

Paper n° 28**Riabilitazione avanzata di condotte idriche: sinergia tra C.I.P.P. e Hose-lining a Capodacqua per Valle Umbra Servizi**

Ing. Arnold Cekodhima¹, Ing. Giancarlo Piccirillo², Ing. Alberto Giovannini

¹ Danphix S.p.A. – CEO – Reggio Emilia, Italia

² Valle Umbra Servizi S.p.A. – Direttore Tecnico – Spoleto (PG), Italia

³ G&V Ingegneri Associati srl – Socio - Venezia, Italia

1. INTRODUZIONE

La presente pubblicazione descrive il progetto di riabilitazione straordinaria delle condotte di adduzione e di scarico della sorgente di Capodacqua, localizzata nel comune di Foligno, provincia di Perugia. L'intervento è stato promosso e commissionato da Valle Umbra Servizi S.p.A., gestore del servizio idrico integrato nei comuni delle aree folignate, spoletine e della Valnerina e progettato dall'Ing. Alberto Giovannini, G&V Ingegneri Associati con l'obiettivo primario di ripristinare la funzionalità e garantire la continuità del servizio idrico alla comunità locale.

La condotta di adduzione DN350 e quella di scarico DN500 presentavano criticità strutturali e funzionali che rendevano urgente un intervento risolutivo. In particolare, la condotta di adduzione risultava inutilizzabile a seguito del collasso di un precedente liner CIPP, causando l'interruzione del flusso gravitazionale e costringendo ad adottare un costoso sistema provvisorio di pompaggio elettrico.

Per risolvere tali problematiche, è stato adottato un approccio innovativo basato sulla combinazione delle tecnologie trenchless: il sistema CIPP UV per il risanamento strutturale della condotta esistente e il sistema Hose Lining Primus Line per il ripristino e il miglioramento delle prestazioni idrauliche. Tale approccio ha consentito di evitare interventi invasivi con scavi aperti, salvaguardando il contesto ambientale e storico dell'area.

2. INQUADRAMENTO GENERALE**2.1. Territoriale**

La frazione di Capodacqua si trova nel comune di Foligno, in provincia di Perugia, ed è parte della Circoscrizione denominata "San Giovanni Profiamma - Belfiore - Vescia - Capodacqua - Pontecentesimo". La zona oggetto dell'intervento ricopre un'area prevalentemente residenziale e agricola, compresa tra le quote altimetriche di +392.40 m s.l.m. (presso il manufatto di presa della sorgente) e +380.36 m s.l.m. (punto di raccordo con la condotta esistente). Le opere progettate coinvolgono indirettamente la viabilità locale, in particolare la Strada Comunale di Capodacqua, Via Fiorenzuola e la Strada Comunale di San Nicolò, senza tuttavia comportare manomissioni rilevanti della viabilità e riducendo così al minimo i disagi per la comunità.

2.2. Geologico e Geomorfologico

L'area di intervento è inserita nel contesto della Valle Umbra, una valle intramontana che si estende prevalentemente in direzione est-ovest. Dal punto di vista morfologico, il territorio è caratterizzato da lievi pendenze nella zona di fondovalle, delimitata da versanti con conoidi detritiche e depositi colluviali. Geologicamente, l'area presenta depositi alluvionali risalenti al Quaternario, costituiti da materiali grossolani e sottili, sovrapposti a substrati di origine calcareo-marnosa appartenenti alla serie Umbro-Marchigiana, in particolare la Scaglia Rossa e il Bisciaro. Tale conformazione geologica e geomorfologica non evidenzia fenomeni di dissesto idrogeologico significativi, grazie anche alla presenza di corsi d'acqua canalizzati artificialmente.

2.3. Idrogeologico

La sorgente di Capodacqua è alimentata principalmente dai rilievi di Monte Burano e Monte D'Afrile, con un acquifero di tipo calcareo fratturato appartenente alla Scaglia Rossa. L'estensione del bacino idrologico associato alla sorgente è

stimata intorno ai 10 km². Le acque emergono dalla falda freatica superficiale presente nei depositi alluvionali, confluendo nel Rio di Capodacqua, che rappresenta il principale reticolo idrografico locale e che infine sfocia nel fiume Topino. Tale sorgente rappresenta una fondamentale risorsa idrica per la città di Foligno e per le aree circostanti, rendendo prioritario garantire il corretto funzionamento delle infrastrutture idriche associate.

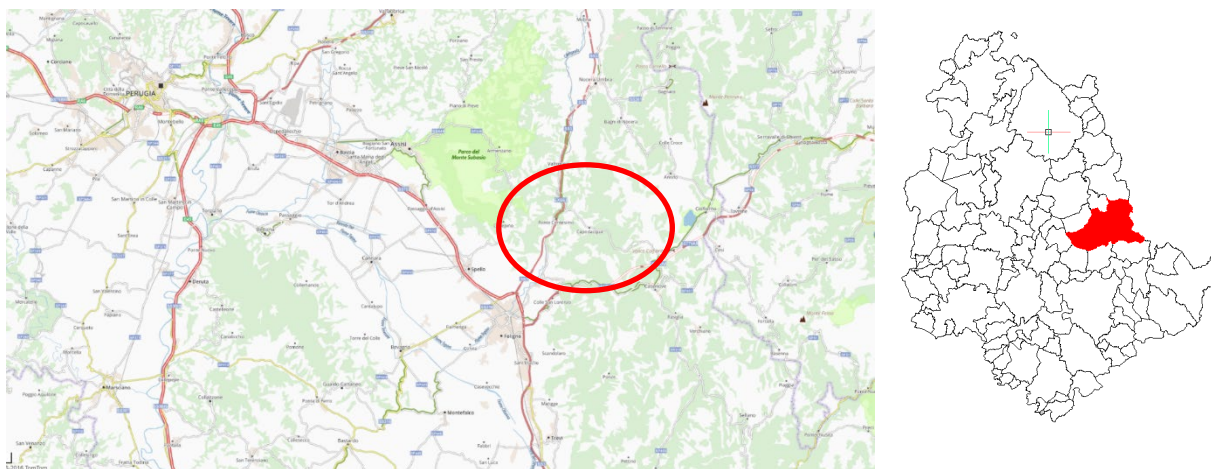


Figura 1: Inquadramento dell'area di intervento

3. STATO DI FATTO DELLE INFRASTRUTTURE

L'analisi dello stato di fatto delle infrastrutture esistenti ha evidenziato criticità che hanno richiesto l'adozione di una soluzione tecnologica avanzata e non invasiva. L'intervento ha interessato principalmente due tratti fondamentali: la condotta di adduzione DN350 e la condotta di scarico DN500, entrambi strategici per la funzionalità dell'acquedotto.

3.1. Condotta di Adduzione DN 350

La condotta di adduzione, originariamente realizzata in cemento amianto, ha origine dal manufatto di presa e si sviluppa per circa 215 metri ad una profondità di circa 9,60 metri fino al pozzetto "P4", dove si attesta a una profondità di circa 3 metri dal piano campagna. Successivamente, prosegue per altri 360 metri attraversando il centro abitato della frazione di Capodacqua, fino a raggiungere la periferia ovest. La condotta risultava completamente fuori esercizio a causa del collasso del liner CIPP installato in un precedente intervento di risanamento. Il collasso del liner ha causato l'ostruzione totale del passaggio dell'acqua, compromettendo gravemente la funzionalità dell'acquedotto e rendendo necessario il ricorso ad un impianto provvisorio di sollevamento, con evidenti aggravi in termini di costi energetici e di gestione.

Il ripristino della funzionalità di questo tratto era quindi prioritario per ristabilire il regime di adduzione a gravità, ottimizzando l'efficienza dell'intero sistema.



Figura 2: Liner CIPP DN350 collassato

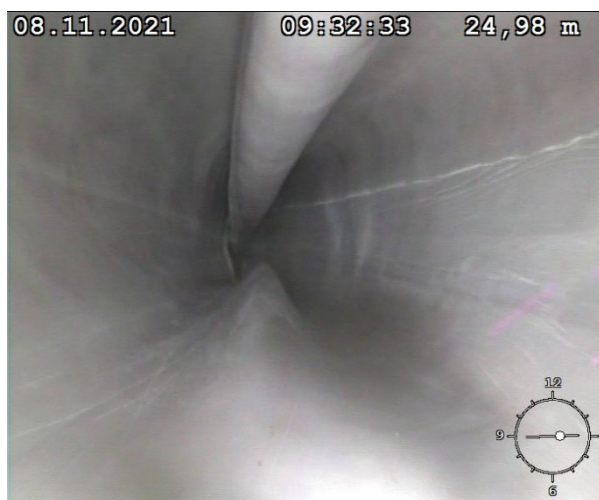


Figura 3: Liner CIPP DN350 collassato visto dall'interno

3.2. Condotta di Scarico DN 500

La condotta di scarico, in cemento, si sviluppa dal fondo della vasca di accumulo dell'edificio di presa fino al Rio Roveggiano. Presenta una sezione variabile tra forma circolare e ovoidale, e lungo il suo sviluppo sono state riscontrate diverse criticità:

- Ostruzioni parziali e totali causate da accumuli di materiale vegetale.
- Deformazioni e discontinuità localizzate, specialmente nei punti di giunzione.
- Infiltrazioni e danni strutturali dovuti alla pressione esercitata dalle radici degli alberi e dai carichi sovrastanti.

La presenza di tali ostruzioni e danni strutturali ha compromesso la piena funzionalità della linea di scarico, rendendo necessarie operazioni preliminari di pulizia approfondita e successivi interventi di risanamento strutturale, garantendo così la continuità e la sicurezza dello smaltimento delle acque.



Figura 4: Stato di fatto tubazione di scarico DN500



Figura 5: Stato di fatto tubazione di scarico DN500

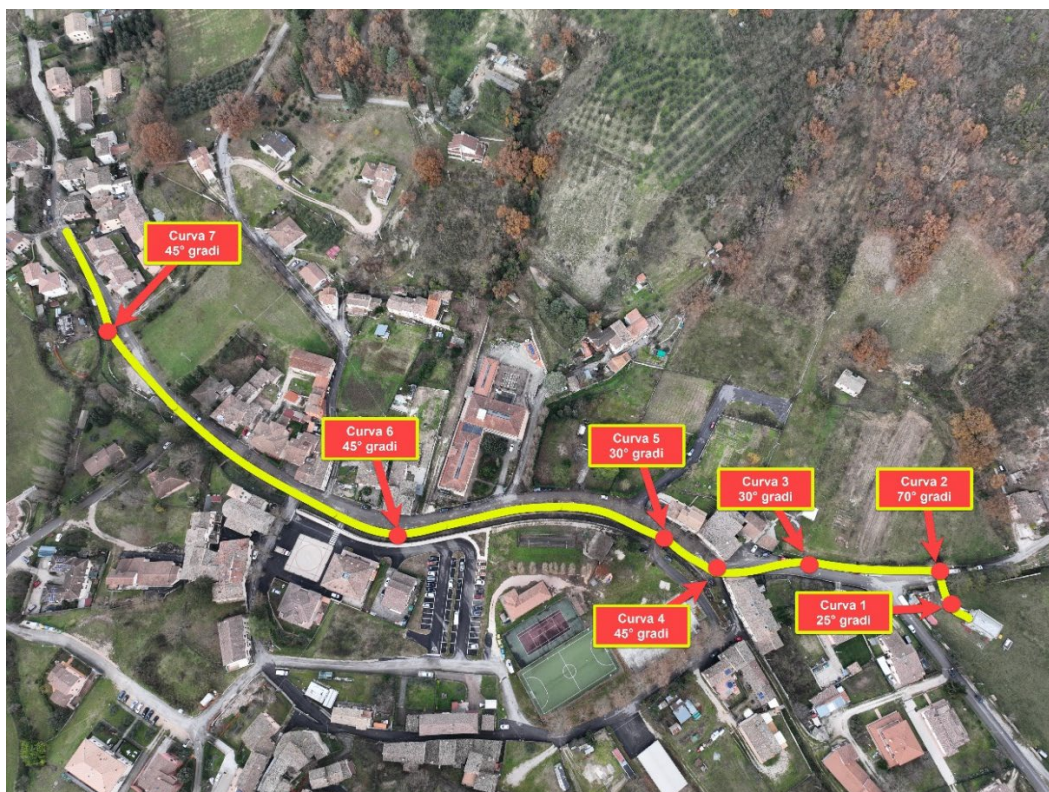


Figura 6: Linea condotte di adduzione e scarico con elencate il numero e la tipologia di curve presenti

3.3. Manufatto di Presa e Impianto di Sollevamento Provvisorio

Il manufatto di presa, un edificio storico realizzato negli anni '30, si presentava in buone condizioni strutturali. Tuttavia, l'interruzione della condotta di adduzione ha reso necessario l'allestimento di un impianto di sollevamento provvisorio composto da cinque elettropompe sommergibili, installate all'interno della vasca di accumulo. Le caratteristiche tecniche principali delle pompe erano:

- Portata nominale di 30 l/s per ciascuna pompa.
- Prevalenza totale di 11 metri.
- Rendimento del 72,1%.
- Potenza assorbita pari a 4,47 kW.

Questo sistema provvisorio ha consentito di mantenere il servizio di approvvigionamento idrico alla città di Foligno durante il periodo di emergenza, ma a costi elevati sia in termini energetici che manutentivi.



Figura 7: Edificio opera di presa

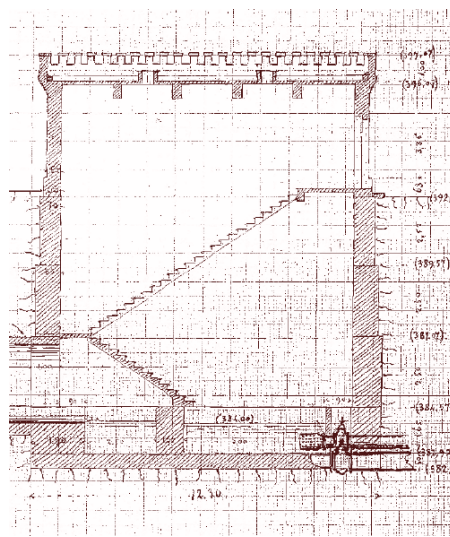


Figura 8 - Edificio opera di presa - disegno della sezione

4. RIABILITAZIONE DELLA CONDOTTA DI ADDUZIONE DN350

La condotta di adduzione DN350, originariamente realizzata in cemento amianto e situata tra il manufatto di presa e il pozzetto P4, si presentava in uno stato di totale inutilizzabilità a causa del collasso interno del precedente liner CIPP installato. Il cedimento strutturale di tale guaina aveva determinato un blocco totale del passaggio dell'acqua, interrompendo la funzione idraulica dell'intero tratto. La complessità del ripristino ha richiesto un' articolata fase di studio, pianificazione e progettazione esecutiva, con l'obiettivo di ripristinare sia le condizioni di integrità strutturale sia la funzionalità idraulica della condotta, garantendo nel contempo la durabilità dell'intervento.

4.1. Fase 1: Rimozione del liner collassato

La prima operazione ha riguardato la rimozione del liner CIPP esistente, completamente collassato all'interno della condotta, che ostacolava ogni flusso idrico. A differenza delle comuni operazioni di svuotamento o disincrostazione, la presenza di un liner rigido e deformato richiedeva un intervento altamente specializzato. È stato quindi progettato e implementato un sistema di traino meccanico controllato, in combinazione con l'impiego di fresatrici robotizzate dotate di testa rotante, capaci di frammentare progressivamente il liner, riducendolo in sezioni rimovibili senza danneggiare la tubazione ospite sottostante.



Figura 9 – Dettaglio rimozione liner CIPP collassato



Figura 10 - Dettaglio zone danneggiate del liner CIPP successivamente collassato

L'operazione si è svolta per tratti successivi, con monitoraggio continuo tramite videocamera integrata e controllo puntuale della forza di traino, per evitare sollecitazioni eccessive nei punti più critici del tracciato. L'impiego combinato di tecnologia robotica e strumenti di trazione regolati ha permesso di completare questa fase con successo, ristabilendo la piena transitabilità dell'intera condotta in sicurezza e nei tempi previsti.

4.2. Fase 2: Posa in opera di liner strutturale in PRFV con polimerizzazione UV

Una volta completata la fase di rimozione, si è passati alla riabilitazione strutturale mediante l'inserimento di un liner in PRFV. Il liner, pre-impregnato in stabilimento con resina fotoindurente, è stato inserito con metodo a traino all'interno della tubazione e successivamente gonfiato per aderire alla parete interna della condotta esistente. La fase di indurimento è avvenuta tramite l'irraggiamento con lampade UV, che hanno attivato la polimerizzazione della resina, trasformando il liner flessibile in un nuovo tubo strutturale interno monolitico.

Un aspetto particolarmente rilevante di questo intervento è stata la riabilitazione delle numerose curve presenti lungo il tracciato. La geometria originaria della condotta presentava diverse deviazioni planimetriche e angoli non sempre prevedibili, che solitamente pongono seri limiti tecnici all'utilizzo dei liner CIPP posati a traino (rispetto, ad esempio, ai sistemi ad inversione, più adattabili). In questo caso, grazie a un disegno di dettaglio e ad una modellazione interna accurata condotta, è stato possibile garantire la perfetta aderenza del liner anche nei tratti curvilinei, senza pieghe, torsioni o aree di delaminazione.

L'intervento ha così restituito alla condotta una sezione idraulicamente efficiente e strutturalmente resistente, capace di sopportare le sollecitazioni interne ed esterne derivanti dalle condizioni di esercizio e dal terreno di posa.



Figura 11 - Dettaglio fase inserimento liner CIPP



Figura 12 – Fase polimerizzazione liner CIPP

4.3. Fase 3: Riabilitazione idraulica con sistema Primus Line

A valle della fase strutturale, e a seguito della validazione del comportamento meccanico tramite modello ad elementi finiti, è stata realizzata la riabilitazione finale mediante l'installazione del sistema Primus Line. Questa fase ha permesso di ottimizzare le prestazioni idrauliche della condotta, inserendo al suo interno un tubolare multistrato flessibile composto da uno strato interno in PE idoneo al contatto con acqua potabile, uno strato di rinforzo in fibra aramidica Kevlar®, e uno strato esterno protettivo.

La posa è avvenuta tramite svolgimento diretto da bobina. L'inserimento è stato eseguito con controllo continuo della velocità (massimo 15 m/min) e della forza di tiro (entro i limiti di 10 t), con registrazione automatica dei parametri tramite il "protocollo di inserimento".

Il risultato è stato un tubo interno completamente autoportante, non incollato alla parete del tubo ospite ma posato con tolleranze calcolate per consentire l'adattamento a eventuali deformazioni future della struttura originaria. Questa soluzione ha garantito un ulteriore livello di sicurezza e flessibilità operativa, oltre a consentire – in caso di necessità – un futuro upgrade tecnico della linea con pressioni di esercizio più alte.



Figura 13 – Fase inserimento liner Primus Line



Figura 14 – Dettaglio fase gonfiaggio liner Primus Line all'interno del liner CIPP polimerizzato

1 - Rivestimento interno	
Materiale	PE certificato per acqua potabile
Certificati	Resistenza all'abrasione con prova Darmstätter < 0,1 mm dopo 600.000 cicli
Colore	nero
Spessore	1,9 – 2,5 mm
2 - Strato intermedio di rinforzo	
Materiale	Fibra sintetica senza cuciture
Struttura	a norma DVGW VP 643
3 - Rivestimento esterno	
Materiale	Polietilene resistente all'abrasione
Colore	Blu RAL 5005
Resistenza all'abrasione	< 12 mm (DIN 53516)
Spessore	2,0 – 2,8 mm

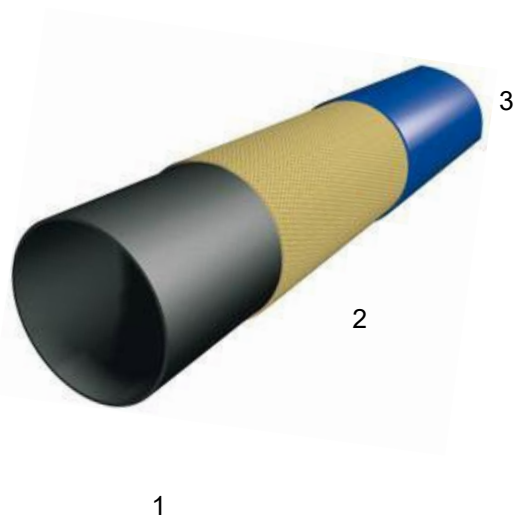


Figura 15 – Struttura tubolare Primus Line

5. RISANAMENTO DELLA CONDOTTA DI SCARICO DN500

La condotta DN500 rappresenta una linea di sfioro essenziale per la sicurezza idraulica dell'opera di presa della sorgente di Capodacqua. Pur non costituendo il principale vettore di adduzione idrica, la sua funzionalità è fondamentale per la gestione degli eventi di piena, nei quali il volume di acqua captato supera la capacità di trasporto della linea di adduzione DN350. In tali condizioni, la DN500 consente il deflusso controllato delle acque eccedenti, prevenendo il rischio di allagamento del manufatto di presa e delle strutture connesse.

5.1. Fase 1: Rimozione radici e materiali ostruttivi mediante sistemi fresanti robotizzati

L'attività iniziale ha riguardato la rimozione delle ostruzioni interne, prevalentemente costituite da radici e materiale vegetale, accumulatisi nel tempo a causa delle discontinuità strutturali presenti nei giunti della tubazione. La rimozione è stata eseguita utilizzando sistemi robotizzati dotati di testine fresanti ad alta pressione d'acqua, in grado di garantire un'azione mirata e non invasiva sulla parete della tubazione. L'impiego di ugelli rotanti associati a videocamere di ispezione ha consentito di monitorare costantemente l'avanzamento delle operazioni e di calibrare con precisione la pressione d'esercizio, ottimizzando la rimozione senza compromettere ulteriormente la struttura esistente.



Figura 16 – Fase pulizia scarico DN500

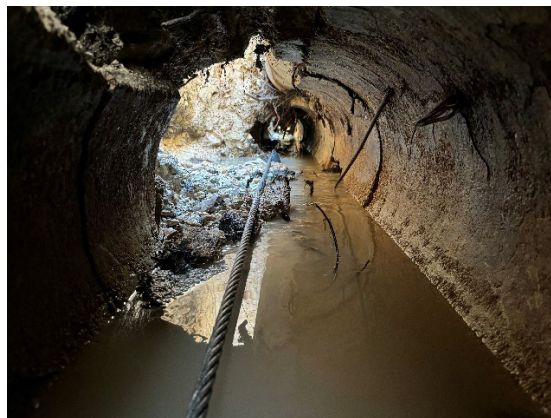


Figura 17 – Parete mancante scarico DN500

5.2. Fase 2: Consolidamento puntuale delle sezioni fratturate

Successivamente alla pulizia, sono stati identificati numerosi tratti con fratture, lesioni e, in alcuni casi, mancanze di materiale strutturale. In tali punti si è proceduto con un consolidamento puntuale della tubazione mediante l'applicazione di manicotti strutturali in materiale composito. Questi interventi localizzati sono stati fondamentali per ripristinare una base di appoggio idonea per il successivo rivestimento interno e per prevenire ulteriori degradi meccanici. Il consolidamento ha incluso anche interventi di sigillatura delle infiltrazioni attive mediante malte idroespansive.



Figura 18 – Fase di tiro liner con speciale protezione



Figura 19 – Ispezione post-catalisi scarico DN500

5.3. Fase 3: Installazione di liner CIPP multidiametro e misure di protezione avanzate

Il risanamento strutturale dell'intera condotta è stato eseguito mediante la posa di un liner CIPP (Cured-In-Place Pipe) in fibra di vetro impregnato con resina termoindurente, caratterizzato da capacità di adattamento a variazioni di sezione interna (multidiametro). Il liner è stato posato con tecnologia a traino, gonfiato mediante aria compressa e successivamente polimerizzato con l'ausilio di lampade UV.

Vista la particolare criticità delle condizioni riscontrate, si sono adottati accorgimenti tecnici speciali:

- **Utilizzo di limitatori di dilatazione radiali:** nelle sezioni dove la tubazione ospite presentava ampie mancanze o discontinuità, sono stati applicati anelli limitatori di espansione radiale sul liner in PRFV prima del gonfiaggio ad aria. Questa soluzione ha permesso di contenere l'espansione del liner, evitando fenomeni di deformazione localizzata (deflessioni o rigonfiamenti) che avrebbero potuto compromettere l'adesione e la successiva stabilità meccanica. Senza tale misura, nelle porzioni prive di supporto strutturale, il liner avrebbe rischiato di collassare su se stesso o di creare sacche d'aria irregolari, vanificando l'intervento di riabilitazione.
- **Protezione contro il dilavamento della resina:** in presenza di condizioni idrauliche particolarmente gravose, è stato necessario prevenire il fenomeno di dilavamento della resina del liner durante le fasi di polimerizzazione. In questo senso, è stato utilizzato un rivestimento esterno altamente performante applicato al liner, specificamente progettato per resistere alla penetrazione dell'acqua di falda. Particolare attenzione è stata posta in tratti dove la pressione di spinta dell'acqua di falda raggiungeva valori elevati, stimati fino a 9 metri di colonna d'acqua. Questo elevato gradiente idraulico avrebbe potuto facilmente innescare processi di lavaggio delle resine fresche, compromettendo la formazione corretta del tubo strutturale. Grazie al rivestimento protettivo adottato, è stata garantita l'integrità chimico-fisica della resina durante tutto il processo di polimerizzazione.

Complessivamente, il liner ha conferito alla condotta DN500 una nuova capacità portante, compatibile con il suo esercizio in gravità e capace di resistere agli stress derivanti da eventi eccezionali di piena, assicurando per il futuro la sicurezza operativa dell'intero sistema di captazione.



Figura 20 – Fase inserimento liner UV-CIPP



Figura 21 – Fase gonfiaggio liner UV-CIPP con sistema di prevenzione dilatazione

6. BENEFICI GENERALI DELL'OPERA

L'intervento di riabilitazione delle condotte di adduzione DN350 e di scarico DN500 della sorgente di Capodacqua ha prodotto una serie di benefici concreti per la stazione appaltante, Valle Umbra Servizi S.p.A., che possono essere così sintetizzati:

- **Ripristino del funzionamento a gravità dell'adduzione:** il risanamento della condotta DN350 ha consentito di riattivare il naturale trasporto dell'acqua per gravità, senza più necessità di impiego continuativo delle pompe sommerse. Questo risultato comporta una drastica riduzione dei consumi energetici, dei costi di gestione e della necessità di manutenzione ordinaria e straordinaria sugli impianti di sollevamento.
- **Continuità del servizio idrico:** le tecnologie no-dig impiegate hanno consentito di mantenere l'approvvigionamento idrico attivo durante tutte le fasi operative, evitando interruzioni prolungate e disagi per l'utenza finale.
- **Salvaguardia del patrimonio esistente:** l'approccio di risanamento interno ha evitato demolizioni, scavi a cielo aperto e impatti sulle strutture storiche dell'opera di presa e sulle viabilità comunali esistenti, preservando il valore architettonico e ambientale dell'area.
- **Riduzione dell'impatto ambientale e sociale:** l'utilizzo di tecnologie a basso impatto ha limitato le emissioni di polveri, il rumore, l'occupazione di suolo pubblico e la produzione di rifiuti da demolizione, riducendo drasticamente il disturbo alle comunità locali.
- **Ottimizzazione dei tempi di intervento:** le metodologie scelte (liner a traino, polimerizzazione UV, installazione Primus Line) hanno permesso di contenere significativamente la durata delle attività di cantiere rispetto ai metodi tradizionali di sostituzione completa delle condotte.
- **Aumento della vita utile delle infrastrutture:** i materiali utilizzati (liner in PRFV e tubolare Primus Line) garantiscono una durata di esercizio stimata superiore a 50 anni, riducendo la necessità di manutenzioni straordinarie nel lungo termine.
- **Miglioramento della sicurezza idraulica:** la riabilitazione della linea DN500, destinata a funzionare come scarico di emergenza, protegge l'opera di presa dai rischi di allagamento anche in condizioni di eventi meteorici eccezionali, migliorando la resilienza complessiva del sistema.
- **Incremento delle prestazioni meccaniche e idrauliche:** il consolidamento puntuale delle sezioni danneggiate, unito alla posa di liner strutturali resistenti alle sollecitazioni interne ed esterne, ha ripristinato pienamente le capacità meccaniche e di deflusso delle condotte.
- **Efficienza economica:** il risanamento no-dig ha rappresentato una scelta economicamente vantaggiosa rispetto alla sostituzione tradizionale, garantendo risparmi diretti sui costi di cantiere e indiretti sulla gestione futura dell'infrastruttura.
- **Flessibilità gestionale futura:** grazie alla natura modulare e reversibile delle soluzioni adottate (soprattutto il sistema Primus Line), la stazione appaltante potrà, se necessario, effettuare future sostituzioni o aggiornamenti tecnologici senza interventi distruttivi.
- **Conformità normativa e qualità certificata:** tutti i materiali impiegati sono certificati per il contatto con acqua potabile secondo la normativa vigente (D.M. 174/2004 e normativa europea UNI EN 11295), assicurando il pieno rispetto dei requisiti di sicurezza sanitaria.



Figura 22 – Liner Primus Line in cameretta passante



Figura 23 – Connettore di estremità Primus Line ad installazione completata

In sintesi, l'intervento ha consentito alla stazione appaltante di ottenere una riqualificazione completa, sostenibile e duratura delle proprie infrastrutture, migliorando in modo sostanziale l'efficienza energetica, la sicurezza operativa, l'impatto ambientale e l'affidabilità del servizio idrico integrato.

7. CONCLUSIONI

L'intervento descritto sulla condotta di adduzione e scarico della sorgente di Capodacqua rappresenta un esempio avanzato di applicazione integrata di tecnologie no-dig per la riabilitazione di infrastrutture idriche in contesti critici. La scelta di un approccio composito, che ha combinato l'impiego di liner strutturali in PRFV con sistemi flessibili ad alta performance come il Primus Line, ha consentito di risolvere simultaneamente problematiche strutturali, idrauliche e gestionali.

Particolare rilievo assume la sequenza tecnica adottata per la DN350, in cui la posa preliminare di un liner CIPP ha ricostruito la sezione portante della condotta, rendendo possibile l'installazione successiva di un sistema idraulico interno indipendente e ispezionabile. Il risultato ottenuto garantisce un'elevata affidabilità, ridotta necessità manutentiva e piena compatibilità con i requisiti di qualità per l'adduzione di acqua potabile.

L'esperienza maturata evidenzia come l'integrazione tra progettazione ingegneristica avanzata e soluzioni tecnologiche collaudate consenta il recupero funzionale di opere altrimenti destinate alla dismissione, riducendo impatti ambientali e costi globali di intervento. Il caso della sorgente di Capodacqua costituisce quindi un riferimento utile per la pianificazione di interventi simili nel contesto del servizio idrico integrato.