superficie di pelo libero, tuttavia nelle seconde il livello dell'acqua rimane costante);

EPANET rappresenta la variazione nel livello dell'acqua di un serbatoio con la formula

$$\Delta y = \left( \frac{q}{A} \right) \cdot \Delta t$$

dove

$\Delta y$  rappresenta la variazione del livello d'acqua;

$q$  è la portata entrante/uscente;

$A$  è la sezione trasversale del serbatoio;

$\Delta t$  rappresenta l'intervallo di tempo.

Il programma richiede inoltre come dato di input il valore minimo e massimo del livello d'acqua all'interno dei serbatoi. I "reservoirs" (serbatoi) rappresentano fonti esterne d'acqua, cioè sono laghi o fiumi o sorgenti, pertanto non deve essere associato loro alcun consumo o immissione d'acqua stessa.

- time patterns: EPANET considera che il consumo, la fornitura esterna e la composizione dell'acqua rimangano costanti per un intervallo di tempo (detto hydraulic time-step, fissato per default ad un ora ma modificabile), potendo tuttavia mutare da un intervallo all'altro.

La routine che il programma utilizza per la risoluzione della rete è la seguente:

per ogni serbatoio viene risolto il seguente sistema di equazioni:

$$\frac{dy_s}{dt} = \frac{q_s}{A_s} \quad (1)$$

$$q_s = \sum_i q_{is} - \sum_j q_{sj} \quad (2)$$

$$h_s = E_s + y_s \quad (3)$$

mentre per ogni arco che collega i nodi "i" e "j" ed ogni nodo "k" vengono risolte le:

$$h_i - h_j = f(q_{ij}) \quad (4)$$

$$\sum_i q_{ik} - \sum_j q_{kj} - Q_k = 0 \quad (5)$$

dove:

$y_s$  è l'altezza del livello dell'acqua immagazzinata al nodo "s";

$q_s$  è la portata entrante nel nodo "s";

$q_{ij}$  è la portata che passa nell'arco che unisce i nodi "i" e "j";

$h_i$  è la quota piezometrica al nodo "i";

$A_s$  è l'area trasversale del serbatoio "s";

$E_s$  è l'altitudine al nodo "s";

$Q_k$  è la portata fornita (-) o consumata (+) al nodo "s";

$f()$  è la relazione esistente tra la portata e le perdite di carico lungo l'arco.

L'equazione numero (1) esprime la conservazione del volume d'acqua in un serbatoio, la (2) e la (5) hanno la stessa funzione ma per i punti di giunzione tra tubi; la numero (4) da', invece, la perdita o il guadagno di energia dovuta al passaggio dell'acqua lungo un arco.

Noti i valori di  $y_s$  all'istante iniziale, si possono risolvere le equazioni (4) e (5) usando la (3) come condizione al contorno. Queste operazioni consistono in un "bilancio idraulico" della rete e sono

realizzate dal programma tramite un metodo iterativo; dopo questa fase, EPANET passa a trovare la quantità  $q_s$  tramite la (2) per poterla poi inserire nella (1) al fine di trovare il nuovo livello d'acqua nel serbatoio dopo un tempo  $d_t$ . Infine, i passaggi sopra elencati vengono ripetuti per tutti gli intervalli di tempo nei quali è stata divisa la simulazione (per default EPANET opera con intervalli di un ora ma la loro durata può essere modificata a piacimento).

La nuova condotta in progetto con uno sviluppo complessivo di 16.500 m da Carrù a Monforte d'Alba avrà funzionamento a gravità.

La tubazione sarà realizzata in ghisa sferoidale DN 250 – PFA100.

La quota geodetica di partenza della tubazione è pari a 357 m s.l.m. (comune di Carrù) con un carico iniziale pari a 980 m (62,5 bar circa) e la quota geodetica di arrivo della tubazione è pari a 380 m s.l.m. dove il carico di esercizio è pari a circa 35 bar.

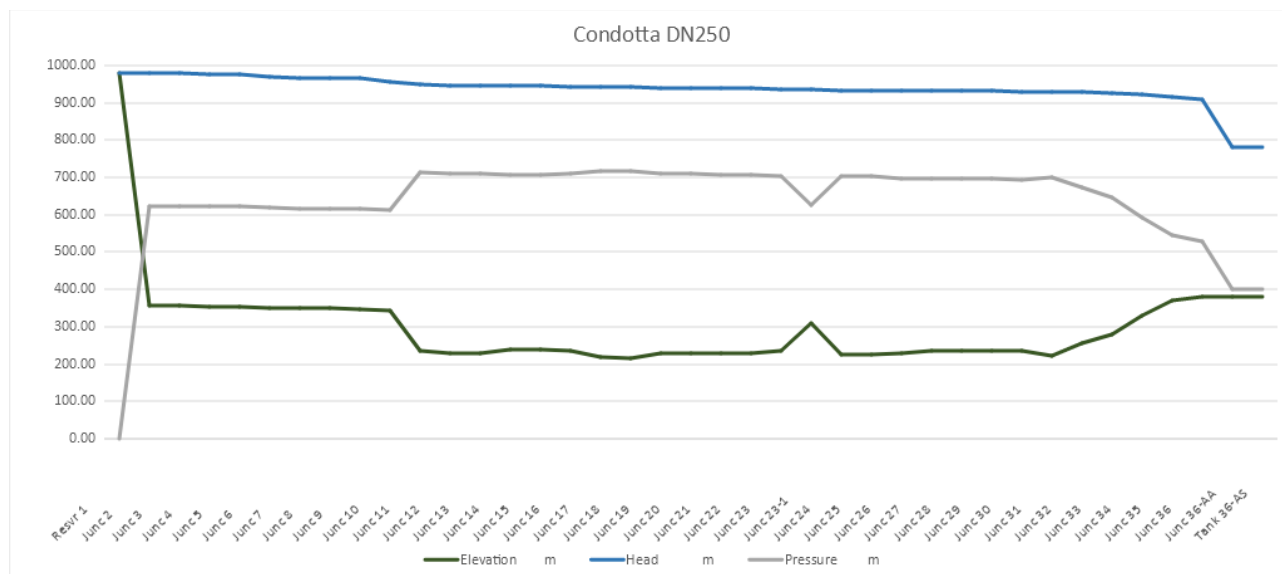
La portata di esercizio sarà pari a 0,100 mc/s = 100 l/s.

Il dislivello geodetico complessivo tra inizio e fine condotta è pari a – 23 m.

La quota geodetica minima lungo il tracciato della condotta è registrata in corrispondenza dell'attraversamento in subalveo del fiume Tanaro pari a 217 m s.l.m.

La velocità media in condotta risulta pari a 2,04 m/s.

Nell'immagine sottostante è riportato il grafico raffigurante i risultati della simulazione idraulica.



## 2.8 Verifica della condotta

### Dati di progetto

$h_a =$	357,00	m	quota geodetica punto A
$h_b =$	380,00	m	quota geodetica punto B
$H_a =$	980,00	m	quota piezometrica punto A
$H_b =$	780,00	m	quota piezometrica richiesta al punto B (carico piezometrico = 350 m)
$L =$	16.100,00	m	lunghezza condotta
$Q =$	0,100	mc/s	portata di progetto
$D =$	0,250	m	diametro tubazione

Considerando nel calcolo di verifica l'espressione della formula di Chezy per condotte circolari dove  $R = D/4$ , si ottiene

$$D = \left( \frac{\beta \cdot L \cdot Q^2}{Y} \right)^{\frac{1}{5}}$$

Il coefficiente  $\beta$  dipende dalla scabrezza del materiale della condotta e per esso sono state fornite diverse espressioni dai vari autori. Nel seguente caso è presa a riferimento la formula di Gauckler-Strickler:

$$\beta = \frac{10,33}{k^2 \cdot D^{\frac{1}{3}}}$$

con indice di scabrezza  $k$  espresso in  $m^{1/3}/s$ ;

Considerando le condotte in ghisa sferoidale si assume un coefficiente  $k = 105 m^{1/3} s^{-1}$  e si ottiene un valore  $\beta = 0,001483$ .

Pertanto si ottengono i seguenti valori:

$Y =$	245,09	m	perdita di carico
$J =$	15,223	m/km	cadente piezometrica
$V = Q/A =$	2,04	m/s	velocità media

Il carico piezometrico al punto B risulta pertanto pari a  $H_a - Y = 354,91 m > 35015,22,00 m$  corrispondente al carico piezometrico richiesto al punto B.



## 2.9 Attraversamenti corsi d'acqua

Il tracciato della condotta in progetto interseca n. 6 corsi d'acqua e pertanto si prevede la realizzazione dei seguenti attraversamenti:

- Rio Rordo o Venera                      attraversamento in subalveo
- Rio Rilavetto                              attraversamento in subalveo
- Fiume Tanaro                              attraversamento in subalveo
- Torrente Rea                                attraversamento in subalveo
- Rivo delle Monache                      attraversamento in subalveo
- Rivo di Monforte o di Monchiero      attraversamento aereo

Per la verifica idraulica degli attraversamenti si rimanda alle rispettive relazioni idrologico – idrauliche redatte per ogni corso d'acqua.

## 2.10 Sollecitazioni della condotta interrata

La normativa tecnica sulle tubazioni, contenuta nel Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 12.12.1985, prevede la determinazione dello stato tensionale dovuto a tutte le sollecitazioni, quali il peso proprio, il peso del terreno di rinterro, i sovraccarichi esterni (statici e dinamici), le variazioni termiche, le azioni sismiche. Queste sollecitazioni, in una condotta interrata, variano in funzione del terreno in cui la tubazione è posta, secondo la tipologia di posa ed in base alle caratteristiche tecniche del materiale impiegato. Il parametro fondamentale che determina il metodo di calcolo da impiegare nell'esame delle sollecitazioni imposte alle tubazioni è il valore della rigidezza del sistema tubo-terreno, cioè il rapporto tra la rigidezza del tubo e quella del terreno. Il carico specifico alla sommità della tubazione, dato dal peso del materiale di copertura ed eventualmente dal carico accidentale causato dal passaggio degli automezzi, dipende dalla rigidezza tubo-terreno: se la condotta è composta da una tubazione rigida la distribuzione si concentra integralmente sul corpo resistente del tubo; nel caso dell'impiego di tubazioni deformabili (quali quelle di acciaio, ghisa sferoidale e materiali plastici), cioè cedevoli rispetto al terreno circostante, la distribuzione dei carichi è ridotta, in quanto l'inflessione della tubazione trasferisce una certa quota del carico sovrastante alle colonne di terreno adiacente.

La condotta sarà quindi adagiata su uno strato di sabbia, o di terreno ben costipato, di almeno 10 cm di spessore ed il terreno di rinterro sarà compattato fino alla generatrice superiore del tubo.

### CARICO DOVUTO AL TERRENO

Il carico  $P_t$  per unità di proiezione orizzontale di tubazione viene espresso come peso del prisma di terreno avente altezza  $H$  uguale alla distanza tra la generatrice superiore del tubo ed il piano di campagna.

$$P_t = \gamma \cdot H = 44,00 \text{ kN/m}^2 = 44,00 \text{ kPa}$$

dove

$\gamma$  è il peso di volume del terreno (è preso a riferimento il valore maggiore = 22,00 kN/m<sup>3</sup> – substrato di tipo coesivo – sponda destra fiume Tanaro)

$H$  è la profondità del piano di posa della condotta (è preso a riferimento il valore = 2,00 m)

### CARICO ACCIDENTALE DOVUTO AD AUTOMEZZI

Il carico mobile  $P_a$  dovuto al passaggio di automezzi sul piano stradale sovrastante la tubazione, viene valutato in base all'ipotesi di transito di un veicolo a pieno carico pari a 60 t e carico per ruota di 10 t:

$$P_a = C \cdot \frac{R}{b \cdot D} \cdot f \cdot P = \frac{0,0402 \cdot 1,00 \cdot 1,5 \cdot 10000}{0,031 \cdot 274} = 70,99 \text{ kPa}$$

dove:

C: coefficiente di ripartizione trasversale del carico (ricavabile da tabelle).

R: coefficiente di ripartizione longitudinale del carico (ricavabile da tabelle).

b: coefficiente di conversione pari a 0,031.

D: diametro esterno tubazione in mm (DN 250 – diametro esterno 274 mm)

f: coefficiente dinamico assunto pari a 1,5.

P: carico per ruota in Kg.

### CARICO TOTALE AGENTE IN TRINCEA

Il carico totale di trincea  $C_t$  per unità di proiezione orizzontale di tubazione agente sulla condotta è uguale alla somma del carico dovuto al terreno e quello dovuto agli automezzi.

$$C_t = P_t + P_a = 44,00 + 70,99 = 114,99 \text{ kPa}$$

## 2.11 Apparecchiature installate lungo le tubazioni

Per il buon funzionamento delle condotte adduttrici risulta necessario prevedere l'installazione di una serie di apparecchiature speciali all'interno di appositi manufatti, facilmente accessibili dall'esterno, che, salvo i casi di apparecchiature di notevole ingombro, sono in genere costituiti da semplici pozzetti in calcestruzzo muniti di chiusino metallico di accesso. Le funzioni più comuni di tali apparecchiature sono quelle di permettere l'evacuazione e il rientro dell'aria delle tubazioni; di intercettazione, per poter isolare tronchi di condotte o altre apparecchiature per la manutenzione o la riparazione; di regolazione della portata o della pressione. Esistono poi varie altre apparecchiature, aventi specifiche funzioni, come per esempio quelle di impedire l'inversione del flusso, di limitare le sovrappressioni durante il moto vario, di interrompere automaticamente il flusso, di misurare la portata, la pressione.

### La presenza dell'aria nelle condotte in pressione

La presenza di aria nelle condotte che convogliano liquidi in pressione può dar luogo a una serie di inconvenienti che, in alcuni casi, possono ostacolare gravemente o addirittura interrompere il deflusso; si ha quindi l'esigenza di mettere in atto tutti gli accorgimenti tecnici per eliminare o ridurre le cause dell'ingresso d'aria nelle tubazioni e per far fuoriuscire il più rapidamente possibile l'aria che comunque è presente.

Le più comuni cause d'ingresso d'aria nelle condotte in pressione sono:

- insufficiente carico all'imbocco delle opere di presa e di tutte le vasche a pelo libero;
- imbecchi della tubazione non ben raccordati;
- mancanza di tenuta di tronchi funzionanti in depressione, quali per esempio i tubi di aspirazione delle pompe;
- turbolenza che sorge durante le fasi di riempimento della tubazione, generando un miscuglio di acqua e quindi intrappolando una notevole quantità di aria;
- arrivo in serbatoi o vasche di correnti idriche che generano una agitazione con conseguente fenomeno di aerazione dell'acqua.

Tuttavia, riducendo o eliminando le suddette cause, le correnti idriche in pressione, essendo sempre state in precedenza a contatto con l'atmosfera, contengono una certa quantità di aria disciolta, che inevitabilmente si libera in alcuni punti della tubazione. Quindi nelle lunghe condotte l'acqua rilascia una certa quantità disciolta nelle zone in cui ha un aumento della temperatura o una diminuzione di pressione. Nelle tubazioni interrate con sufficiente ricoprimento, le variazioni di temperatura dell'acqua lungo il percorso sono di piccola entità e hanno, perciò, sul fenomeno, un effetto quasi trascurabile rispetto alle variazioni di pressione. La liberazione dell'aria nei tronchi a minor pressione si manifesta, inizialmente, sotto forma di bolle molto piccole che vanno fra loro raggruppandosi raggiungendo dimensioni via via maggiori, fino alla formazione di grosse bolle che hanno la tendenza a spostarsi verso l'alto, aderendo alla parete del tubo nei pressi si muovono con una certa velocità relativa al liquido, mentre in altri casi ristagnano in alcune zone, dove trovano una condizione di equilibrio. Per effetto del movimento dell'aria si verificano, inoltre, continue variazioni di pressione, che originano vibrazioni e a volte veri e propri fenomeni di colpo di ariete assai nocivi per l'esercizio. Infine, quest'aria che si libera facilita l'aggressione chimica delle pareti interne delle tubazioni di acciaio. Per tutti questi motivi è necessario espellere quanto più rapidamente possibile l'aria, dopo che si è liberata dall'acqua in piccole quantità, evitando la formazione di grosse bolle; ciò si ottiene mediante dispositivi, detti sfiati, che vengono collocati nei punti più alti del profilo longitudinale della tubazione. Quando si effettua il vuotamento della tubazione per qualsiasi motivo, occorre la

presenza di analoghi dispositivi, per permettere il rapido rientro d'aria dall'esterno, al fine di evitare che si manifestino forti depressioni, pericolose sotto l'aspetto statico che igienico; analogamente, nel caso di riempimento della tubazione, servono dispositivi idonei all'espulsione dell'aria dalla tubazione stessa in tempi brevi. Ritornando all'espulsione dell'aria che si libera all'interno del tubo durante l'esercizio, occorre aver presente che in una tubazione dove l'acqua è ferma una bolla d'aria è soggetta alle seguenti forze:

- componente della spinta di galleggiamento, secondo l'asse del tubo, diretta verso l'alto, che tende a far salire la bolla;
- azione di adesione tra bolla e parete del tubo, che si manifesta, ovviamente, solo quando la bolla viene a contatto con la parete, e che si oppone al movimento.

La prima forza prevale sulla seconda e le bolle d'aria si muovono verso l'estremo superiore della tubazione; inoltre quando la tubazione è percorsa da una corrente liquida animata da una certa velocità, la bolla d'aria è soggetta, oltre alle due forze specificate in precedenza, anche all'azione dinamica dalla corrente, diretta nel senso del moto. Le bollicine staccatesi dalla sacca d'aria vengono trasportate verso valle solo se le velocità della corrente è maggiore di un certo valore, altrimenti esse corrono in contro corrente, riaggregandosi alla sacca di monte. Quando la corrente è in grado di erodere la sacca va diminuendo di lunghezza, fino a raggiungere determinate dimensioni, al di sotto delle quali cessa la sua progressiva erosione da parte della corrente.

#### Le valvole di intercettazione e di regolazione

Lungo una tubazione d'acquedotto devono essere previste delle valvole che permettono sia l'interruzione del flusso che la regolazione della portata; a volte entrambe le suddette funzioni vengono affidate a un unico apparecchio.

Gli elementi principali che caratterizzano il funzionamento di una valvola sono i seguenti:

- la perdita di carico che si verifica a valvola completamente aperta,
- la tenuta che si ha a valvola completamente chiusa,
- la regolazione del flusso a valle con un generico grado di apertura,
- lo sforzo di azionamento durante le manovre,
- la legge di variazione della portata al variare del grado di apertura.

In genere non si può assegnare a un unico organo tutte le funzioni richieste, ma occorre installare più valvole di diverso tipo.