



REGIONE CAMPANIA



consac gestioni idriche spa

Via Ottavio de Marsilio, Via O. Valiante, 30, 84078 Vallo della Lucania SA



Cofinanziato
dall'Unione europea



PR Campania FESR 2021/2027 – D.G.R. n. 464 dell'11/07/2025

“Nuova adduzione, da sorgente disponibile, di risorsa idrica da convogliare verso l'esistente serbatoio denominato “San Donato” di Montecorice e realizzazione di reti di collegamento” CUP: F52E25000110005 CIG: BA21BBAA06

Il RUP

ing. Tommaso Cetrangolo

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

Tavola
4

RELAZIONE SPECIALISTICA

Luglio 2026

I tecnici incaricati con competenze specifiche complementari		I Collaboratori	Il tecnico incaricato
Dr. Angelo D'Angiolillo Archeologo di Prima fascia	Firma	Ing. Costabile Di Matteo	Ing. Renato CARROZZA
Dr. Lucio Gnazzo geologo		Ing. Nicola Palese	Firma
Geom.. Nicola Della Greca CSP – CSE			renato carrozza Ordine degli Ingegneri della Provincia di Salerno
Dr.ssa Anna Maria Ippolito Biologa - Vinca			Ingegnere 07.08.2026 08:03:33 GMT+02:00



INDICE

CAPITOLO 1 - Premessa	5
CAPITOLO 2 - SERBATOIO ESISTENTE – BONIFICA - RIFACIMENTO CAMERA DI MANOVRA	6
2.1. Camera di manovra serbatoio - Oggetto e riferimenti normativi	6
2.1.1 Oggetto	6
2.1.2 Riferimenti normativi	6
2.2. Descrizione generale dell'opera	6
2.2.1 Configurazione del serbatoio	6
2.2.2 Funzioni della camera di manovra	6
2.3. Schema funzionale e circuiti	7
2.3.1 Linea di adduzione	7
2.3.2 Collettore di uscita e distribuzione	7
2.3.3 Destinazioni e portate di progetto	7
2.3.4 By-pass generale di emergenza	8
2.3.5 Scarichi di fondo e troppo pieni	8
2.4. Elenco delle apparecchiature	8
2.5. Specifiche tecniche delle apparecchiature	10
2.5.1 Saracinesche	10
2.5.2 Valvola altimetrica	10
2.5.3 Valvole di ritegno	10
2.5.4 Misuratori di portata	10
2.5.5 Filtro a Y	10
2.5.6 Valvole di sfiato aria	10
2.5.7 Manometri	10
2.6. Tubazioni e pezzi speciali	10
2.7. Accessori e opere accessorie	11
2.7.1 Sensori di livello e telecontrollo	11
2.7.2 Rubinetti di prelievo campioni	11
2.8. Prove di collaudo e messa in esercizio	11
2.9. Esercizio e manutenzione	11
CAPITOLO 3 - Derivazione idrica da Acquedotto Alto Sele - Tratto A-B	12
3.1 Derivazione da acquedotto Alto Sele	12
3.1.1. Oggetto e inquadramento	12
3.1.2. Il pezzo speciale di derivazione	12
Variante A — sella/collare saldato (a condotta fuori esercizio)	13
Variante B — collare di presa bullonato (presa a carico, in pressione)	13
3.1.3 Materiali, rivestimenti e requisiti sanitari	13
3.1.4 Verifica di rinforzo dell'area forata	14
3.1.5. Modalità esecutive della derivazione	14
Esecuzione con condotta fuori esercizio (variante saldata)	14
Esecuzione in pressione — presa a carico (variante bullonata)	14
3.1.6. Saldatura sulla condotta acciaio DN 350	14
3.1.7. Collegamento alla tubazione PE 100 DN 160	15
3.1.8. Saracinesca di intercettazione	15
3.1.9. Ancoraggi, alloggiamento e prove finali	15
3.1.10. Sintesi e raccomandazione	16
3.2 Tratto rete idrica A-B	16
3.2.1 Premessa e oggetto dell'intervento	16
3.2.2. Dati di progetto Tratto A-B	16
3.2.3. Riferimenti normativi	17
3.2.4. Dimensionamento idraulico della condotta	17
Criteri di calcolo	17
3.2.5. Confronto tra diametri commerciali	18
3.2.6. Scelta progettuale	18
3.3. Verifica del colpo d'ariete	19
3.3.1. Celerità dell'onda di pressione	19

3.3.2. Sovrappressione massima (manovra brusca).....	20
3.3.3. Sovrappressione per manovra lenta	20
3.3.4. Verifica della pressione nominale della tubazione	20
3.4. Dispositivi di protezione e regolazione	21
3.4.1. Valvole anti-colpo d'ariete: numero e posizionamento	21
a) Valvola di non ritorno e anti-colpo d'ariete al punto di derivazione (prog. 0+000)	21
b) Valvola anti-colpo d'ariete a monte del riduttore di pressione (prog. $\approx 1+250$)	21
c) Valvole di sezionamento intermedie	21
d) Valvola di intercettazione all'arrivo al serbatoio (prog. 2+534).....	21
e) Sfiati d'aria / ventose automatiche	22
Riepilogo valvole e progressive	22
3.4.2. Riduttore di pressione.....	22
Caratteristiche del gruppo di riduzione	23
3.4.3. Scarichi di fondo e di servizio	23
CAPITOLO 4 Tratto B-C-D	24
4.1 Premessa e inquadramento	24
4.1.1 Dati di progetto tratto B-C-D.....	24
4.2. Riferimenti normativi	25
4.3. Criteri di dimensionamento idraulico	25
4.3.1 Formule impiegate	25
4.3.2 Rugosità di progetto.....	25
4.3.3 Velocità e pressioni ammissibili	26
4.5. Dimensionamento del tratto C-D in PE 100 PN 16.....	27
4.6.1 Perdite di carico totali tratto C-D	28
4.6.2 Verifica linea piezometrica e pressione di uscita dalla camera di manovra	28
4.6. Verifica al colpo d'ariete	28
4.6.1 Celerità dell'onda di pressione.....	28
4.6.2 Verifica di compatibilità con la classe di pressione.....	29
4.6.3 Provvedimenti contro il colpo d'ariete.....	29
4.7. Apparecchiature complementari	29
4.7.1 Sfiati (valvole di immissione/espulsione aria).....	29
4.7.2 Scarichi di fondo.....	29
4.7.3 Saracinesche di sezionamento	30
4.7.4 Riduttori di pressione.....	30
4.7.5 Valvola di non ritorno.....	30
4.7.6 Misuratori di portata e pressione	30
4.8. Camera di manovra in nodo C.....	30
4.8.1 Configurazione generale	30
4.8.2 Sequenza idraulica all'interno della camera	30
4.8.3 Accessori e sicurezze	31
4.9. Modalità di posa e scavi su sede stradale asfaltata (tratto C-D)	31
4.9.1 Interferenze e sottoservizi	31
CAPITOLO 5 Tratto B-E-F-G	32
5.1.Premessa e oggetto della relazione	32
5.2. DATI DI PROGETTO	32
5.2.1 Tracciato e quote altimetriche	32
5.2.2 Sviluppi planimetrici e portate di progetto	32
5.2.3 Bilancio delle portate	32
5.2.4 Vincoli di pressione richiesti.....	32
5.3. CARATTERISTICHE DELLA TUBAZIONE.....	33
5.4. METODOLOGIA DI CALCOLO	33
5.4.1 Perdite di carico continue	33
5.4.2 Tratto con erogazione uniforme lungo linea (F–G)	33
5.4.3 Perdite localizzate	33
5.4.4 Velocità di progetto ammissibili.....	34
5.5. DIMENSIONAMENTO E SCELTA DEI DIAMETRI.....	34
5.6. CALCOLO DELLE PERDITE DI CARICO	34
5.6.1 Tratto B–E.....	34
5.6.2 Tratto E–F	34

5.6.3 Tratto F–G (con erogazione lungo linea).....	34
5.6.4 Quadro riepilogativo delle perdite.....	35
5.7. LINEA PIEZOMETRICA E PRESSIONI AI NODI	35
5.7.1 Considerazioni sul nodo E	35
5.7.2 Riduttori di pressione.....	35
5.8. VERIFICA DEL COLPO D'ARIETE.....	36
5.8.1 Celerità dell'onda di pressione.....	36
5.8.2 Tempo di fase.....	36
5.8.3 Sovrappressione massima (chiusura rapida).....	36
5.8.4 Verifica di compatibilità con la classe PN 25	37
5.8.5 Tempo di manovra raccomandato	37
5.11. CONCLUSIONI	37
CAPITOLO 6 - NODI DI DISTRIBUZIONE E MANOVRA VERSO RETI ESISTENTI.....	37
CAPITOLO 7 – SCELTE FINALI DI COLLETTORI	38
CAPITOLO 8 - IPOTESI TELECONTROLLO CAMERA DI MANOVRA SERBATOIO – INTERVENTO NON PREVISTO IN PROGETTO.....	39
8.1. Premessa e Oggetto	39
8.1.1 Identificazione delle utenze servite	39
8.2. Architettura del Sistema di Telecontrollo	39
8.2.1 Livello 1 — Centro di Supervisione	40
8.2.2 Livello 2 — RTU/PLC locale al serbatoio.....	40
8.2.3 Livello 3 — Strumentazione di campo.....	40
8.2.4 Comunicazione Centro–Periferia	40
8.3. Telecontrollo delle Saracinesche di Manovra	40
8.3.1 Caratteristiche meccaniche.....	40
8.3.2 Attuatore elettrico	41
8.3.3 Funzioni di telecontrollo	41
8.4. Misura di Portata sulle Quattro Uscite.....	41
8.4.1 Caratteristiche tecniche	41
8.5. Telecontrollo del Livello delle Camere di Stoccaggio	41
8.5.1 Misura primaria — Sensore radar a onda guidata	41
8.5.2 Misura secondaria — Sensore idrostatico	42
8.5.3 Interruttori di livello a galleggiante.....	42
8.5.4 Funzioni di gestione delle camere.....	42
8.6. Telecontrollo dell'Impianto di Clorazione	42
8.6.1 Sistema di dosaggio.....	42
8.6.2 Stoccaggio del reagente	42
8.6.3 Strumentazione analitica in linea.....	43
8.6.4 Logica di controllo	43
8.7. Riepilogo delle Apparecchiature Principali	44
8.8. Stima Economica di Massima.....	44
8.8.1 Strumentazione di campo	44
Impianto di clorazione	45
8.8.3 Sistema di controllo e quadristica.....	45
8.8.4 Centro di supervisione SCADA	46
8.8.5 Alimentazione elettrica e ausiliari.....	46
8.8.6 Opere di installazione e servizi.....	46
8.8.7 Riepilogo generale e totali	47
8.8.8 Costi di esercizio annui (OPEX).....	47
8.9. Conclusioni e Sviluppi Successivi.....	48
CAPITOLO 9 - UTILIZZO TUBAZIONI IN ACCIAIO O IN POLIETILENE – CONFRONTO CON VALUTAZIONI OPERATIVE ED ECONOMICHE TRA LE DUE SOLUZIONI	48
CAPITOLO 10. APPENDICE – SCHEDA TECNICA SULLE TUBAZIONI IN ACCIAIO	61
CAPITOLO 11. APPENDICE – SCHEDA TECNICA SULLE TUBAZIONI IN POLIETILENE PN 16 E PN 25	67

CAPITOLO 1 - Premessa

Il presente elaborato riguarda la progettazione di un sistema integrativo allo schema idrico di distribuzione che alimentazione l'abitato di Montecorice Capoluogo , avente circa 1000 residenti , e l'abitato della località Giungatelle , avente circa 300 abitanti residenti, entrambi con forte aumento nel periodo estivo per il turismo balneare.

Il programma progettuale riguardante in intervento mirato a realizzare una integrazione al sistema idrico del Comune di Montecorice basato:

- 1) Su una derivazione idrica massima di 15 litri/secondo da attingere dall'acquedotto denominato "Alto Sele", in gestione ASIS Salernitana Reti ed Impianti SpA, che in zona è presente con una condotta in acciaio del diametro di 350 mm;
- 2) Sull'attivazione del serbatoio esistente San Donato di 800 metri cubi di capacità di stoccaggio ;
- 3) Sulla realizzazione di un collettore dalla derivazione al serbatoio di San Donato e di due altri collettori di collegamento dal serbatoio alla rete di distribuzione alle utenze dei due centri di Montecorice e Giungatelle, attualmente servite rispettivamente dall'acquedotto del Faraone e dall'acquedotto "Basso Sele".

La progettazione riguarda i seguenti interventi :

- Serbatoio San Donato: interventi di realizzazione intonaco osmotico delle pareti interne delle due vasche, rifacimento della camera di manovra, rifacimento scala e passerella interna, bonifica parte esterna;
- Tratto A-B : rete di alimentazione da derivazione rete Alto Sele (Nodo A) al serbatoio San Donato (Nodo B);
- Tratto B-C-D : collettore da serbatoio (B) fino al punto di immissione nella rete di distribuzione dell'abitato di Montecorice punto C e fino al nodo D ;
- Tratto B-E-F-G : collettore da serbatoio (B) a nodi (E-F-G) punti di immissione nella rete di distribuzione dell'abitato sparso della località Giungatelle.

Ogni tratto viene progettato in modo singolo stante la loro autonomia funzionale, con distribuzione delle portate su 4 uscite da serbatoio, di cui due principali verso l'abitato di Montecorice e una verso l'abitato della località Giungatelle, con portate variabili verso tali uscite in funzione delle esigenze stagionali e con esercizio regolato secondo la domanda in modo empirico, con interventi del manutentore direttamente sulle saracinesche presenti nella camera di manovra del serbatoio .

Una gestione del sistema idrico con logiche avanzate mediante telecontrollo, pur se valutata unitamente all'inserimento di due turbine per la produzione di energia elettrica per sfruttare gli elevati dislivelli presenti in rete, non è stata programmata per i costi non rientranti nella disponibilità dell'importo assegnato.

In calce alla relazione viene riportata anche la valutazione comparativa tra l'utilizzo di tubazioni in acciaio e tubazioni in polietilene, con scelta obbligatoria verso l'utilizzo di tubazione in polietilene, sia per i minori costi e sia per i tempi e le complessità realizzative che avrebbe comportato la realizzazione di una rete con tubazioni in acciaio.

Si rinvia allo schema grafico allegato ed ai grafici architettonici.

2.1. Camera di manovra serbatoio - Oggetto e riferimenti normativi

2.1.1 Oggetto

Il presente capitolo descrive le caratteristiche costruttive e funzionali della camera di manovra centrale del serbatoio di accumulo idrico, costituito da due vasche gemelle della capacità utile di 400 metri cubi ciascuna, per una capacità complessiva di 800 metri cubi. La camera di manovra assolve alle funzioni di intercettazione, distribuzione, misura e scarico delle acque di alimentazione e distribuzione.

2.1.2 Riferimenti normativi

- D.Lgs. 18/2023 - attuazione della Direttiva UE 2020/2184 sulla qualità delle acque destinate al consumo umano
- D.M. 174/2004 - materiali e oggetti a contatto con acqua destinata al consumo umano
- UNI EN 805 - requisiti per sistemi di adduzione e distribuzione esterni
- UNI 9182 - impianti di alimentazione e distribuzione acqua fredda e calda
- UNI EN 1074 - valvole per approvvigionamento idrico, requisiti di idoneità e prove
- UNI EN 12201 / 545 - tubazioni in PE e ghisa sferoidale per trasporto acqua
- Regolamento del gestore del servizio idrico integrato e prescrizioni ARPA regionali

2.2. Descrizione generale dell'opera

2.2.1 Configurazione del serbatoio

Il serbatoio è costituito da due vasche in calcestruzzo armato gettato in opera, di forma rettangolare, della capacità utile di 400 mc ciascuna, disposte simmetricamente ai lati della camera di manovra centrale. Le vasche sono idraulicamente indipendenti: sia le tubazioni di riempimento sia quelle di prelievo sono intercettate individualmente in camera di manovra, consentendo la messa fuori servizio di una singola vasca per operazioni di manutenzione, pulizia o disinfezione senza interrompere il servizio.

2.2.2 Funzioni della camera di manovra

La camera di manovra centrale, interposta tra le due vasche, realizza le seguenti funzioni:

- ricezione della tubazione di adduzione proveniente dall'acquedotto e sua ripartizione verso le due vasche
- misura e contabilizzazione della portata in ingresso
- regolazione automatica del riempimento tramite valvola altimetrica pilotata da galleggiante
- raccolta delle tubazioni di uscita dalle due vasche in un unico collettore di distribuzione
- misura della portata complessiva in uscita
- distribuzione dell'acqua verso quattro distinte destinazioni

- gestione degli scarichi di fondo e degli sfiori, con recapito in collettore unico
- alloggiamento del by-pass generale di emergenza tra adduzione e distribuzione

2.3. Schema funzionale e circuiti

2.3.1 Linea di adduzione

L'acqua proveniente dall'acquedotto entra in camera di manovra attraverso la sequenza di apparecchiature descritta di seguito:

- filtro a Y (FY) di protezione da impurità e corpi estranei, dotato di rubinetto di spurgo
- saracinesca di intercettazione generale (S1) a corpo piatto, manovra a volantino
- manometro a bagno di glicerina, scala 0-16 bar, con rubinetto porta-manometro
- misuratore di portata in ingresso (MI), tipo elettromagnetico con uscita impulsi
- seconda saracinesca (S1b) per isolamento del misuratore in caso di manutenzione
- valvola altimetrica (VA) a membrana pilotata da galleggiante posto in vasca, con funzione di chiusura automatica al raggiungimento del livello massimo e riapertura al livello minimo
- valvola di sfiato aria automatica (SA) nel punto più alto della tubazione

A valle della valvola altimetrica, la tubazione si sdoppia mediante pezzo speciale a T e alimenta le due vasche attraverso due saracinesche indipendenti (S2 per la vasca A, S3 per la vasca B).

2.3.2 Collettore di uscita e distribuzione

Dal fondo di ciascuna vasca parte una tubazione di prelievo intercettata dalle saracinesche S4 e S5. Le due tubazioni confluiscono in un collettore orizzontale DN 300 posto in camera di manovra. Sul collettore, a valle della confluenza, è installato il misuratore di portata generale (MQ) di tipo elettromagnetico, predisposto per la telelettura e la trasmissione al sistema di telecontrollo.

Dal collettore si dipartono quattro tubazioni di partenza, una per ciascuna destinazione. Ogni partenza è equipaggiata con:

- saracinesca di intercettazione (S9, S10, S11, S12) per l'isolamento della singola utenza
- valvola di ritegno a clapet (VR) per impedire eventuali riflussi dalla rete di distribuzione verso il serbatoio
- manometro di controllo (PI) con rubinetto porta-manometro

2.3.3 Destinazioni e portate di progetto

Le quattro tubazioni di partenza alimentano le seguenti utenze:

Destinazione	Utenza servita	Diametro partenza	Portata di progetto (l/s)	Apparecchiature
Zona 1	Centro abitato Montecorice	DN 150	10	Partenza con saracinesca S9 + VR + PI
Zona 2	Località Giungatelle	DN 125	5	Partenza con saracinesca S10 + VR + PI
Zona 3	Abitato San Donato	DN 63	0.5	Partenza con saracinesca S11 + VR + PI
Zona 4	Abitato mulino a vento	DN 63	0.5	Partenza con saracinesca S12 + VR dedicata

Le portate di progetto sono indicative e andranno verificate in sede esecutiva sulla base dei consumi effettivi e dei coefficienti di contemporaneità applicabili a ciascuna utenza.

2.3.4 By-pass generale di emergenza

Tra l'adduzione in ingresso (a valle del misuratore MI) e il collettore di distribuzione in uscita è realizzato un by-pass intercettato dalla saracinesca S8, normalmente chiusa. Il by-pass consente, in caso di fuori servizio totale di entrambe le vasche, di mantenere la continuità del servizio in modalità di funzionamento 'in transito' senza accumulo. L'apertura della S8 deve essere sempre concomitante con la chiusura delle S4 e S5 a valle delle vasche. Sul by-pass non sono previsti misuratori in quanto il conteggio avviene comunque attraverso MI o MQ in funzione della configurazione.

2.3.5 Scarichi di fondo e troppo pieni

Ciascuna vasca è dotata di:

- uno scarico di fondo dedicato (S6 per vasca A, S7 per vasca B), posizionato nel punto più basso del fondo con leggera pendenza di raccolta, intercettato da saracinesca, destinato allo svuotamento completo e all'asportazione dei sedimenti durante le operazioni di pulizia e disinfezione periodiche
- un tubo di troppo pieno (sfioro) posto alla quota di massimo invaso + 5 cm, che garantisce lo scarico automatico in caso di mancata chiusura della valvola altimetrica

Gli scarichi di fondo e gli sfiori confluiscono in un unico collettore di scarico che recapita al ricevitore finale (fognatura pubblica o fosso di guardia) previa interposizione di un pozzetto di disconnessione con salto in aria, per prevenire ogni possibilità di riflusso e contaminazione incrociata, come prescritto dalla UNI EN 1717 e dal regolamento del gestore del reticolo idrico.

2.4. Elenco delle apparecchiature

Nella tabella che segue sono elencate tutte le apparecchiature idrauliche previste in camera di manovra, con indicazione della sigla di identificazione (corrispondente a quella riportata nello schema idraulico allegato), del tipo, della funzione, del diametro nominale e della quantità.

Sigla	Tipo	Descrizione / Funzione	Diametro	Quantità
S1	Saracinesca	Intercettazione generale adduzione, a monte della valvola altimetrica	DN 200	1
S1b	Saracinesca	Intercettazione a valle del misuratore di ingresso	DN 200	1
S2	Saracinesca	Riempimento vasca A - intercettazione indipendente	DN 200	1
S3	Saracinesca	Riempimento vasca B - intercettazione indipendente	DN 200	1
S4	Saracinesca	Uscita vasca A verso collettore di distribuzione	DN 250	1
S5	Saracinesca	Uscita vasca B verso collettore di distribuzione	DN 250	1
S6	Saracinesca	Scarico di fondo vasca A - al punto più basso del fondo	DN 150	1
S7	Saracinesca	Scarico di fondo vasca B - al punto più basso del fondo	DN 150	1
S8	Saracinesca	By-pass generale di emergenza (normalmente chiusa)	DN 200	1
S9	Saracinesca	Intercettazione partenza Zona 1 - centro abitato	DN 150	1
S10	Saracinesca	Intercettazione partenza Zona 2 - frazione alta	DN 125	1
S11	Saracinesca	Intercettazione partenza Zona 3 - zona industriale	DN 100	1
S12	Saracinesca	Intercettazione partenza Zona 4 - rete antincendio	DN 150	1
VA	Valvola altimetrica	Pilotata da galleggiante, chiusura automatica al livello max	DN 200	1

Sigla	Tipo	Descrizione / Funzione	Diametro	Quantita
VR	Valvola di ritegno	Anti-riflusso a clapet, su ciascuna delle 4 partenze	Vari	4
FY	Filtro a Y	Filtro di protezione a monte del misuratore di ingresso	DN 200	1
MI	Misuratore portata	Contatore adduzione ingresso - tipo Woltmann o elettromagnetico	DN 200	1
MQ	Misuratore portata	Contatore generale uscita - elettromagnetico con telelettura	DN 300	1
SA	Valvola di sfiato	Sfiato aria automatico in punto alto del collettore	DN 50	2
PI	Manometro	Misura di pressione a monte/valle misuratori e su partenze	0-16bar	6

2.5. Specifiche tecniche delle apparecchiature

2.5.1 Saracinesche

Saracinesche a corpo piatto, tipo a cuneo gommato, conformi alla UNI EN 1074. Corpo e coperchio in ghisa sferoidale EN-GJS-500-7, rivestimento epossidico interno ed esterno conforme alle prescrizioni per acqua potabile (spessore min. 250 micron). Cuneo in ghisa sferoidale rivestito in EPDM atossico. Albero in acciaio inox AISI 420 o 304. Tenuta sull'albero tramite O-ring. Pressione nominale PN 16. Manovra a volantino per installazione in camera di manovra, con indicatore di apertura. Certificato di idoneità al contatto con acqua potabile secondo D.M. 174/2004.

2.5.2 Valvola altimetrica

Valvola a membrana pilotata, in ghisa sferoidale, PN 16, DN 200. Pilotaggio tramite galleggiante meccanico installato in vasca A (con replica in vasca B collegata in parallelo tramite valvole di zona) con regolazione del differenziale di livello tra minimo e massimo. Membrana in NBR atossico. Pressione di pilotaggio min. 1 bar. La valvola deve chiudere automaticamente al raggiungimento del livello massimo impostato (tipicamente 20 cm sotto lo sfioro) e riaprire al livello minimo (tipicamente 50 cm sopra il fondo utile).

2.5.3 Valvole di ritegno

Valvole di ritegno a clapet singolo o doppio battente, corpo in ghisa sferoidale, battente in ghisa sferoidale rivestita, guarnizione in EPDM atossico, PN 16. Perdita di carico contenuta ($< 0,15$ bar alla portata nominale). Installate in posizione orizzontale o verticale con flusso ascendente secondo indicazioni del costruttore.

2.5.4 Misuratori di portata

Misuratori di portata tipo elettromagnetico, corpo in acciaio al carbonio rivestito in resina epossidica, rivestimento interno in ebanite o PTFE atossico, elettrodi in acciaio inox AISI 316L, protezione IP 68. Accuratezza migliore di $\pm 0,4$ % del valore misurato nel campo 10-100 % della portata nominale. Uscita impulsi e uscita 4-20 mA. Predisposizione per modulo di telelettura GSM/GPRS o LoRaWAN per integrazione nel sistema di telecontrollo aziendale. Omologazione MID secondo direttiva 2014/32/UE ove applicabile.

2.5.5 Filtro a Y

Filtro a Y con cestello in acciaio inox AISI 304, corpo in ghisa sferoidale rivestito, luce di filtrazione 1 mm, PN 16. Dotato di rubinetto di spurgo per la pulizia periodica senza smontaggio del cestello.

2.5.6 Valvole di sfiato aria

Valvole automatiche di sfiato aria a triplice funzione (sfiato grandi volumi in riempimento, immissione aria in svuotamento, sfiato continuo in esercizio), corpo in ghisa, galleggianti in materiale plastico atossico, PN 16. Installate nel punto più alto del collettore e in tutti i punti soggetti a formazione di sacche d'aria.

2.5.7 Manometri

Manometri a molla tubolare Bourdon, cassa in acciaio inox, diametro quadrante 100 mm, scala 0-16 bar, classe di precisione 1,0. Bagno di glicerina per attenuazione delle vibrazioni. Installati con rubinetto porta-manometro a tre vie per sostituzione senza svuotamento dell'impianto.

2.6. Tubazioni e pezzi speciali

Tutte le tubazioni in camera di manovra sono realizzate in ghisa sferoidale EN-GJS-500-7 rivestita internamente con malta cementizia centrifugata (spessore conforme UNI EN 545) ed esternamente con zincatura + vernice epossidica bituminosa. Le giunzioni sono del tipo a flangia PN 16 con bulloneria in acciaio inox AISI 304 o a bicchiere con anello di tenuta in EPDM atossico.

I pezzi speciali (curve, T, riduzioni, pezzi a flangia-bicchiere, manicotti di smontaggio) sono anch'essi in ghisa sferoidale con i medesimi rivestimenti. In corrispondenza di ciascuna apparecchiatura intercettabile è prevista l'installazione di un giunto di smontaggio flangiato per consentirne la rimozione senza interventi di taglio sulla tubazione.

2.7. Accessori e opere accessorie

2.7.1 Sensori di livello e telecontrollo

Ciascuna vasca sarà dotata di sensore di livello continuo tipo piezoresistivo sommergibile o radar non a contatto, con uscita 4-20 mA e segnalazione di livello minimo, medio e massimo. I segnali saranno acquisiti da un PLC locale installato in quadro elettrico dedicato in camera di manovra e trasmessi al sistema SCADA aziendale.

2.7.2 Rubinetti di prelievo campioni

Su ciascuna delle quattro partenze e sul collettore generale in uscita sono previsti rubinetti di prelievo a sfera in acciaio inox AISI 316 per il campionamento periodico ai fini dei controlli di potabilità (residuo di cloro libero, torbidità, parametri microbiologici).

- 2. sommergibile di aggrottamento (portata min. 5 l/s), per lo smaltimento di eventuali perdite
- illuminazione interna con corpi illuminanti stagni IP 65 e punti luce di emergenza autonomi
- ventilazione naturale dimensionata per almeno 2 ricambi/ora e predisposizione per ventilazione forzata
- porta di accesso in acciaio zincato verniciato con serratura di sicurezza
- scala di accesso alla copertura delle vasche con parapetto e botole di ispezione dotate di chiusura
- cartellonistica di sicurezza e schema idraulico plastificato affisso a parete

2.8. Prove di collaudo e messa in esercizio

Prima della messa in esercizio dovranno essere eseguite:

- prova idraulica a pressione 1,5 volte la pressione nominale (34 bar per tubazioni PN 25) per un minimo di 2 ore, senza cali di pressione rilevabili
- lavaggio e disinfezione delle vasche e delle tubazioni con soluzione clorata (minimo 50 mg/l per 24 ore), seguita da risciacquo fino al rispetto dei parametri di potabilità
- analisi microbiologica e chimica delle acque prima della immissione in rete, con rilascio del certificato di idoneità secondo D.Lgs. 18/2023
- prove funzionali di tutte le apparecchiature (apertura/chiusura saracinesche, intervento valvola altimetrica, lettura misuratori, prove di allarme del sistema di telecontrollo)
- verifica della tenuta delle valvole di ritegno tramite prova di contropressione

2.9. Esercizio e manutenzione

Il piano di manutenzione programmata dovrà prevedere, come minimo, i seguenti interventi:

- controllo mensile della pressione a monte e valle del misuratore MQ e delle partenze
- controllo trimestrale del funzionamento della valvola altimetrica e delle valvole di ritegno
- pulizia semestrale del filtro a Y
- manovra annuale di tutte le saracinesche (apertura/chiusura completa) per evitarne il bloccaggio
- pulizia e disinfezione delle vasche con frequenza almeno annuale, con svuotamento tramite scarichi di fondo S6 e S7 e messa fuori servizio alternata delle due vasche per garantire la continuità del servizio
- verifica periodica della taratura dei misuratori di portata secondo le disposizioni MID
- ispezione visiva bimestrale della camera di manovra, del pozzetto di aggrottamento e della cartellonistica

CAPITOLO 3 - Derivazione idrica da Acquedotto Alto Sele - Tratto A-B

3.1 Derivazione da acquedotto Alto Sele

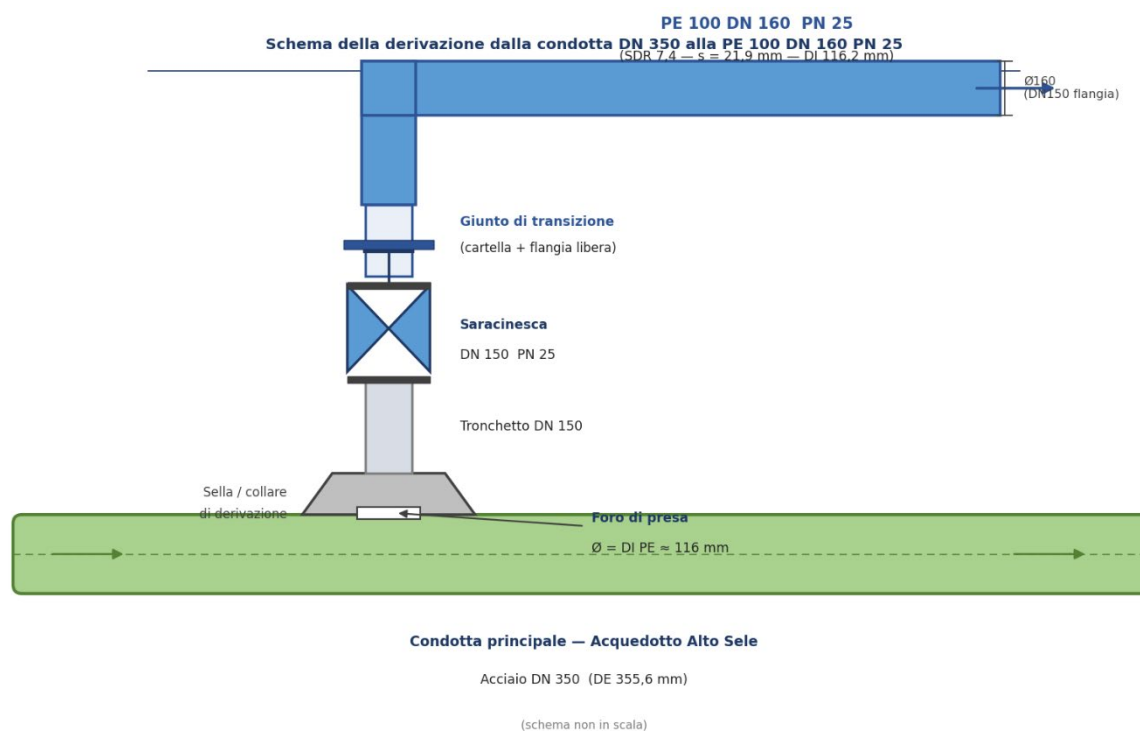
3.1.1. Oggetto e inquadramento

Il tratto A-B della rete idrica del Comune di Montecorice è alimentato in **derivazione** dall'adduttrice dell'Acquedotto Alto Sele, costituita da una condotta in **acciaio DN 350**. La presente relazione descrive il pezzo speciale di derivazione in acciaio da applicare a tale condotta, il foro di presa, le modalità esecutive della derivazione e della saldatura, nonché il raccordo alla tubazione **PE 100 DN 160 PN 25** con interposta saracinesca di intercettazione.

La presa è realizzata mediante un pezzo speciale (sella o collare) saldato o bullonato sulla generatrice superiore della condotta, con esecuzione di un foro di diametro pari al **diametro interno della PE 100 DN 160**, così da garantire la continuità della sezione di flusso tra derivazione e condotta derivata.

3.1.2. Il pezzo speciale di derivazione

Lo schema costruttivo della derivazione, dalla condotta principale alla tubazione PE, è rappresentato nella figura seguente:



Schema della derivazione: condotta DN 350 — sella/collare — tronchetto flangiato — saracinesca — giunto di transizione — PE

Il pezzo speciale è costituito dai componenti riepilogati nella tabella seguente, poi descritti nelle due varianti tecnologiche (saldata e bullonata):

Componente	Specifica sintetica
------------	---------------------

Componente	Specifica sintetica
Sella / collare di derivazione	Acciaio S235JR o S275, sagomato al DE 355,6 mm; nella variante saldata (sella) o bullonata (collare di presa)
Tronchetto di derivazione	DN 150 (DE 168,3 mm) con flangia DN 150 PN 25 (UNI EN 1092-1)
Piastra / anello di rinforzo	In acciaio, ove richiesto dalla verifica di compensazione dell'area forata
Saracinesca di intercettazione	Corpo piatto, ghisa sferoidale EN-GJS-500, cuneo gommato, DN 150 PN 25 (UNI EN 1074-2)
Giunto di transizione acciaio/PE	Cartella PE100 DN 160 (saldato testa a testa) + flangia libera DN 150 PN 25
Bulloneria e guarnizioni	Bulloneria acciaio inox A2/A4; guarnizioni EPDM idonee al contatto con acqua potabile
Rivestimenti di protezione	Interno epossidico atossico certificato; esterno in PE o bituminoso con fasciatura

Variante A — sella/collare saldato (a condotta fuori esercizio)

La derivazione è realizzata mediante una **sella di derivazione in acciaio** (collare a sella) sagomata sul diametro esterno della condotta (DE 355,6 mm) e saldata su di essa con cordone d'angolo perimetrale a piena sezione. Alla sella è solidale un **tronchetto DN 150** (DE 168,3 mm) terminante con flangia DN 150 PN 25, che costituisce l'attacco per la saracinesca. La geometria a sella, avvolgendo parzialmente la condotta, distribuisce le tensioni sul mantello e *concorre alla compensazione* dell'area indebolita dal foro.

È la soluzione **più robusta e duratura**, raccomandata quando è possibile porre l'adduttrice fuori esercizio e svuotarla per il tempo necessario all'intervento; richiede saldatura qualificata e ripristino integrale dei rivestimenti.

Variante B — collare di presa bullonato (presa a carico, in pressione)

In alternativa, la derivazione è realizzata mediante un **collare di presa bullonato** (tapping sleeve) a fascia integrale, serrato attorno alla condotta con guarnizione elastomerica di tenuta e provvisto di **stacco flangiato DN 150**. Sul collare è possibile eseguire il foro **in pressione (presa a carico)**, senza interruzione del servizio, mediante apposita macchina foratrice montata su una saracinesca provvisoria (v. § 4.2). La fascia integrale del collare fornisce di per sé il rinforzo del mantello.

È la soluzione **preferibile su un'adduttrice in esercizio** quale l'Alto Sele, poiché evita l'interruzione dell'erogazione e lo svuotamento della condotta; va verificata la compatibilità del collare con lo stato e il rivestimento della tubazione esistente.

3.1.3 Materiali, rivestimenti e requisiti sanitari

- **Acciaio** — sella/collare e tronchetto in acciaio al carbonio S235JR o S275 (UNI EN 10025), spessori adeguati alla PN di esercizio.
- **Rivestimento interno** — rivestimento epossidico atossico certificato per il contatto con acqua destinata al consumo umano; ripristino accurato in corrispondenza del bordo del foro.
- **Rivestimento esterno** — protezione dalla corrosione (rivestimento in polietilene o bituminoso con fasciatura), ricostituita sulla zona di saldatura.

- **Idoneità sanitaria** — tutti i materiali a contatto con l'acqua conformi alla normativa vigente sui materiali a contatto con acqua potabile (D.M. 174/2004 e Reg. UE 2020/2184).

3.1.4 Verifica di rinforzo dell'area forata

Il foro ($\varnothing \approx 116$ mm) su una condotta DN 350 comporta un rapporto foro/condotta dell'ordine di 0,33 e **riduce localmente la resistenza** del mantello. Occorre pertanto verificare la **compensazione dell'area rimossa** secondo i criteri delle tubazioni a pressione (UNI EN 13480 o equivalente): la sella integrale o la fascia del collare bullonato assolvono generalmente a tale funzione; ove la verifica lo richieda, si aggiunge una **piastra/anello di rinforzo** saldato attorno al foro.

3.1.5. Modalità esecutive della derivazione

Esecuzione con condotta fuori esercizio (variante saldata)

- 1. Scavo e messa a nudo** del tratto di condotta interessato, con puntellamento e messa in sicurezza dello scavo.
- 2. Sezionamento e svuotamento** dell'adduttrice (chiusura degli organi di intercettazione a monte e a valle), scarico dell'acqua e verifica dell'assenza di pressione.
- 3. Preparazione della superficie:** rimozione del rivestimento esterno sulla zona d'impronta, pulizia a metallo bianco (spazzolatura/molatura) e verifica dello spessore residuo del mantello (controllo ultrasonoro).
- 4. Posizionamento e puntatura** della sella sulla generatrice superiore; saldatura del cordone d'angolo perimetrale a piena sezione (v. § 5).
- 5. Esecuzione del foro** attraverso il tronchetto, con fresa a tazza/carotatrice di diametro pari al DI della PE; asportazione del disco di risulta (coupon) e sbavatura dei bordi.
- 6. Controlli non distruttivi** del cordone (esame visivo e liquidi penetranti, ove richiesto radiografia) e ripristino dei rivestimenti interno ed esterno.
- 7. Montaggio** di saracinesca, giunto di transizione e tubazione PE; **prova di tenuta, disinfezione e lavaggio** prima della rimessa in esercizio.

Esecuzione in pressione — presa a carico (variante bullonata)

- 1. Scavo e messa a nudo** del tratto, come sopra.
- 2. Montaggio del collare di presa bullonato** attorno alla condotta, con serraggio uniforme e verifica della tenuta della guarnizione.
- 3. Montaggio della saracinesca** sullo stacco flangiato e, su di essa, della **macchina foratrice** (apparecchiatura di presa a carico).
- 4. Foratura in pressione** del mantello ($\varnothing = \text{DI PE}$) con recupero del coupon; **chiusura della saracinesca** e smontaggio della macchina, senza interruzione del servizio.
- 5. Collegamento** del giunto di transizione e della tubazione PE a valle della saracinesca; prova di tenuta del tratto derivato, disinfezione e lavaggio.

3.1.6. Saldatura sulla condotta acciaio DN 350

La saldatura della sella (variante A) è eseguita ad arco elettrico da **saldatore qualificato** (patentino UNI EN ISO 9606-1), secondo procedura di saldatura qualificata (WPS/pWPS ai sensi UNI EN ISO 15614-1). Il

cordone è di tipo **d'angolo perimetrale a piena sezione**, eseguito in più passate previa puntatura di posizionamento.

- **Preparazione:** lembi puliti a metallo bianco, assenza di umidità, controllo dello spessore residuo del mantello prima di saldare (una condotta in esercizio da anni può presentare riduzioni di spessore).
- **Controllo dello svuotamento:** la saldatura sul mantello richiede condotta vuota e depressurizzata; in presenza d'acqua residua si adottano accorgimenti contro il rapido raffreddamento del cordone.
- **Controlli:** esame visivo del cordone e prova con liquidi penetranti; radiografia/prova di tenuta ove prescritto dalla D.L.
- **Ripristino:** ricostituzione del rivestimento interno atossico sul bordo del foro e del rivestimento esterno anti-corrosivo sulla zona saldata.

Nella variante B (collare bullonato) **non si esegue saldatura sulla condotta**: la tenuta è affidata alla guarnizione elastomerica e al serraggio della bulloneria, con evidente vantaggio di sicurezza e rapidità sull'adduttrice in esercizio.

3.1.7. Collegamento alla tubazione PE 100 DN 160

Il passaggio dall'attacco flangiato in acciaio alla tubazione in polietilene è realizzato mediante un **giunto di transizione acciaio/PE** costituito da una **cartella (collarino) PE100 DN 160** saldata di testa alla tubazione e da una **flangia libera DN 150 PN 25** (flangia mobile con anello premiflangia), imbullonata alla flangia a valle della saracinesca con guarnizione EPDM.

- **Saldatura del PE:** la cartella e la tubazione PE 100 DN 160 sono unite per **saldatura testa a testa (butt fusion)** da operatore qualificato, secondo UNI 10520 / UNI EN ISO 21307, con controllo dei parametri di saldatura e del cordone (doppio bordinio).
- **Serraggio:** bulloneria inox serrata in croce a coppia controllata; verifica del parallelismo delle flange e del corretto alloggiamento della guarnizione.
- **Compatibilità dimensionale:** la PE DN 160 (DE 160) si accoppia alla flangia DN 150; il DN 150 è mantenuto per tronchetto, saracinesca e giunto.

3.1.8. Saracinesca di intercettazione

Sul tronchetto/stacco flangiato è installata una **saracinesca a corpo piatto DN 150 PN 25**, che consente l'apertura e la chiusura della derivazione e la sua manovra per manutenzione, senza incidere sul servizio dell'adduttrice principale.

- **Corpo e cuneo:** corpo piatto in ghisa sferoidale EN-GJS-500, cuneo gommato (rivestito in EPDM) per tenuta morbida; conforme UNI EN 1074-2.
- **Rivestimento:** interno ed esterno epossidico atossico certificato per acqua potabile.
- **Attacchi e manovra:** flange DN 150 PN 25 (UNI EN 1092-2); manovra a volantino o a cappellotto con asta di manovra e chiusino stradale in caso di posa interrata.

3.1.9. Ancoraggi, alloggiamento e prove finali

- **Ancoraggi:** il pezzo speciale, la saracinesca e il giunto di transizione sono sostenuti da un blocco di ancoraggio in calcestruzzo, dimensionato per assorbire le spinte idrauliche e i pesi, evitando sollecitazioni sul mantello della condotta e sul giunto PE.
- **Alloggiamento:** la saracinesca è collocata in pozzetto/camera di manovra ispezionabile, con chiusino carrabile e drenaggio di fondo, così da consentirne l'accessibilità e la manutenzione.

- **Prove:** prova idraulica di tenuta del tratto derivato alla pressione di collaudo prevista; a esito positivo, **disinfezione, lavaggio e spurgo** prima della messa in esercizio, con controllo di potabilità.

3.1.10. Sintesi e raccomandazione

La derivazione del tratto A-B dall'adduttrice DN 350 è realizzabile con un pezzo speciale in acciaio nelle due varianti descritte. Trattandosi di un'**adduttrice in esercizio**, si raccomanda in via preferenziale la **variante B con collare di presa bullonato e foratura a carico**, che evita l'interruzione del servizio e la saldatura sul mantello; la **variante A con sella saldata** resta indicata ove sia programmabile la messa fuori esercizio della condotta e si richieda la massima durabilità del collegamento. In entrambi i casi il foro di presa è pari al diametro interno della PE 100 DN 160 PN 25 e la derivazione è intercettata da saracinesca DN 150 PN 25, con raccordo alla PE mediante giunto di transizione a cartella e flangia libera.

Riferimenti normativi essenziali

UNI EN 12201 (sistemi di tubazioni in PE per acqua); **UNI EN 10224/10220** (tubi di acciaio per acqua); **UNI EN 1074-2** (valvole di intercettazione); **UNI EN 1092-1/2** (flange); **UNI EN ISO 9606-1** e **UNI EN ISO 15614-1** (qualifica saldatori e procedure); **UNI 10520 / UNI EN ISO 21307** (saldatura testa a testa del PE); **UNI EN 13480** (tubazioni metalliche a pressione — verifica di rinforzo); **D.M. 174/2004** e **Reg. UE 2020/2184** (materiali a contatto con acqua potabile).

3.2 Tratto rete idrica A-B

3.2.1 Premessa e oggetto dell'intervento

La presente relazione tecnica descrive il dimensionamento idraulico e la verifica delle condizioni di esercizio di un tratto di condotta adduttrice in polietilene (PE), destinata al trasferimento di acqua potabile in derivazione da una rete acquedottistica esistente fino a un serbatoio di accumulo esistente.

Vista la notevole differenza di quota tra i due estremi (191 m) a fronte di una lunghezza modesta (2.534 m), il regime di esercizio presenta un significativo eccesso di carico piezometrico disponibile rispetto alla pressione richiesta in arrivo al serbatoio; il progetto prevede pertanto l'installazione di un gruppo di riduzione della pressione e di dispositivi di controllo del transitorio idraulico (colpo d'ariete).

La portata di progetto, rispetto a precedenti ipotesi, è incrementata a 15 l/s, comportando una rivalutazione del diametro della condotta e dei parametri del transitorio idraulico.

L'intervento è progettato nel rispetto dei Criteri Ambientali Minimi (CAM) e del principio di non arrecare un danno significativo all'ambiente (DNSH – Do No Significant Harm), di cui si riportano le specifiche sezioni in calce alla presente relazione.

3.2.2. Dati di progetto Tratto A-B

I dati posti a base del dimensionamento sono quelli forniti dalla committenza e di seguito riepilogati.

Parametro	Valore
Lunghezza condotta (L)	2.534 m

Quota punto di derivazione (z₁)	405 m s.l.m.
Quota arrivo in serbatoio (z₂)	214 m s.l.m.
Dislivello geodetico (Δz)	191 m
Portata massima di progetto (Q)	15 l/s = 0,015 m ³ /s
Pressione all'arrivo in serbatoio	1 atm ≈ 10,33 m c.a.
Pendenza media del tracciato	≈ 7,54 %
Materiale tubazione	Polietilene PE100 conforme UNI EN 12201
Tipo di fluido	Acqua potabile, T = 10 °C

Il carico piezometrico disponibile in condizioni statiche coincide con il dislivello geodetico, pari a 191 m c.a., da cui deve essere sottratta la pressione di arrivo richiesta al serbatoio (10,33 m c.a.) ottenendo un'energia specifica lorda disponibile per perdite di carico e per la riduzione di pressione pari a circa 180,7 m c.a.

3.2.3. Riferimenti normativi

- D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. – Norme in materia ambientale
- D.Lgs. 18/2023 – Attuazione direttiva UE 2020/2184 sulla qualità delle acque destinate al consumo umano
- UNI EN 805:2002 – Approvvigionamento di acqua: requisiti per sistemi e componenti all'esterno di edifici
- UNI EN 12201 (parti 1–5) – Tubazioni di polietilene per convogliamento di acqua destinata al consumo umano
- UNI EN 1074 – Valvole per la fornitura di acqua: requisiti di attitudine all'impiego e relative prove
- D.M. 174/2004 – Regolamento materiali e oggetti destinati a venire in contatto con acque destinate al consumo umano
- Delibera ARERA RQTI – Regolazione della qualità tecnica del servizio idrico integrato
- D.M. 23 giugno 2022 – Criteri Ambientali Minimi (CAM) per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per interventi edilizi
- Regolamento (UE) 2020/852 – Tassonomia UE e principio DNSH; comunicazione CE 2021/C 58/01
- Circolari MEF n. 32/2021 e n. 33/2021 – Guida operativa DNSH per misure PNRR

3.2.4. Dimensionamento idraulico della condotta

Criteri di calcolo

Il calcolo delle perdite di carico distribuite è stato condotto applicando la formula di Darcy-Weisbach, con il coefficiente di attrito f determinato dall'equazione implicita di Colebrook-White:

$$J = f \cdot V^2 / (D \cdot 2g)$$

$$1/\sqrt{f} = -2 \cdot \log_{10} [\varepsilon / (3,7 \cdot D) + 2,51 / (Re \cdot \sqrt{f})]$$

dove J rappresenta la perdita di carico unitaria [m/m], V la velocità media [m/s], D il diametro interno [m], g l'accelerazione di gravità (9,81 m/s²), ε la scabrezza assoluta (assunta pari a 0,0015 mm per tubi in

PE100 di nuova posa), Re il numero di Reynolds. Le perdite concentrate sono state stimate forfettariamente pari al 10 % delle perdite distribuite, in via cautelativa.

La velocità di progetto è stata mantenuta all'interno del range tecnicamente raccomandato per le adduttrici in PE, indicativamente $0,8 \div 1,6$ m/s, al fine di contenere le perdite, limitare i fenomeni di usura e ridurre l'entità del transitorio idraulico.

3.2.5. Confronto tra diametri commerciali

Sono state analizzate diverse alternative commerciali (PE100 PN16 e PN25) per la portata di progetto $Q = 15$ l/s. I risultati sono riepilogati nella tabella seguente.

Tubo (De / PN)	Di [mm]	V [m/s]	J [m/m]	Y tot [m]	Hres [m]
De 110 PN16	90,0	2,36	0,0517	144,1	46,9
De 125 PN16	102,2	1,83	0,0281	78,2	112,8
De 140 PN16	114,6	1,45	0,0162	45,1	145,9
De 160 PN16	130,8	1,12	0,0086	23,9	167,1
De 125 PN25	90,8	2,32	0,0496	138,1	52,9
De 140 PN25	101,6	1,85	0,0289	80,4	110,6
De 160 PN25	116,2	1,41	0,0151	42,2	148,8
De 180 PN25	130,8	1,12	0,0086	23,9	167,1

Hres rappresenta il carico piezometrico residuo al piede della condotta (arrivo al serbatoio) al netto delle perdite totali, senza tenere conto della riduzione di pressione.

3.2.6. Scelta progettuale

La condotta è caratterizzata da una pressione statica elevata ($\Delta z = 191$ m $\rightarrow$ 18,7 bar) che impone in via obbligata l'adozione di una classe di pressione PN25 su tutta la sua estensione, in assenza di dispositivi intermedi di riduzione e in considerazione delle sovrappressioni transitorie prevedibili (cfr. § 5).

L'incremento della portata di progetto a 15 l/s rispetto a precedenti ipotesi (10 l/s) determina un significativo aumento delle velocità a parità di diametro: per il De 125 PN25, ad esempio, la velocità raggiungerebbe 2,32 m/s con perdite di carico pari a circa 138 m, oltre a una sovrappressione da colpo d'ariete tale da non garantire margini di sicurezza rispetto alla PN della tubazione. Il diametro De 140 PN25, sebbene caratterizzato da perdite contenute (80 m), evidenzia in caso di chiusura brusca una pressione massima totale ($\Delta z + \Delta h$) prossima al limite della pressione nominale (264 m c.a. $\approx$ 25,9 bar > 25 bar PN25), risultando verificato solo a condizione di garantire una manovra rigorosamente lenta.

In ottica cautelativa la scelta ricade sulla tubazione in PE100 De 160 mm PN25, con diametro interno pari a circa 116,2 mm e spessore 21,9 mm (SDR 7,4). Tale soluzione garantisce:

- velocità di esercizio pari a 1,41 m/s, compresa nel range ottimale per le adduttrici;
- perdite di carico totali pari a circa 42 m c.a., ampiamente compatibili con il dislivello disponibile;
- resistenza nominale di 25 bar, verificata con margine nei confronti della pressione massima in esercizio anche in condizione cautelativa di manovra brusca (cfr. § 5);
- conformità alla norma UNI EN 12201 e idoneità al contatto con acqua destinata al consumo umano ai sensi del D.M. 174/2004.

Parametro	Valore
Materiale	PE100 (UNI EN 12201)
Diametro esterno (De)	160 mm
Pressione nominale (PN)	25 bar
Spessore (s)	21,9 mm (SDR 7,4)
Diametro interno (Di)	≈ 116,2 mm
Velocità di esercizio (V)	1,41 m/s
Numero di Reynolds (Re)	≈ 1,25 · 10 ⁵ (turbolento)
Coefficiente di attrito (f)	0,01725
Perdita distribuita unitaria (J)	0,01513 m/m
Perdite distribuite (Y dist)	≈ 38,4 m c.a.
Perdite totali (distribuite + concentrate)	≈ 42,2 m c.a.
Carico residuo all'arrivo (senza riduttore)	≈ 148,8 m c.a.
Tipo di giunzione prevista	Saldatura testa-testa o elettrofusione

3.3. Verifica del colpo d'ariete

3.3.1. Celerità dell'onda di pressione

La celerità di propagazione dell'onda di pressione è stata calcolata con la formula di Allievi-Joukowsky, adattata per condotte in materiale plastico:

$$c = 9.900 / \sqrt{(48,3 + k \cdot De / s)}$$

con k = 83 per tubazioni in PE100 (valore di letteratura funzione del modulo elastico del materiale, E ≈ 900 MPa). Con De = 160 mm e s = 21,9 mm, si ottiene:

$$c \approx 386,9 \text{ m/s}$$

valore tipico per condotte in polietilene, sensibilmente inferiore a quello delle condotte metalliche (900 ÷ 1.200 m/s): questa è una delle ragioni per cui il PE risulta favorevole dal punto di vista dell'attenuazione del colpo d'ariete.

3.3.2. Sovrappressione massima (manovra brusca)

Per manovra brusca di chiusura di una valvola (tempo di chiusura $T < 2L/c$) la sovrappressione massima è data dalla formula di Joukowsky:

$$\Delta h = c \cdot V / g$$
$$\Delta h = 386,9 \cdot 1,41 / 9,81 \approx 55,8 \text{ m c.a. } (\approx 5,5 \text{ bar})$$

Il tempo di fase, ovvero il tempo limite per definire la manovra come brusca, vale:

$$\tau = 2L / c = 2 \cdot 2.534 / 386,9 \approx 13,1 \text{ s}$$

3.3.3. Sovrappressione per manovra lenta

Imponendo un tempo di chiusura T significativamente superiore al tempo di fase (indicativamente $T \geq 5\tau \div 10\tau$), la sovrappressione è valutabile con la formula di Michaud:

$$\Delta h = 2 \cdot L \cdot V / (g \cdot T)$$

Assumendo $T = 60 \text{ s}$ (condizione tecnicamente perseguibile mediante valvole di sezionamento a chiusura lenta e attuatori motorizzati temporizzati), si ottiene:

$$\Delta h = 2 \cdot 2.534 \cdot 1,41 / (9,81 \cdot 60) \approx 12,2 \text{ m c.a. } (\approx 1,2 \text{ bar})$$

3.3.4. Verifica della pressione nominale della tubazione

La pressione massima attesa nella condotta è data dalla somma della pressione statica massima (colonna chiusa) e della sovrappressione dovuta al transitorio:

Condizione	Pstatica [m]	Δh [m]	Ptot [m]	Ptot [bar]	< PN25 ?
Manovra brusca (cautelativa)	191	55,8	246,8	24,2	Sì
Manovra lenta ($T = 60 \text{ s}$)	191	12,2	203,2	19,9	Sì

La condotta in PE100 De 160 PN25 risulta verificata anche nell'ipotesi cautelativa di manovra brusca, con un margine di circa 0,8 bar rispetto al limite di 25 bar. Il progetto prevede comunque l'adozione di dispositivi di attenuazione del transitorio e di valvole a chiusura lenta, in modo da mantenere le condizioni di esercizio ben al di sotto del limite di pressione nominale e da ridurre le sollecitazioni a fatica delle giunzioni e degli organi di intercettazione.

3.4. Dispositivi di protezione e regolazione

3.4.1. Valvole anti-colpo d'ariete: numero e posizionamento

In accordo con la buona pratica progettuale e con le prescrizioni della UNI EN 805, il controllo del transitorio idraulico è ottenuto mediante la combinazione di dispositivi attivi (valvole anti-colpo d'ariete propriamente dette) e passivi (valvole a chiusura lenta, valvole di sezionamento, sfiati aria/vuoto). Si prevedono le seguenti installazioni.

a) Valvola di non ritorno e anti-colpo d'ariete al punto di derivazione (prog. 0+000)

All'origine della condotta, immediatamente a valle della presa dalla rete esistente alla quota 405 m s.l.m., è prevista l'installazione di:

- una valvola di intercettazione a chiusura lenta (saracinesca o valvola a farfalla motorizzata con attuatore temporizzato, T di chiusura ≥ 60 s);
- una valvola di non ritorno (clapet) a chiusura assistita o tipo "silent check", che evita la chiusura brusca al fermo della condotta;
- un manometro con rubinetto di isolamento, per monitoraggio della pressione di monte.

b) Valvola anti-colpo d'ariete a monte del riduttore di pressione (prog. $\approx 1+250$)

In corrispondenza del gruppo di riduzione di pressione (cfr. § 6.2), per proteggere i dispositivi di regolazione da eventuali chiusure rapide di valvole a valle, è prevista una valvola anti-colpo d'ariete a scarico differenziale (tipo a molla tarata o a membrana) con scarico convogliato verso la tubazione di scarico di servizio.

c) Valvole di sezionamento intermedie

Per esigenze di manutenzione, svuotamento parziale e gestione del colpo d'ariete su tratte ridotte, sono previste n. 3 valvole di sezionamento a chiusura lenta, posizionate ad interassi di circa $600 \div 800$ m, compatibilmente con la morfologia del tracciato. Le progressive indicative sono:

- prog. 0+650 – valvola di sezionamento intermedia n. 1
- prog. 1+300 – valvola di sezionamento intermedia n. 2 (coincidente o prossima al gruppo riduttore)
- prog. 1+950 – valvola di sezionamento intermedia n. 3

d) Valvola di intercettazione all'arrivo al serbatoio (prog. 2+534)

Immediatamente a monte del serbatoio è prevista una valvola di intercettazione a chiusura lenta con attuatore motorizzato e comando asservito al livello del serbatoio (galleggiante o sonda di livello); la manovra di chiusura ha $T \geq 60$ s per rispettare la condizione di manovra lenta.

e) Sfiati d'aria / ventose automatiche

Nei punti alti significativi del profilo longitudinale sono previste ventose automatiche a triplice funzione (sfiato aria in esercizio, grande portata in riempimento, ingresso aria in svuotamento), dimensionate secondo UNI EN 1074-4. Nei punti bassi sono previsti sfiati di scarico (cfr. § 6.3).

Riepilogo valvole e progressive

Progressiva	Quota [m s.l.m.]	Dispositivo
0+000	≈ 405	Valvola intercettazione lenta + valvola di non ritorno + manometro
0+650	da rilievo	Valvola sezionamento intermedia n. 1 + scarico di fondo
$1+250 \div 1+300$	da rilievo	Gruppo riduttore di pressione + valvola anti-ariete + manometri
1+950	da rilievo	Valvola sezionamento intermedia n. 3 + scarico di fondo

Progressiva	Quota [m s.l.m.]	Dispositivo
2+534	≈ 214	Valvola intercettazione lenta motorizzata + scarico serbatoio
punti alti	da rilievo	Ventose automatiche a triplice funzione

Le progressive dei dispositivi intermedi e delle ventose saranno definite in fase di progettazione esecutiva sulla base del rilievo planoaltimetrico di dettaglio; sono pertanto riportate a titolo indicativo.

3.4.2. Riduttore di pressione

L'energia da dissipare a regime, al fine di garantire all'arrivo in serbatoio la pressione di progetto di 1 atm ($\approx 10,33$ m c.a.), è valutabile come:

$$\Delta H_{rid} = \Delta z - Y_{tot} - P_{arrivo} = 191 - 42,2 - 10,33 \approx 138,5 \text{ m c.a. } (\approx 13,6 \text{ bar})$$

Si osserva come, rispetto a un dimensionamento per una portata inferiore (10 l/s, perdite ≈ 66 m), l'incremento di portata a 15 l/s con il diametro maggiorato comporta una riduzione delle perdite di carico distribuite e quindi un maggior salto di pressione da dissipare attraverso il riduttore. Tale circostanza è da tenere in considerazione sia per il dimensionamento del riduttore stesso sia per la valutazione di soluzioni alternative o complementari (es. doppia riduzione in serie, micro-turbinaggio per recupero energetico).

La riduzione, di entità rilevante, è ottenuta mediante una valvola riduttrice di pressione (PRV) idropilotata, posizionata in un pozzetto ispezionabile in calcestruzzo in corrispondenza di una progressiva prossima alla mezzeria del tracciato, indicativamente alla progressiva 1+250 ÷ 1+300, scelta in fase esecutiva in funzione del profilo longitudinale e delle condizioni di accesso per la manutenzione.

La scelta di un posizionamento in mezzeria consente di:

- ripartire il salto di pressione tra un tratto di monte e uno di valle, con pressioni di esercizio più equilibrate nei due tratti;
- contenere le pressioni di esercizio a valle del riduttore, limitando le sollecitazioni sulla tubazione e sulle apparecchiature;
- facilitare l'accesso manutentivo, prediligendo un punto accessibile dalla viabilità esistente.
- In considerazione dell'entità del salto da dissipare ($\approx 13,6$ bar), in fase esecutiva è raccomandato valutare l'opportunità di una doppia riduzione in serie (due PRV in cascata, con salti contenuti su ciascuna), per migliorare la stabilità di regolazione e ridurre il rischio di cavitazione locale.

Caratteristiche del gruppo di riduzione

- Valvola riduttrice di pressione idropilotata, DN 100 (compatibile con la portata di progetto di 15 l/s e con il diametro della condotta), corpo in ghisa sferoidale EN-GJS-500 rivestimento epossidico atossico per acqua potabile, conforme UNI EN 1074-5;
- Pressione di taratura di valle impostata in modo da assicurare 10,33 m c.a. all'arrivo al serbatoio, ovvero pressione di uscita dalla PRV tale che, sommata al residuo dislivello e detratte le perdite del tratto di valle, restituisca la pressione richiesta;
- Manometro a bagno di glicerina di monte (range 0 ÷ 25 bar, classe 1.0) e manometro di valle (range 0 ÷ 16 bar, classe 1.0), entrambi con rubinetto portamanometro a tre vie;

- Filtro a Y a maglia fine a monte del riduttore, per protezione degli organi interni;
- Valvole di intercettazione a monte e a valle, per l'esclusione del gruppo e l'installazione di un eventuale by-pass di emergenza;
- Valvola di scarico (cfr. § 6.3) collegata al collettore di scarico di servizio per lo spurgo del filtro e della PRV.

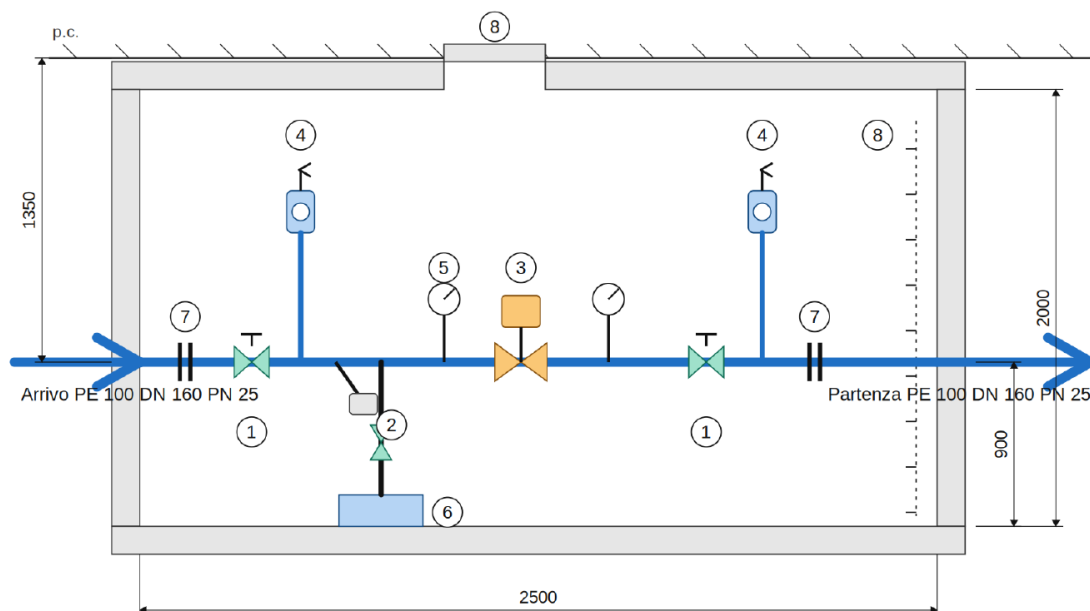
3.4.3. Scarichi di fondo e di servizio

Per consentire lo svuotamento della condotta a fini manutentivi e gestionali, sono previsti:

- uno scarico di fondo in corrispondenza del punto più basso del tracciato (verosimilmente in prossimità del serbatoio, prog. 2+534), costituito da una valvola di intercettazione e da una tubazione di scarico DN 100 ÷ 125 che convoglia le acque in corpo ricevente naturale o in fognatura bianca, previa verifica della compatibilità con il gestore;
- scarichi intermedi in corrispondenza delle valvole di sezionamento e del gruppo riduttore, dimensionati per consentire lo svuotamento del tratto interessato in un tempo ragionevole (indicativamente ≤ 4 h) e lo spurgo delle apparecchiature.

Tutti gli scarichi sono realizzati con tubazione in PE o acciaio, con valvola di intercettazione posta all'interno del pozzetto e sbocco visibile/ispezionabile; le acque scaricate sono convogliate evitando erosioni e dissesti (diffusori, tappeti antierosione) e rispettando quanto previsto dalla parte terza del D.Lgs. 152/2006.

3.4.5 Schema cameretta per riduttore di pressione (vedere grafici particolari esecutivi)



Sp. pareti, soletta e platea 250 mm · chiusino 600×600 · pozzetto 400×400×h300
 Quote in mm, indicative (da verificare) · disegno schematico fuori scala

Sezione

CAPITOLO 4 Tratto B-C-D

4.1 Premessa e inquadramento

La presente relazione tecnica illustra il dimensionamento idraulico e le verifiche di un tratto di condotta in pressione, destinato al trasporto di acqua potabile. Il tratto si sviluppa per una lunghezza complessiva di 1.172 m dal nodo B (serbatoio di alimentazione) al nodo D (utenza finale), con un nodo intermedio C in cui è prevista una derivazione dotata di camera di manovra con riduttore di pressione.

Sul tratto B-C esiste una vecchia tubazione in ghisa DN 200: nella presente relazione si valuta la possibilità di mantenerla in esercizio in alternativa alla posa di una nuova condotta in polietilene PE 100 PN 25. Il dimensionamento comprende il calcolo delle perdite di carico (distribuite e localizzate), la verifica al colpo d'ariete, la definizione delle apparecchiature complementari (sfiati, scarichi, saracinesche, riduttori) e le relazioni di sostenibilità DNSH e di conformità ai Criteri Ambientali Minimi (CAM).

4.1.1 Dati di progetto tratto B-C-D

Grandezza	Punto B	Punto C	Punto D
Quota slm (m)	214,00	74,00	94,00
Portata massima (l/s)	10 (uscita)	6 (deriv.)	4 (ingresso)
Pressione di esercizio (bar)	- (serbatoio)	3,0 (uscita)	3,0

Dislivello B-C: $\Delta z_{BC} = 214 - 74 = 140$ m (a favore del moto)

Dislivello C-D: $\Delta z_{CD} = 94 - 74 = +20$ m (in risalita)

Lunghezza B-C: $L_{BC} = 696$ m – posa su sede stradale asfaltata

Lunghezza C-D: $L_{CD} = 1.172 - 696 = 476$ m

Portata di progetto tratto B-C: $Q_{BC} = 6 + 4 = 10$ l/s (somma della derivazione in C e della portata inviata a D)

Portata di progetto tratto C-D: $Q_{CD} = 4$ l/s

4.2. Riferimenti normativi

- UNI EN 805 – Approvvigionamento di acqua: requisiti per sistemi e componenti all'esterno degli edifici
- UNI EN 12201-1/2/3/5 – Sistemi di tubazioni di materia plastica per la distribuzione dell'acqua destinata al consumo umano e per lo scarico – Polietilene (PE)
- UNI 9182 e raccolta di buone pratiche ATO/AATO per condotte in pressione

- D.Lgs. 31/2001 e D.Lgs. 18/2023 – Qualità delle acque destinate al consumo umano (Direttiva UE 2020/2184)
- D.M. 174/2004 – Materiali a contatto con acqua potabile
- D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. – Norme in materia ambientale
- D.Lgs. 36/2023 – Codice dei contratti pubblici
- Regolamento UE 2020/852 (Tassonomia) e relativi atti delegati – principio DNSH
- D.M. MITE 24/12/2015 e aggiornamenti – CAM per affidamento servizi di progettazione e lavori
- D.M. MASE 23/06/2022 – CAM per edilizia e linee guida operative sul DNSH

4.3. Criteri di dimensionamento idraulico

4.3.1 Formule impiegate

Le perdite di carico distribuite sono state calcolate con la formula di Darcy-Weisbach:

$$J = f \cdot (V^2 / (2 \cdot g \cdot D))$$

dove J è la perdita unitaria (m/m), f è il coefficiente di attrito, V la velocità media (m/s), g l'accelerazione di gravità (9,81 m/s²), D il diametro interno (m). Il coefficiente f è ricavato dall'equazione di Colebrook-White:

$$1/\sqrt{f} = -2 \cdot \log_{10} [\epsilon / (3,7 \cdot D) + 2,51 / (Re \cdot \sqrt{f})]$$

con $Re = V \cdot D / \nu$ numero di Reynolds ($\nu = 1,31 \cdot 10^{-6}$ m²/s a 10 °C) e ϵ rugosità assoluta della parete.

4.3.2 Rugosità di progetto

- PE 100 (tubazione nuova): $\epsilon = 0,007$ mm (valore conservativo EN 805 per materiale plastico)
- Acciaio esistente DN 200 con corrosione/incrostazioni presunte: $\epsilon = 0,8$ mm ($\epsilon/D \approx 4 \cdot 10^{-3}$)

4.3.3 Velocità e pressioni ammissibili

- Velocità raccomandata in esercizio: $0,6 \div 2,0$ m/s (UNI EN 805); limite assoluto 2,5 m/s
- Pressione massima di esercizio: entro il PFA del tubo (PE100 PN25 → 25 bar a 20 °C per vita utile 50 anni)
- Pressione minima all'utenza: 2 bar (riferimento D.M. LL.PP. 12/12/1985 e prassi ARERA per utenze)
 - *della condotta esistente, in luogo dell'acciaio precedentemente ipotizzato*

4.3.4 – Rugosità di progetto

- PE 100 (tubazione nuova): $\epsilon = 0,007$ mm (valore conservativo EN 805 per materiale plastico)
- Ghisa grigia esistente DN 200, di vecchia posa, con incrostazioni e tubercolizzazione presunte: $\epsilon = 2,0$ mm ($\epsilon/D = 1 \cdot 10^{-2}$). Il valore, assunto in via cautelativa all'interno dell'intervallo $1 \div 3$ mm indicato dalla letteratura tecnica (Colebrook, Lamont, Idel'cik) per ghise in servizio da molti decenni soggette a tubercolizzazione, è coerente con l'assenza di rivestimento interno cementizio, tipica delle ghise grigie di vecchia produzione.

4.4 – Verifica della tubazione esistente in ghisa DN 200

Ipotizzando uno stato manutentivo mediocre (tubazione in ghisa grigia di età elevata, priva di rivestimento interno, potenzialmente incrostata e tubercolizzata, con rugosità

assunta cautelativa $\varepsilon = 2,0$ mm) e un diametro interno effettivo di 200 mm, con $Q = 10$ l/s si ottengono i seguenti risultati:

Parametro	Valore
Diametro interno	200 mm
Area	0,0314 m ²
Velocità V	0,32 m/s
Numero di Reynolds Re	≈ 48.600
Scabrezza assoluta ε	2,0 mm
Coefficiente di attrito f (Colebrook-White)	0,0391
Perdita unitaria J	1,01 m/km
Perdita totale hf_BC (L = 696 m)	0,70 m

Analisi di sensibilità. In considerazione dell'incertezza sullo stato interno della condotta, il calcolo è stato ripetuto al variare dei parametri più incerti: con $\varepsilon = 1,5$ mm si ottiene $J = 0,93$ m/km ($hf = 0,65$ m); con $\varepsilon = 3,0$ mm, $J = 1,15$ m/km ($hf = 0,80$ m); assumendo inoltre una riduzione del diametro utile a 190 mm per effetto della tubercolizzazione (a parità di $\varepsilon = 2,0$ mm), si ottiene $V = 0,35$ m/s e $J = 1,32$ m/km ($hf = 0,92$ m). In tutti gli scenari la perdita di carico complessiva sul tratto B-C resta inferiore al metro, a fronte di un dislivello disponibile di 140 m: la verifica idraulica non è dunque discriminante ai fini della scelta.

• 4.4.1 Giudizio tecnico

- La verifica idraulica pura risulta ampiamente soddisfatta (perdita di carico modesta in tutti gli scenari esaminati). Tuttavia la tubazione esistente in ghisa presenta criticità dirimenti:
- **1. Velocità di esercizio molto bassa (0,32 m/s)**, inferiore alla soglia di 0,5 m/s raccomandata per l'autopulizia: aumenta il rischio di sedimentazione di sostanze sospese e di sviluppo di biofilm, aggravato, nel caso della ghisa tubercolizzata, dalla superficie interna irregolare che offre siti preferenziali di adesione e ristagno.
- **2. Idoneità igienico-sanitaria non garantita:** per tubazioni in ghisa grigia di vecchia posa non è possibile fornire la certificazione di conformità al D.M. 174/2004 sui materiali a contatto con acqua potabile; i giunti a bicchiere dell'epoca, sigillati con piombo e canapa catramata, costituiscono inoltre una potenziale fonte di cessione di piombo, criticità resa più stringente dal D.Lgs. 18/2023 (attuativo della Direttiva UE 2020/2184), che riduce il valore di parametro del piombo da 10 a 5 µg/l; la tubercolizzazione interna favorisce infine fenomeni di rilascio di ferro e torbidità (acqua rossa) alle variazioni di portata.
- **3. Affidabilità strutturale e vita residua:** la ghisa grigia (lamellare) è un materiale fragile, privo di riserva plastica, sensibile ai carichi dinamici stradali (il tratto corre su sede asphaltata), ai cedimenti differenziali e ai transitori di pressione; è inoltre soggetta a corrosione grafitica, degrado che preserva l'aspetto esterno del tubo riducendone drasticamente la resistenza meccanica e che non è rilevabile con la sola ispezione visiva. La determinazione della vita residua richiederebbe indagini endoscopiche, prelievi e

prove meccaniche su campioni, oltre a prove in pressione, con oneri e rischi non trascurabili e con esito prognostico comunque incerto per un materiale a rottura fragile.

- Alla luce di tali considerazioni – rafforzate, rispetto all'ipotesi di condotta in acciaio, dalla natura fragile della ghisa grigia, dalla corrosione grafitica e dal rischio di cessione di piombo dai giunti – si conferma e si rafforza la proposta di dismissione della condotta esistente e di sua sostituzione con una nuova tubazione in PE 100 PN 25 conforme al D.M. 174/2004 e certificata secondo UNI EN 12201. La dismissione può avvenire con riempimento a malta di cemento (intasamento) o rimozione, secondo la valutazione dell'Amministrazione; in caso di rimozione, gli eventuali giunti piombati dovranno essere gestiti come rifiuto secondo la caratterizzazione di legge.

4.5. Dimensionamento del tratto C-D in PE 100 PN 16

Il tratto C-D (L = 476 m) porta Q = 4 l/s verso il nodo D a quota 94 m slm, con pressione di consegna a D pari a 3 bar. È stato quindi calcolato il diametro ottimale.

DE (mm)	s (mm)	DI (mm)	V (m/s)	J (m/km)	hf (m)
75	10,3	54,4	1,72	55,15	26,25
90	12,3	65,4	1,19	22,68	10,80
110	15,1	79,8	0,80	8,71	4,15
125	17,1	90,8	0,62	4,69	2,23
140	19,2	101,6	0,49	2,74	1,30

Scelta progettuale tenuto conto di eventuali espansioni : tubazione PE 100 PN 25, DE 110 mm, PN 16 ,
V = 1,19 m/s.

4.6.1 Perdite di carico totali tratto C-D

Componente	Valore
Perdite distribuite	10,80 m
Perdite localizzate (15%)	1,62 m
Perdita totale hf (C-D)	12,42 m

4.6.2 Verifica linea piezometrica e pressione di uscita dalla camera di manovra

La pressione in uscita dalla camera di manovra di C verso il tratto C-D deve garantire in D una pressione residua di 3 bar, vincendo sia la risalita di 20 m sia le perdite di carico del tratto:

$$P_{C_valle \text{ (verso D)}} = P_D + (z_D - z_C) + hf_{CD} = 30,6 + 20 + 12,42 \approx 63,0 \text{ m c.a.} = 6,18 \text{ bar}$$

Di conseguenza, la camera di manovra in C dovrà essere equipaggiata con una configurazione a due linee di uscita distinte:

- una linea di derivazione per l'utenza di C con riduttore di pressione tarato a 3 bar (Q = 6 l/s);

- una linea di adduzione verso D con riduttore di pressione tarato a circa 6,2 bar ($Q = 4 \text{ l/s}$), calibrato sulla somma del dislivello di risalita e delle perdite di carico.

In alternativa, qualora la pressione residua all'utenza D possa essere mantenuta superiore a 3 bar, si può installare un solo riduttore sulla linea principale, seguito da derivazione a T dopo il riduttore e riduzione locale per la derivazione C.

4.6. Verifica al colpo d'ariete

Il fenomeno del colpo d'ariete è stato analizzato con il modello di Allievi-Joukowsky per la chiusura rapida e con la formula di Michaud per chiusure lente ($t > 2L/c$).

4.6.1 Celerità dell'onda di pressione

La celerità in tubazione elastica è calcolata come:

$$c = \sqrt{[(K_w / \rho) / (1 + (K_w / E_{\text{tubo}}) \cdot (DI / s))]}$$

con $K_w = 2,1 \text{ GPa}$ (modulo di elasticità di volume dell'acqua), $\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$, E_{tubo} per PE 100 assunto pari al modulo a breve termine di 1.000 MPa (conservativo per sollecitazioni dinamiche).

Parametro	Tratto B-C (DE 125)	Tratto C-D (DE 90)
Celerità c (m/s)	≈ 416	≈ 416
Tempo caratteristico $2L/c$ (s)	3,35	2,29
Sovrapressione Joukowsky (chiusura istantanea)	6,42 bar	4,95 bar
Sovrapressione Michaud ($t_{\text{chiusura}} = 10 \text{ s}$)	2,15 bar	1,13 bar

4.6.2 Verifica di compatibilità con la classe di pressione

Sommando alla pressione statica massima la sovrappressione da colpo d'ariete (ipotesi Michaud con tempo di chiusura $\geq 10 \text{ s}$, garantito dall'impiego di valvole a sfera motorizzate o valvole a farfalla con attuatore lento):

Tratto	B-C	C-D
Pressione statica massima (bar)	13,73	6,18
Δp colpo d'ariete (Michaud)	2,15	1,13
Pressione massima totale (bar)	15,88	7,31
Classe di pressione PN	25 bar	25 bar
Margine di sicurezza	$\approx 36 \%$	$\approx 71 \%$

Le verifiche risultano soddisfatte con ampio margine. In caso di chiusura accidentale (arresto improvviso) con $t < 2L/c$, il valore Joukowsky (6,42 bar B-C; 4,95 bar C-D) porterebbe la pressione massima a 20,15 bar in B-C: ancora entro il PN25 con margine del 19%.

4.6.3 Provvedimenti contro il colpo d'ariete

1. Chiusura controllata: valvole a farfalla con attuatore lento o valvole a sfera motorizzate con tempo di chiusura ≥ 10 s.
2. Installazione di una valvola di non ritorno a molla ammortizzata a valle del serbatoio B e di valvole di sfiato/immissione d'aria lungo il percorso (punti alti).
3. Riduttori di pressione pilotati in camera di manovra di C, con smorzamento idraulico delle variazioni rapide di portata.
4. In caso di esercizi particolarmente gravosi, si può valutare l'inserimento di un serbatoio d'aria (vaso di espansione) o di una valvola anticolpo d'ariete.

4.7. Apparecchiature complementari

Lungo la condotta e nei nodi si prevedono le seguenti apparecchiature idrauliche, conformi alla UNI EN 805 e alla UNI EN 1074.

4.7.1 Sfiati (valvole di immissione/espulsione aria)

In corrispondenza dei punti più alti planoaltimetrici del tracciato si installano sfiati a triplice funzione (grande espulsione, grande immissione, sfiato continuo) conformi UNI EN 1074-4, con DN 50 tratto B-C e DN 50 tratto C-D, alloggiati in pozzetto interrato in c.a. con chiusino carrabile classe D400 sul tratto stradale. L'ubicazione indicativa prevede almeno un sfiato in corrispondenza del punto di massima quota del profilo e in corrispondenza dei cambi di pendenza significativi (variazioni $> 2\%$).

4.7.2 Scarichi di fondo

Nei punti più bassi del profilo si prevedono scarichi di fondo DN 50 (tratto B-C) e DN 40 (tratto C-D) con saracinesca di intercettazione e tubazione di scarico verso corpo recettore esistente (fosso, scolmatore, caditoia stradale dedicata, con interposto dissipatore). Gli scarichi consentono la pulizia periodica della condotta e il drenaggio in caso di manutenzione.

4.7.3 Saracinesche di sezionamento

- Saracinesca di valle al serbatoio B: valvola a cuneo gommato DN 100 PN 25, con attuatore manuale.
- Saracinesca di ingresso camera di manovra C: DN 100 PN 25.
- Saracinesche a valle della camera di manovra: DN 80 sulla derivazione (utenza C, 6 l/s) e DN 65 sulla linea verso D (4 l/s).
- Saracinesca terminale prima del nodo D: DN 65 PN 16.
- Saracinesche di sezionamento intermedie ogni $300 \div 400$ m circa, per limitare i volumi interessati da eventuali riparazioni.

4.7.4 Riduttori di pressione

Due riduttori di pressione pilotati (tipo a membrana, conformi UNI EN 1074-5) installati nella camera di manovra di C:

- Riduttore derivazione C: ingresso ~ 12 bar, uscita 3 bar, DN 80, portata 6 l/s.
- Riduttore linea C-D: ingresso ~ 12 bar, uscita 6,2 bar, DN 65, portata 4 l/s.

Entrambi i riduttori saranno dotati di filtro a monte (maglia 1 mm), manometri a monte e valle, by-pass di emergenza con saracinesca e valvola di sicurezza a valle.

4.7.5 Valvola di non ritorno

Installata a valle del serbatoio B (DN 100 PN 25) e all'ingresso della camera di manovra C per evitare inversioni di flusso durante i transitori.

4.7.6 Misuratori di portata e pressione

- Misuratore elettromagnetico di portata DN 100 in uscita serbatoio B.
- Misuratore elettromagnetico DN 80 sulla linea di derivazione in C e DN 65 sulla linea verso D.
- Trasmettitori di pressione a monte e valle di ciascun riduttore, con segnali 4-20 mA per telecontrollo.

4.8. Camera di manovra in nodo C

4.8.1 Configurazione generale

La camera di manovra è realizzata in c.a. interrato, dimensioni indicative interne 4,00 × 2,50 × 2,50 m (L × l × h), con soletta di copertura carrabile D400, chiusino di accesso 80 × 80 cm con scala alla marinara in acciaio inox, ventilazione tramite due tubi PVC DN 110 con rete tagliafumo, illuminazione a LED IP65, sensore di allagamento, sensore di intrusione collegato al telecontrollo.

La derivazione è realizzata mediante pezzo speciale a T (tee ridotto) in ghisa sferoidale o PE elettrofuso, con bocche DN 100 in ingresso e DN 80 (derivazione) + DN 65 (linea C-D) in uscita.

4.8.2 Sequenza idraulica all'interno della camera

5. Ingresso dalla condotta B-C → saracinesca di intercettazione DN 100
6. Filtro a Y con maglia 1 mm
7. Tee di derivazione (DN 100 × DN 80 × DN 65)
8. Ramo 1 (derivazione utenza C): riduttore di pressione DN 80 tarato 3 bar → misuratore elettromagnetico → saracinesca → uscita
9. Ramo 2 (linea C-D): riduttore di pressione DN 65 tarato 6,2 bar → valvola di non ritorno → misuratore elettromagnetico → saracinesca → uscita verso D
10. By-pass di emergenza con saracinesca di intercettazione su ciascun ramo
11. Pozzetto di scarico al piede con pompa di sollevamento sommergibile (emergenza)

4.8.3 Accessori e sicurezze

- Valvola di sicurezza tarata 25 bar sulla linea a monte dei riduttori
- Manometri analogici a monte/valle di ogni riduttore e di ogni filtro
- Sfiato di camera (tubo DN 50 con valvola a sfera)
- Quadro elettrico IP65 con PLC/RTU per acquisizione dati e comunicazione al telecontrollo
- Dispositivi di ancoraggio sismici per componenti pesanti (riduttori, filtri) conformi NTC 2018

4.9. Modalità di posa e scavi su sede stradale asfaltata (tratto C-D)

Il tratto C-D interessa sede stradale pavimentata in conglomerato bituminoso. La posa avverrà in trincea aperta, con le seguenti specifiche:

- Taglio della pavimentazione con macchina a disco diamantato, larghezza scavo minima 60 cm, profondità di posa minima generatrice superiore 120 cm (copertura minima 100 cm dal piano viabile per carichi stradali, in conformità UNI EN 805 § 10.3 e DPR 495/1992).
- Rinfianco e ricoprimento con sabbia o materiale arido selezionato (granulometria 0-20 mm) per uno spessore minimo di 15 cm sotto, ai lati e sopra la generatrice superiore del tubo.

- Riempimento con materiale proveniente dallo scavo (se idoneo) o misto granulare stabilizzato, con costipamento a strati di 30 cm, raggiungendo $Ev2 \geq 80$ MPa.
- Nastro di segnalazione in PE con filo tracciante in rame, posato a 30 cm sopra la condotta.
- Ripristino della pavimentazione in due strati (binder 7 cm + usura 3 cm) previa stesa di fondazione in misto cementato e di emulsione bituminosa di ancoraggio. Ripristino della segnaletica orizzontale.
- Posa eseguita a regola d'arte con lavorazioni per tratti di lunghezza limitata (massimo 50 m aperti contemporaneamente), per ridurre al minimo i disagi alla viabilità; segnaletica stradale di cantiere conforme al Codice della Strada e al D.M. 10/07/2002.

4.9.1 Interferenze e sottoservizi

Prima dell'inizio lavori dovranno essere acquisiti i tracciati dei sottoservizi esistenti (gas, elettricità, telefono, fognatura, acquedotto) dai rispettivi gestori e verificati con indagini georadar e saggi manuali. Eventuali attraversamenti saranno risolti con scavi a mano e/o passaggio inferiore/superiore nel rispetto delle distanze minime di sicurezza.

CAPITOLO 5 Tratto B-E-F-G

5.1. Premessa e oggetto della relazione

La presente relazione ha per oggetto il dimensionamento idraulico di un tratto di rete acquedottistica in pressione che alimenta tre punti di consegna lungo il suo sviluppo, a partire da un serbatoio di accumulo posto nel nodo B e con recapito finale nel nodo G, dove la condotta si innesta in altra rete esistente.

Il dimensionamento è condotto con riferimento alle portate di progetto assegnate, alle quote altimetriche dei nodi e ai vincoli di pressione richiesti in corrispondenza dei punti di consegna intermedi e finale. Sono inoltre sviluppate la verifica di sovrappressione da colpo d'ariete e la relazione di conformità ai principi DNSH (Do No Significant Harm) e ai Criteri Ambientali Minimi (CAM) per gli affidamenti di lavori e forniture afferenti al servizio idrico.

5.2. DATI DI PROGETTO

5.2.1 Tracciato e quote altimetriche

Nodo	Quota [m s.l.m.]	Funzione	Tipo derivazione
B	214,00	Serbatoio di alimentazione	Uscita a gravità
E	199,00	Derivazione intermedia	Pozzetto con T
F	121,00	Derivazione intermedia	Camera di manovra con T + RP
G	52,00	Estremità — innesto altra rete	Camera di manovra con RP

5.2.2 Sviluppi planimetrici e portate di progetto

Tratto	Lunghezza [m]	Portata transitante [l/s]	Caratteristica erogazione
B-E	266	5,00	Portata costante
E-F	672	4,70	Portata costante (dopo deriv. E)
F-G	834	4,20 → 0,00	Erogazione uniforme lungo linea
Totale	1.772	—	—

5.2.3 Bilancio delle portate

Verifica del bilancio: la portata uscente dal serbatoio (5,00 l/s) coincide con la somma delle derivazioni e dell'erogazione lungo linea: $0,30 + 0,50 + 4,20 = 5,00$ l/s. Il bilancio di massa è verificato.

5.2.4 Vincoli di pressione richiesti

- Nodo F: pressione di uscita a valle del riduttore = 2,00 bar ($\approx 20,4$ m c.a.);
- Nodo G: pressione di uscita a valle del riduttore (innesto altra rete) = 3,00 bar ($\approx 30,6$ m c.a.).

5.3. CARATTERISTICHE DELLA TUBAZIONE

È prevista la posa di tubazione in polietilene ad alta densità PE 100 PN 25 conforme alla norma UNI EN 12201, idonea al trasporto di acqua destinata al consumo umano (D.M. 174/2004 e s.m.i., Reg. UE 2020/2184). Il rapporto dimensionale standardizzato è SDR 7,4, corrispondente a uno spessore relativo elevato che garantisce la classe di pressione PN 25 a 20 °C per una vita utile di 50 anni con coefficiente di sicurezza minimo $C = 1,25$.

Diametro esterno D_e [mm]	Spessore s [mm]	Diametro interno D_i [mm]
75	10,3	54,4
90	12,3	65,4
110	15,1	79,8

Caratteristiche fisiche assunte: densità acqua $\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$; viscosità cinematica $\nu = 1,31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ($T \approx 10^\circ\text{C}$); scabrezza assoluta interna $\varepsilon = 0,007 \text{ mm}$ (PE liscio); modulo elastico PE 100 per fenomeni dinamici $E = 1.000 \text{ MPa}$; modulo di compressibilità acqua $K = 2,07 \cdot 10^9 \text{ Pa}$.

5.4. METODOLOGIA DI CALCOLO

5.4.1 Perdite di carico continue

Le perdite di carico distribuite sono calcolate con la formula di Darcy–Weisbach:

$$h_f = f \cdot (L/D) \cdot v^2 / (2g)$$

dove f è il fattore di attrito ricavato dalla relazione di Colebrook–White, valida per moto turbolento in condotte commerciali:

$$1/\sqrt{f} = -2 \cdot \log_{10} [\varepsilon / (3,7 \cdot D) + 2,51 / (Re \cdot \sqrt{f})]$$

con $Re = v \cdot D / \nu$ numero di Reynolds. La risoluzione è effettuata per via iterativa fino a convergenza.

5.4.2 Tratto con erogazione uniforme lungo linea (F–G)

Nel tratto F–G la portata si riduce linearmente dalla sezione iniziale ($Q_{in} = 4,20$ l/s) alla sezione finale ($Q_{out} = 0$). Per un'erogazione uniformemente distribuita, l'integrazione delle perdite di carico fornisce la formula:

$$h_f = (f \cdot L) / (D \cdot 2g \cdot A^2) \cdot (Q_{in}^2 + Q_{in} \cdot Q_{out} + Q_{out}^2) / 3$$

Con $Q_{out} = 0$ si ottiene una portata equivalente $Q_{eq} = Q_{in} / \sqrt{3} \approx 0,577 \cdot Q_{in}$ da utilizzare nei calcoli a portata costante per ottenere la stessa perdita.

5.4.3 Perdite localizzate

Le perdite concentrate (imbocchi, curve, derivazioni a T, valvole, riduttori, contatori) sono valutate cumulativamente in misura pari al 10–15 % delle perdite distribuite, salvo l'imbocco serbatoio-tubo per il quale si computa esplicitamente il termine $k \cdot v^2 / (2g)$ con $k = 0,5$.

5.4.4 Velocità di progetto ammissibili

Per acquedotti in pressione si assume una velocità ottimale compresa fra 0,6 e 1,5 m/s, con tolleranza fino a 2,0 m/s in tratti brevi. Velocità inferiori a 0,3 m/s favoriscono fenomeni di sedimentazione; velocità superiori a 2,0 m/s aumentano sensibilmente il rischio di colpo d'ariete e l'usura.

5.5. DIMENSIONAMENTO E SCELTA DEI DIAMETRI

Per uniformità costruttiva, semplificazione delle giunzioni elettrosaldate e razionalizzazione dei pezzi speciali, si è scelto il diametro De 90 mm PN 25 ($D_i = 65,4$ mm) per l'intero sviluppo della condotta. Tale scelta soddisfa per ciascun tratto i seguenti requisiti:

- Velocità nei limiti raccomandati ($1,25 \div 1,49$ m/s);
- Perdite di carico contenute, compatibili con il dislivello disponibile (162 m fra B e G);
- Resistenza meccanica con margine adeguato rispetto alla massima pressione di esercizio prevista, anche in presenza di sovrappressioni transitorie.

5.6. CALCOLO DELLE PERDITE DI CARICO

5.6.1 Tratto B–E

Portata $Q = 5,00$ l/s; lunghezza $L = 266$ m; De 90 mm ($D_i = 65,4$ mm).

- Sezione: $A = \pi \cdot D^2 / 4 = 3,358 \cdot 10^{-3}$ m²
- Velocità: $v = Q / A = 1,488$ m/s
- Reynolds: $Re = v \cdot D / \nu = 74.300$ (turbolento)
- Scabrezza relativa: $\epsilon / D = 0,007 / 65,4 = 1,07 \cdot 10^{-4}$
- Fattore di attrito (Colebrook): $f = 0,0196$
- Perdita distribuita: $h_f = 9,02$ m
- Perdite localizzate (imbocco + accessori): 0,96 m
- Cadente piezometrica: $J = 33,9$ m/km

5.6.2 Tratto E–F

Portata $Q = 4,70$ l/s; lunghezza $L = 672$ m; De 90 mm.

- Velocità: $v = 1,399 \text{ m/s}$
- Reynolds: $Re = 69.850$
- Fattore di attrito: $f = 0,0199$
- Perdita distribuita: $h_f = 20,37 \text{ m}$
- Perdite localizzate: $2,04 \text{ m}$
- Cadente piezometrica: $J = 30,3 \text{ m/km}$

5.6.3 Tratto F–G (con erogazione lungo linea)

Portata di ingresso $Q_{in} = 4,20 \text{ l/s}$; portata in uscita nulla; lunghezza $L = 834 \text{ m}$; $De 90 \text{ mm}$.

- Portata equivalente: $Q_{eq} = Q_{in}/\sqrt{3} = 2,425 \text{ l/s}$
- Velocità massima (in F): $v = 1,250 \text{ m/s}$
- Velocità equivalente: $v_{eq} = 0,722 \text{ m/s}$
- Reynolds: $Re = 36.040$
- Fattore di attrito: $f = 0,0228$
- Perdita distribuita totale: $h_f = 7,73 \text{ m}$
- Perdite localizzate: $0,77 \text{ m}$
- Cadente piezometrica equivalente: $J = 9,3 \text{ m/km}$

5.6.4 Quadro riepilogativo delle perdite

Tratto	L [m]	Q [l/s]	v [m/s]	h_f distr. [m]	h_f loc. [m]	Tot. [m]
B–E	266	5,00	1,49	9,02	0,96	9,98
E–F	672	4,70	1,40	20,37	2,04	22,41
F–G	834	4,20*	1,25	7,73	0,77	8,50
Totale	1.772	—	—	37,12	3,77	40,89

(*) portata in ingresso al tratto F–G; lungo il tratto si riduce linearmente fino a 0 per effetto dell'erogazione distribuita.

5.7. LINEA PIEZOMETRICA E PRESSIONI AI NODI

Si assume che il pelo libero del serbatoio in B coincida con la quota geodetica indicata ($z_B = 214,00 \text{ m s.l.m.}$); la pressione atmosferica è considerata di riferimento. La quota piezometrica nei nodi successivi si ottiene per sottrazione progressiva delle perdite di carico totali.

Nodo	Quota z [m]	Quota piezom. H [m]	Pressione [m c.a.]	Pressione [bar]
B	214,00	214,00	0 (pelo libero)	0
E	199,00	204,02	5,02	0,49
F (monte rid.)	121,00	181,61	60,61	5,94
F (valle rid.)	121,00	141,40	20,40	2,00 (vincolo)
G (monte rid.)	52,00	173,11	121,11	11,88
G (valle rid.)	52,00	82,59	30,59	3,00 (vincolo)

5.7.1 Considerazioni sul nodo E

La pressione residua nel pozzetto di derivazione E risulta modesta (0,49 bar). Considerato il valore basso, è opportuno verificare in fase esecutiva che la pressione richiesta dall'utenza derivata in E sia compatibile con tale valore; in caso contrario sarà necessario rivedere la quota di consegna o prevedere un piccolo dispositivo di rilancio. Il valore contenuto è la conseguenza del modesto dislivello B-E (15 m) rispetto alle perdite del tratto (≈ 10 m).

5.7.2 Riduttori di pressione

In camera di manovra in F è installato un riduttore di pressione (RP) tarato per portare la pressione di uscita al valore di 2,00 bar; il riduttore deve dissipare un salto di pressione di circa 3,94 bar (pari a circa 40,2 m c.a.).

Analogamente, in camera di manovra in G è installato un riduttore di pressione tarato per consegnare alla rete a valle un valore di 3,00 bar; il salto di pressione da dissipare è di circa 8,88 bar (pari a circa 90,5 m c.a.).

Si raccomanda l'impiego di riduttori di tipo pilotato a membrana, con corpo in ghisa sferoidale GJS-500 rivestita epossidicamente, sede e otturatore in acciaio inox AISI 316; in funzione dei salti di pressione si valuta opportuna l'installazione in due stadi del riduttore di nodo G (preriduttore + riduttore di taratura) per limitare cavitazione e usura, oppure l'adozione di riduttore monostadio ad anti-cavitazione.

5.8. VERIFICA DEL COLPO D'ARIETE

5.8.1 Celerità dell'onda di pressione

La celerità dell'onda di pressione in una condotta di materiale plastico è significativamente inferiore a quella in condotte metalliche, grazie alla deformabilità del materiale. Si applica la formula di Korteweg-Joukowski:

$$a = \sqrt{[(K/\rho) / (1 + (K \cdot D_i) / (E \cdot s))]}$$

Con i valori assunti per il PE 100 ($E = 1.000$ MPa, dinamico) e le caratteristiche geometriche del De 90 PN 25 ($D_i = 65,4$ mm; $s = 12,3$ mm) si ottiene:

$$a = 415 \text{ m/s (per De 90 PN 25)}$$

5.8.2 Tempo di fase

Il tempo di fase rappresenta il tempo di andata e ritorno dell'onda di pressione fra l'organo di manovra e l'estremo opposto della condotta:

$$T = 2L / a$$

Tratto	L [m]	a [m/s]	T fase [s]
B-E	266	415	1,28
E-F	672	415	3,24
F-G	834	415	4,02

5.8.3 Sovrappressione massima (chiusura rapida)

In caso di chiusura istantanea o, comunque, di tempo di manovra $t_c < T$ (chiusura rapida), si genera la massima sovrappressione di Joukowsky:

$$\Delta h = (a \cdot v) / g$$

Tratto	v [m/s]	Δh [m c.a.]	Δp [bar]	p_max tot. [bar]
B-E	1,49	63,0	6,18	7,65
E-F	1,40	59,2	5,81	14,93
F-G	1,25	52,9	5,19	13,96

5.8.4 Verifica di compatibilità con la classe PN 25

La pressione massima di sopportazione transitoria per condotte PE 100 può essere assunta pari a 1,5 volte la PN secondo UNI EN 805, ovvero:

$$p_{max,trans} = 1,5 \cdot 25 = 37,5 \text{ bar}$$

La somma fra pressione statica massima nel tratto e sovrappressione di Joukowsky risulta in tutti i tratti ampiamente al di sotto di tale soglia (massimo 14,93 bar nel tratto E-F). La verifica è pertanto soddisfatta con largo margine.

5.8.5 Tempo di manovra raccomandato

Pur risultando la sovrappressione massima compatibile con la classe di pressione della tubazione, è buona norma evitare le manovre rapide. Per garantire una manovra lenta ($t_c \gg T$) si raccomanda di adottare per le valvole di intercettazione tempi di chiusura non inferiori a:

- Tratto B-E: $t_c \geq 10$ s
- Tratto E-F: $t_c \geq 20$ s
- Tratto F-G: $t_c \geq 25$ s

In camera di manovra in F e in G dovranno essere installate valvole a sfera o a farfalla con riduttore di manovra, oppure motorizzate con tempo di chiusura programmato. Si raccomanda inoltre l'installazione di valvole di sfiato/scarico aria a doppio effetto nei punti più alti di ciascun tratto e di valvole di scarico nei punti depressi, oltre a un sistema di valvole di sicurezza/anticolpo d'ariete (es. valvola di sovrappressione tarata a circa 1,3 volte la pressione massima di esercizio) in corrispondenza dei riduttori in F e G.

5.11. CONCLUSIONI

Il dimensionamento sviluppato consente di trasportare la portata di progetto di 5,00 l/s dal serbatoio in nodo B fino al nodo terminale G, garantendo le derivazioni intermedie nei nodi E ed F e il corretto innesto in altra rete in G, nel rispetto dei vincoli di pressione assegnati.

La scelta di tubazione PE 100 PN 25 De 90 mm uniforme su tutto lo sviluppo (1.772 m) garantisce velocità nei limiti raccomandati (1,25 ÷ 1,49 m/s), perdite di carico contenute e ampi margini di sicurezza in regime statico e transitorio. La verifica del colpo d'ariete con il modello di Joukowsky mostra

sovrappressioni massime ampiamente compatibili con la classe di pressione della tubazione (massima pressione totale 14,93 bar contro 37,5 bar di soglia).

L'installazione di riduttori di pressione in camera di manovra in F e in G consente di rispettare i vincoli di consegna alle utenze (rispettivamente 2,00 bar e 3,00 bar). Si raccomanda l'adozione di valvole di sicurezza, sfiati, scarichi e tempi di manovra controllati per assicurare l'esercizio in sicurezza.

L'intervento risulta conforme ai principi DNSH ed è progettato nel rispetto dei Criteri Ambientali Minimi del settore.

CAPITOLO 6 - NODI DI DISTRIBUZIONE E MANOVRA VERSO RETI ESISTENTI

6.1 Nodo N1 (E) su tratto B-C-D : Abitato Montecorice Capoluogo- Cameretta (2,00x2,00) da adeguare: 1) n.1 riduttore di pressione ; 2) n.1 saracinesca di linea ; 3) n.1 nuova saracinesca di tubazione DN 63 con tratto di collegamento ; 4) n.1 dispositivo e rete di scarico .

6.2 Nodo N2 (F) su tratto B-E-F-G : Derivazione per Mainolfo e Santacroce : Cameretta da adeguare: n. 4 saracinesche – n. 1 valvola – n. 2 derivazioni a T

6.3 Nodo N3 (G) su tratto B-E-F-G : Derivazione per Giungatelle – Riduttore di pressione – Quota 121 msl dislivello da serbatoio 94 m

CAPITOLO 7 – SCELTE FINALI DI COLLETTORI

Collettore	Tratti	Lunghezza m	Tubazione scelta	Portata massima l/s	Riduttori Valvole sfiato paragrafo	Nodi di manovra
A-B	A-B	2.534	PE100 PN25 De160	15	3.6	
B-C-D	B-C	696	Tubazione esistente DN 200 acciaio	10	4.73	N1: Derivazione verso abitato Montecorice in C
	C-D	476	PE100PN25 De110	6l>Abitato 4l>abitato	4.8 4.9	

				sparso		
D-E-F-G	D-E	266	PE100 PN16 De90	5	5.7 5.8	Derivazione E 0,3 l/s
	E-F	672	PE100 PN16 De90	4,7		N2
	F-G	834	PE100 PN16 De90	4,20		N3

CAPITOLO 8 - IPOTESI TELECONTROLLO CAMERA DI MANOVRA SERBATOIO – INTERVENTO NON PREVISTO IN PROGETTO

8.1. Premessa e Oggetto

Il presente documento illustra il progetto preliminare di un sistema di telecontrollo per la gestione automatizzata di un serbatoio di accumulo idrico avente capacità di riserva complessiva pari a 800 mc, articolato in due camere di stoccaggio da 400 mc cadauna. L'impianto serve quattro distinte utenze caratterizzate da popolazione fluttuante, tipica dei centri abitati a forte vocazione turistica del territorio nazionale.

Il sistema è progettato per garantire la continuità del servizio idropotabile, la qualità sanitaria dell'acqua erogata, la regolazione automatica delle portate distribuite e la supervisione remota dell'intero impianto, in conformità ai requisiti di qualità tecnica del servizio idrico integrato definiti da ARERA con la Delibera 917/2017/R/IDR e successive modifiche, nonché alle prescrizioni sanitarie del D.Lgs. 18/2023 di recepimento della Direttiva UE 2020/2184.

8.1.1 Identificazione delle utenze servite

Le quattro uscite dal serbatoio sono dimensionate per servire le seguenti utenze:

Uscita	Tipologia utenza	Popolazione	DN nominale	Fabbisogno medio (mc/g)
A	Abitato principale (fluttuante)	1.000 – 2.000	DN150	250 – 500
B	Abitati secondari (fluttuante)	300 – 1.500	DN125	75 – 375
C	Case sparse residenti	50	DN65	10
D	Abitato sparso	100	DN80	20
TOTALE		1.450 – 3.650	—	355 – 905

La dotazione idrica adottata è di 250 L/abitante-giorno per i centri abitati e 200 L/ab·g per le case sparse, in linea con le indicazioni del PTA regionale e con i criteri di buona tecnica per il dimensionamento delle reti acquedottistiche.

La riserva di 800 mc garantisce un'autonomia compresa tra 20 e 24 ore al picco massimo di consumo, valore conforme ai criteri di affidabilità del servizio idrico richiesti dal regolatore.

8.2. Architettura del Sistema di Telecontrollo

Il sistema di telecontrollo è progettato secondo un'architettura SCADA distribuita a tre livelli gerarchici, con comunicazione ridondata e cybersecurity by design conforme alle linee guida dell'Agenzia per la Cybersicurezza Nazionale (ACN) per le infrastrutture critiche del settore idrico.

8.2.1 Livello 1 — Centro di Supervisione

Ubicato presso la sede aziendale, è composto da:

- Server SCADA ridondata in configurazione hot-standby con sistema operativo industriale e database SQL per archiviazione storica dei dati di processo;
- Postazione operatore con doppio monitor 24" per visualizzazione sinottica, gestione allarmi, trend e report;
- Sistema di notifica multicanale (SMS, email, app mobile) con escalation automatica per allarmi prioritari;
- Interfaccia web sicura per accesso remoto autorizzato tramite VPN IPsec;
- Sistema di backup automatico giornaliero su NAS con replica off-site.

8.2.2 Livello 2 — RTU/PLC locale al serbatoio

Unità periferica intelligente installata in quadro di automazione IP54 nel locale tecnico del serbatoio. Esegue acquisizione delle misure di campo, logiche di regolazione locale (anche in caso di perdita di comunicazione con il centro di supervisione) e comando degli attuatori. Si raccomanda l'adozione di un PLC di classe industriale (Siemens S7-1500, Schneider M580 o equivalente) con CPU ridondata, programmato secondo lo standard IEC 61131-3.

8.2.3 Livello 3 — Strumentazione di campo

Sensori, attuatori e dispositivi di misura connessi al PLC tramite I/O distribuiti su bus di campo industriale (Profinet, Modbus TCP o EtherNet/IP), con cavi schermati e topologia ad anello per garantire alta disponibilità.

8.2.4 Comunicazione Centro–Periferia

La comunicazione tra il serbatoio e il centro di supervisione è realizzata in doppia via:

- Via primaria: collegamento in fibra ottica dedicata (se disponibile) o radio UHF licenziata in banda 400 MHz;
- Via di backup: rete cellulare 4G/LTE con APN privato e tunnel VPN IPsec verso il data center aziendale;
- Protocollo di comunicazione: IEC 60870-5-104 o DNP3 con autenticazione, in linea con gli standard internazionali per il telecontrollo di infrastrutture critiche.

8.3. Telecontrollo delle Saracinesche di Manovra

Ciascuna delle quattro uscite (A, B, C, D) è dotata di una saracinesca motorizzata per la regolazione e l'intercettazione delle portate, telecomandabile dal centro di supervisione e gestibile in automatico dal PLC locale.

8.3.1 Caratteristiche meccaniche

- Tipologia: saracinesca a corpo piatto in ghisa sferoidale GJS-500 (EN 1563);
- Rivestimento: epossidico atossico conforme al D.M. 174/2004 per acque destinate al consumo umano;
- Cuneo gommato a tenuta morbida, stelo non saliente in acciaio inox AISI 420;
- Pressione nominale: PN16, temperatura di esercizio 0–70°C;
- Diametri: DN150 (Uscita A), DN125 (Uscita B), DN80 (Uscita D), DN65 (Uscita C);
- Flange forate UNI EN 1092-2.

8.3.2 Attuatore elettrico

- Tipologia: attuatore multigiro intelligente (Rotork IQ, AUMA SA o equivalente);
- Motore: trifase 400V, riduttore epicicloidale, finecorsa elettronici, sensore di coppia integrato;
- Posizionatore con feedback continuo 4–20 mA, comando locale/remoto;
- Volantino di emergenza per manovra manuale in caso di blackout;
- Grado di protezione IP68, scheda di comunicazione Profibus DP o Modbus RTU;
- Diagnostica integrata e contatore manovre per manutenzione predittiva.

8.3.3 Funzioni di telecontrollo

- Comando di apertura/chiusura totale e regolazione percentuale continua (0–100%);
- Lettura in tempo reale della posizione effettiva della saracinesca;
- Segnalazione allarmi: sovraccoppia, perdita fasi, intervento termico, discordanza posizione, manovra manuale in corso, blocco meccanico;
- Logica di chiusura automatica in caso di livello minimo nelle camere di stoccaggio o di portata anomala a valle (rilevazione rotture);
- Gestione delle priorità di erogazione tra le quattro uscite in funzione della disponibilità idrica.

8.4. Misura di Portata sulle Quattro Uscite

A monte di ogni saracinesca è installato un misuratore di portata elettromagnetico per il monitoraggio continuo dei volumi distribuiti, la fatturazione interna, il bilancio idrico e l'individuazione tempestiva di perdite o anomalie.

8.4.1 Caratteristiche tecniche

- Tipologia: misuratore elettromagnetico (Endress+Hauser Promag, Krohne Optiflux o equivalente);
- Accuratezza: $\pm 0,2\%$ del valore misurato;
- Rivestimento interno: ebanite o PTFE certificato per acqua potabile;
- Elettrodi in lega Hastelloy C, custodia separata IP68;
- Uscite: 4–20 mA HART + Modbus TCP, totalizzatore volumetrico non resettabile;
- Alimentazione 24 Vdc, dimensioni proporzionate al diametro nominale.

8.5. Telecontrollo del Livello delle Camere di Stoccaggio

Ciascuna delle due camere da 400 mc è equipaggiata con un sistema di misura del livello in ridondanza diversificata, secondo le buone pratiche per impianti idropotabili che richiedono elevata affidabilità della misura per la corretta gestione dell'autonomia di servizio.

8.5.1 Misura primaria — Sensore radar a onda guidata

- Tecnologia TDR (Time Domain Reflectometry) — non risente di temperatura, schiume, condense o vapori;
- Accuratezza: ± 2 mm sull'intero range di misura;

- Range tipico: 0–4 m, asta guidata in acciaio inox AISI 316L;
- Uscita 4–20 mA HART, custodia IP68, certificazione potabilità;
- Tipo: Endress+Hauser Levelflex, Vega Flex o equivalente.

8.5.2 Misura secondaria — Sensore idrostatico

- Trasduttore piezoresistivo a immersione in AISI 316L, membrana ceramica;
- Range 0–5 m H₂O, accuratezza $\pm 0,1\%$ F.S.;
- Cavo schermato con capillare di compensazione barometrica;
- Uscita 4–20 mA, alimentazione a due fili.

8.5.3 Interruttori di livello a galleggiante

Per ogni camera sono previsti tre interruttori a galleggiante con funzioni di sicurezza indipendente dal sistema PLC:

- Livello altissimo: allarme tracimazione e chiusura immediata della valvola di alimentazione;
- Livello altissimo-alto: blocco riempimento (set-point operativo);
- Livello bassissimo: blocco prelievo a protezione delle pompe a valle e per garantire la riserva antincendio.

8.5.4 Funzioni di gestione delle camere

- Visualizzazione in tempo reale del livello e del volume d'acqua nelle due camere (in mc e %);
- Calcolo automatico dell'autonomia residua in base ai consumi correnti rilevati dai misuratori di portata;
- Gestione automatica delle valvole di alimentazione per equilibrare i livelli tra le due camere;
- Possibilità di esclusione di una camera per manutenzione/pulizia/disinfezione, con funzionamento garantito sull'altra;
- Allarmi di livello con priorità differenziate e registrazione storica per analisi trend.

8.6. Telecontrollo dell'Impianto di Clorazione

La disinfezione rappresenta il punto più delicato dal punto di vista sanitario e richiede particolare attenzione progettuale. Il sistema adotta un dosaggio proporzionale alla portata totale uscente, con retroazione PID lenta sul cloro residuo misurato in continuo a valle del punto di iniezione.

8.6.1 Sistema di dosaggio

- Pompa dosatrice elettromagnetica (Prominent gamma/X, Grundfos DDA o equivalente);
- Portata regolabile: 0–10 L/h, contropressione fino a 10 bar;
- Materiali compatibili con ipoclorito di sodio: PVDF, ceramica, PTFE, FKM;
- Comando 4–20 mA o impulsi proporzionali, display LCD multilingua;
- Pompa di riserva pronta all'inserzione automatica in caso di guasto della principale.

8.6.2 Stoccaggio del reagente

- Reagente: ipoclorito di sodio in soluzione al 14–15%;
- Serbatoio in PEAD da 1.000 L con bacino di contenimento al 110% della capacità;
- Sensore di livello capacitivo per gestione automatica del rifornimento;
- Ventilazione forzata del locale clorazione con ricambio d'aria minimo 6 vol/h;
- Doccia di emergenza e lavaocchi conformi alla norma UNI EN 15154.

8.6.3 Strumentazione analitica in linea

- Analizzatore di cloro libero residuo amperometrico o colorimetrico DPD (Hach CL17, Endress+Hauser CCS51D), range 0–5 mg/L, accuratezza $\pm 0,03$ mg/L;
- pH-metro in linea con elettrodo a vetro, range 0–14, compensazione termica automatica;
- Torbidimetro ottico nefelometrico, range 0–100 NTU, soglia di allarme 1 NTU;
- Conducimetro per controllo qualità complessivo;
- Cella di flusso multi-parametro con campionamento continuo by-pass.

8.6.4 Logica di controllo

La pompa dosatrice riceve un set-point di portata cloro calcolato dal PLC come prodotto tra la portata totale uscente (somma A+B+C+D) e la dose obiettivo, corretto da un anello PID lento sul cloro residuo misurato. Il target operativo tipico è di 0,2 mg/L all'utenza, in linea con il D.Lgs. 18/2023.

In caso di scostamento del cloro residuo oltre la fascia di tolleranza (0,1 – 1,0 mg/L) per più di 15 minuti, il sistema invia allarme prioritario al gestore. In caso di superamento delle soglie critiche, è prevista la chiusura automatica delle uscite con notifica immediata al responsabile sanitario.

8.7. Riepilogo delle Apparecchiature Principali

Componente	Quantità	Caratteristica chiave
PLC ridondato classe industriale	1	CPU hot-standby, IEC 61131-3
Server SCADA hot-standby	2	Sistema operativo industriale
Saracinesche motorizzate	4	DN65–150, PN16, attuatore IP68
Misuratori portata elettromagnetici	4	±0,2%, HART/Modbus
Sensori livello radar TDR	2	Accuratezza ±2 mm
Sensori livello idrostatici	2	Ridondanza diversificata
Galleggianti livello	6	3 per camera
Pompe dosatrici cloro	2	Elettromagnetica, 0–10 L/h
Analizzatore cloro residuo	1	Amperometrico, 0–5 mg/L
pH-metro / torbidimetro / conducimetro	1+1+1	Strumentazione in linea
UPS online	1	5 kVA, autonomia 30 min
Gruppo elettrogeno	1	15 kVA, autonomia 24 h
Modem di comunicazione	2	Primario radio + backup 4G

8.8. Stima Economica di Massima

La stima economica seguente è di livello fattibilità (classe 4 secondo classificazione AACE International), con accuratezza attesa di ±25-30%. I prezzi sono espressi in euro al netto di IVA e si riferiscono a valori di mercato italiani 2025-2026 per impianti di acquedotto di taglia media. La stima include fornitura, installazione e cablaggio, mentre sono esclusi gli oneri di sicurezza speciali e le opere civili importanti.

8.8.1 Strumentazione di campo

Voce	Q.tà	P. unit. (€)	Totale (€)
Saracinesca motorizzata DN150 PN16	1	8.500	8.500
Saracinesca motorizzata DN125 PN16	1	7.200	7.200
Saracinesca motorizzata DN80 PN16	1	5.800	5.800
Saracinesca motorizzata DN65 PN16	1	5.200	5.200
Misuratore portata elettromagnetico DN150	1	4.500	4.500
Misuratore portata elettromagnetico DN125	1	3.800	3.800
Misuratore portata elettromagnetico DN80	1	2.900	2.900
Misuratore portata elettromagnetico DN65	1	2.500	2.500
Sensore livello radar TDR	2	2.800	5.600

Voce	Q.tà	P. unit. (€)	Totale (€)
Sensore livello idrostatico	2	1.200	2.400
Set galleggianti livello (3 per camera)	2	600	1.200
Subtotale A — Strumentazione			49.600

Impianto di clorazione

Voce	Q.tà	P. unit. (€)	Totale (€)
Pompe dosatrici elettromagnetiche	2	1.800	3.600
Serbatoio PEAD 1.000 L con bacino	1	1.500	1.500
Sensore livello reagente capacitivo	1	450	450
Analizzatore cloro residuo amperometrico	1	4.200	4.200
pH-metro in linea con elettrodo	1	1.800	1.800
Torbidimetro nefelometrico	1	3.500	3.500
Conducimetro in linea	1	1.200	1.200
Cella di flusso multi-parametro	1	900	900
Doccia/lavaocchi di emergenza	1	850	850
Ventilazione forzata locale clorazione	1	1.600	1.600
Subtotale B — Clorazione			19.600

8.8.3 Sistema di controllo e quadristica

Voce	Q.tà	P. unit. (€)	Totale (€)
PLC ridonato + I/O distribuiti	1	9.500	9.500
Pannello operatore HMI 15" touch	1	2.800	2.800
Quadro automazione IP54 cablato	1	7.500	7.500
Quadro potenza con protezioni e rifasamento	1	5.500	5.500
Switch industriali managed	2	850	1.700
Modem comunicazione primario	1	2.200	2.200
Modem backup 4G/LTE	1	850	850
Firewall industriale con VPN IPsec	1	2.500	2.500
Subtotale C — Controllo			32.550

8.8.4 Centro di supervisione SCADA

Voce	Q.tà	P. unit. (€)	Totale (€)
------	------	--------------	------------

Voce	Q.tà	P. unit. (€)	Totale (€)
Server SCADA hot-standby	2	4.500	9.000
Licenza software SCADA (1.500 tag)	1	8.500	8.500
Postazione operatore HMI doppio monitor	1	2.500	2.500
UPS server SCADA	1	1.800	1.800
Sistema backup e storage NAS	1	2.200	2.200
Sviluppo applicativo SCADA	1	12.000	12.000
Sistema notifica SMS/email	1	1.500	1.500
Subtotale D — SCADA			37.500

8.8.5 Alimentazione elettrica e ausiliari

Voce	Q.tà	P. unit. (€)	Totale (€)
UPS online 5 kVA, autonomia 30 min	1	3.500	3.500
Gruppo elettrogeno diesel 15 kVA	1	14.000	14.000
Quadro generale BT con SPD I+II	1	4.500	4.500
Impianto di terra dedicato	1	2.500	2.500
Climatizzazione locale tecnico	1	2.800	2.800
Antintrusione + videosorveglianza	1	3.500	3.500
Rilevazione allagamento e sensori ambientali	1	1.200	1.200
Subtotale E — Ausiliari			32.000

8.8.6 Opere di installazione e servizi

Voce	Importo (€)
Opere elettriche (cablaggi, canaline, cavi schermati)	18.000
Opere idrauliche di adeguamento (raccordi, flange)	8.500
Opere edili minori (fori, basamenti, locale tecnico)	6.500
Programmazione PLC e configurazione SCADA	14.000
Messa in servizio, taratura strumenti, FAT/SAT	8.000
Documentazione as-built, manuali, formazione	4.500
Subtotale F — Servizi	59.500

8.8.7 Riepilogo generale e totali

Categoria	Importo (€)
-----------	-------------

Categoria	Importo (€)
A — Strumentazione di campo	49.600
B — Impianto di clorazione	19.600
C — Sistema di controllo e quadristica	32.550
D — Centro di supervisione SCADA	37.500
E — Alimentazione elettrica e ausiliari	32.000
F — Opere di installazione e servizi	59.500
TOTALE TECNICO	230.750
Spese generali e utile d'impresa (15%)	34.613
Totale lavori (netto IVA)	265.363
Oneri sicurezza (3%)	7.961
Imprevisti e arrotondamenti (5%)	13.268
TOTALE OPERA AL NETTO IVA	≈ 286.500
TOTALE LORDO STIMATO (con IVA)	315.000 – 350.000

L'aliquota IVA applicabile dipende dall'inquadramento dell'opera nel servizio idrico integrato (10%) o come fornitura ordinaria (22%); occorre verificare puntualmente con il consulente fiscale.

8.8.8 Costi di esercizio annui (OPEX)

Si stimano i seguenti costi di esercizio annuali per la gestione dell'impianto a regime, da considerare per le valutazioni di sostenibilità economica del servizio:

Voce di costo	€/anno
Manutenzione programmata strumentazione e attuatori	4.500
Manutenzione SCADA, aggiornamenti software, licenze	3.500
Reagenti per clorazione e taratura sonde	2.800
Connettività dati (canone fibra + 4G backup)	1.800
Energia elettrica incrementale	2.000
Verifiche periodiche (ARERA, sanitarie)	1.500
TOTALE OPEX ANNUO	≈ 16.100

8.9. Conclusioni e Sviluppi Successivi

Il sistema di telecontrollo descritto costituisce una soluzione tecnologicamente matura e proporzionata alle esigenze di un serbatoio che serve oltre 3.500 abitanti equivalenti al picco di consumo. L'architettura proposta garantisce:

- Conformità ai requisiti di qualità tecnica ARERA (Del. 917/2017 RQTI e successive);
- Conformità sanitaria al D.Lgs. 18/2023 di recepimento della Direttiva UE 2020/2184;
- Affidabilità di servizio grazie alla ridondanza di strumenti, comunicazioni e alimentazione;
- Cybersecurity by design conforme alle linee guida ACN per le infrastrutture critiche;
- Possibilità di evoluzione futura verso piattaforme di gestione predittiva e smart water management.

Le fasi successive di sviluppo del progetto comprendono: 1) progettazione definitiva con schemi P&ID dettagliati, lista I/O e specifiche tecniche; 2) gara d'appalto con capitolato tecnico e amministrativo; 3) progettazione esecutiva, costruzione e collaudo (FAT/SAT); 4) avviamento, formazione del personale e messa in esercizio; 5) periodo di garanzia e assistenza post-vendita.

CAPITOLO 9 - UTILIZZO TUBAZIONI IN ACCIAIO O IN POLIETILENE – CONFRONTO CON VALUTAZIONI OPERATIVE ED ECONOMICHE TRA LE DUE SOLUZIONI

9.1. Premessa e oggetto della relazione integrativa

La presente relazione integrativa è redatta su richiesta informale e conoscitiva del Responsabile del Procedimento della Stazione Appaltante ing. Tommaso Cenrangolo ed ha per oggetto la verifica della possibilità tecnica di realizzare il tratto di condotta A-B – previsto a base del Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica con tubazione in polietilene PE100 De 160 mm PN25 – mediante una tubazione in acciaio rivestita conforme alla norma UNI EN 10224 ovvero UNI EN 10220, con rivestimento interno in malta cementizia centrifugata (UNI EN 10298) ed esterno in polietilene estruso a tre strati (UNI EN 10288-10289) o poliuretano (UNI EN 10290).

L'elaborato sviluppa: (i) il rifacimento integrale del calcolo idraulico del tratto A-B con tubazione in acciaio, mantenendo invariati i dati di progetto della relazione specialistica originaria (Cap. 3); (ii) la verifica della pressione massima di esercizio e del transitorio idraulico (colpo d'ariete) con la formulazione di Korteweg-Joukowski calibrata sul modulo elastico dell'acciaio; (iii) l'analisi comparativa tra le due tipologie di materiale con specifico riferimento ai due aspetti richiesti dal committente: durabilità nel tempo e tempi di montaggio in zone impervie. Le quantità di progetto, le quote dei nodi, la portata e la pressione di consegna al serbatoio San Donato restano invariate rispetto al progetto base; resta altresì invariato il sistema di dissipazione dell'energia in eccesso mediante valvola riduttrice di pressione (PRV) idropilotata in mezzzeria del tracciato (prog. $\approx 1+250 \div 1+300$), nonché l'architettura di protezione del transitorio (valvole a chiusura lenta, valvola di non ritorno a chiusura assistita, ventose a triplice funzione, scarichi di fondo).

9.2. Dati di progetto richiamati

I dati posti a base del dimensionamento, identici a quelli del progetto originario, sono di seguito riepilogati:

Parametro	Valore
Lunghezza condotta (L)	2.534 m
Quota punto di derivazione (z_1)	405 m s.l.m.
Quota arrivo in serbatoio (z_2)	214 m s.l.m.
Dislivello geodetico (Δz)	191 m

Parametro	Valore
Portata massima di progetto (Q)	15 l/s = 0,015 m ³ /s
Pressione all'arrivo serbatoio	1 atm ≈ 10,33 m c.a.
Carico disponibile lordo (Δz – P _{arr})	180,67 m c.a.
Pendenza media tracciato	≈ 7,54 %
Temperatura acqua	10 °C (ν = 1,31·10 ⁻⁶ m ² /s)

9.3. Caratteristiche della tubazione in acciaio proposta

9.3.1 Norme di riferimento per il materiale

- UNI EN 10224 – Tubi e raccordi di acciaio non legato per il convogliamento di acqua e altri liquidi acquosi – Condizioni tecniche di fornitura
- UNI EN 10220 – Tubi di acciaio saldati e senza saldatura – Dimensioni generali e masse per unità di lunghezza
- UNI EN 10298 – Tubi e raccordi di acciaio per condotte interrate e immerse – Rivestimento interno con malta cementizia
- UNI EN 10288 / UNI EN 10289 – Rivestimento esterno in polietilene estruso a tre strati (sistema 3LPE)
- UNI EN 10290 – Rivestimento esterno in poliuretano per tubazioni di acciaio interrate o immerse
- D.M. 174/2004 – Materiali e oggetti a contatto con acqua destinata al consumo umano
- UNI EN 805 – Approvvigionamento di acqua: requisiti per sistemi e componenti all'esterno degli edifici

Si rinvia alla scheda tecnica sulle tubazioni in acciaio riportata in calce

9.3.2 Tipologia costruttiva adottata

Si propone l'impiego di tubo in acciaio non legato di qualità S235JRH (UNI EN 10219) ovvero L235 (UNI EN 10224), saldato longitudinalmente in ERW ad alta frequenza o senza saldatura, con i seguenti rivestimenti:

- Rivestimento interno: malta cementizia centrifugata applicata in stabilimento, spessore minimo 6 mm, conforme UNI EN 10298 e D.M. 174/2004 (idoneità al contatto con acqua potabile);
- Rivestimento esterno: polietilene estruso a triplo strato (3LPE) – primer epossidico + adesivo + PE estruso – spessore minimo 2,5 mm, conforme UNI EN 10288 sistema A o B in funzione delle aggressività del terreno; in alternativa, rivestimento in poliuretano (PUR) conforme UNI EN 10290 per tratti con sollecitazioni meccaniche elevate o terreni rocciosi;
- Giunzioni: saldatura testa-testa elettrica con elettrodi a basso idrogeno, eseguite in opera da saldatori qualificati UNI EN ISO 9606-1; ripristino del rivestimento esterno sulle saldature mediante fasce termorestringenti (heat-shrink sleeves) conformi UNI EN 12068; ripristino del rivestimento interno mediante manicotti interni in malta cementizia o, per piccoli diametri, lasciando un anello di acciaio nudo trattato con vernice epossidica atossica certificata.

9.4. Dimensionamento idraulico

9.4.1 Criteri di calcolo

Il calcolo delle perdite di carico distribuite è condotto, in coerenza con la relazione specialistica originaria, applicando la formula di Darcy-Weisbach con coefficiente di attrito f determinato dall'equazione implicita di Colebrook-White:

$$J = f \cdot V^2 / (D \cdot 2g)$$

$$1/\sqrt{f} = -2 \cdot \log_{10} [\epsilon / (3,7 \cdot D) + 2,51 / (Re \cdot \sqrt{f})]$$

dove ϵ rappresenta la scabrezza assoluta della parete. Per condotte in acciaio con rivestimento interno in malta cementizia centrifugata di nuova posa, in conformità ai valori di letteratura (UNI EN 805, AWWA M11), si assume:

- $\epsilon = 0,10$ mm (acciaio rivestito malta cementizia, nuova posa)

Tale valore è significativamente maggiore di quello assunto per il PE100 nella relazione originaria ($\epsilon = 0,0015$ mm), poiché la malta cementizia, pur con elevate prestazioni durature, presenta una rugosità di parete superiore di circa due ordini di grandezza rispetto alla parete liscia del polietilene. Le perdite concentrate sono valutate, come nel progetto base, pari al 10 % delle perdite distribuite.

4.2 Confronto fra diametri commerciali in acciaio

La tabella seguente riepiloga il calcolo idraulico per i diametri commerciali in acciaio (UNI EN 10224) compatibili con la portata di progetto Q = 15 l/s. Gli spessori sono quelli di catalogo per la classe acquedottistica.

DN	De [mm]	s [mm]	Di [mm]	V [m/s]	Re	J [m/m]	Y tot [m]	Hres [m]
100	114,3	3,6	107,1	1,67	136.126	0,02817	78,5	112,5
125	139,7	4,0	131,7	1,10	110.699	0,00990	27,6	163,4
150	168,3	4,5	159,3	0,75	91.520	0,00382	10,6	180,4
200	219,1	5,0	209,1	0,44	69.723	0,00099	2,8	188,2

Note: $H_{res} = \Delta z - Y_{tot}$, ovvero carico residuo all'arrivo (senza tener conto della riduzione di pressione). La riga evidenziata corrisponde alla scelta progettuale.

9.4.3 Scelta progettuale del diametro

L'analisi della tabella evidenzia che il DN 100 produce velocità (1,67 m/s) e perdite di carico (78,5 m c.a.) ancora ammissibili ma penalizza l'energia disponibile e – soprattutto – determina una sovrappressione da colpo d'ariete prossima ai limiti di sicurezza (cfr. § 5). Il DN 125 rappresenta una soluzione tecnicamente accettabile ($V = 1,10$ m/s, $Y_{tot} = 27,6$ m), mentre il DN 200 risulta sovradimensionato ($V = 0,44$ m/s, inferiore alla soglia di autopulizia di 0,5 m/s, con conseguente rischio di sedimentazione).

Si propone pertanto l'adozione di tubazione in acciaio DN 150 (De 168,3 mm, spessore 4,5 mm), che garantisce:

- velocità di esercizio $V = 0,75$ m/s, compresa nel range raccomandato dalla UNI EN 805 ($0,6 \div 2,0$ m/s) e ampiamente superiore alla soglia di autopulizia;
- perdite di carico totali $Y_{tot} \approx 10,6$ m c.a., circa un quarto rispetto alla soluzione in PE100 De 160 (42,2 m c.a.), grazie al maggior diametro interno (159,3 mm contro 116,2 mm);
- resistenza meccanica intrinseca largamente superiore: con spessore 4,5 mm e acciaio S235 ($\sigma_{amm} = 110$ N/mm² in esercizio idraulico), la pressione ammissibile del tubo risulta:

$$P_{amm} = 2 \cdot s \cdot \sigma_{amm} / De = 2 \cdot 4,5 \cdot 110 / 168,3 \approx 5,88 \text{ N/mm}^2 \approx 58,8 \text{ bar}$$

- ovvero più del doppio della PN25 della tubazione in PE, con margine di sicurezza significativo rispetto alla pressione massima statica ($\Delta z = 18,7$ bar) e alla sovrappressione transitoria attesa (cfr. § 5).

9.4.4 Tabella di sintesi della soluzione adottata

Parametro	Valore
Materiale	Acciaio L235 (UNI EN 10224)
Diametro nominale (DN)	DN 150
Diametro esterno (De)	168,3 mm
Spessore (s)	4,5 mm
Diametro interno (Di)	159,3 mm
Rivestimento interno	Malta cementizia centrifugata (UNI EN 10298)
Rivestimento esterno	Polietilene 3LPE (UNI EN 10288-10289)
Pressione ammissibile tubo	$\approx 58,8$ bar ($\gg$ PN25)
Velocità di esercizio (V)	0,75 m/s
Numero di Reynolds (Re)	$\approx 9,15 \cdot 10^4$ (turbolento)
Scabrezza assoluta (ϵ)	0,10 mm (malta cementizia nuova)
Coefficiente di attrito (f)	0,02106
Perdita unitaria (J)	0,00382 m/m = 3,82 m/km
Perdite distribuite (Y dist)	9,67 m c.a.

Parametro	Valore
Perdite totali (distribuite + 10% concentrate)	10,64 m c.a.
Carico residuo all'arrivo (senza PRV)	180,4 m c.a.
Energia da dissipare con PRV	≈ 170,0 m c.a. ≈ 16,7 bar
Tipo di giunzione	Saldatura testa-testa elettrica

9.5. Verifica del colpo d'ariete

9.5.1 Celerità dell'onda di pressione

Per le tubazioni metalliche la celerità di propagazione dell'onda di pressione è calcolata con la formulazione generale di Korteweg-Joukowski:

$$c = \sqrt{Kw/\rho} / (1 + (Kw/E) \cdot (Di/s))$$

con $Kw = 2,1$ GPa (modulo di elasticità di volume dell'acqua), $\rho = 1.000$ kg/m³, $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa (modulo elastico acciaio) e Di/s rapporto fra diametro interno e spessore. Con $Di = 159,3$ mm e $s = 4,5$ mm si ottiene:

$$c \approx 1.245 \text{ m/s}$$

Valore tipico per condotte in acciaio di piccolo-medio diametro, sensibilmente superiore (circa 3,2 volte) a quello calcolato per la condotta in PE100 De 160 PN25 ($c \approx 387$ m/s). Questa differenza è la conseguenza diretta della maggior rigidità del materiale e costituisce il principale svantaggio dell'acciaio rispetto al polietilene dal punto di vista della propagazione del transitorio idraulico.

9.5.2 Sovrappressione massima – manovra brusca

Per manovra brusca di chiusura di una valvola (tempo di chiusura $T < 2L/c$) la sovrappressione massima è data dalla formula di Joukowski:

$$\Delta h = c \cdot V / g = 1.245 \cdot 0,753 / 9,81 \approx 95,5 \text{ m c.a.} (\approx 9,37 \text{ bar})$$

Il tempo di fase, ovvero il tempo limite per definire la manovra come brusca, vale:

$$\tau = 2L / c = 2 \cdot 2.534 / 1.245 \approx 4,07 \text{ s}$$

Si osserva come il tempo di fase per la condotta in acciaio (4,07 s) sia circa un terzo di quello calcolato per la condotta in PE (13,1 s): la manovra deve quindi essere significativamente più lenta per essere considerata "lenta" ai sensi di Michaud.

5.3 Sovrappressione per manovra lenta

Imponendo un tempo di chiusura $T = 60$ s (corrispondente, per l'acciaio, a circa $15 \cdot \tau$, ben oltre il rapporto minimo raccomandato $T \geq 5 \cdot \tau$) e applicando la formula di Michaud:

$$\Delta h = 2 \cdot L \cdot V / (g \cdot T) = 2 \cdot 2.534 \cdot 0,753 / (9,81 \cdot 60) \approx 6,5 \text{ m c.a.} (\approx 0,64 \text{ bar})$$

Si osserva che, con manovra lenta, la sovrappressione in acciaio risulta inferiore a quella della tubazione in PE (12,2 m c.a.) grazie alla minore velocità di esercizio (0,75 contro 1,41 m/s), pur con celerità più elevata. L'inferiorità del PE in regime brusco si inverte in regime lento perché la formula di Michaud non contiene il termine c .

9.5.4 Verifica della pressione massima e confronto con il PN del tubo

Condizione	P statica [m]	Δh [m]	P tot [m]	P tot [bar]
Manovra brusca (cautelativa)	191	95,5	286,5	28,10
Manovra lenta ($T = 60$ s)	191	6,5	197,5	19,37

La pressione massima ammissibile del tubo in acciaio DN 150 $s = 4,5$ mm, calcolata in § 4.3, è di circa 58,8 bar. Entrambe le condizioni di esercizio (manovra brusca 28,1 bar e manovra lenta 19,4 bar) risultano dunque ampiamente verificate, con margini di sicurezza pari rispettivamente a circa il 52 % e al 67 % rispetto al limite intrinseco del tubo.

A differenza della soluzione in PE100 PN25, in cui la pressione massima in manovra brusca (24,2 bar) si avvicinava al limite di esercizio (25 bar), nel caso dell'acciaio è possibile garantire la verifica anche nell'ipotesi di chiusura accidentalmente brusca, senza dover ricorrere obbligatoriamente a dispositivi di attenuazione del transitorio. Si mantengono comunque, in via prudenziale e in conformità alla UNI EN 805, le valvole a chiusura lenta ($T \geq 60$ s) ai due estremi del tracciato e la valvola anti-colpo d'ariete a monte del riduttore di pressione.

9.6. Confronto idraulico e strutturale PE100 vs acciaio

Parametro	PE100 De 160 PN25	Acciaio DN 150 $s = 4,5$ mm
Diametro esterno [mm]	160,0	168,3

Parametro	PE100 De 160 PN25	Acciaio DN 150 s 4,5 mm
Spessore [mm]	21,9 (SDR 7,4)	4,5
Diametro interno [mm]	116,2	159,3
Scabrezza assoluta ϵ [mm]	0,0015	0,10
Velocità di esercizio [m/s]	1,41	0,75
Perdite distribuite Y_{dist} [m]	38,4	9,7
Perdite totali Y_{tot} [m]	42,2	10,6
Celerità onda c [m/s]	387	1.245
Tempo di fase $\tau = 2L/c$ [s]	13,1	4,07
Δh manovra brusca [bar]	5,47	9,37
Δh manovra lenta ($T = 60$ s) [bar]	1,20	0,64
P max totale, manovra brusca [bar]	24,20	28,10
P max totale, manovra lenta [bar]	19,93	19,37
Pressione ammissibile del tubo [bar]	25 (PN25)	$\approx 58,8$
Margine manovra brusca	3 % (criticità)	52 %
Energia da dissipare con PRV [bar]	13,6	16,7

Il confronto evidenzia che la soluzione in acciaio – pur con maggiore scabrezza di parete – riduce drasticamente le perdite di carico solo grazie al maggior diametro interno (159,3 contro 116,2 mm), portandole da 42,2 a soli 10,6 m c.a.; di conseguenza l'energia complessivamente da dissipare attraverso il riduttore di pressione aumenta da 13,6 a 16,7 bar, rendendo ancor più raccomandabile la doppia riduzione in serie o, in ottica più moderna, il recupero energetico mediante **micro-turbinaggio** (la potenza idraulica teorica del salto disponibile sale da circa 20 kW) (Da valutare installazione eventuale di una turbina Pelton sulla linea, prima del serbatoio, con linea di by pass con riduttore pressione in caso di manutenzione turbina – Potenza sviluppata turbina circa 20 Kw . Se ritenuta valida è da programmare con altro finanziamento, costo presunto circa 300.000,00 €).

Dal punto di vista del transitorio, la maggiore celerità dell'onda nell'acciaio (1.245 vs 387 m/s) determina sovrappressioni Joukowsky più elevate (9,4 vs 5,5 bar) ma la verifica di pressione massima è comunque pienamente soddisfatta con margini molto superiori grazie alla resistenza intrinseca del tubo. In manovra lenta (Michaud), invece, l'acciaio risulta paradossalmente più favorevole, perché la sua minor velocità di esercizio prevale sull'effetto della maggior celerità.

9.7. Analisi comparativa: durabilità nel tempo

9.7.1 Polietilene PE100

Il polietilene di alta densità PE100 conforme alla UNI EN 12201 presenta una vita utile attesa di 50 anni a 20 °C alla pressione nominale, valutata con il metodo del minimum required strength ($MRS = 10$ MPa) e coefficiente di sicurezza $C \geq 1,25$. Le caratteristiche distintive in termini di durabilità sono:

- immunità totale alla corrosione elettrochimica: il PE è chimicamente inerte verso suoli aggressivi, acque salmastre, correnti vaganti telluriche e contatto con altri metalli; non sono richieste protezioni catodiche né rivestimenti aggiuntivi;
- resistenza all'abrasione interna molto buona; resistenza eccellente alle acque tenere, aggressive a basso pH (acque montane), acque clorate ai dosaggi tipici dell'acquedotto potabile (≤ 5 mg/l);
- comportamento sismico favorevole: la flessibilità del materiale consente di assorbire piccoli movimenti del terreno (cedimenti differenziali, faglie) senza fessurazione; il PE100 è considerato dalla letteratura tecnica il materiale più adatto in zone a media-alta sismicità per condotte interrate;
- vulnerabilità specifiche: degrado da raggi UV se esposto a cielo aperto (richiede stoccaggio in ombra prima della posa); fenomeno SCG (Slow Crack Growth) potenzialmente attivato da intagli superficiali da posa scorretta; degradazione termica per esposizione prolungata a $T > 30$ °C che riduce la pressione ammissibile (a 40 °C il PN si riduce di circa il 20-25 %); danneggiamento da idrocarburi e solventi organici,

in particolare quando questi siano presenti nel terreno (es. siti contaminati, vicinanza a serbatoi interrati di carburanti).

9.7.2 Acciaio rivestito

L'acciaio per acquedotti con rivestimento interno in malta cementizia ed esterno in 3LPE/PUR presenta, in condizioni di corretta posa e protezione attiva, una vita utile attesa di 70-100 anni, come documentato dalla manualistica AWWA M11 e dalle esperienze gestionali storiche dei principali grandi acquedotti italiani (Acquedotto Pugliese, Acquedotto del Peschiera, lo stesso Alto Sele in DN 350 acciaio richiamato nella relazione originaria). Le caratteristiche di durabilità sono:

- resistenza meccanica intrinseca largamente superiore: l'acciaio S235 ha resistenza ultima a trazione di circa 360-510 N/mm² contro i 30 N/mm² del PE100 a breve termine; consente sovraccarichi accidentali, urti durante la posa, sollecitazioni puntuali (radici, sassi) senza danno permanente;
- rigidità che consente l'attraversamento di ostacoli puntuali (manufatti, sottoservizi) senza dispositivi di protezione aggiuntivi; possibilità di posa aerea in attraversamenti (ponti tubo, briglie, scavalchi) senza ulteriori strutture portanti;
- rivestimento interno in malta cementizia che, oltre alla protezione anticorrosiva, garantisce una passivazione attiva della superficie metallica (pH alcalino della malta) e una scabrezza di parete che, contrariamente al PE, tende a stabilizzarsi nel tempo per fenomeni di levigatura naturale (smoothing) della superficie cementizia;
- vulnerabilità specifiche: corrosione esterna in caso di danneggiamento del rivestimento (fondamentale la qualità della posa e del ripristino dei rivestimenti su saldature); corrosione interna possibile in caso di acque aggressive (acque tenere a basso pH con CO₂ libera, tipiche delle sorgenti carsiche) che possono dilavare la malta cementizia – aspetto da valutare con analisi chimica delle acque dell'Alto Sele; sensibilità alle correnti vaganti telluriche (linee ferroviarie, tranviarie, oleodotti adiacenti) che richiedono, ove presenti, l'installazione di un sistema di protezione catodica a corrente impressa o ad anodi sacrificali (UNI EN 12954).

9.7.3 Sintesi del confronto sulla durabilità

Aspetto	PE100	Acciaio rivestito
Vita utile attesa	50 anni (a PN nominale)	70-100 anni con manutenzione corretta
Corrosione elettrochimica	Immune (favorevole)	Critica, richiede integrità rivestimento e PC
Correnti vaganti telluriche	Immune (favorevole)	Sensibile, può richiedere PC
Resistenza meccanica intrinseca	Limitata (PN25 = 25 bar)	Elevata (≈ 59 bar per s = 4,5 mm)
Resistenza a urti, sollecitazioni puntuali	Modesta, rischio intagli e SCG	Elevata
Comportamento sismico	Eccellente (flessibilità)	Buono solo con giunti adeguati
Stabilità termica	Sensibile a T > 30 °C	Indifferente
Compatibilità con idrocarburi nel suolo	Critica	Indifferente (con rivestimento integro)
Riciclabilità a fine vita	Eccellente (100 %)	Eccellente (filiera metallurgica)
Idoneità acque aggressive (pH basso, CO ₂ libera)	Indifferente	Critica (dilavamento malta)
Stabilità della scabrezza nel tempo	Possibile aumento per biofilm	Stabile o in miglioramento

Nel contesto specifico del Tratto A-B di che trattasi, dove la condotta si sviluppa su terreni collinari del Cilento, prevalentemente in sede di viabilità rurale o di servitù agricola, dove l'acqua è derivata dall'acquedotto Alto Sele (peraltro già realizzato in acciaio DN 350) – con caratteristiche chimico-fisiche presumibilmente stabili e

compatibili con il rivestimento cementizio – la soluzione in acciaio offre un vantaggio sostanziale in termini di vita utile attesa, valutabile in 20-50 anni di servizio aggiuntivo rispetto al PE100, a parità di livello manutentivo.

9.8. Analisi comparativa: tempi di montaggio in zone impervie

9.8.1 Premessa sulle condizioni di posa

Il tracciato del Tratto A-B si sviluppa per 2.534 m con un dislivello complessivo di 191 m e una pendenza media del 7,54 %, attraversando aree presumibilmente collinari con accessibilità non sempre garantita ai mezzi pesanti, presenza di tornanti stretti, tratti di viabilità rurale a fondo naturale e potenziali tratti fuori strada. In tali condizioni i fattori che determinano i tempi di montaggio sono: (i) la trasportabilità del materiale in cantiere, (ii) la possibilità di esecuzione delle giunzioni in opera con attrezzature leggere o pesanti, (iii) la maneggevolezza del singolo tronchetto, (iv) la sensibilità dell'attività di posa alle condizioni meteorologiche.

9.8.2 Polietilene PE100

- Fornitura: per De ≤ 110 mm è fornito in bobina (rotoli da 50-200 m), che riduce drasticamente il numero di giunzioni; per De 160 PN25 oggetto di progetto la fornitura avviene in barre da 12 m, di peso unitario circa 11,5 kg/m (≈ 138 kg/barra), facilmente movimentabili a mano da due-tre operatori senza ausilio di gru per tratti accessibili;
- Giunzioni: realizzate per saldatura testa-testa con polifusore termoplastico (saldatrice idraulica o manuale per piccoli diametri) o per elettrofusione con manicotti, in funzione del diametro; per il De 160 PN25 la saldatura testa-testa richiede un polifusore semi-automatico alimentato a 220 V (gruppo elettrogeno portatile da 5-7 kVA) e tempi di ciclo di circa 30-45 minuti per giunzione (riscaldamento + raffreddamento controllato sotto pressione costante);
- Produttività attesa in zona impervia: 80-120 m/giorno per squadra (3 operatori + capo squadra), con tratti continui di posa di 50-100 m per ogni postazione di saldatura;
- Sensibilità alle condizioni meteo: la saldatura testa-testa richiede temperatura ambiente compresa tra +5 °C e +40 °C e assenza di precipitazioni o vento forte; in condizioni meteo avverse l'attività si arresta;
- Esecuzione in trincea stretta: il PE consente l'esecuzione delle saldature in superficie e il successivo varo della condotta saldata in trincea, mediante traslazione laterale o calata con funi, riducendo la larghezza di scavo necessaria;
- Curvabilità: il PE consente raggi di curvatura naturale $\geq 20\text{-}25\text{-}De$ ($\approx 3,2\text{-}4,0$ m per De 160) senza ricorso a pezzi speciali, vantaggio significativo nei tratti sinuosi tipici delle zone impervie.

8.3 Acciaio rivestito

- Fornitura: in barre rigide da 6 m o 12 m, di peso unitario per il DN 150 s 4,5 mm pari a circa 18,2 kg/m di acciaio nudo (≈ 218 kg/barra da 12 m), incrementato da circa 5-7 kg/m per il rivestimento cementizio interno (totale $\approx 24\text{-}26$ kg/m, ovvero 288-312 kg/barra); le barre più lunghe sono difficilmente movimentabili a mano e richiedono autogru o sollevatori telescopici;
- Giunzioni: saldatura elettrica testa-testa eseguita in opera da saldatori qualificati UNI EN ISO 9606-1, con elettrodi a basso idrogeno o procedimento TIG/MIG; tempi di ciclo della singola giunzione: preparazione cianfrino, allineamento centratore esterno, esecuzione passate (radice + riempimento + finitura), controllo radiografico/ultrasonoro a campione, ripristino del rivestimento esterno mediante fascia termorestringente, ripristino del rivestimento interno (per piccoli diametri spesso non realizzato, lasciando l'anello di acciaio nudo) – complessivamente 2-4 ore per giunzione, contro 30-45 min per il PE;
- Produttività attesa in zona impervia: 30-60 m/giorno per squadra (4-5 operatori incluso saldatore certificato), circa la metà rispetto al PE per via dei tempi di saldatura, della movimentazione del tubo e del numero superiore di giunzioni per unità di lunghezza (barre da 6-12 m anziché tratti continui);
- Sensibilità alle condizioni meteo: la saldatura ad arco elettrico richiede protezione assoluta dall'umidità (vento + pioggia) e necessita di tendostrutture mobili in caso di condizioni meteo non ottimali; le condizioni di umidità ambientale elevata possono compromettere la qualità della saldatura (porosità, cricche da idrogeno);
- Esecuzione in trincea stretta: la saldatura in opera dell'acciaio richiede spazio operativo per il saldatore ($\geq 0,8$ m attorno al tubo) e quindi scavi più larghi rispetto al PE, oppure esecuzione della saldatura in superficie con successiva calata, ma con difficoltà legate al peso e alla rigidità del tubo varato;
- Curvabilità: l'acciaio è praticamente non curvabile in opera; ogni cambio di direzione di entità rilevante richiede l'impiego di pezzi speciali (curve a raggio stretto, gomiti) saldati o flangiati, con incremento del numero di giunzioni e dei pezzi a magazzino;
- Accessibilità mezzi: la posa dell'acciaio richiede l'accesso al fronte di scavo di mezzi gru/escavatori di portata adeguata ($\geq 5\text{-}7$ t) per la movimentazione delle barre; nelle zone non accessibili a mezzi pesanti possono essere necessarie operazioni di posa a mano (con tronchetti più corti, 3-6 m) o l'uso di elicotteri

per il calo, soluzione adottata negli interventi montani in alta quota ma con costi e tempi sensibilmente superiori.

9.8.4 Stima dei tempi complessivi di posa per il Tratto A-B (2.534 m)

Parametro	PE100 De 160 PN25	Acciaio DN 150 s 4,5 mm
Lunghezza barra commerciale	12 m	6-12 m
Numero giunzioni totali (stima)	≈ 210 (barre da 12 m)	≈ 420 (barre da 6 m)
Tempo medio per giunzione	≈ 30-45 min	≈ 2-4 ore
Peso unitario [kg/m]	≈ 11,5	≈ 24-26 (con rivestimento)
Produttività attesa squadra [m/g]	80-120	30-60
Squadra tipo (n. operatori)	3 + capo squadra	4-5 + saldatore certificato
Durata stimata posa Tratto A-B	21-32 giorni lavorativi	42-85 giorni lavorativi
Sensibilità meteo	Media (sospensione con pioggia/vento)	Elevata (richiede tendostrutture)
Necessità mezzi di sollevamento	Limitata (movimentazione a mano fino a 12 m)	Frequente (autogru/teleescavatore)
Curvabilità senza pezzi speciali	≥ 25·De ≈ 4 m (favorevole)	Quasi nulla (richiede curve flangiate)
Larghezza scavo richiesta	Standard (saldatura fuori scavo)	Maggiore se saldatura in scavo

Nelle condizioni operative tipiche del Tratto A-B (versanti collinari del Cilento, viabilità rurale, accessi limitati), la soluzione in PE100 consente di completare la posa in tempi pari indicativamente alla metà di quelli richiesti dalla soluzione in acciaio, con minore impegno di squadre specializzate e minore dipendenza dalle condizioni meteorologiche. Per converso, la soluzione in acciaio richiede una pianificazione più rigida del cantiere, l'approvvigionamento di personale qualificato (saldatori certificati), l'organizzazione di un fronte di scavo più ampio e l'impiego di mezzi di sollevamento ad ogni postazione.

9.9. Cenni al confronto economico

Pur non costituendo oggetto specifico della richiesta, si forniscono alcune indicazioni economiche di massima per completezza istruttoria. I valori sono ricavati da prezzi regionali Campania 2025-2026 e da listini dei principali fornitori; la stima ha carattere indicativo e dovrà essere puntualizzata in fase di progettazione esecutiva con preventivi mirati.

Voce	PE100 De 160 PN25	Acciaio DN 150 rivestito
Costo fornitura tubazione [€/m]	28-35	55-75 (con rivestimenti)
Costo posa in opera incl. giunzioni [€/m]	15-25	35-55
Costo totale stimato fornitura+posa [€/m]	43-60	90-130
Estensione tratto A-B [m]	2.534	2.534
Costo totale tratto stimato [€]	110.000 - 152.000	228.000 - 330.000
Costo manutenzione annua atteso	Basso	Medio (ispezioni PC, rivestimenti)
Vita utile attesa	50 anni	70-100 anni
Costo equivalente annuo (CapEx amm.) [€/anno]	≈ 2.200-3.040	≈ 3.250-4.715

Pur tenendo conto della vita utile più lunga dell'acciaio, il costo equivalente annuo della soluzione metallica risulta superiore di circa il 50 % rispetto al PE, principalmente per il costo di approvvigionamento del tubo rivestito e per i maggiori oneri di posa (squadre più numerose e specializzate, mezzi di sollevamento, controllo qualità delle saldature). Tale differenziale può tuttavia essere parzialmente compensato in scenari specifici – come per il caso di tratti soggetti a sollecitazioni meccaniche elevate, attraversamenti aerei, presenza di idrocarburi nel terreno – in cui l'acciaio rappresenta l'unica scelta tecnicamente sostenibile.

9.10. Conclusioni

Sulla base del rifacimento del calcolo idraulico e dell'analisi comparativa sviluppata nei paragrafi precedenti, si formulano le seguenti conclusioni.

9.10.1 Esito della verifica idraulica con tubazione in acciaio

Il tratto A-B realizzato in tubazione di acciaio DN 150, De 168,3 mm, spessore 4,5 mm, con rivestimento interno in malta cementizia centrifugata ed esterno in 3LPE, risulta pienamente verificato sotto il profilo idraulico e strutturale. Il dimensionamento garantisce:

- perdite di carico totali pari a 10,6 m c.a., notevolmente inferiori a quelle della soluzione in PE100 De 160 PN25 (42,2 m c.a.) grazie al maggior diametro interno, ma con maggiore carico all'arrivo;
- velocità di esercizio (0,75 m/s) compresa nel range raccomandato dalla UNI EN 805 e superiore alla soglia di autopulizia (0,5 m/s);
- verifica al colpo d'ariete soddisfatta sia in condizione di manovra brusca ($P_{max} = 28,1 \text{ bar} < 58,8 \text{ bar}$ ammissibili del tubo, margine 52 %) sia in manovra lenta ($T = 60 \text{ s}$, $P_{max} = 19,4 \text{ bar}$);
- compatibilità piena con il sistema di protezione del transitorio idraulico previsto dal progetto base (valvole a chiusura lenta, valvola anti-colpo d'ariete, valvola di non ritorno, ventose, scarichi di fondo);
- incremento dell'energia da dissipare attraverso il riduttore di pressione da 13,6 a 16,7 bar, parametro che rafforza la raccomandazione, già presente nel progetto base, di valutare in fase esecutiva la doppia riduzione in serie o, preferibilmente, il recupero energetico mediante micro-turbinaggio (la potenza idraulica teorica del salto sale da circa 20 a circa 25 kW).

9.10.2 Valutazione conclusiva del confronto PE100 vs acciaio

Criterio	Soluzione migliore	Note
Prestazione idraulica	ACCIAIO	Perdite di carico 4 volte inferiori solo per maggiore diametro tubazione ma con maggiore carico a monte serbatoio e quindi diverso riduttore di pressione
Resistenza al colpo d'ariete	ACCIAIO	Margine di sicurezza molto superiore
Durabilità nel tempo	ACCIAIO	Vita utile 70-100 anni vs 50 anni
Sismicità e flessibilità	PE100	Migliore comportamento ai cedimenti
Compatibilità acque aggressive	PE100	Da verificare come per Alto Sele
Tempi di montaggio in zone impervie	PE100	Tempi quasi dimezzati
Costo di investimento (CapEx)	PE100	Circa la metà
Costi di esercizio (OpEx)	PE100	Sicuramente No protezione catodica, ispezioni minori
Conformità CAM/DNSH	EQUIVALENTI	Entrambi riciclabili

9.10.3 Valutazione finale

L'analisi comparativa restituisce un quadro articolato in cui ciascuna soluzione presenta vantaggi specifici. La tubazione in acciaio rivestita risulta tecnicamente superiore sotto i profili della prestazione idraulica, della resistenza al transitorio e della durabilità a lungo termine; per converso, la tubazione in polietilene PE100 PN25 risulta nettamente vantaggiosa nei tempi di realizzazione in zone impervie (riduzione del 40-50 % della durata di posa), nei costi di investimento (riduzione di circa il 50 %), nella minore esigenza di personale specializzato e mezzi pesanti, nella semplificazione gestionale del cantiere e nella conformità con la moderna prassi acquedottistica per condotte di adduzione di medio diametro su tracciati interrati extraurbani.

Tenuto conto delle specificità del contesto progettuale – tracciato collinare con viabilità rurale e accessibilità non sempre agevole, esigenza di contenere i tempi di esecuzione in coerenza con il cronoprogramma FESR, valutazioni economiche compatibili con il quadro finanziario, durata utile dell'opera ampiamente sufficiente alle finalità del servizio idrico – la scelta progettuale del PE100 De 160 PN25 adottata in sede di Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica può essere confermata in quanto da ritenere adeguata e proporzionata.

Si ritiene tuttavia che la soluzione in acciaio DN 150 possa essere giustificatamente adottata, in alternativa al PE100, qualora ricorra almeno una delle seguenti circostanze, da accertare in fase di progettazione esecutiva:

- presenza di attraversamenti aerei (ponti tubo, scavalchi di compluvi o fossi a portata significativa) in cui la rigidità dell'acciaio consenta di semplificare le opere portanti; **(Non è il nostro caso)**
- presenza di tratti con copertura inferiore al minimo prescritto (< 100 cm) in cui la resistenza meccanica del tubo metallico offra maggiori garanzie rispetto a sollecitazioni accidentali; **(Non è il nostro caso)**
- presenza accertata di siti contaminati da idrocarburi lungo il tracciato (es. vicinanza a stazioni di servizio dismesse, depositi agricoli), che renderebbero inadeguato il PE; **(Non è il nostro caso)**
- **volontà strategica della Stazione Appaltante di privilegiare la massima durabilità dell'opera (orizzonte 70-100 anni) accettando il maggior costo di investimento iniziale e la maggiore complessità di cantiere.**

Al di fuori di tali circostanze, la soluzione in PE100 PN25 dovrebbe preferirsi sul piano tecnico-economico complessivo per il contesto specifico del Tratto A-B.

CAPITOLO 10. APPENDICE – SCHEDA TECNICA SULLE TUBAZIONI IN ACCIAIO

10.1. Premessa

La presente nota tecnica è redatta a complemento della Relazione Integrativa sul Tratto A-B in acciaio rivestito (verifica idraulica e analisi comparativa pregi/svantaggi rispetto al PE100) e ha per oggetto un approfondimento sulle tipologie di tubazioni in acciaio attualmente disponibili sul mercato per l'impiego in opere acquedottistiche, sui rivestimenti interni ed esterni adottabili e sulla necessità o meno di sistemi di protezione catodica.

L'esposizione è organizzata in tre sezioni: (i) classificazione delle tubazioni per modalità di fabbricazione e qualità dell'acciaio, (ii) sistematica dei rivestimenti interni ed esterni con riferimento alle norme tecniche di prodotto, (iii) trattazione della protezione catodica con i criteri di valutazione della sua effettiva necessità, infine con applicazione specifica al Tratto A-B oggetto del progetto.

10.2. Tipologie di tubazioni in acciaio per acquedotti

10.2.1 Classificazione per modalità di fabbricazione

- **Acciaio senza saldatura (seamless):** conforme alla norma UNI EN 10216, ottenuto per laminazione a caldo da billette forate. È la tipologia di maggior costo e di prestazioni meccaniche più elevate, riservata a piccoli e medi diametri (fino a DN 300 ÷ 400) e ad applicazioni gravose, quali alte pressioni di esercizio, attraversamenti aerei o scavalchi con sollecitazioni dinamiche.
- **Acciaio saldato longitudinalmente per resistenza elettrica (ERW – Electric Resistance Welding):** conforme alle norme UNI EN 10217-1 o UNI EN 10224 (acquedotti); saldatura a induzione ad alta frequenza eseguita in continuo a partire da nastro laminato. È la tipologia più diffusa per condotte acquedottistiche di piccolo e medio diametro, indicativamente fino a DN 600.
- **Acciaio saldato longitudinalmente ad arco sommerso (LSAW – Longitudinal Submerged Arc Welding):** conforme a UNI EN 10224 ovvero API 5L; adatto a medi e grandi diametri (DN 400 ÷ 1.200) con spessori elevati; saldatura eseguita in stabilimento con doppia passata interna/esterna ad arco sommerso, con controllo radiografico al 100 %.
- **Acciaio saldato a spirale ad arco sommerso (SSAW o HSAW – Helical/Spiral Submerged Arc Welding):** conforme a UNI EN 10224; la saldatura elicoidale consente di ottenere grandi diametri (DN 500 ÷ 3.000) partendo da nastri di larghezza contenuta, con notevole economicità sui grandi sviluppi. È la soluzione tipica delle grandi adduttrici acquedottistiche storiche italiane.

10.2.2 Qualità degli acciai impiegati

Gli acciai impiegati per condotte acquedottistiche sono in prevalenza acciai non legati di tipo strutturale, classificati secondo la UNI EN 10025 e richiamati nelle norme di prodotto:

- **Acciai strutturali:** S195T, S235JR, L235, L275, L355 (UNI EN 10224 per acquedotti), con tensioni di snervamento da 195 a 355 N/mm²; sono gli acciai correntemente impiegati per la stragrande maggioranza delle adduttrici acquedottistiche italiane.
- **Acciai di qualità API:** X42, X52, X60, X65 (API 5L), nati per gli oleodotti e gasdotti ma talvolta impiegati per acquedotti di grandi dimensioni o in alta pressione; tensioni di snervamento da 290 a 450 N/mm².

10.3. Rivestimenti interni ed esterni

La protezione delle tubazioni in acciaio dalla corrosione interna (dovuta al fluido convogliato) e dalla corrosione esterna (dovuta al terreno o all'atmosfera) è affidata in primo luogo ai rivestimenti, applicati in stabilimento o in opera. La trattazione che segue distingue i rivestimenti interni, che devono essere idonei al contatto con acqua destinata al consumo umano (D.M. 174/2004), dai rivestimenti esterni, dimensionati in funzione dell'aggressività dell'ambiente di posa.

10.3.1 Rivestimenti interni

- **Malta cementizia centrifugata:** conforme UNI EN 10298; applicata in stabilimento per centrifugazione, con spessore variabile da 4 a 12 mm in funzione del diametro nominale. È il rivestimento più diffuso negli acquedotti italiani; garantisce non solo protezione meccanica ma anche passivazione attiva dell'acciaio per effetto dell'alcalinità della malta (pH > 12). Riduce sensibilmente la scabrezza interna nel tempo grazie a fenomeni di levigatura naturale (smoothing).
- **Resina epossidica liquida (Fusion Bonded Epoxy – FBE):** conforme UNI EN 10301; applicata a spruzzo elettrostatico con spessore tipico di 250 ÷ 500 µm; idonea al contatto con acqua potabile. Soluzione adatta ai piccoli diametri o nei casi in cui sia necessario contenere il peso del tubo evitando l'aggravio della malta cementizia.
- **Polietilene applicato a polvere fluidificata o estruso:** diffuso soprattutto nelle reti gas, di impiego più raro negli acquedotti; richiede certificazione specifica al contatto con acqua potabile.
- **Poliuretano alimentare:** conforme UNI EN 10290 per la versione esterna, con varianti specificamente certificate per applicazione interna; spessore 0,8 ÷ 2 mm; offre ottime prestazioni meccaniche e di resistenza chimica. Idoneità al contatto con acqua potabile da verificare puntualmente per ciascun prodotto commerciale.
- **Acciaio nudo o zincato a caldo:** soluzione di tipo storico, ancora accettabile in tubazioni di piccolo diametro per servizi accessori (camere di manovra, scarichi, by-pass) ma sconsigliata per condotte adduttrici di nuova posa, in quanto non garantisce la conformità alla buona pratica acquedottistica corrente e può non assicurare i requisiti del D.M. 174/2004.

10.3.2 Rivestimenti esterni

- **Polietilene estruso a triplo strato (3LPE):** conforme UNI EN 10288; sistema multistrato costituito da primer epossidico aderente al metallo, adesivo copolimero intermedio e strato esterno di polietilene estruso; spessore complessivo 2,0 ÷ 3,5 mm. È il rivestimento standard per acquedotti interrati extraurbani per le sue elevate prestazioni di tenuta e durabilità.
- **Polipropilene a triplo strato (3LPP):** conforme UNI EN ISO 21809-1; analogo al 3LPE ma con maggior resistenza termica e meccanica; idoneo per profondità di posa elevate, terreni rocciosi o tracciati con potenziali sollecitazioni da carichi esterni elevati. Costo superiore al 3LPE.
- **Poliuretano (PUR), espanso o compatto:** conforme UNI EN 10290; spessore 1,5 ÷ 3 mm; offre ottima resistenza meccanica e all'abrasione, particolarmente adatto per posa in trincea rocciosa o con trivellazione orizzontale controllata (TOC, sistemi no-dig).
- **Resine epossidiche bituminose o catrame-epossi:** soluzione tradizionale ormai in disuso, sostituita dai sistemi a base polietilenica e polipropilenica con prestazioni superiori e minor impatto ambientale.
- **Zincatura a caldo:** conforme UNI EN ISO 1461; impiegata principalmente per tubazioni di piccolo diametro destinate a installazione fuori terra (camere di manovra, attraversamenti aerei di breve sviluppo). Non sufficiente come unica protezione per posa interrata, richiede integrazione con vernici.
- **Vernici alchidiche o epossidiche-bituminose:** applicate solo per tratti a vista (camere di manovra, ponti tubo) in combinazione con la zincatura.
- **Nastri bituminosi a freddo:** conformi UNI EN 12068; non costituiscono rivestimento di base ma sistema di ripristino in opera dei rivestimenti su saldature e raccordi; oggi affiancati e progressivamente sostituiti dalle più performanti fasce termorestringenti (heat-shrink sleeves).

10.3.3 Quadro sinottico dei rivestimenti

Rivestimento	Norma di riferimento	Spessore tipico	Campo di impiego
INTERNI			
Malta cementizia centrifugata	UNI EN 10298	4 – 12 mm	Standard acquedotti italiani
Resina epossidica (FBE)	UNI EN 10301	250 – 500 µm	Piccoli diametri, peso contenuto
Poliuretano alimentare	UNI EN 10290 (var.)	0,8 – 2 mm	Elevate prestazioni meccaniche
Polietilene polvere/estruso	varie	0,5 – 2 mm	Più tipico reti gas
Acciaio nudo / zincato	EN ISO 1461	–	Solo servizi accessori
ESTERNI			
Polietilene 3LPE	UNI EN 10288	2,0 – 3,5 mm	Standard acquedotti interrati
Polipropilene 3LPP	UNI EN ISO 21809-1	2,0 – 4,0 mm	Posa profonda, terreni rocciosi
Poliuretano (PUR)	UNI EN 10290	1,5 – 3 mm	Roccia, TOC, no-dig
Epossi-bituminoso catrame /	(in disuso)	3 – 5 mm	Tradizionale, oggi superato
Zincatura + vernici	EN ISO 1461	70 – 150 µm	Posa fuori terra
Fasce termorestringenti	UNI EN 12068	variabile	Ripristino su saldature

10.4. Protezione catodica: necessità e criteri di valutazione

10.4.1 Principio generale e quadro normativo

La normativa di riferimento per la protezione catodica di strutture metalliche interrate o immerse è la UNI EN 12954, integrata dalla UNI EN 14505 per le strutture complesse e dalle norme specifiche di settore (UNI 10835 per i sistemi a corrente impressa, UNI 9783 per quelli ad anodi galvanici).

Il principio cardine è che il rivestimento esterno costituisce la protezione passiva (prima barriera meccanica e chimica contro la corrosione), mentre la protezione catodica rappresenta la protezione attiva (seconda barriera, di natura elettrochimica, che interviene laddove il rivestimento risulti discontinuo o danneggiato). I due sistemi sono complementari, non alternativi: anche il miglior rivestimento può presentare piccoli difetti puntuali (holidays) in corrispondenza dei quali, in assenza di protezione attiva, la corrosione si concentra rapidamente con velocità molto superiori a quelle di un'eventuale corrosione diffusa su acciaio nudo.

10.4.2 Quando la protezione catodica è obbligatoria o fortemente raccomandata

- **Acciaio nudo o con rivestimenti tradizionali a bassa efficacia:** tubazioni interrate prive di rivestimento moderno o con vecchio rivestimento bituminoso degradato; la protezione catodica è obbligatoria in quanto unica barriera disponibile.
- **Terreni a bassa resistività elettrica:** resistività < 50 Ω·m, tipica di argille umide, terreni salini, terreni di riporto eterogenei o organici (torbe); la PC è fortemente raccomandata anche con rivestimento integro.
- **Presenza di correnti vaganti telluriche:** tracciati con vicinanza a linee ferroviarie a trazione elettrica in corrente continua (RFI, metropolitane, tranvie urbane), oleodotti o gasdotti adiacenti, impianti industriali con grossi assorbimenti elettrici, parchi fotovoltaici di grandi dimensioni con dispersori a terra; in questi casi la PC è obbligatoria, prevalentemente nella forma a corrente impressa.
- **Ambiente marino o salmastro:** tubazioni in prossimità del mare, in aree con falde salate o in attraversamenti sub-acquei marini; la PC è sempre obbligatoria.
- **Grandi adduttrici di importanza strategica:** indipendentemente dalle condizioni del terreno, le grandi adduttrici acquedottistiche dorsali sono di norma dotate di PC per scelta gestionale, in quanto qualsiasi fuori servizio comporta conseguenze rilevanti per la collettività servita.

4.3 Quando la protezione catodica può essere omessa o rinviata

- **Rivestimento esterno moderno integro:** tubazioni con rivestimento 3LPE, 3LPP o PUR di nuova posa, in terreni a media-alta resistività (> 100 Ω·m: terreni asciutti, sabbiosi, ghiaiosi) e lontani da fonti di correnti vaganti significative; in queste condizioni la protezione passiva è di norma sufficiente per i primi 15 ÷ 25 anni di vita utile.

- **Tubazioni di breve sviluppo:** sviluppi inferiori a circa 500 m in condizioni di terreno favorevoli, per i quali l'investimento di un sistema PC dedicato non è economicamente giustificato.
- **Tubazioni di piccolo diametro:** $DN \leq 100$, per le quali la prassi gestionale privilegia, alla fine della vita utile, la sostituzione integrale rispetto alla manutenzione di un sistema attivo.

10.4.4 Tipologie di sistemi di protezione catodica

- **Protezione ad anodi sacrificali (galvanici):** impianto semplice e autonomo, costituito da anodi in zinco o magnesio (più raramente alluminio) collegati elettricamente alla condotta tramite cavo isolato; non richiede alimentazione esterna; durata degli anodi $10 \div 15$ anni con sostituzione programmata. Idoneo per strutture di piccole-medie dimensioni o per integrazione locale di sistemi a corrente impressa.
- **Protezione a corrente impressa:** impianto attivo costituito da un generatore di tensione a corrente continua (alimentazione di rete o fotovoltaica) e da una serie di anodi inerti (ferro-silicio, titanio attivato, grafite) interrati a distanza dalla tubazione; richiede monitoraggio periodico dei potenziali di interfaccia tubo-terreno tramite postazioni di misura dedicate; idoneo per strutture estese e/o in presenza di correnti vaganti telluriche.

5. Applicazione al Tratto A-B di Montecorice

Nel caso specifico del Tratto A-B, qualora si scegliesse la soluzione in acciaio DN 150 rivestito 3LPE in luogo del PE100 PN25 previsto in progetto, valgono le seguenti considerazioni sul fabbisogno di protezione catodica.

10.5.1 Inquadramento del contesto

- Tracciato collinare nel Cilento interno (Comune di Montecorice), in prevalenza in terreni argilloso-sabbiosi di copertura su substrato flyschoidi;
- Assenza, lungo lo sviluppo della condotta, di linee ferroviarie elettrificate, oleodotti, gasdotti di trasporto in alta pressione o altre infrastrutture potenzialmente generatrici di correnti vaganti telluriche significative;
- Distanza apprezzabile dalla costa, con terreni presumibilmente a media-alta resistività salvo locali fasce alluvionali di compluvi minori;
- Sviluppo della condotta di 2.534 m, intermedio tra le "brevi tratte" (esonero PC) e i grandi sviluppi strategici (PC sempre raccomandata);
- Adduttrice Alto Sele DN 350 esistente in acciaio, da cui il Tratto A-B viene derivato, gestita da ASIS Salernitana Reti ed Impianti SpA con risultanze manutentive sostanzialmente favorevoli che suggeriscono come, nel contesto territoriale di riferimento, le condotte metalliche in acciaio rivestito ben posato si dimostrino durevoli anche in assenza di sistemi PC attivi.

10.5.2 Conclusione operativa

Sulla base di tali considerazioni, nel caso specifico la protezione catodica non risulta strettamente obbligatoria nei primi anni di vita dell'opera. Si raccomanda tuttavia di adottare le seguenti misure precauzionali in fase di progettazione esecutiva e di posa, finalizzate a garantire la durabilità dell'opera e a consentire l'eventuale installazione successiva di un sistema PC qualora ne emerga la necessità in fase di esercizio:

- **Studio dell'aggressività del suolo:** rilievo della resistività elettrica del terreno con metodo Wenner ad ogni cambio significativo di formazione geologica lungo il tracciato; analisi chimica del terreno per la determinazione del contenuto di solfati, cloruri, pH e umidità. I risultati consentiranno di confermare o smentire l'ipotesi di terreni a media-alta resistività e di dimensionare l'eventuale sistema PC.
- **Predisposizione di postazioni di misura del potenziale:** installazione di boccole di prelievo (postazioni di misura passive) ogni $300 \div 500$ m e in corrispondenza dei pozzetti di manovra, per consentire il monitoraggio periodico del potenziale tubo-terreno anche in assenza di un sistema PC attivo. Il monitoraggio biennale o quinquennale permetterà di intercettare tempestivamente eventuali fenomeni di corrosione attiva e di programmare un intervento di PC quando necessario.
- **Predisposizione di giunti isolanti:** installazione di giunti isolanti dielettrici (flange isolate) alle estremità della condotta, in particolare in corrispondenza dei pozzetti di interconnessione con la rete Alto Sele a monte e con la camera di manovra del serbatoio San Donato a valle; tale predisposizione consentirà, qualora si renda necessario, l'installazione successiva di un sistema PC ad anodi sacrificali dedicato senza interventi strutturali sulla rete esistente.
- **Massima cura della qualità della posa e dei ripristini:** il rivestimento integro è la prima e più importante protezione. In particolare si raccomanda l'impiego di fasce termorestringenti certificate UNI EN 12068 per il ripristino dei rivestimenti sulle saldature in opera, in luogo dei tradizionali nastri bituminosi a freddo; esecuzione di test di tenuta dielettrica del rivestimento esterno (jeeping test ad alta tensione, $15 \div 25$ kV) su tutta la condotta prima del rinterro, con riparazione puntuale degli holidays eventualmente rilevati.
- **Controllo della qualità delle saldature:** esecuzione di prove non distruttive (controllo radiografico o ultrasonoro) su un campione significativo delle saldature di linea, in conformità ai criteri di accettazione

UNI EN ISO 5817; rilascio della documentazione di qualifica dei saldatori (UNI EN ISO 9606-1) e delle procedure di saldatura (UNI EN ISO 15614-1).

10.5.3 Sintesi

In definitiva, qualora si decidesse di utilizzare una condotta in acciaio rivestito la scelta di omettere il sistema di protezione catodica attivo in fase di posa del Tratto A-B è tecnicamente sostenibile e coerente con la prassi acquedottistica del contesto cilentano, a condizione che:

- le indagini preliminari sul terreno confermino l'assenza di condizioni critiche (resistività < 50 $\Omega \cdot m$, correnti vaganti significative);
- la qualità della posa e dei rivestimenti sia rigorosamente controllata in cantiere mediante jeeping test e prove non distruttive sulle saldature;
- siano predisposti gli accessori (giunti isolanti, postazioni di misura) per consentire l'installazione successiva di un sistema PC qualora il monitoraggio in esercizio ne rilevi la necessità;
- sia formalizzato un piano di manutenzione e monitoraggio periodico, integrato nel sistema gestionale del Concessionario del servizio idrico.

Resta inteso che, in presenza di evidenze contrarie emergenti dalle indagini preliminari (terreni aggressivi, presenza inattesa di correnti vaganti) o di scelte strategiche della Stazione Appaltante orientate alla massima sicurezza gestionale, l'installazione di un sistema PC ad anodi sacrificali in zinco o magnesio – con costo aggiuntivo dell'ordine di 5 ÷ 15 €/m di tubazione – rappresenta una soluzione tecnicamente semplice e di provata efficacia.

La presente nota tecnica è parte integrante della documentazione progettuale del Tratto A-B ed è da intendersi a complemento della Relazione Specialistica e della precedente Relazione Integrativa sulla verifica con tubazione in acciaio rivestita.

CAPITOLO 11. APPENDICE – SCHEDA TECNICA SULLE TUBAZIONI IN POLIETILENE PN 16 E PN 25

11.1. Oggetto e campo di applicazione

La presente scheda definisce le caratteristiche prestazionali, dimensionali e di posa delle tubazioni in polietilene ad alta densità della classe PE 100, nelle serie di pressione PN 16 (SDR 11) e PN 25 (SDR 7,4), destinate al trasporto in pressione di acqua destinata al consumo umano nell'ambito delle reti di adduzione e distribuzione idrica del progetto. I materiali dovranno essere conformi alle norme e ai requisiti di seguito richiamati e idonei al contatto con acqua potabile.

11.2. Riferimenti normativi

- **UNI EN 12201-1/2/3/5** — Sistemi di tubazioni di materia plastica per la distribuzione dell'acqua destinata al consumo umano e per lo scarico e la fognatura in pressione — Polietilene (PE);
- **UNI EN 13244** — Sistemi di tubazioni interrate e fuori terra, per applicazioni in pressione per usi generici, fognatura e scarico — Polietilene (PE);
- **UNI EN ISO 12162** — Classificazione e designazione dei materiali termoplastici in relazione alla resistenza minima richiesta (MRS);
- **UNI EN 805** — Approvvigionamento di acqua: requisiti per sistemi e componenti esterni (prove e collaudi in pressione);
- **UNI 10910 / UNI ENV 1046 / UNI 11149** — Istruzioni per la posa e la movimentazione;
- **D.M. 6 aprile 2004, n. 174** — Regolamento sui materiali e oggetti a contatto con le acque destinate al consumo umano.

11.3. Caratteristiche del materiale (PE 100)

Il polietilene PE 100 è caratterizzato da una resistenza minima richiesta (MRS) pari a 10,0 MPa, riferita a una vita utile di 50 anni alla temperatura di 20 °C. Assumendo un coefficiente di sicurezza minimo $C = 1,25$, lo sforzo di

progetto σ_s risulta pari a 8,0 MPa. Le principali proprietà fisico-meccaniche del compound sono riportate nella tabella seguente.

Proprietà	Valore	Unità
Massa volumica (23 °C)	≥ 930 (compound ≈ 960)	kg/m ³
Classificazione (MRS)	PE 100 – MRS 10,0	MPa
Sforzo di progetto σ_s (acqua, C = 1,25)	8,0	MPa
Indice di fluidità MFR (190 °C / 5 kg)	0,2 ÷ 1,4	g/10 min
Modulo elastico (flessione, breve termine)	≈ 1.100	MPa
Modulo di scorrimento (50 anni)	$\approx 150 \div 200$	MPa
Carico di snervamento a trazione	≥ 20	MPa
Allungamento a rottura	≥ 350	%
Coeff. di dilatazione termica lineare	$\approx 0,18$ ($1,8 \cdot 10^{-4}$)	mm/(m·°C)
Conducibilità termica (20 °C)	$\approx 0,40$	W/(m·K)
Rugosità assoluta ϵ (Colebrook-White)	0,007 ÷ 0,010	mm
Temperatura di esercizio (acqua)	0 ÷ 40	°C
Vita utile di progetto (20 °C)	≥ 50	anni
Reazione al fuoco	Classe E	EN 13501-1

Tab. 1 — Proprietà caratteristiche del materiale PE 100 (valori indicativi di riferimento).

11.4. Designazione, serie di pressione e SDR

La pressione nominale **PN** (pressione massima di esercizio ammissibile per acqua a 20 °C) è legata al rapporto dimensionale standard **SDR** = d_e / s e allo sforzo di progetto dalla relazione $PN = 20 \cdot \sigma_s / (SDR - 1)$. Per il PE 100 ($\sigma_s = 8,0$ MPa) si ottengono le corrispondenze seguenti.

Serie di pressione	SDR	Serie S	Spessore relativo
PN 16	SDR 11	S 5	$s = d_e / 11$
PN 25	SDR 7,4	S 3,2	$s = d_e / 7,4$

Tab. 2 — Corrispondenza PN / SDR / serie S per PE 100 (acqua, C = 1,25).

11.5. Caratteristiche dimensionali

Gli spessori nominali (minimi) e i diametri interni teorici delle tubazioni sono riportati nelle tabelle seguenti, distinte per serie di pressione. Le tolleranze sullo spessore sono positive secondo il prospetto della UNI EN 12201-2; il diametro interno D_i è calcolato come $d_e - 2 \cdot s$ ai fini del dimensionamento idraulico.

5.1 Serie PN 16 (SDR 11)

DN esterno d_e (mm)	Spessore s (mm)	DN interno D_i (mm)
63	5,8	51,4
75	6,8	61,4
90	8,2	73,6
110	10,0	90,0
125	11,4	102,2
140	12,7	114,6
160	14,6	130,8
180	16,4	147,2
200	18,2	163,6
225	20,5	184,0
250	22,7	204,6

DN esterno d_e (mm)	Spessore s (mm)	DN interno D_i (mm)
280	25,4	229,2
315	28,6	257,8
355	32,2	290,6
400	36,3	327,4

Tab. 3 — Tubazioni PE 100 PN 16 / SDR 11 (UNI EN 12201-2).

11.5.2 Serie PN 25 (SDR 7,4)

DN esterno d_e (mm)	Spessore s (mm)	DN interno D_i (mm)
63	8,6	45,8
75	10,3	54,4
90	12,3	65,4
110	15,1	79,8
125	17,1	90,8
140	19,2	101,6
160	21,9	116,2
180	24,6	130,8
200	27,4	145,2
225	30,8	163,4
250	34,2	181,6
280	38,3	203,4
315	43,1	228,8

Tab. 4 — Tubazioni PE 100 PN 25 / SDR 7,4 (UNI EN 12201-2).

11.6. Caratteristiche idrauliche

La superficie interna liscia del polietilene assicura ridotte perdite di carico e assenza di incrostazioni nel tempo. Ai fini del dimensionamento si assume una rugosità assoluta ϵ compresa tra 0,007 e 0,010 mm (formula di Colebrook-White), corrispondente a un coefficiente di Gauckler-Strickler K_s dell'ordine di $120 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Il materiale è inerte, resistente alla corrosione e alle correnti vaganti, e presenta elevata resistenza all'abrasione e agli urti anche a basse temperature.

11.7. Marcatura

Ogni tubazione dovrà riportare, in modo indelebile e a intervalli non superiori a 1 m, almeno le seguenti indicazioni:

- nome o marchio del produttore e stabilimento di produzione;
- dimensione nominale $d_e \times s$ e rapporto SDR;
- materiale e classe (**PE 100**) e pressione nominale (PN 16 / PN 25);
- norma di riferimento (EN 12201) e idoneità al contatto con acqua potabile;
- data/turno di produzione, numero di lotto e marchio di conformità di prodotto (es. IIP-UNI o equivalente).

11.8. Giunzioni e raccordi

Le giunzioni dovranno garantire tenuta e resistenza meccanica pari a quelle della tubazione. Sono ammesse:

- **saldatura testa a testa (per fusione)** per diametri $d_e \geq 63$ mm, con parametri controllati di temperatura, pressione e tempo;
- **elettrofusione** mediante raccordi elettrosaldabili, per diametri correnti e per collegamenti in spazi ridotti;

- **raccordi meccanici a compressione** per i piccoli diametri e i collegamenti provvisori;
- **giunzioni flangiate** (cartella + anello premiflangia) per il collegamento a valvole, pezzi speciali e apparecchiature.

I raccordi e i pezzi speciali dovranno essere in PE 100 conformi alla UNI EN 12201-3 o in ghisa/acciaio idonei, con la medesima o superiore classe di pressione.

11.9. Trasporto, movimentazione e stoccaggio

Le tubazioni dovranno essere protette dall'esposizione prolungata ai raggi UV in fase di stoccaggio, movimentate senza trascinamento e senza urti che possano provocare intagli o rigature superiori al 10% dello spessore. Le barre e le bobine saranno accatastate su superfici piane e prive di spigoli, con altezze di impilamento contenute.

11.10. Posa in opera

- letto di posa in sabbia o materiale fine, di spessore minimo 10÷15 cm, adeguatamente compattato;
- rinfiando e primo ricoprimento in materiale fine fino ad almeno 15 cm sopra la generatrice superiore del tubo;
- posa del nastro segnalatore e del filo/rete di tracciamento (tubazione non metallica);
- raggio minimo di curvatura a freddo indicativamente pari a $20 \div 25 \cdot d_e$ (a 20 °C);
- profondità di posa e franco dal gelo secondo le condizioni locali (di norma $\geq 1,00$ m sulla generatrice superiore).

11.11. Prove e collaudi

La rete dovrà essere sottoposta a prova di tenuta idraulica in pressione secondo la UNI EN 805, con pressione di prova STP determinata in funzione della pressione massima di progetto (MDP), previa fase di stabilizzazione. Dovranno essere prodotti i certificati di prodotto (marcatura, dichiarazione di prestazione) e i verbali delle prove di collaudo in pressione, di eventuale disinfezione e di lavaggio della condotta prima della messa in esercizio.

11.12. Idoneità igienico-sanitaria

Le tubazioni, i raccordi e i materiali di giunzione a contatto con l'acqua destinata al consumo umano dovranno essere conformi al D.M. 174/2004 e alle prescrizioni vigenti in materia, non cedendo sostanze in quantità tali da compromettere i requisiti di potabilità né alterare le caratteristiche organolettiche dell'acqua.