

REGIONE CAMPANIA

Acqua Campania S.p.A.

UTILIZZO IDROPOTABILE DELLE ACQUE
DELL'INVASO DI CAMPOLATTARO E
POTENZIAMENTO DELL'ALIMENTAZIONE
POTABILE PER L'AREA BENEVENTANA

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

Stralcio Allegato IV D.L. 31.05.2021 n.77 - L. di conversione 21.07.2021 n.108

Responsabile Unico del Procedimento
Dirigente Ciclo Integrato delle Acque della G.R. della Campania
Ing. Rosario Manzi

Il Concessionario

Acqua Campania S.p.A.
Direttore Generale
Area Tecnica
(Ing. Gianluca Maria SALVIA)



I Progettisti



Coordinatore responsabile della
Integrazione delle Prestazioni
Specialistiche

Revisione	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
0	Dicembre 2021	EMISSIONE PER VIA	---	---	--
TITOLO : RELAZIONE TECNICA - ATTRAVERSAMENTI ALTA CAPACITA' NAPOLI-BARI			Progettazione:  		
Allegato	ED.02.4.01		Revisione:	0	Scala: -

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. INTERVENTI DI PROGETTO	3
3. INTERFERENZA CON LA LINEA FERROVIARIA ESISTENTE E CON LA LINEA ALTA CAPACITA' NAPOLI-BARI AL PK 38+626.	4
4. FASI REALIZZATIVE	6
5. CALCOLO DELLA PORTATA DI ROTTURA.....	7
6. VERIFICA DELLO SMALTIMENTO DELL'INTERA PORTATA, IN CASO DI ROTTURA, ATTRAVERSO LA LUCE DI SFIORO ALLA SOMMITÀ DEL POZZETTO	11
7. VERIFICA DEL CANALE DI SCARICO.....	12
8. INTERFERENZA CON L'ALTA CAPACITA' NAPOLI-BARI AL PK 31+764.....	13
9. FASI REALIZZATIVE	15
10. CALCOLO DELLA PORTATA DI ROTTURA.....	16
11. VERIFICA DELLO SMALTIMENTO DELL'INTERA PORTATA, IN CASO DI ROTTURA, ATTRAVERSO LA LUCE DI SFIORO ALLA SOMMITÀ DEL POZZETTO	20
12. VERIFICA DEL CANALE DI SCARICO	21

1. PREMESSA

Il progetto per *l'Utilizzo potabile delle acque dell'invaso della diga di Campolattaro* rientra tra gli interventi del "Piano degli interventi per il Miglioramento del Sistema Idrico Regionale" approvato con la Delibera della Giunta Regionale della Campania n. 340 del 6 luglio 2016.

L'invaso di Campolattaro, in virtù delle sue caratteristiche di posizione e dimensione, rappresenta attualmente una risorsa strategica, interamente disponibile, in grado di fronteggiare i crescenti fabbisogni idrici, attuali e futuri, del vasto territorio regionale.

Ad oggi, l'invaso è sprovvisto sia di impianto di potabilizzazione per il trattamento delle acque destinate all'uso potabile, sia di centrali per la produzione di energia idroelettrica, che sfruttino i notevoli dislivelli altimetrici caratteristici dell'area in esame, sia di infrastrutture per il convogliamento della risorsa verso i potenziali utenti.

Le opere previste nel progetto in parola sono elencate di seguito, in ordine di successione idraulica:

- Opere di presa e di collegamento alle opere esistenti;
- Galleria portatubi;
- Pozzo piezometrico;
- Condotta forzata DN 1800;
- Serbatoi di accumulo;
- Condotta a uso irriguo DN 1800-1700-1200;
- Condotta di adduzione all'Acquedotto Campano (ACAM) DN 1500;
- Stazione di sollevamento e condotte a servizio del sistema "Alto Calore";
- Stazioni di sollevamento e condotte a servizio del sistema "Alto Fortore";
- Condotta Curti – Benevento DN 700.

2. INTERVENTI DI PROGETTO

Oggetto della presente relazione è la progettazione della risoluzione delle n.2 interferenze di tracciato tra la linea ferroviaria Alta Capacità Napoli-Bari e le condotte di progetto.

In particolare, nei punti di interferenza, il presente progetto prevede la posa in parallelo di n.3 condotte in acciaio: DN 1700 ad uso irriguo, DN 1500 potabile ACAM e DN 700 potabile per Benevento

Il primo attraversamento attiene sia alla linea ferroviaria attualmente in esercizio che al tracciato della futura Alta Capacità Napoli-Bari.

Il secondo attraversamento, invece, riguarda solo la futura linea Alta Capacità Napoli-Bari.

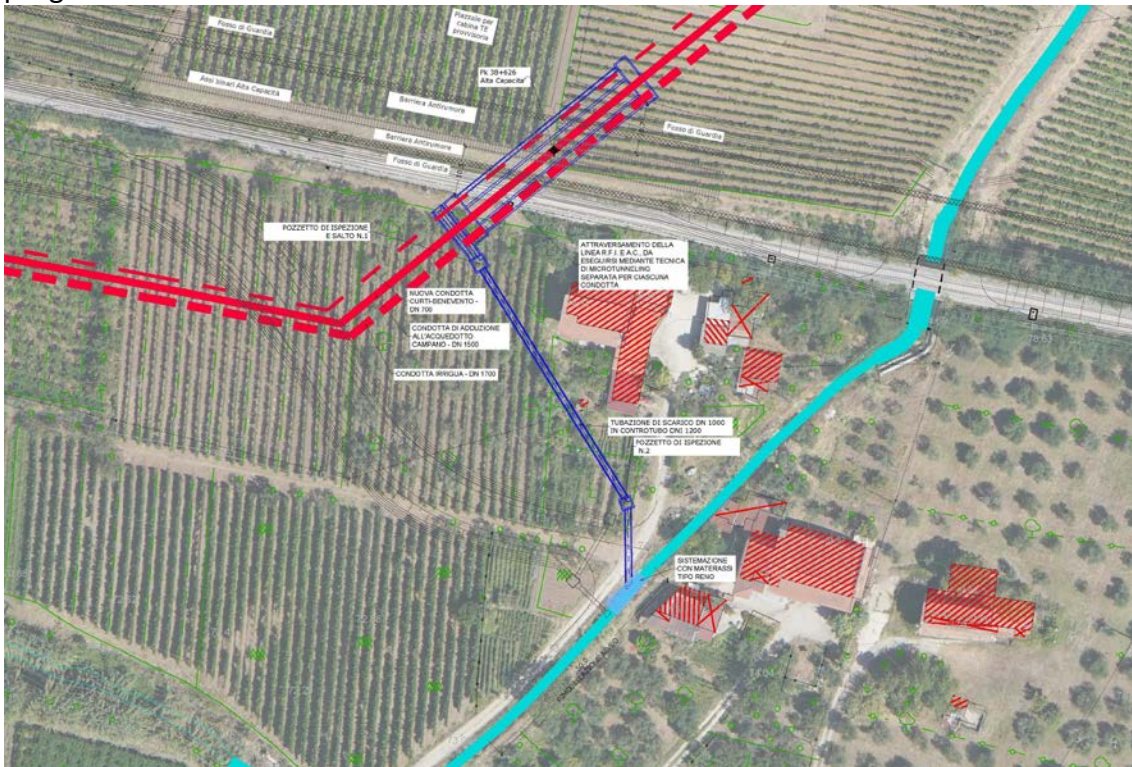
Nel prosieguo della presente relazione si analizzeranno, in dettaglio, i due interventi.

Si fa, fin da subito, presente che entrambi gli attraversamenti oggetto della presente relazione soddisfano tutte le prescrizioni contenute nel D.M. 04 Aprile 2014 e nel Manuale di progettazione delle Opere Civili della Rete Ferroviaria Italiana.

3. INTERFERENZA CON LA LINEA FERROVIARIA ESISTENTE E CON LA LINEA ALTA CAPACITA' NAPOLI-BARI AL PK 38+626.

Il primo intervento consiste in un doppio attraversamento ferroviario. Il fascio tubiero di progetto, composto dalle condotte DN 1700 irriguo – DN 1500 ACAM – DN 700 Curti-Benevento deve attraversare, infatti, sia l'attuale linea ferroviaria RFI Caserta-Foggia che il tracciato della futura linea ferroviaria dell'alta Capacità Napoli-Bari al PK 38+626.

L'interferenza in parola avviene in corrispondenza dei picchetti B11-B13 dell'adduttore irriguo (TAV.I.02.2). Sarà necessario provvedere ad attraversare entrambe le linee ferroviarie mediante posa, secondo la tecnica dello spingitubo, di n.3 condotte portatubi (spinta del controtubo in cui sarà poi installata la condotta di progetto) indipendenti e parallele. Secondo le previsioni di progetto, i tre citati controtubi saranno – a monte ed a valle dell'attraversamento – collegati a idonee camere di manovra nelle quali saranno installate le valvole di sezionamento relative ad ognuna delle condotte di progetto.



Primo attraversamento della linea Alta Capacità Napoli – Bari PK 38+626

La camera di manovra posta a monte (in senso idraulico) dell'attraversamento (camera di spinta) dista – sul piano orizzontale - 10,70 m dalla più vicina rotaia; la camera di manovra di valle (camera di arrivo) dista, invece, sempre dalla più vicina rotaia 10,50 m: in entrambi i casi è rispettata la distanza orizzontale minima di 10,00 m prevista dal D.M. 04 Aprile 2014.

In particolare, la camera di manovra di valle assumerà anche la funzione di sfioro delle portate di eventuale scoppio delle condotte. Infatti, il manufatto in parola sarà dotato di idonea luce di sfioro alla sommità; la lunghezza della soglia è stata progettata pari a 9,80 m, per consentire l'allontanamento dell'intera portata in caso di rottura della condotta più sfavorita che, come si dimostrerà nel seguito, è la condotta ad uso irriguo DN 1700.

La portata di scoppio, transitando attraverso l'intercapedine tra tubazione e controtubo, giungerà alla camera di manovra riempiendola – dal basso verso l'alto - sino al raggiungimento della citata soglia di sfioro. Una volta superato lo sfioro, il flusso idrico è previsto sia convogliato in un canale in calcestruzzo, contiguo alla camera di manovra, da cui giungerà al suo recapito finale costituito dal limitrofo impluvio naturale che, dopo poche decine di metri, confluisce nel Fiume Calore.

Si evidenzia che l'attraversamento è stato progettato in maniera tale da rispettare le prescrizioni del D.M. 04 Aprile 2014 in merito alle distanze verticali tra le generatrici superiori dei controtubi ed il piano del ferro. Infatti, la quota di coronamento del controtubo di maggiore diametro (generatrice superiore a quota maggiore) si viene a trovare ad una distanza dal piano del ferro pari a 2,80.

In particolare, il DN 1700 in acciaio sarà posato all'interno di una tubazione in cemento armato avente Di pari a 2500 e De pari a 3000. La quota della generatrice superiore del citato controtubo sarà pari a 78,80 mslm mentre la quota del piano del ferro sovrastante risulta pari a 81,60 mslm.

Estendendo il concetto di "scatolare" ai controtubi di progetto, l'opera in parola è stata verificata rispetto alle prescrizioni del Manuale di progettazione delle Opere Civili della Rete Ferroviaria Italiana, Parte II – Sezione 3 Corpo Stradale, Paragrafo 3.8.1.2.1.8: Zone di transizione opere in terra - scatolare.

Per ricoprimenti (intesi come distanza fra piano ferro – estradosso soletta superiore) superiori a 2,50 m, a norma del Manuale, l'angolo di incidenza fra asse rilevato ed asse sottopasso deve essere maggiore o uguale di 45°. Nel caso di progetto, l'angolo risulta essere di 51° soddisfacendo, dunque, gli ulteriori limiti imposti.

4. FASI REALIZZATIVE

Vista la necessità di dover attraversare anche l'attuale linea ferroviaria in esercizio, si è reso necessario progettare il superamento dell'interferenza mediante tecnica dello spingitubo, così da non dover interrompere il servizio ferroviario durante le fasi realizzative.

La tecnica di posa prevede la spinta di conci di controtubo tra due manufatti, uno di partenza, detto camera di spinta, ed un altro di arrivo.

Il procedimento di perforazione inizia dalla camera di partenza/spinta dove vengono posizionate tutte le attrezzature necessarie per la spinta dei vari tratti di tubo; l'avanzamento delle tubazioni viene realizzato per mezzo di martinetti idraulici montati su un telaio meccanico. La parete posteriore della camera di spinta dovrà contrastare la spinta dei martinetti, grazie alla sua resistenza ed alla resistenza passiva offerta dal terreno. La posa procede fino alla camera di arrivo dove vengono recuperati i dispositivi di perforazione. Da un'unica camera di spinta è previsto siano effettuate tutte e tre le perforazioni, riposizionando di volta in volta il sistema di spinta.

Le camere di spinta e di arrivo, saranno completamente impermeabili sia al fondo che alle pareti laterali. Detta impermeabilità sarà garantita dalla realizzazione di diaframmi a tenuta e setti di completamento.

In particolare, per l'attraversamento del fascio ferroviario in esame, sono previsti i seguenti manufatti:

- Camera di spinta a monte dell'attraversamento;
- Camera di arrivo, a valle, che successivamente alla realizzazione dell'attraversamento assumerà anche la funzione di camera di scarico delle portate di scoppio.

Nel progetto in esame sono previsti, per ogni condotta, controtubi con le seguenti caratteristiche:

- DN 1700 Irriguo – Controtubo in cls con $D_i = 2500$ mm, $D_e = 3000$ mm
- DN 1500 ACAM – Controtubo in cls con $D_i = 2500$ mm, $D_e = 3000$ mm
- DN 700 Curti-BN – Controtubo in cls con $D_i = 1000$ mm, $D_e = 1280$ mm

5. CALCOLO DELLA PORTATA DI ROTTURA

Come accennato in precedenza, l'interferenza con le linee ferroviarie esistenti e di progetto, attiene ad un fascio tubiero composto da n.3 tubazioni in acciaio rispettivamente DN 1700, DN 1500, DN 700.

In prima analisi si è individuata la tubazione che, per carichi idraulici applicati e per diametro di realizzazione, risulta quella in grado di generare la maggiore portata effluente in caso di rottura.

Alla luce di quanto sopra, si è individuata quale condotta più sfavorita l'adduttore irriguo che ha origine in corrispondenza della vasca di scarico della Centrale Idroelettrica Principale (quota 274,10 m slm) mentre l'adduttore DN 1500 per ACAM ha origine dal Serbatoio di Accumulo delle acque potabilizzate avente quota sfioro pari a 245 m slm. Detto adduttore irriguo ha diametro variabile lungo il percorso ma, in corrispondenza dell'attraversamento, risulta DN 1700.

Lo schema idraulico utilizzato per simulare il comportamento del sistema muove dalle seguenti condizioni:

- a) il carico idraulico – inteso quale differenza tra la quota piezometrica nella sezione e la quota asse tubazione – in corrispondenza del punto di rottura dovrà equivalere alla perdita di carico concentrata che si verifica in corrispondenza della rottura stessa e che può determinarsi attraverso le usuali relazioni di efflusso;
- b) alla portata effluente dalla sezione di rottura potranno contribuire, in funzione della quota piezometrica, sia il tratto di condotta di monte che quello di valle.

Per la valutazione della portata di scoppio è stato analizzato il seguente scenario: rottura della tubazione DN 1700 in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario al PK 38+626.

Il calcolo della portata è effettuato mediante il procedimento iterativo di seguito descritto:

- Si stabilisce una tipologia di rottura della tubazione in acciaio: nel caso in esame si è previsto, a vantaggio di sicurezza, il cedimento di una saldatura lungo tutta la circonferenza della tubazione per uno spessore di 10 mm;
- Si ipotizza una portata di efflusso attraverso la sezione di rottura come appena definita;
- Si calcola – tramite le ordinarie formule di efflusso – la perdita di carico concentrata generata dalla portata ipotizzata;
- Si somma la quota dell'asse della condotta in corrispondenza della rottura alla perdita di carico concentrata, ottenendo la quota piezometrica nella sezione;

- Si sottrae dalla quota dei “serbatoi” di alimentazione di monte e di valle della rottura la quota piezometrica calcolata al punto che precede, e si ottiene il carico disponibile – per ognuno dei tratti di condotta confluenti verso la rottura – per il deflusso del rispettivo contributo alla portata di rottura;
- Noti i due carichi disponibili, date le caratteristiche geometriche delle condotte (lunghezza, diametro e scabrezza), a mezzo di una comune formula per il calcolo delle perdite di carico distribuite (ad es. Formula di Gauckler Strickler) si calcolano i due contributi (di monte e di valle) di portata che, sommati, vanno confrontati con la portata effluente ipotizzata all'iterazione precedente: si procede alla verifica della equazione di continuità in corrispondenza della rottura, verificando che la somma delle portate entranti sia uguale alla portata uscente.
- Se la somma delle portate entranti eccede la portata uscente ipotizzata, occorre ripetere il procedimento aumentando la portata di efflusso o viceversa;
- A seconda del valore della quota piezometrica nella sezione di rottura, può verificarsi - come nel caso in esame in cui la piezometrica risulta al di sopra della quota di recapito di valle - che non vi siano contributi alla portata di scoppio da valle e che, dato il carico residuo, vi sia una componente della portata che continua ad alimentare, a valle della rottura, il tronco terminale della condotta;

Il procedimento converge rapidamente e si determina la portata di rottura. di seguito i calcoli relativi alla condizione di convergenza del sistema.

Per il calcolo della portata effluente attraverso una data sezione di efflusso, può utilizzarsi la relazione:

$$Q = \mu \sigma_e \sqrt{2gH_e}$$

dove:

Q = portata effluente (m³/s);

μ = coefficiente di efflusso;

σ = sezione di efflusso (m²);

g = accelerazione di gravità (m/s²);

H_e = carico idraulico agente sul baricentro della sezione d'efflusso (m).

Il calcolo è stato condotto ipotizzando il completo cedimento di una saldatura, avvenuta in corrispondenza della sezione caratterizzata da una quota geodetica della condotta più svantaggiosa (quota asse condotta 77,30 m s.l.m.).

Di conseguenza la sezione di rottura è stata ipotizzata come caratterizzata da un'ampiezza di 10 mm lungo tutta la circonferenza della condotta; tale ipotesi risulta particolarmente svantaggiosa se si considera che una sezione di fessura di 10 mm supera

ampiamente la dimensione del cordone di saldatura effettuato con il metodo dalla completa penetrazione (profondità a partire dalla superficie a cui giunge la fusione dell'acciaio) della saldatura del giunto. Di seguito si riportano i risultati di calcolo:

Q	μ	σ	H	g
m ³ /s		m ²	m	m/s ²
1,98	0,61	0,05338	189	9,81

$$Q_s = 1,98 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dunque una portata pari a 1,98 mc/s defluisce attraverso la rottura determinando una perdita di carico di 189 m.

Attesa la quota dell'asse condotta (77,30 mslm) è possibile calcolare la quota piezometrica in corrispondenza della rottura.

$$H_{\text{rott}} = 77,30 + 189 = 266,30 \text{ m slm.}$$

Considerando che la vasca di partenza della condotta irrigua ha una quota di massimo invaso pari a 274,10 mslm, il tratto di condotta posto a monte della rottura ha un carico disponibile per il trasporto della portata pari a:

$$C_{\text{monte}} = \text{carico disponibile da monte} = 274,10 - 266,30 = 7,80 \text{ m}$$

Applicando l'usuale formula di resistenza di Gauckler-Stickler, date le caratteristiche geometriche del sistema è possibile calcolare la portata defluente nel tronco di condotta in esame. Nello specifico, il tratto di condotta posta a monte dell'attraversamento presenta diametri variabili e, quindi, se ne è calcolata la perdita di carico complessiva.

$$Q = K \cdot \sigma \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{i}$$

dove:

- Q** = portata transitante nei singoli tratti di tubazione;
- K** = coefficiente di scabrezza di Strickler, imposto pari a 90;
- σ** = sezione della tubazione;
- i** = perdite di carico distribuite per unità di lunghezza;
- R** = raggio idraulico della condotta in esame

Di seguito i risultati della simulazione effettuata:

Regione Campania – Acqua Campania S.p.a.
 UTILIZZO IDROPOTABILE DELLE ACQUE DELL'INVASO DI CAMPOLATTARO
 E POTENZIAMENTO DELL'ALIMENTAZIONE POTABILE PER L'AREA BENEVENTANA
 AGGIORNAMENTO PROGETTO DI FATTIBILITÀ

CONDOTTA DN 1800/1700 - DALLA VASCA DI CARICO AL PUNTO DI ROTTURA										
Q	K	D	i	s	P	R	L	ΔH	V	Carico residuo sul punto di rottura
m ³ /s	m ^{1/3} /s	m	m/m	m ²	m	m	m	m	m/s	
4,82	90	1,80	0,00129	2,54	5,65	0,45	3266,52	4,20	1,90	m
4,82	90	1,70	0,00174	2,27	5,34	0,43	1867,90	3,26	2,12	189,00

CONDOTTA DN 1700/1200 - DAL PUNTO DI ROTTURA ALLA CENTRALE IDROELETTRICA										
Q	K	D	i	s	P	R	L	ΔH	V	Carico residuo sul punto di rottura
m ³ /s	m ^{1/3} /s	m	m/m	m ²	m	m	m	m	m/s	
2,84	90	1,70	0,00061	2,27	5,34	0,43	9750,00	5,90	1,25	m
2,84	90	1,20	0,00388	1,13	3,77	0,30	6900,00	26,77	2,51	189,00

In termini numerici la simulazione effettuata prevede che dalla vasca di alimentazione della condotta irrigua pervenga una portata complessiva pari a 4,82 mc/s; giunti in corrispondenza della sezione di attraversamento ferroviario la portata di scoppio che effluisce attraverso la rottura della tubazione è calcolata pari a 1,98 mc/s. La differenza di portata (4,82 – 1,98), pari a 2,84 mc/s prosegue attraverso il tronco di condotta di valle.

La somma delle perdite di carico del primo tratto sommate al carico residuo e alla quota dell'asse condotta restituiscono la quota piezometrica (266,30 = 189 + 77,30) sul punto di rottura:

$$\Delta H = H_{iniz.} - \text{carico residuo} - H_{asse} = 274,10 - 189 - 77,30$$

Si fa presente che per il tratto di valle si è tenuto conto del carico residuo sulle tubazioni necessario al funzionamento del sistema di turbinaggio. Nell'ipotesi che la centrale idroelettrica di progetto non stia funzionando e, quindi, le turbine siano by-passate, un equivalente carico residuo è previsto sia dissipato da specifiche valvole di sicurezza di dissipazione del carico. Dunque, ai fini dello schema di simulazione idraulica in caso di rottura della condotta, la centrale idroelettrica posta al termine della condotta irrigua è equivalente ad un serbatoio posto ad una quota di 233 m slm, pari alla quota piezometrica a monte delle turbine, dalla quale occorre sottrarre la perdita di carico indotta – in alternativa- della turbine o dal sistema di dissipazione del carico di emergenza, pari a circa 100 metri di colonna d'acqua, per ottenere la quota del recapito finale delle acque rappresentato dalle vasche di accumulo del Grassano poste a 130 mslm.

La quota piezometrica in corrispondenza della sezione di rottura risulta pari a 77,30 mslm (quota asse condotta) + 189 m (perdita di carico per efflusso attraverso la rottura) = 266,30 mslm superiore alla quota di recapito di valle, come detto pari a 233 mslm: non possono verificarsi flussi idrici dal tronco di valle verso la sezione di rottura.

$$Q_{fin.} = \text{quota piezometrica} - \Delta H = 266 - 32,67 \cong 233 \text{ m slm}$$

6. VERIFICA DELLO SMALTIMENTO DELL'INTERA PORTATA, IN CASO DI ROTTURA, ATTRAVERSO LA LUCE DI SFIORO ALLA SOMMITÀ DEL POZZETTO

Come espresso al paragrafo precedente, è stata valutata la portata effluente attraverso una sezione di rottura, ipotizzata come il completo cedimento di una saldatura lungo tutta la circonferenza della condotta, pari a 1,98 mc/s.

Per lo smaltimento della portata defluente si è prevista la realizzazione di una soglia sfiorante avente larghezza pari a 9,80 m.

Essendo la portata sfiorata pari a:

$$Q = \mu b h^{3/2} \sqrt{2g}$$

dove:

Q= portata effluente (1,98 m³/s);

μ=0,40 coefficiente di efflusso relativo ad uno stramazzone rettangolare senza contrazione laterale;

b = 9,80 m larghezza della soglia sfiorante;

g = accelerazione di gravità (m/s²)

è stato possibile calcolare il carico idraulico sulla soglia, necessario all'efflusso della portata da smaltire, pari a 0,235 m:

B	g	h	μ
m	m/s ²	m	
9,8	9,81	0,235	0,4

Essendo la luce libera al di sopra della soglia di sfioro pari a 0,35 m la portata defluirà senza impedimenti.

Inoltre, si prevede la posa di una griglia metallica a protezione del manufatto e tale da non permettere intrusioni da parte di estranei.

7. VERIFICA DEL CANALE DI SCARICO

A valle della soglia di sfioro di cui al paragrafo precedente, è prevista la realizzazione di un canale, esterno al manufatto, deputato al trasporto verso il corpo ricettore finale delle acque provenienti dalla rottura della condotta di progetto.

Detto canale è previsto in calcestruzzo ed è ubicato in adiacenza al manufatto di sezionamento e scarico di progetto.

Si descrive di seguito la verifica idraulica effettuata; nello specifico, è stato progettato un canale a sezione rettangolare, caratterizzato da:

base: 1,00 m;

altezza: 1,00 m;

pendenza: 12,00 ‰

La verifica è stata effettuata mediante la formula di Gauckler-Strickler, con coefficiente di resistenza $K=70$, tipico dei canali in calcestruzzo:

$$Q = K \sigma R^{2/3} i^{1/2}$$

Dove:

Q = portata transitante nei singoli tratti di tubazione;

K = coefficiente di scabrezza di Strickler, imposto pari a 90;

σ = sezione della tubazione;

i = pendenza del canale;

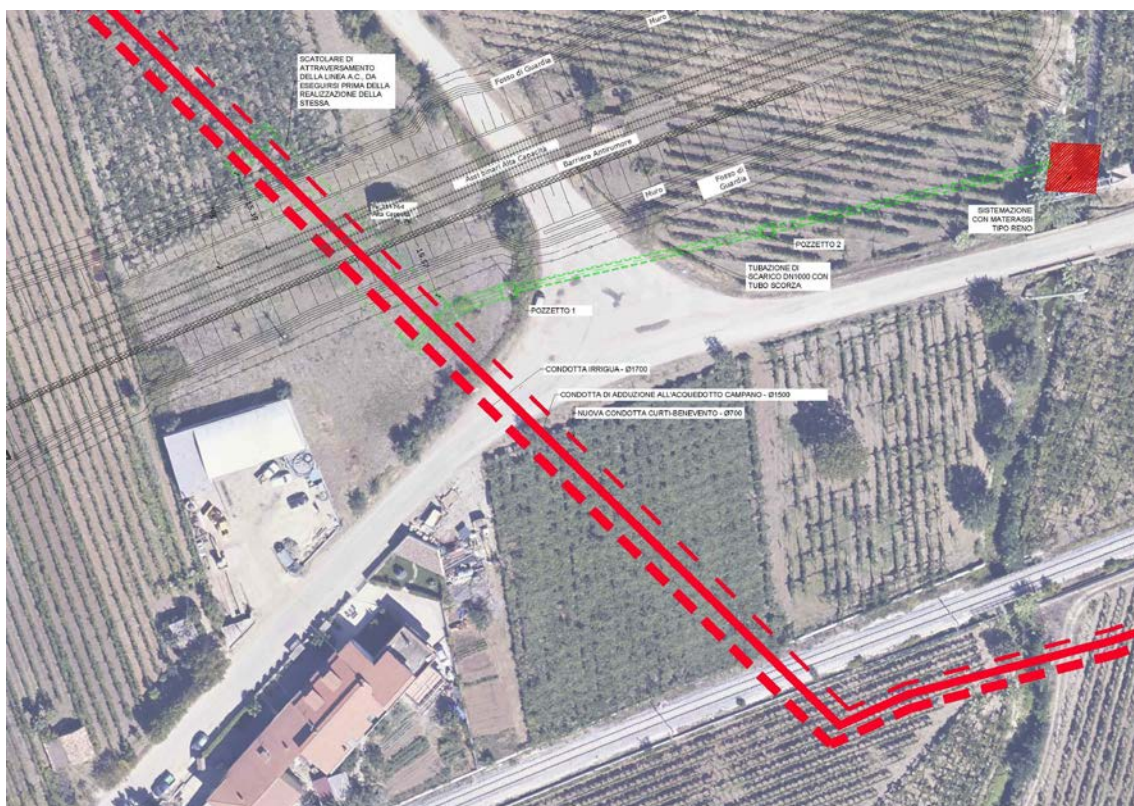
R = raggio idraulico della condotta in esame

Dal calcolo emerge che, considerando la portata di rottura pari a 1,98 m³/s, il tirante che si instaura nella sezione del canale è pari a 0,61 m; si conclude, quindi, che l'altezza utile della sezione, pari a 1,00 m è più che sufficiente, in quanto in grado di contenere la portata di scarico.

8. INTERFERENZA CON L'ALTA CAPACITÀ NAPOLI-BARI AL PK 31+764

Il secondo attraversamento sarà realizzato mediante costruzione di un unico manufatto in calcestruzzo denominato “scatolare di attraversamento” che conterrà le tre condotte del fascio tubiero di progetto, ancora una volta costituito dal DN 1700 irriguo, dal DN 1500 dell'ACAM e dal DN 700 della Curti- Benevento. L'attraversamento coinvolgerà il tracciato della futura linea ferroviaria dell'Alta Capacità Napoli-Bari al PK 31+764.

Il secondo attraversamento avviene in corrispondenza dei picchetti C46-C47 della condotta irrigua (TAV.I.02.3).



Secondo attraversamento della linea Alta Capacità Napoli – Bari PK 31+764

L'attraversamento avverrà in corrispondenza di un rilevato ferroviario di progetto.

La camera di manovra posta a monte (in senso idraulico) dell'attraversamento dista 15,57 m dalla più vicina rotaia; la camera di manovra di valle (camera di arrivo) dista, invece, 15,39 m dalla più vicina rotaia, quindi si verifica il pieno rispetto delle prescrizioni dal D.M. 04 Aprile 2014.

In particolare, la camera di manovra di valle assumerà anche la funzione di sfioro delle portate di eventuale scoppio delle condotte. Il manufatto in parola sarà dotato di idonea luce di sfioro alla sommità; la lunghezza della soglia è stata progettata pari a 9.80 m, per consentire l'allontanamento dell'intera portata in caso di rottura della condotta più sfavorita che, come visto nel primo attraversamento, risulta essere la condotta irrigua DN 1700.

La portata di scoppio, transitando attraverso l'intercapedine tra tubazione e scatolare, giungerà alla camera di manovra riempiendola – dal basso verso l'alto - sino al raggiungimento della citata soglia di sfioro. Una volta superato lo sfioro, il flusso idrico è previsto sia convogliato in un canale in calcestruzzo, contiguo alla camera di manovra, da cui giungerà al suo recapito finale costituito dal limitrofo impluvio naturale che confluisce nel Fiume Calore.

Si evidenzia che l'attraversamento è stato progettato in maniera tale da rispettare anche le prescrizioni del D.M. 04 Aprile 2014 in merito alle distanze verticali tra gli elementi di protezione dei tubi ed il piano del ferro.

In particolare, l'estradosso della soletta di copertura dello scatolare di attraversamento dista dal piano del ferro ca. 4,50 m con una quota del piano del ferro pari a ca. 66,00 m slm.

L'attraversamento in parola è stato verificato rispetto alle prescrizioni del Manuale di progettazione delle Opere Civili della Rete Ferroviaria Italiana, Parte II – Sezione 3 Corpo Stradale, Paragrafo 3.8.1.2.1.8: Zone di transizione opere in terra - scatolare.

Per ricoprimenti (intesi come distanza fra piano ferro – estradosso soletta superiore) superiori a 2,50 m, a norma del Manuale, l'angolo di incidenza fra asse rilevato ed asse sottopasso deve essere maggiore o uguale di 45°. Nel caso di progetto, l'angolo risulta essere di 68° soddisfacendo, dunque, gli ulteriori limiti imposti.

9. FASI REALIZZATIVE

Lo scatolare di attraversamento sarà realizzato preventivamente rispetto alla realizzazione della Linea Ferroviaria Alta Capacità e, dunque, si opererà secondo le ordinarie tecniche realizzative. Rimandando alle tavole tecniche di riferimento (M.08) per i dettagli, ricordiamo qui le principali caratteristiche geometriche del manufatto di attraversamento:

- Lunghezza: ca. 50 m
- Larghezza: ca. 11,50
- Altezza sotto la linea del ferro: 3,80 m
- Altezza delle camere di partenza/ scarico: 6,80/5,80

Le camere di partenza e scarico, interessate dalla posa delle valvole di sezionamento di tutte le condotte, sono chiuse superiormente mediante dalle in cls completamente rimovibili per l'eventuale sostituzione delle valvole. Inoltre sono previste botole di accesso per l'ispezione e l'intervento sulle condotte, sulle valvole e, in generale, sullo stesso scatolare.

10. CALCOLO DELLA PORTATA DI ROTTURA

Come accennato in precedenza, l'interferenza con le linee ferroviarie esistenti e di progetto, attiene ad un fascio tubiero composto da n.3 tubazioni rispettivamente DN 1700, DN 1500, DN 700.

In prima analisi si è individuata la tubazione che, per carichi idraulici applicati e per diametro di realizzazione, risulta quella in grado di generare la maggiore portata in caso di rottura.

Alla luce di quanto sopra, si è individuata quale condotta più sfavorita l'adduttore irriguo che ha origine in corrispondenza della vasca di scarico della Centrale Idroelettrica Principale (quota 274,10 m slm) mentre l'adduttore DN 1500 per ACAM ha origine dal Serbatoio di Accumulo delle acque potabilizzate avente quota sfioro pari a 245 m slm. Detto adduttore irriguo ha diametro variabile lungo il percorso ma, in corrispondenza dell'attraversamento, risulta DN 1700.

Lo schema idraulico utilizzato per simulare il comportamento del sistema muove dalle seguenti condizioni:

- a) il carico idraulico – inteso quale differenza tra la quota piezometrica nella sezione e la quota asse tubazione – in corrispondenza del punto di rottura dovrà equivalere alla perdita di carico concentrata che si verifica in corrispondenza della rottura stessa e che può determinarsi attraverso le usuali relazioni di efflusso;
- c) alla portata effluente dalla sezione di rottura potranno contribuire, in funzione della quota piezometrica, sia il tratto di condotta di monte che quello di valle.

Pertanto è stato analizzato il seguente scenario: rottura della tubazione DN 1700 in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario al PK 31+764.

Il calcolo della portata è effettuato mediante il procedimento iterativo di seguito descritto:

- Si stabilisce una tipologia di rottura della tubazione in acciaio: nel caso in esame si è previsto, a vantaggio di sicurezza, il cedimento di una saldatura lungo tutta la circonferenza della tubazione per uno spessore di 10 mm;
- Si ipotizza una portata di efflusso attraverso la sezione di rottura come appena definita;
- Si calcola – tramite le ordinarie formule di efflusso – la perdita di carico concentrata generata dalla portata ipotizzata;
- Si somma la quota dell'asse della condotta in corrispondenza della rottura alla perdita di carico concentrata, ottenendo la quota piezometrica nella sezione;

- Si sottrae dalla quota dei “serbatoi” di alimentazione di monte e di valle della rottura la quota piezometrica calcolata al punto che precede, e si ottiene il carico disponibile – per ognuno dei tratti di condotta confluenti verso la rottura – per il deflusso del rispettivo contributo alla portata di rottura;
- Noti i due carichi disponibili, date le caratteristiche geometriche delle condotte (lunghezza, diametro e scabrezza), a mezzo di una comune formula per il calcolo delle perdite di carico distribuite (ad es. Formula di Gauckler Strickler) si calcolano i due contributi (di monte e di valle) di portata che, sommati, vanno confrontati con la portata effluente ipotizzata all'iterazione precedente: si procede alla verifica della equazione di continuità in corrispondenza della rottura, verificando che la somma delle portate entranti sia uguale alla portata uscente.
- Se la somma delle portate entranti eccede la portata uscente ipotizzata, occorre ripetere il procedimento aumentando la portata di efflusso o viceversa;
- A seconda del valore della quota piezometrica nella sezione di rottura, può verificarsi - come nel caso in esame in cui la piezometrica risulta al di sopra della quota di recapito di valle - che non vi siano contributi alla portata di scoppio da valle e che, dato il carico residuo, vi sia una componente della portata che continua ad alimentare, a valle della rottura, il tronco terminale della condotta;

Il procedimento converge rapidamente e si determina la portata di rottura. di seguito i calcoli relativi alla condizione di convergenza del sistema.

Per il calcolo della portata effluente attraverso una data sezione di efflusso, può utilizzarsi la relazione:

$$Q = \mu \sigma_e \sqrt{2gH_e}$$

dove:

Q = portata effluente (m³/s);

μ = coefficiente di efflusso;

σ = sezione di efflusso (m²);

g = accelerazione di gravità (m/s²);

H_e = carico idraulico agente sul baricentro della sezione d'efflusso (m).

Il calcolo è stato condotto ipotizzando il completo cedimento di una saldatura, avvenuta in corrispondenza della sezione caratterizzata da una quota geodetica della condotta più svantaggiosa (quota asse condotta 59,70 m s.l.m.).

Di conseguenza la sezione di rottura è stata ipotizzata come caratterizzata da un'ampiezza di 10 mm lungo tutta la circonferenza della condotta; tale ipotesi risulta particolarmente svantaggiosa se si considera che una sezione di fessura di 10 mm supera

ampiamente la dimensione del cordone di saldatura effettuato con il metodo dalla completa penetrazione (profondità a partire dalla superficie a cui giunge la fusione dell'acciaio) della saldatura del giunto. Di seguito si riportano i risultati di calcolo:

Q	μ	σ	H	g
m ³ /s		m ²	m	m/s ²
2,02	0,61	0,05338	196,12	9,81

$$Q_s = 2,02 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dunque una portata pari a 2,02 mc/s defluisce attraverso la rottura determinando una perdita di carico di 196,12 m.

Attesa la quota dell'asse condotta (59,70 m slm) è possibile calcolare la quota piezometrica in corrispondenza della rottura.

$$H_{\text{rott}} = 59,70 + 196,12 = 255,82 \text{ m slm.}$$

Considerando che il punto di recapito della condotta irrigua ha una quota piezometrica pari a 233,00 mslm, il tratto di condotta posto a valle della rottura ha un carico disponibile per il trasporto della portata pari a:

$$C_{\text{monte}} = \text{carico disponibile da monte} = 274,10 - 255,82 = 18,28 \text{ m}$$

Applicando l'usuale formula di resistenza di Gauckler-Stickler, date le caratteristiche geometriche del sistema è possibile calcolare la portata defluente nel tronco di condotta in esame. Nello specifico, il tratto di condotta posta a monte dell'attraversamento presenta diametri variabile e, quindi, se ne è calcolata la perdita di carico complessiva.

$$Q = K \cdot \sigma \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{i}$$

dove:

- Q** = portata transitante nei singoli tratti di tubazione;
- K** = coefficiente di scabrezza di Strickler, imposto pari a 90;
- σ** = sezione della tubazione;
- i** = perdite di carico distribuite per unità di lunghezza;
- R** = raggio idraulico della condotta in esame

Di seguito i risultati della simulazione effettuata:

Regione Campania – Acqua Campania S.p.a.
 UTILIZZO IDROPOTABILE DELLE ACQUE DELL'INVASO DI CAMPOLATTARO
 E POTENZIAMENTO DELL'ALIMENTAZIONE POTABILE PER L'AREA BENEVENTANA
 AGGIORNAMENTO PROGETTO DI FATTIBILITÀ

CONDOTTA DN 1800/1700 - DALLA VASCA DI CARICO AL PUNTO DI ROTTURA										
Q	K	D	i	s	P	R	L	ΔH	V	Carico residuo sul punto di rottura
m ³ /s	m ^{1/3} /s	m	m/m	m ²	m	m	m	m	m/s	m
4,52	90	1,80	0,00113	2,54	5,65	0,45	3266,52	3,69	1,78	m
4,52	90	1,70	0,00153	2,27	5,34	0,43	9494,60	14,56	1,99	196,12
CONDOTTA DN 1700/1200 - DAL PUNTO DI ROTTURA ALLA CENTRALE IDROELETTRICA										
Q	K	D	i	s	P	R	L	ΔH	V	Carico residuo sul punto di rottura
m ³ /s	m ^{1/3} /s	m	m/m	m ²	m	m	m	m	m/s	m
2,50	90	1,70	0,0005	2,27	5,34	0,43	2083,96	0,98	1,10	m
2,50	90	1,20	0,0030	1,13	3,77	0,30	6900,00	20,75	2,21	196,12

In termini numerici la simulazione effettuata prevede che dalla vasca di alimentazione della condotta irrigua pervenga una portata complessiva pari a 4,52 mc/s; giunti in corrispondenza della sezione di attraversamento ferroviario la portata di scoppio che effluisce attraverso la rottura della tubazione è calcolata pari a 2,02 mc/s. La differenza di portata (4,52 – 2,02), pari a 2,50 mc/s prosegue attraverso il tronco di condotta di valle.

La somma delle perdite di carico del primo tratto sommate al carico residuo e alla quota dell'asse condotta restituiscono la quota piezometrica (255,82 = 196,12 + 59,70) sul punto di rottura:

$$\Delta H = H_{iniz.} - \text{carico residuo} - H_{asse} = 274,10 - 196,12 - 59,70$$

Si fa presente che per il tratto di valle si è tenuto conto del carico residuo sulle tubazioni necessario al funzionamento del sistema di turbinaggio. Nell'ipotesi che la centrale idroelettrica di progetto non stia funzionando e, quindi, le turbine siano by-passate, un equivalente carico residuo è previsto sia dissipato da specifiche valvole di sicurezza di dissipazione del carico. Dunque, ai fini dello schema di simulazione idraulica in caso di rottura della condotta, la centrale idroelettrica posta al termine della condotta irrigua è equivalente ad un serbatoio posto ad una quota di 233 m slm, pari alla quota piezometrica a monte delle turbine, dalla quale occorre sottrarre la perdita di carico indotta – in alternativa- della turbine o dal sistema di dissipazione del carico di emergenza, pari a circa 100 metri di colonna d'acqua, per ottenere la quota del recapito finale delle acque rappresentato dalle vasche di accumulo del Grassano poste a 130 mslm.

La quota piezometrica in corrispondenza della sezione di rottura risulta pari a 59,70 m slm (quota asse condotta) + 196,12 m (perdita di carico per efflusso attraverso la rottura) = 255,82 mslm superiore alla quota di recapito di valle, come detto pari a 233 mslm: non possono verificarsi flussi idrici dal tronco di valle verso la sezione di rottura.

$$Q_{fin.} = \text{quota piezometrica} - \Delta H = 255,82 - 21,72 \cong 233 \text{ m slm}$$

11. VERIFICA DELLO SMALTIMENTO DELL'INTERA PORTATA, IN CASO DI ROTTURA, ATTRAVERSO LA LUCE DI SFIORO ALLA SOMMITÀ DEL POZZETTO

Come espresso al paragrafo precedente, è stata valutata la portata effluente attraverso una sezione di rottura, che è stata ipotizzata come il completo cedimento di una saldatura, lungo tutta la circonferenza della condotta, caratterizzata da un'ampiezza di 10 mm.

Per lo smaltimento della portata defluente si è prevista la realizzazione di una soglia sfiorante avente larghezza pari a 9,80m.

Essendo la portata sfiorata pari a:

$$Q = \mu b h^{3/2} \sqrt{2g}$$

dove:

Q= portata effluente (2,02 m³/s);

$\mu=0,40$ coefficiente di efflusso relativo ad uno stramazzo rettangolare senza contrazione laterale;

b = 9,80 m larghezza della soglia sfiorante;

g = accelerazione di gravità (m/s²)

E' stato possibile, dunque, calcolare il carico idraulico sulla soglia necessario all'efflusso della portata da smaltire, pari a 0,238 m:

B	g	h	μ
m	m/s ²	m	
9,8	9,81	0,238	0,4

Essendo la luce libera al di sopra della soglia di sfioro pari a 0,35 m la portata defluirà senza impedimenti.

Inoltre, si prevede la posa di una griglia metallica a protezione del manufatto e tale da non permette intrusioni da parte di estranei.

12. VERIFICA DEL CANALE DI SCARICO

A valle della soglia di sfioro di cui al paragrafo precedente, è prevista la realizzazione di un canale, esterno al manufatto, deputato al trasporto verso il corpo ricettore finale delle acque provenienti dalla rottura della condotta di progetto.

Detto canale è previsto in calcestruzzo ed è ubicato in adiacenza al manufatto di sezionamento e scarico di progetto.

Si descrive di seguito la verifica idraulica effettuata; nello specifico, è stato progettato un canale a sezione rettangolare, caratterizzato da:

base: 1,00 m;

altezza: 1,00 m;

pendenza: 12,00 ‰

La verifica è stata effettuata mediante la formula di Gauckler-Strickler, con coefficiente di resistenza $K=70$, tipico dei canali in calcestruzzo:

$$Q = K \sigma R^{2/3} i^{1/2}$$

Dove:

Q = portata transitante nei singoli tratti di tubazione;

K = coefficiente di scabrezza di Strickler, imposto pari a 90;

σ = sezione della tubazione;

i = pendenza del canale;

R = raggio idraulico della condotta in esame

Dal calcolo emerge che, considerando la portata di rottura pari a 2,02 m³/s, il tirante che si instaura nella sezione del canale è pari a 0,62 m; si conclude, quindi, che l'altezza utile della sezione, pari a 1,00 m è più che sufficiente, in quanto in grado di contenere la portata di scarico.