

**REGIONE
TOSCANA**



COMMISSARIO DI GOVERNO CONTRO IL DISSESTO IDROGEOLOGICO

**DEMOLIZIONE DEGLI OSTACOLI AL REGOLARE DEFLUSSO DELLE
ACQUE NELL'ABITATO DI CARRARA DALLA CONFLUENZA DEL
GRAGNANA, FINO AL VECCHIO PONTE DELLA FERROVIA**

STUDIO TECNICO

Dott. Ing. Enrico Bersanelli

Piazza Gramsci 16, Aulla 54011 (MS)

Tel. 0187027563 Fax. 0187027564 cell. 3358204530

Mail: enrico.bersanelli@gmail.com

Mail pec: enrico.bersanelli@ingpec.eu

RELAZIONE IDRAULICA

COMMITTENZA:

**COMMISSARIO DI GOVERNO CONTRO IL
DISSESTO IDROGEOLOGICO**

LOCALITA INTERVENTO:

CARRARA

RELAZIONE IDRAULICA

DATA:

FEBBRAIO 2019

PROGETTISTA:

Dott. Ing. Enrico Bersanelli

1. Indici

1.1. Indice generale

1. INDICI	1
1.1. Indice generale	1
2. INTRODUZIONE.....	3
2.1. Eventi intensi recenti.....	3
3. ASTA PRINCIPALE FRA LA CONFLUENZA DEL GRAGNANA E LA FOCE..	6
3.1. Il Bacino del Carrione	6
3.2. Caratteristiche sedimentologiche dell'alveo	8
3.3. Morfologia del Carrione	8
3.4. Idrologia del bacino del Carrione.....	10
3.5. portate di riferimento.....	12
4. DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO.....	13
4.1. Equazioni per il calcolo del profilo idraulico.....	13
4.2. Calcolo della profondità di stato critico	15
4.3. Calcoli idraulici per sezioni con singolarità	15
5. MODALITÀ DI DEFLUSSO DELLA PIENA	18
5.1. Caratterizzazione geometrica	18
5.2. Parametri idraulici	21
6. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI	23

Indice delle figure

Fig. 1 – Mappa delle aree adiacenti il Carrione inondate nel corso dell’evento del 23 Settembre 2003	4
Fig. 2 – Immagine del Ponte Grappoli nel corso della piena del 24 Luglio 1968 (sez. 102 del modello)	5
Fig. 3 – Il bacino del Carrione con i suoi tre affluenti principali.....	6
Fig. 4 – Immagine di un sistema di cave e ravaneti delle Alpi Apuane.....	7
Fig. 5 – Ubicazione dei sondaggi: Rn campionamenti superficiali; Tn campionamenti del sottostrato	8
Fig. 6 – Curva del Carrione in prossimità del viale della Stazione.....	9
Fig. 7 – Barre nel tratto terminale del Carrione.....	9
Fig. 8 – Portate derivate dal modello MOBIDIC.....	10
Fig. 9 – Idrogrammi di piena nella sezione di chiusura del Bacino del Carrione	11
Fig. 10 – Valori delle portate stimate nei rami principali della rete	11
Fig. 11 – schema della successione delle sezioni	16
Fig. 12 – Tratto interessato dalla simulazione con indicazione delle sezioni	18
Fig. 13 – Tratto interessato dalla simulazione sez. 102 e 93.4.....	19
Fig. 14 – Tratto interessato dalla simulazione sez. 98.1 e 91.3.....	20
Fig. 15 – Planimetria del tratto interessato dalla simulazione sez. 106 – 87.2.....	22
Fig. 16 – Tratto interessato dalla simulazione	23
Fig. 17 – Profili idraulici stato attuale del tratto	23
Fig. 18 – Profili idraulici stato di progetto del tratto	24
Fig. 19 – Profili idraulici sovrapposti del tratto.....	24
Fig. 20 – Profili in corrispondenza della sez. 102.....	70
Fig. 21 – Profili a monte del ponte di via S. Martino	70
Fig. 22 – Profili in corrispondenza della sez. 93.45.....	70

2. INTRODUZIONE

Il presente studio è motivato dalla necessità di procedere alla demolizione dei alcuni ponticelli e passerelle sul torrente Carrione nell'abitato di Carrara che, a seguito dello *"Studio idraulico del Torrente Carrione con analisi dei possibili interventi per la mitigazione del rischio"* effettuato dal DICCA *"Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale"* dell'Università di Genova, sono risultati essere di ostacolo al regolare deflusso delle acque.

Costituiscono le basi del presente documento i seguenti elaborati:

- Carta Tecnica Regionale della porzione di territorio in esame;
- Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico redatto dal Bacino regionale Toscana nord ai sensi della L. 183/89 e del D.L. 180/98;
- Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012;
- Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Genova di cui al Decreto n. 3952 del 26-08-2015 ad oggetto: Affidamento dell'incarico *"Studio idraulico del torrente Carrione, con analisi dei possibili interventi per la mitigazione del rischio"* ai sensi dell'art. 125, c. 1, 2 cpv, DLgs 163/2006. Ordinanza Commissario Delegato OCDPC 215/2014, n. 10/2015 - Intervento U7-a.

Agli eventi eccezionali nella Provincia di Massa Carrara ed, in particolare, nel Comune di Carrara, il 5 Novembre 2014, è seguita la delibera del Consiglio dei Ministri del 12 Dicembre 2014, con la quale è stato dichiarato lo stato d'emergenza, e la successiva ordinanza del Capo del Dipartimento della Protezione Civile n. 215 del 24 Dicembre 2014, con la quale veniva nominato Commissario delegato per fronteggiare tale emergenza il Dirigente responsabile del Settore "Sistema Regionale di Protezione Civile" della Regione Toscana.

Ne è seguito un Piano degli interventi, approvato dal Commissario delegato con ordinanza n. 10 del 09/03/2015, in cui era compreso (Allegato 5) l'intervento U7-a Studio Idraulico e progettazione preliminare degli interventi sul T. Carrione, per la cui attuazione il Commissario delegato, con ordinanza n. 15 del 31/03/2015, n. 19 del 5/05/2015 e n. 33 del 20.07.2015, ha stabilito di avvalersi del Settore regionale Difesa del Suolo.

Quest'ultimo ha quindi ritenuto di affidare lo svolgimento dello studio suddetto al Dipartimento DICCA dell'Università di Genova attraverso apposita Convenzione.

Il suddetto studio illustra i risultati relativi alle modellazioni idrauliche e all'analisi della fattibilità di possibili interventi per la mitigazione del rischio idraulico nel bacino del Carrione.

2.1. Eventi intensi recenti.

Nella lunga lista delle alluvioni subite dal nostro Paese, il torrente Carrione figura con rilevante frequenza. Ricordiamo, nei tempi recenti, le più disastrose alluvioni che si sono verificate.

- 5 Novembre 2014. L'onda di piena del Carrione da luogo al collasso del muro di sponda destra, in località Avenza, e invade l'abitato di Marina di Carrara. A causa dell'alluvione muore una donna, vengono sfollate alcune centinaia di persone e si verificano danni ingenti a privati cittadini e alle attività imprenditoriali collocate nel

territorio nella fascia adiacente il corso d'acqua.

- 11 novembre 2012. Precipitazioni superiori ai 200 *mm* in due ore e di quasi 300 *mm* nelle colline appena retrostanti la città. Esondazione dei torrenti, zone sotto 1 metro di acqua per diversi giorni, numerose frane, 5000 abitazioni colpite e 300 sfollati. Un morto per infarto.
- 28 novembre 2012. Precipitazioni intense (40 *mm* in 15', 134 *mm* in 1 h, 200 *mm* in quasi due ore). Esondano i torrenti Carrione e Parmignola che inducono ulteriori danni.
- 23 settembre 2003. Cadono sul bacino del torrente Carrione oltre 200 *mm* di pioggia in sole due ore e mezza. L'onda di piena investe l'alta valle a Colonnata, Forno e Torano, quindi il centro storico di Carrara e la frazione di Avenza. Danni molto gravi e 2 vittime. L'estensione dell'area interessata dalle esondazioni è rappresentata nella mappa riportata in figura.

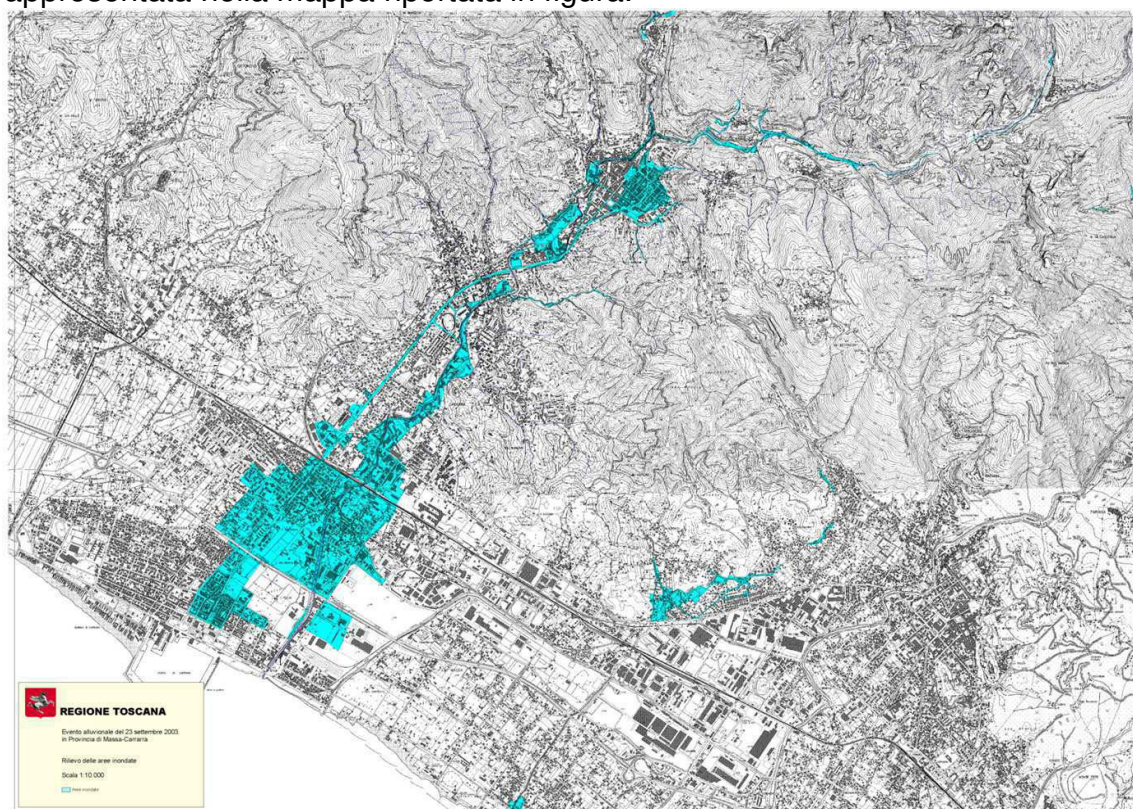


Fig. 1 – Mappa delle aree adiacenti il Carrione inondate nel corso dell'evento del 23 Settembre 2003

- 24 Settembre 1982. Informazioni dall'archivio Piene del Progetto AVI: località colpite: Carrara; 1 vittima; danni gravi a infrastrutture (collasso del muro spondale in sinistra idraulica in corrispondenza dell'Aurelia, danni alla viabilità a servizio delle cave), edifici civili e industriali e strutture di interesse pubblico.
- 24 Luglio 1968. Oltre 300 *mm* di pioggia in sei ore sulla zona di Carrara e precipitazioni estreme sull'intero bacino. Informazioni dall'archivio Piene del Progetto AVI: località colpita il Comune di Carrara; danni gravi a edifici civili (crollo di due case) e infrastrutture di comunicazione. Il rigurgito di diversi ponti (Vezzala, Groppoli, S. Martino) determina estese esondazioni.
- 16 Novembre 1968. Evento alluvionale con rilevanti danni alla viabilità nel bacino montano ed esondazioni di diversi affluenti.

- 27 Ottobre 1949. Citiamo da La Stampa (28 ottobre 1949). *"Le autorità si sono portate stamani sui luoghi maggiormente colpiti dal nubifragio della notte scorsa. In molti casi l'acqua raggiunge i primi piani. Le strade sono trasformate in torrenti. Sfilano sulle acque, dinanzi ai nostri occhi, bestiame, mobili, cose che appartenevano agli uomini cupi che incontriamo passando. Sono stati subito istituiti i posti di soccorso e ad Avenza, ove il fiume Carrione è straripato inondando tutta la vasta zona che si stende dalla centrale fino a Marina di Massa, raggiungendo l'acqua oltre due metri di altezza, le centinaia di famiglie che sono rimaste senza casa stanno a gruppi davanti ai posti di soccorso..."*
L'archivio Piene del Progetto AVI fornisce le seguenti informazioni: località colpite, Avenza, Carrara, Marina di Carrara e San Ceccardo; 1 vittima; 500 sfollati; danni gravi a infrastrutture, edifici civili e industriali e strutture di interesse pubblico.



Fig. 2 – Immagine del Ponte Grappoli nel corso della piena del 24 Luglio 1968 (sez. 102 del modello)

3. Asta principale fra la confluenza del Gragnana e la Foce

3.1. Il Bacino del Carrione

Il bacino idrografico del Torrente Carrione è uno dei bacini che il PAI attribuisce al comprensorio denominato Toscana Nord, delimitato a Nord dal bacino del fiume Magra, a Est dal bacino del fiume Serchio, a sud est dal bacino del fiume Camaiore e ad ovest dal mar Ligure. Tale territorio comprende i corsi d'acqua che hanno origine dalla catena delle Alpi Apuane e sfociano a mare dopo un percorso più o meno breve. Tali corsi d'acqua sono caratterizzati da pendenze elevate nell'alto e medio bacino e pendenze più basse nella piana alluvionale.

I Fiumi e Torrenti di questa area sono stati arginati nella parte valliva e, anche in ragione di tali interventi, hanno assunto nel tempo caratteristiche pensili.



Fig. 3 – Il bacino del Carrione con i suoi tre affluenti principali

Il bacino ha un'area di circa $46,6 \text{ km}^2$ e lunghezza intorno a $15,4 \text{ km}$. L'asta principale del corso d'acqua si forma immediatamente a monte della città di Carrara, dove confluiscono i due principali sottobacini: quello che alimenta il ramo di Torano ed il cosiddetto Carrione di Colonnata, che prendono il nome dai due centri abitati principali siti nei corrispondenti sottobacini.

La parte alta del bacino ha caratteristiche montane; essa drena infatti parte significativa delle Alpi Apuane, in cui sono localizzate importanti cave di marmo, a cui sono associate vere e proprie discariche dei materiali di risulta di queste: tali discariche, denominate ravaneti, ricoprono spesso le pendici dei rilievi e contribuiscono, in occasione di eventi di precipitazione intensi, ad un rilevante apporto artificiale di sedi-

menti al corso d'acqua.

Proseguendo verso valle, il Torrente riceve in destra le acque di un ulteriore affluente di rilievo, il Gragnana, e di affluenti minori (il Canal Grande, il Torrente Fossola e il Fosso di S. Luca). In tale tratto intermedio, la valle è caratterizzata da pendenza decrescente dal 3% all'1% circa e l'alveo è inciso nel conoide alluvionale. Tali caratteri persistono all'incirca fino al ponte sulla linea ferroviaria Pisa - Genova.

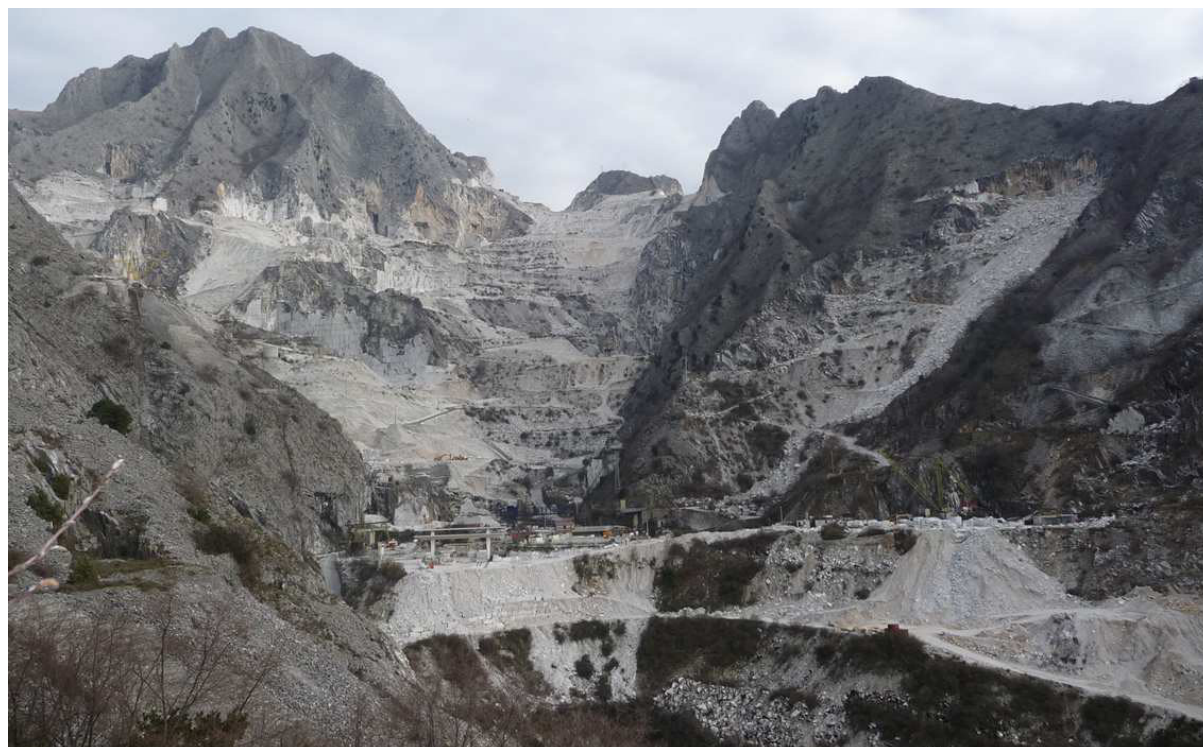


Fig. 4 – Immagine di un sistema di cave e ravaneti delle Alpi Apuane

Il successivo tratto terminale dell'asta principale, fino al suo recapito finale nel mar Ligure, ha caratteristiche pensili. L'alveo è delimitato da muri di sponda che hanno sostituito, nel tempo, argini in terra.

La pericolosità degli eventi di piena che caratterizza questo bacino, discende da un concorso di fattori:

- *Alta piovosità*, con valori annui che possono raggiungere 3000 mm: la presenza della catena delle Alpi Apuane a ridosso della costa accentua l'effetto delle correnti umide provenienti dall'Atlantico cariche di vapore acqueo.
- *Intensità delle precipitazioni*, dovuta ad un peculiare meccanismo di intensificazione degli eventi meteorologici, che caratterizza in particolare i bacini della Liguria e i bacini costieri dell'alta Toscana. La specificità di tale meccanismo trova riconoscimento nella letteratura internazionale¹.
- *La morfologia del bacino*, in particolare la sua forte acclività nella parte montana in cui si raggiungono quote fino a 2.000 m circa. Tale caratteristica rende il bacino potenzialmente in grado di trasportare a valle sedimenti di notevole dimensione e generare correnti detritiche: i cosiddetti *debris flows*.
- *La forte e disordinata antropizzazione*, che ha manifestato effetti negativi tanto nella parte montana dei bacini (in cui la viabilità a servizio delle attività di cava e le stesse cave sono state spesso realizzate ignorando il deflusso delle acque) tanto

¹ Prende il nome di "Ciclogenese del Golfo Ligure" (Buzzi e Tibaldi, 1978; Emanuel, 2005)

nella parte valliva, a causa di una edificazione che ha costretto il corso d'acqua in un alveo insufficiente al deflusso delle piene intense, non compensato dalla presenza di aree golenali o casse di espansione adeguate.

3.2. Caratteristiche sedimentologiche dell'alveo

Nel già citato "Studio idraulico del Torrente Carrione con analisi dei possibili interventi per la mitigazione del rischio" effettuato dal DICCA "Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale" dell'Università di Genova, sono riassunti i risultati dei campionamenti e analisi granulometriche dello strato superficiale, finalizzati alla stima delle resistenze al moto.

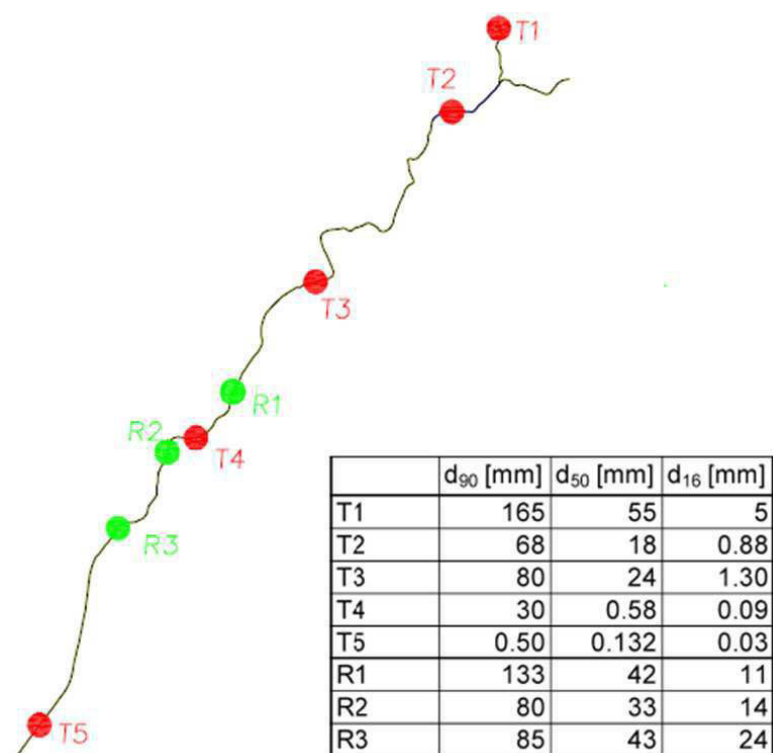


Fig. 5 – Ubicazione dei sondaggi: Rn campionamenti superficiali; Tn campionamenti del sottotrato

Vennero effettuate diverse campagne di prelievi ed i diametri caratteristici delle distribuzioni granulometriche relative ai campioni prelevati sono riportati nella tabella della figura.

3.3. Morfologia del Carrione

Il Carrione è un corso d'acqua il cui assetto è il risultato di interventi antropici che ne hanno condizionato lo sviluppo sia planimetrico che altimetrico. In origine l'alveo vagava nella pianura alluvionale. Permangono tracce di alcune curve (Figura 1.6) oggi stabilizzate per effetto della realizzazione di opere di difesa spondale, muri in pietra o in calcestruzzo che, nel tempo, hanno sostituito o si sono sovrapposti agli originali argini in terra.



Fig. 6 – Curva del Carrione in prossimità del viale della Stazione.

La canalizzazione dell'alveo ha dato luogo alla formazione di barre alternate, forme di fondo di grande scala visibili nel tratto terminale, nelle porzioni non interessate da dragaggi o interventi di rimodellazione del fondo.



Fig. 7 – Barre nel tratto terminale del Carrione

Nella parte di corso d'acqua a monte del Ponte Ferroviario della linea Genova-Roma l'alveo ha subito nel tempo modifiche consistenti in variazioni della sua larghezza per effetto della realizzazione di insediamenti adiacenti al corso d'acqua e variazioni della sua altimetria determinate dalla realizzazione di una sequenza di soglie che hanno ridotto la pendenza del fondo, nei tratti compresi fra soglie successive, a valori significativamente minori della pendenza della valle.

3.4. Idrologia del bacino del Carrione

Su indicazione del Committente, fonderemo le nostre analisi su un autorevole e recente studio relativo all'idrologia del bacino del Carrione, che è stato svolto nel 2014 dall'Università di Firenze nell'ambito del progetto: Attività di Ricerca per la Mitigazione del Rischio Idraulico nella Regione Toscana, coordinato dal responsabile scientifico Prof. Fabio Castelli.

Lo studio si è fondato sull'adozione di un modello idrologico distribuito (denominato MOBIDIC) che, sollecitato da un gran numero di eventi di pioggia caratterizzati da distribuzione spaziale e temporale arbitraria, consente di generare un gran numero di eventi di piena cui è associato lo stesso periodo di ritorno T . Per assegnato T , l'evento critico relativo a ciascun ramo della rete idrografica, e allora identificato come quello che determina il massimo picco di portata in quel ramo della rete. Tale evento associa a ciascun ramo della rete un idrogramma di piena per assegnato periodo di ritorno.

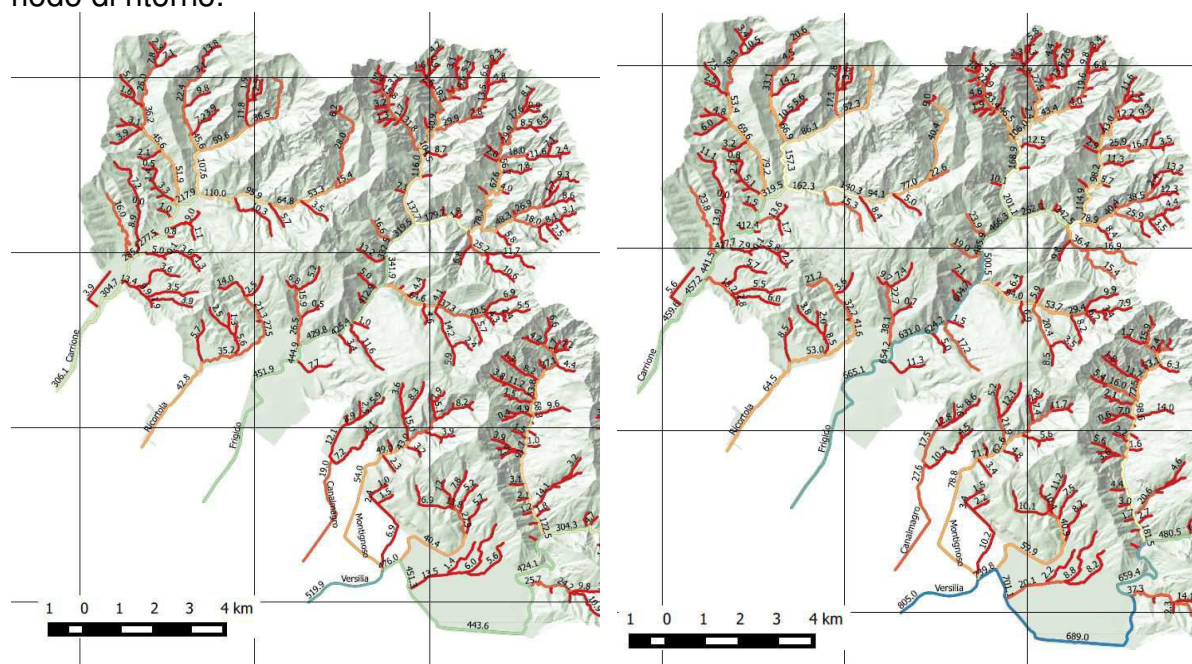


Fig. 8 – Portate derivate dal modello MOBIDIC

Il software MOBIDIC si avvale: di un modello digitale del terreno in forma raster a maglia quadrata con 10 m di risoluzione (reso disponibile dalla Regione Toscana - DG Governo del Territorio - Sistema Informativo Territoriale ed Ambientale); di un reticolo idrografico in forma vettoriale semplicemente connesso; delle mappe di caratteristiche idrauliche del suolo aggiornate al 2014 (fonte SoilData & Unifi -DICEA).

Il modello ha naturalmente esigenze di calibrazione di alcuni parametri globali. Tali esigenze hanno potuto essere soddisfatte solo in parte utilizzando dati relativi al Bacino del Carrione poiché le stazioni idrometriche in telemisura presenti nel bacino non hanno scale di deflusso validate.

I risultati delle simulazioni per quanto concerne le portate al picco nei diversi rami della rete per tempi di ritorno 30 e 200 anni nella parte alta del bacino sono riportati nella figura.

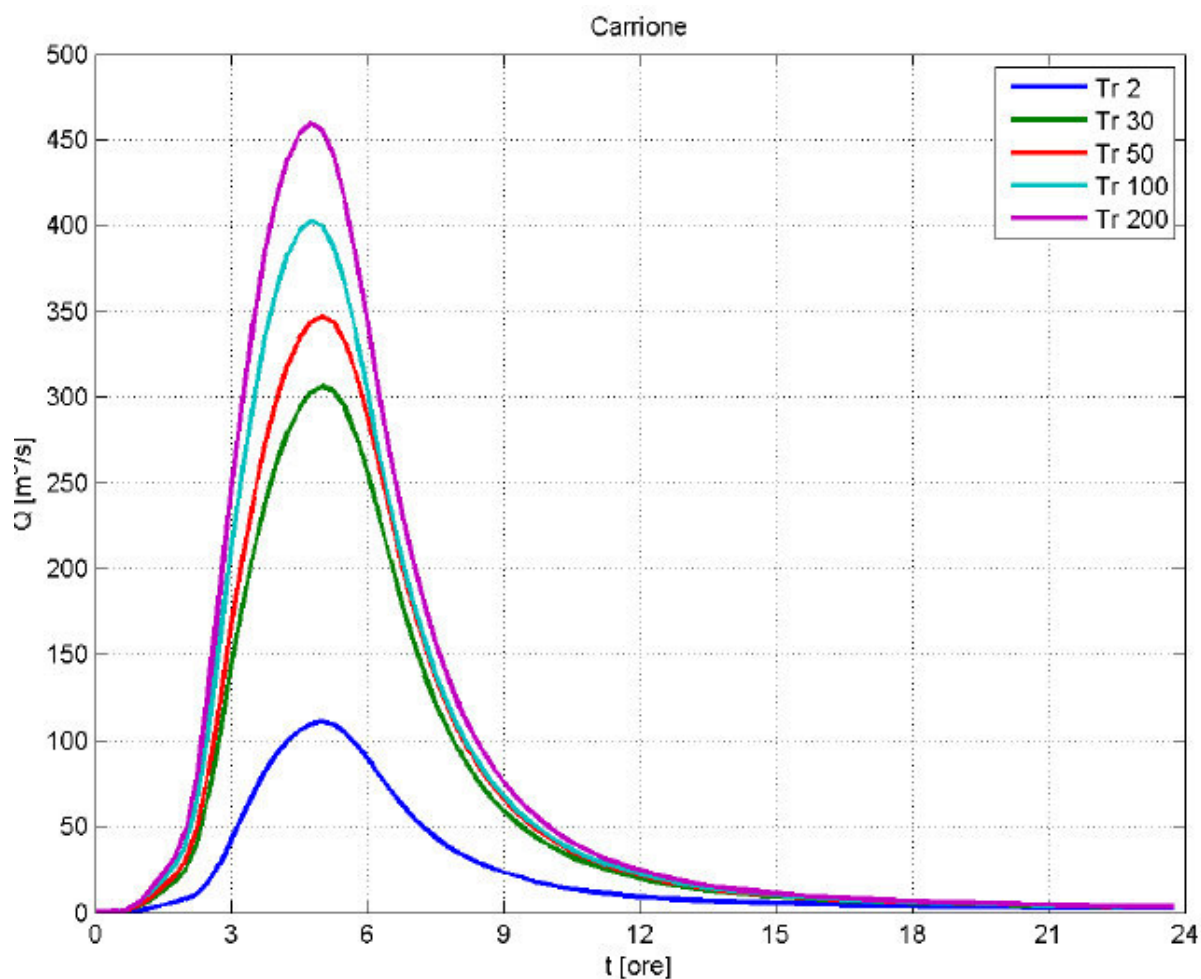


Fig. 9 – Idrogrammi di piena nella sezione di chiusura del Bacino del Carrione

Nella figura sono riportati gli idrogrammi di piena nella sezione di chiusura del Bacino per tempi di ritorno da 2 a 200 anni.



Fig. 10 – Valori delle portate stimate nei rami principali della rete

Infine, nella predente tabella, sono riassunti i valori massimi delle portate stimate nei rami principali della rete per i diversi periodi di ritorno. La portata trentennale nell'asta principale del Carrione varia per effetto dei contributi di diversi affluenti. I valori riportati nella tabella sono quelli con i quali è stato sollecitato il corso d'acqua nelle simulazioni descritte al punto successivo.

3.5. portate di riferimento

Nello studio citato al § 2, le simulazioni sono state eseguite per diversi valori di portata, compresi fra Q2 e Q30, corrispondenti rispettivamente a periodi di ritorno di 2 anni e 30 anni ($111 \text{ m}^3/\text{s}$ e $306 \text{ m}^3/\text{s}$, quest'ultima alla foce).

Esse sono finalizzate a individuare le criticità che occorre rimuovere al fine di massimizzare la portata transitabile in condizioni di sicurezza nell'asta principale del corso d'acqua compresa fra la città di Carrara e la foce.

Tuttavia, le conclusioni a cui si giunge a seguito di tale analisi sono che nel tratto cittadino del Carrione può transitare una portata di circa $270 \text{ m}^3/\text{sec}$, caratterizzata da un tempo di ritorno trentennale.

Avuto riguardo alla simbologia ed alla numerazione delle sezioni del modello, si sono assunti, nella seguente valutazione, per la Q30, i seguenti valori:

N	River	Reach	RS	Q30 m^3/s
1	Carrione	Colonnata	106	270
2	Carrione	Colonnata	100	270
3	Carrione	Colonnata	97	270
4	Carrione	Colonnata	90	278
5	<i>Carrione</i>	<i>Colonnata</i>	66	280
6	<i>Carrione</i>	<i>Colonnata</i>	62	286
7	<i>Carrione</i>	<i>Colonnata</i>	60	295
8	<i>Carrione</i>	<i>Colonnata</i>	50	306

Tab. 1 – Valori delle portate nei tratti principali del torrente Carrione (in grassetto il tratto interessato)

Tale portata è quella che è stata presa per la presente simulazione.

4. DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO

Il calcolo viene effettuato a fondo fisso e assumendo condizioni di moto stazionario. Viene quindi risolta numericamente l'equazione dei profili di rigurgito relativa ad alvei non cilindrici. Si osservi che l'ipotesi di stazionarietà è qui appropriata data la brevità del tratto di corso d'acqua esaminato.

La valutazione della sufficienza idraulica è stata poi condotta mediante l'ausilio di un codice² per il calcolo dei profili idraulici in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali (o artificiali), che consente anche la valutazione degli effetti della corrente dovuti all'interazione con ponti, briglie, stramazzi ed aree golenali.

In primo luogo occorre fornire le informazioni relative alla geometria del corso d'acqua in un'apposita sezione del software (denominata *geometrie data*), all'interno della quale si devono definire il corso del fiume (denominato *reach*), la geometria delle sezioni (denominata *cross section geometry*), la distanza fra le sezioni (denominata *reach lengths*) e il coefficiente di scabrezza, rappresentativo delle perdite di carico, secondo la formulazione di Manning.

In questa sezione è possibile definire la quota delle sponde (denominate *left and right elevations*), degli argini (denominati *levees*), inserire nella sezione delle aree dove l'acqua arriva ma non contribuisce al deflusso (denominate *ineffective flow areas*) e delle coperture (denominate *lids*).

Il codice di calcolo permette anche di fornire la geometria dei ponti in una sezione (denominata *bridge and culvert data*) nella quale è possibile definire per ogni ponte l'impalcato (denominato *deck/roadway*), le pile (denominate *piers*), le spalle (denominate *sloping abutments*) e le condizioni di calcolo (denominate *bridge modelling approach*).

Successivamente occorre impostare la sezione relativa alle condizioni di moto (denominata *steady flow data*), definendo la portata di riferimento per le diverse sezioni fluviali e le condizioni al contorno (denominate *boundary conditions*). A questo punto il codice di calcolo è pronto per eseguire i calcoli idraulici nella sezione denominata *steady flow analysis*.

I risultati delle computazioni idrauliche sono proposti attraverso delle tabelle riepilogative (*cross-section table* e *profile table*), dei grafici delle sezioni geometriche (*plot cross-section*), dal profilo longitudinale (*plot profile*) ed infine tramite una visione prospettica tridimensionale del sistema fluviale (*x, y, z perspective plot*).

4.1. Equazioni per il calcolo del profilo idraulico

L'ipotesi alla base delle formulazioni per la determinazione del profilo idraulico è che il moto dell'acqua nel canale sia uniforme. Questo significa che tutte le grandezze caratterizzanti la corrente (altezza idrica, velocità media nella sezione, portata, ecc.) risultano costanti nel tempo e nello spazio.

Sotto questa ipotesi, la pendenza media disponibile i_m , definita come il rapporto fra la differenza di quota e la distanza fra la sezione di monte e quella di valle, è esattamente pari alla cadente piezometrica J , che rappresenta le dissipazioni energetiche per unità di lunghezza. La relazione $i_m = J$ costituisce l'equazione fondamentale del moto uniforme.

La determinazione del profilo teorico in moto permanente è ottenuta tramite

² HEC-RAS, River Analysis System (versione 5.0.3), sviluppato da U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 609 Second Street, Davis, California, USA.

l'applicazione del cosiddetto *Standard Step Method*, basato appunto sull'equazione mono-dimensionale del contenuto energetico della corrente:

$$H_1 - H_2 = h_f + h_e \quad (1)$$

dove H_1 [m] ed H_2 [m] sono i carichi totali della corrente nelle sezioni di monte e di valle del tronco d'alveo considerato, h_f [m] sono le perdite di carico dovute all'attrito del fondo e delle sponde mentre h_e [m] è un termine che tiene conto degli effetti dovuti alla non cilindricità della corrente.

In particolare, h_f dipende principalmente dalla scabrezza del tratto di alveo considerato ed è esprimibile come:

$$h_f = J_f \cdot L \quad (2)$$

con J_f pendenza motrice nel tratto di lunghezza L [m]

Il calcolo di J_f è effettuabile con diverse formulazioni in funzione della pendenza motrice J in corrispondenza delle sezioni di inizio e fine di ciascun tratto.

Il calcolo del termine J nella singola sezione è effettuato mediante la:

$$J = \left[\frac{Q}{K} \right]^2 \quad (3)$$

dove Q [m^3/s] è la portata di calcolo e K (denominato *conveyance*) rappresenta un parametro di conducibilità, ricavabile attraverso la seguente espressione:

$$K = \left[\frac{1}{n} \right] \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \quad (4)$$

dove A [m^2] è l'area della sezione liquida, R [m] il raggio idraulico e n [$m^{-1/3}s$] è il parametro rappresentativo della scabrezza, espresso in termini di coefficiente di Manning.

Il modello consente di suddividere la sezione in più zone in cui assegnare un valore diverso del parametro n di scabrezza; in particolare è possibile individuare tre zone principali: quella centrale dell'alveo inciso (denominata *main channel*) e due zone laterali golenali (denominate *right and left overbanks*).

Per le verifiche occorre eseguire una corretta e cautelativa definizione dei parametri di scabrezza.

I valori di scabrezza sono dipendenti da vari fattori tra cui il materiale del fondo alveo - sponde - golene, la vegetazione, le forme di fondo, la forma della sezione e l'irregolarità delle sponde, l'andamento planimetrico dell'alveo, la presenza di ostruzioni o singolarità.

Per il calcolo della scabrezza equivalente n_c , il codice di calcolo utilizza la formula:

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N \left(P_i \cdot n_i^{\frac{2}{3}} \right)}{P} \right] \quad (5)$$

dove P [m] rappresenta il perimetro bagnato dell'intera sezione, P_i [m] e n_i [$m^{-1/3}s$] il perimetro bagnato e il coefficiente di Manning della sezione i -esima. Per rappresentare la macro-scabrezza, in particolare nei tratti urbani dove si possono trovare edifici in prossimità del corso d'acqua, il codice di calcolo permette di inserire dei blocchi (denominati *blocked obstruction*), che sono aree della sezione permanentemente bloccate, le quali diminuiscono l'area della sezione e aggiungono perimetro bagnato quando l'acqua giunge a contatto con esse.

Il termine h_e dipende, invece, dalla variazione del carico cinetico della corrente tra le sezioni i ed $i+1$ dovuta al cambio di geometria delle sezioni stesse ed è a sua volta esprimibile come:

$$h_e = \beta \left| \alpha_i \frac{V_i^2}{2g} - \alpha_{i+1} \frac{V_{i+1}^2}{2g} \right| \quad (6)$$

dove β è un coefficiente di contrazione o espansione dipendente dalle condizioni geometriche del tratto considerato, V_i e V_{i+1} [m/s] sono i valori delle velocità medie agli estremi del tronco e α_i e α_{i+1} sono i coefficienti correttivi dell'energia cinetica.

4.2. Calcolo della profondità di stato critico

Al tirante idrico in condizioni di stato critico corrisponde la massima portata teoricamente smaltibile dalla sezione, indipendentemente dalla natura del fondo e delle pareti, nonché dall'inserimento della sezione stessa in un tronco fluviale. Esso è stato valutato imponendo che il numero di Froude, indicato con Fr , assuma valore unitario. In termini di portata e per le sezioni in esame, si scrive:

$$Fr = \frac{VA}{\sqrt{A^2 g h_m}} \quad (7)$$

dove g è l'accelerazione di gravità, h_m il tirante idrico, A l'area bagnata della sezione e V la velocità media della sezione.

4.3. Calcoli idraulici per sezioni con singolarità

Il codice di calcolo consente la simulazione del deflusso attraverso ponti (*bridge*) e tombinature (*culvert*) mediante la loro schematizzazione geometrica (impalcato, pile, setti, ecc.).

La procedura di calcolo utilizzata consente di simulare il deflusso a pelo libero al di sotto dell'impalcato, il deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato e la combinazione del deflusso in pressione e del deflusso con scavalco dell'impalcato stesso (funzionamento a stramazzo). Per il deflusso a pelo libero il modello utilizza il metodo della conservazione della quantità di moto (*Momentum Balance*) che consiste nell'eguagliare la quantità di moto fra la sezione di monte e di valle del manufatto attraverso tre passi successivi:

1) tra sezione esterna di valle (sezione 2) e sezione interna di valle (sezione D):

$$(my)_D + (mq)_D = (my)_2 + (my)_p + (my)_D + (mq)_2 + \frac{F_f - W_x}{\gamma} \quad (8)$$

2) tra sezione interna di valle (sezione D) e sezione interna di monte (sezione U):

$$(my)_U + (mq)_U = (my)_D + (mq)_D + \frac{F_f - W_x}{\gamma} \quad (9)$$

3) tra sezione interna di monte (sezione U) e sezione esterna di monte (sezione 1):

$$(my)_1 + (mq)_1 = (my)_U + (mq)_U + my)_D + (my)_p + \frac{1}{2} C_D \frac{A_p}{A_1} (mq)_1 + \frac{F_f - W_x}{\gamma} \quad (10)$$

Avendo indicato con:

$my = AY$ = prodotto dell'area per la distanza verticale tra il pelo libero e il centro di gravità delle sezioni di deflusso;

$$mq = \frac{Q^2}{g \cdot A} \quad (11)$$

C_D = coefficiente di "drag" variabile in funzione della forma delle pile;

F_f = forza dovuta all'attrito sul fondo e sulle pareti;

W_x = forza peso nella direzione del flusso;

Y = peso specifico dell'acqua;

p = pedice di riferimento della sola sezione bagnata delle pile.

In figura seguente si riporta lo schema della successione delle sezioni (ordinarie e fittizie) utilizzato per il calcolo del profilo in presenza delle pile di un ponte, dove la freccia indica la direzione del moto e i numeri si riferiscono alle sezioni utilizzate nelle formulazioni viste precedentemente.

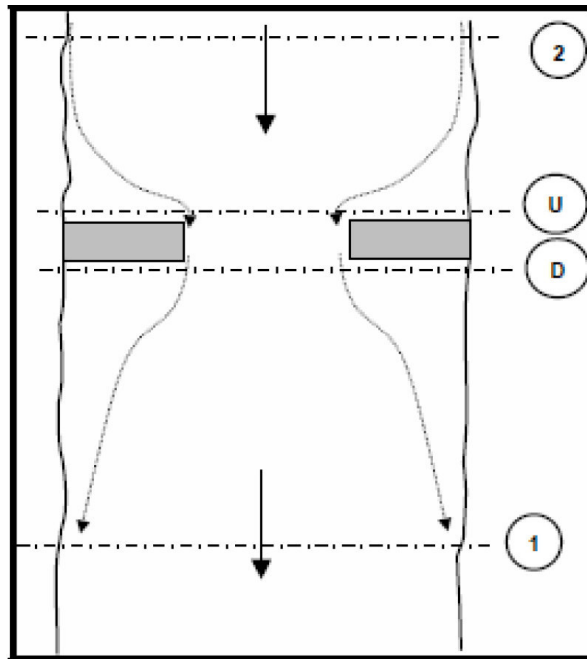


Fig. 11 – schema della successione delle sezioni

Le sezioni che delimitano il tronco devono essere scelte in modo che la corrente che le attraversa sia gradualmente variata e, inoltre, tale che la loro distanza sia sufficientemente breve da poter lecitamente trascurare la risultante degli sforzi di attrito.

Il funzionamento in pressione è simulato mediante la formulazione propria dell'efflusso da luce:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2gh} \quad (12)$$

dove $Q [m^3/s]$ è la portata defluita attraverso la luce di area $A [m^2]$, $H [m]$ è il dislivello tra il carico totale di monte ed il pelo libero a valle e C è il cosiddetto coefficiente di efflusso.

Il programma prevede la messa in pressione della struttura quando, secondo la scelta dell'utente, il carico totale o la quota del pelo libero risultano superiori alla quota dell'intradosso dell'impalcato.

Il funzionamento a stramazzo è simulato attraverso la formulazione standard:

$$Q = C \cdot L \cdot H^{\frac{2}{3}} \quad (13)$$

dove $Q [m^3/s]$ è la portata defluita sulla soglia di larghezza $L [m]$, $H [m]$ è il dislivello tra il carico totale di monte e la quota della soglia e C è il coefficiente di efflusso, variabile in funzione del tipo di stramazzo e del carico sopra la soglia.

Nel caso di funzionamento combinato di moto in pressione con scavalcamento del ponte (stramazzo) l'entità delle portate stramazzeanti e defluenti al di sotto dell'impalcato viene determinata attraverso una procedura iterativa combinando le equazioni che regolano i due fenomeni.

Nella verifica di sezioni particolari, quali ad esempio le zone di confluenza, dove non sono applicabili le relazioni precedenti, è stato applicato il teorema della quantità di moto. In particolare, è stato individuato un volume di controllo definito dalla superficie di contorno del tratto in esame in cui è applicabile la relazione:

$$F_s + G = I + M_u - M_e \quad (14)$$

dove F_s è la risultante delle forze di superficie (spinta idrostatica e attrito del fondo e delle pareti) agenti dall'esterno sul volume di controllo, G è la risultante delle forze di massa (in genere la forza peso), I la risultante delle inerzie locali, M_u e M_e le quantità di moto delle masse che nell'unità di tempo entrano ed escono dal volume di controllo.

5. MODALITÀ DI DEFLUSSO DELLA PIENA

La verifica delle condizioni di deflusso della portata di piena è stata dunque svolta simulando il moto permanente gradualmente variato (portata costante e alveo variabile) in alveo schematizzato come monodimensionale.

5.1. Caratterizzazione geometrica

In considerazione del livello e dello scopo della presente progettazione, per la caratterizzazione geometrica dell'alveo è stato fatto riferimento ai rilievi già a disposizione ed utilizzati per lo studio preliminare.

Le sezioni battute o derivate sono state inserite nel codice di calcolo per verificare le effettive condizioni di funzionamento idraulico del fiume ed in modo stabilire preliminarmente la quota di sommità delle arginature per poi poter effettuare le verifiche.

Per quanto riguarda i ponti ne è stata schematizzata la geometria tramite l'inserimento, nel settore denominato *bridge and culvert data*, dell'impalcato, delle pile e delle condizioni di calcolo per il tracciamento del profilo di moto nei pressi del manufatto stesso.



Fig. 12 – Tratto interessato dalla simulazione con indicazione delle sezioni

Nel modello, da monte verso valle, la numerazione delle sezioni segue il seguente ordine: ponte di via Cavour n. 104, ponte di via San Martino n. 96, ponte di via Elisa n. 91, giungendo fino alla sezione 87.2, dove è presente un salto di fondo.

Le passerelle da demolire, invece, sono individuate, sempre procedendo da monte verso valle, dai n 102, 98.35, 98.1, 93.4 e 91.3.

Rispetto al modello elaborato dal Prof. Seminara, sono state aggiunte alcune sezioni per meglio rappresentare punti singolari, in cui il Torrente subisce variazioni di lar-

ghezza della sezione.

Nello stato di progetto, oltre alla demolizione dei ponticelli, sono state individuate alcune modeste rettifiche del fondo al fine di regolarizzare le modificazioni indotte da

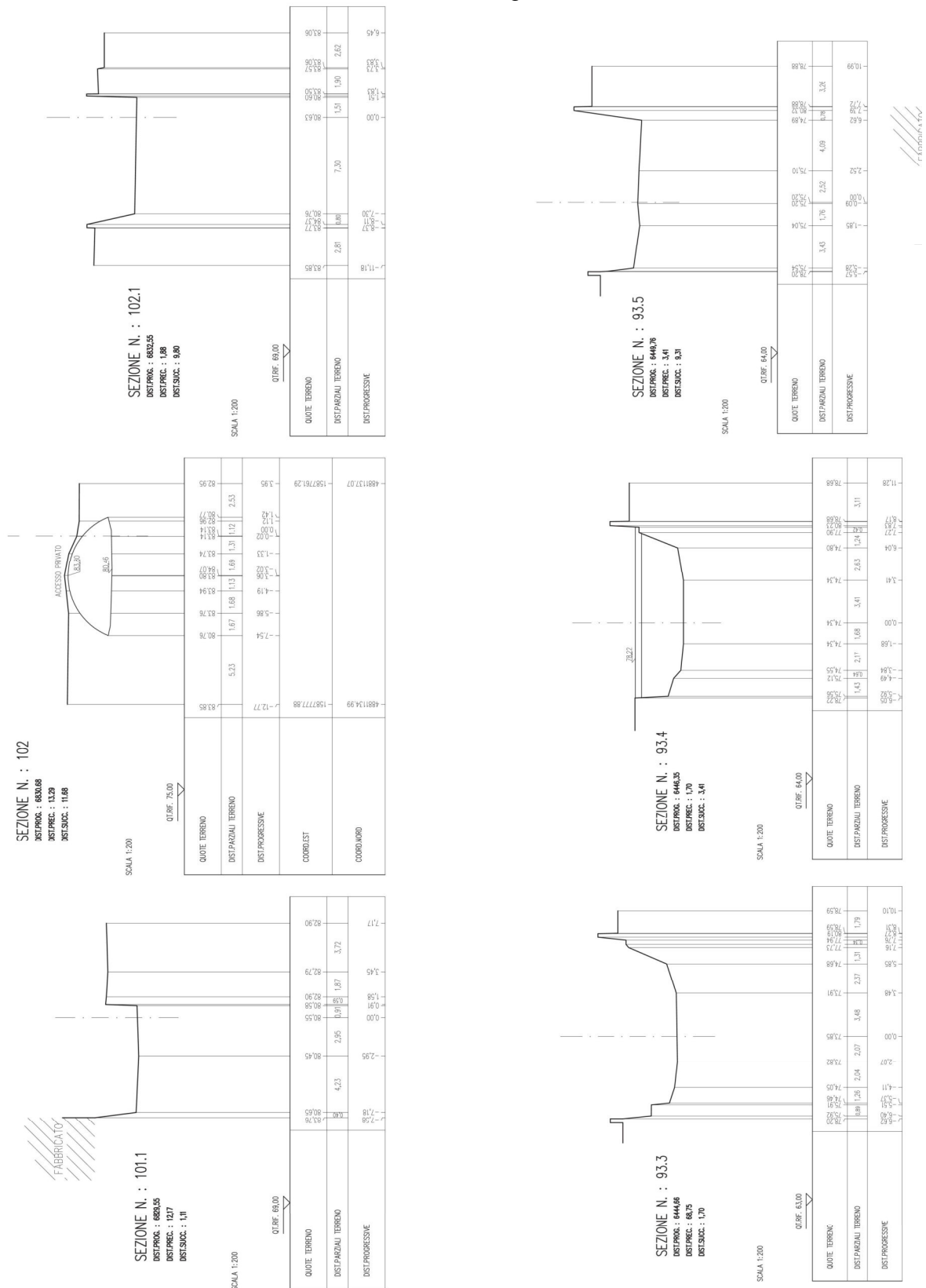


Fig. 13 – Tratto interessato dalla simulazione sez. 102 e 93.4

Fig. 14 – Tratto interessato dalla simulazione sez. 98.1 e 91.3



5.2. Parametri idraulici

Dal punto di vista idraulico, il software Hec-Ras richiede in ingresso i valori di scabrezza e i dati di portata:

coefficienti di scabrezza

Per la scelta dei coefficienti di scabrezza, tralasciando le parti teoriche e riassumendo quanto riportato nel già citato studio, si ha:

- **Tratto terminale**
Definiamo tratto terminale quello compreso fra la foce ed il Ponte Ferroviario della linea Genova-Pisa.
In questo tratto, si possono adottare valori di d_{90} dello strato superficiale compresi fra 30 mm e 80 mm che conducono a valori di k_s compresi nell'intervallo 32-35 $m^{1/3}s^{-1}$ (se si adotta la formula logaritmica con $R \approx 2 m$) e 39-41 $m^{1/3}s^{-1}$ se si adotta la formula di Parker [Parker (1991)].
L'alveo ha andamento abbastanza regolare e, nella situazione attuale, non contiene rilevante vegetazione. Si noti, tuttavia, che le figure precedenti mostrano la presenza di vegetazione.
Appare quindi opportuno adottare un valore di k_s pari a 35 $m^{1/3}s^{-1}$, che può ritenersi appropriato per la valutazione delle resistenze complessive, tenendo peraltro presente che il software include dissipazioni aggiuntive legate a variazioni di larghezza del corso d'acqua.
- **Tratto intermedio**
Definiamo tratto intermedio quello compreso fra il Ponte Ferroviario della linea Genova-Pisa e la sezione 106, localizzata a valle della confluenza Gragnana-Carrione.
In questo secondo tratto, la granulometria è più grossolana. Adottando il valore di d_{90} dello strato superficiale di 130 mm si ottengono valori di k_s compresi fra 29 $m^{1/3}s^{-1}$ e 32 $m^{1/3}s^{-1}$ se si adotta la formula logaritmica o la formula di Parker [Parker (1991)] rispettivamente. Inoltre, l'alveo è molto irregolare per la presenza di massi sul fondo e sponde molto irregolari. Ciò suggerisce una scelta cautelativa.
Porremo, dunque: $k_s = 30 m^{1/3}s^{-1}$.

Il coefficiente di Manning n da introdurre nella simulazione è pari a:

$$n = \frac{1}{k_s} \quad (15)$$

Portate di riferimento

Nelle verifiche idrauliche è stata considerata la portata variabile, da tratto a tratto, come desunta dalla precedente tabella 1; nel tratto in cui si trovano i manufatti da demolire, è stata assunta una portata di 270 m^3/s , desunta dal modello MOBIDIC, come indicato in premessa.

In particolare la citata portata è stata utilizzata come condizione in ingresso a monte del tratto in esame è considerata costante a tratti lungo lo sviluppo del corso d'acqua studiato, in quanto il Fiume ha apporti su detto tratto.

Condizioni al contorno

Il programma Hec-Ras dispone di quattro differenti opzioni per la definizione delle condizioni al contorno per il tratto studiato: una per la sezione di monte (*Upstream*) ed una per la sezione di valle (*Downstream*):

1. **Known Water Surface Elevations:** la condizione al contorno corrisponde ad un valore noto d'altezza d'acqua inserito per ciascuno dei profili da calcolare;

2. *Critical Depth*: la condizione al contorno viene posta uguale alla profondità critica che il programma calcola per ciascuno dei profili;
3. *Normal Depth*: la condizione al contorno è uguale alla profondità di moto uniforme che il programma calcola per ciascuno dei profili. In questo caso si deve inserire la pendenza della linea dei carichi totali, che può essere approssimata mediante la pendenza del tratto nel canale a monte;
4. *Rating Curve*: in questo caso occorre inserire una serie di valori noti di altezza d'acqua e delle relative portate.

La condizione al contorno per ciascun profilo viene ottenuta interpolando le altezze d'acqua della scala di deflusso per il corrispondente valore di portata.

Non conoscendo a priori la natura della corrente si è deciso di impostare la simulazione idraulica in condizioni di regime misto.

Le condizioni al contorno imposte, in congruenza con lo studio citato, sono state le seguenti:

1. *Critical Depth* nella sezione di inizio;
2. *Known Water Surface Elevations*, come desunta dallo studio del Prof. Seminara, nella sezione 87.2, di fine simulazione.

Tali condizioni, anche qualora non fossero quelle effettive, si modificano in un tratto sufficientemente breve e tale da non vanificare le valutazioni desunte dalla simulazione nel tratto di interesse.

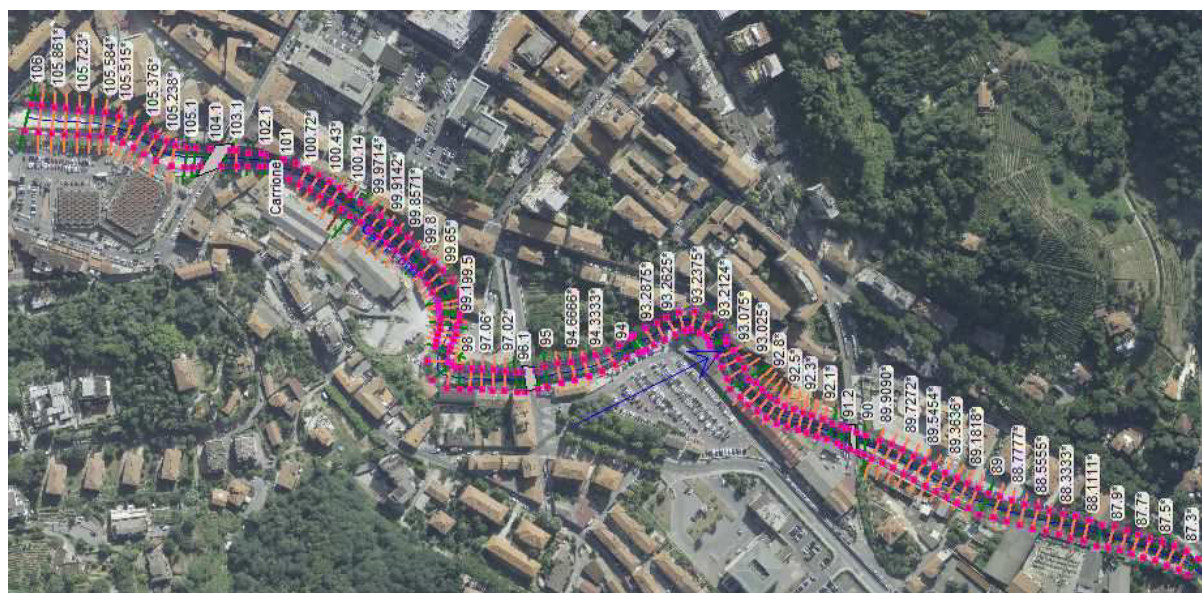


Fig. 15 – Planimetria del tratto interessato dalla simulazione sez. 106 – 87.2

6. Risultati delle simulazioni

Le simulazioni si riferiscono al tratto intermedio, come definito nel precedente paragrafo 5.2, ed in particolare al tratto che comprende i ponticelli da demolire (in rosso nella figura).

Questi ultimi sono compresi, da monte a valle, tra il ponte di via Cavour ed il ponte di via Elisa, evidenziati in arancio nella figura sottostante. Nel tratto è compreso il ponte di via San Martino.



Fig. 16 – Tratto interessato dalla simulazione

Tale tratto del corso d'acqua presenta una larghezza media intorno a 10-12 m, con allargamenti e restringimenti che, a volte, determinano il passaggio da corrente lenta a veloce.

La lunghezza complessiva del tratto in esame è di circa 1,05 km, il suo andamento planimetrico è costituito da tre tratti, formati da curve ad ampio raggio, connessi da due curve, di verso opposto, con raggio molto modesto ed angolo prossimo a $\pi/2$.

La sua pendenza media è pari a circa 1.5%. In esso insistono, tra ponti e passerelle (compreso quelle da demolire), otto attraversamenti.

6.1. Profili

Nelle figure seguenti sono riportati i profili di rigurgito nelle situazioni di stato attuale e progetto.

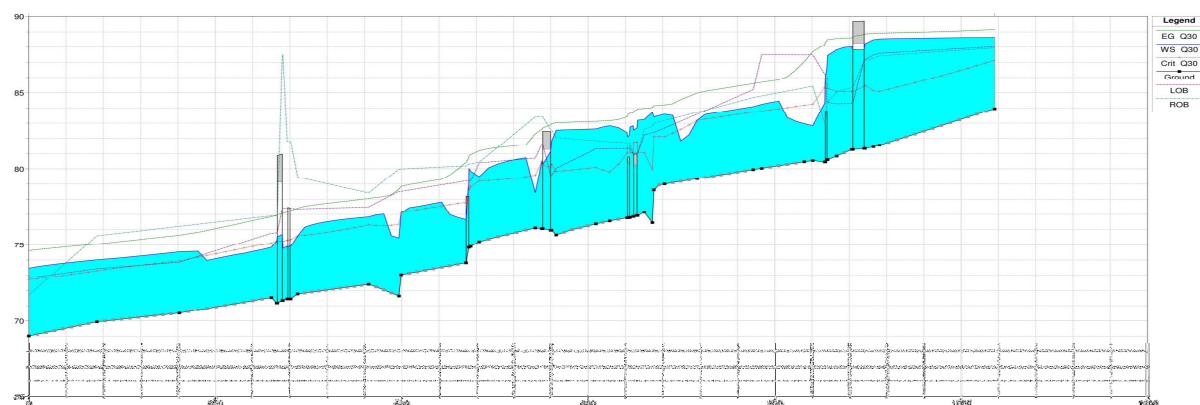


Fig. 17 – Profili idraulici stato attuale del tratto

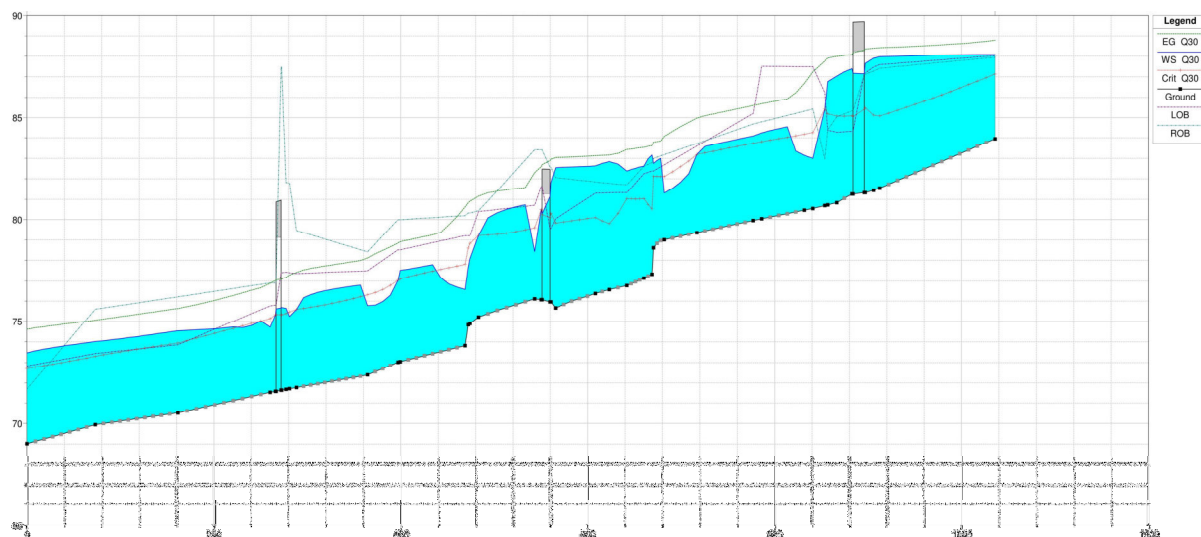


Fig. 18 – Profili idraulici stato di progetto del tratto

Sovrapponendo i due profili si evidenziano le differenze indotte dall'intervento.

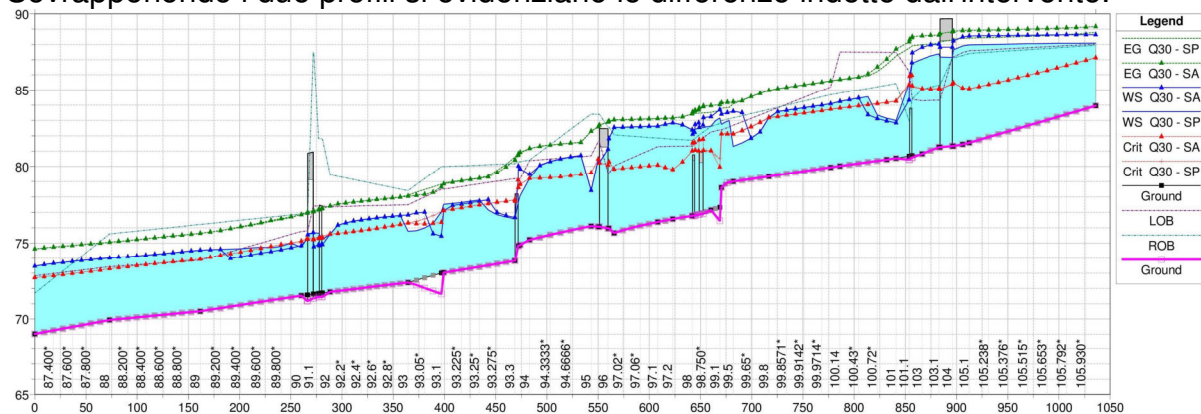


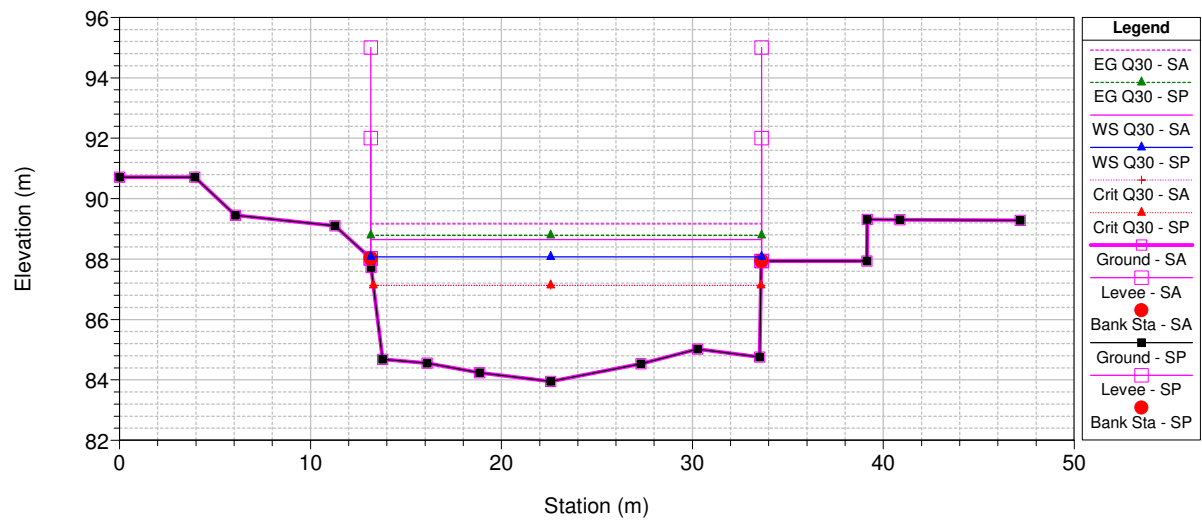
Fig. 19 – Profili idraulici sovrapposti del tratto

6.2. Sezioni

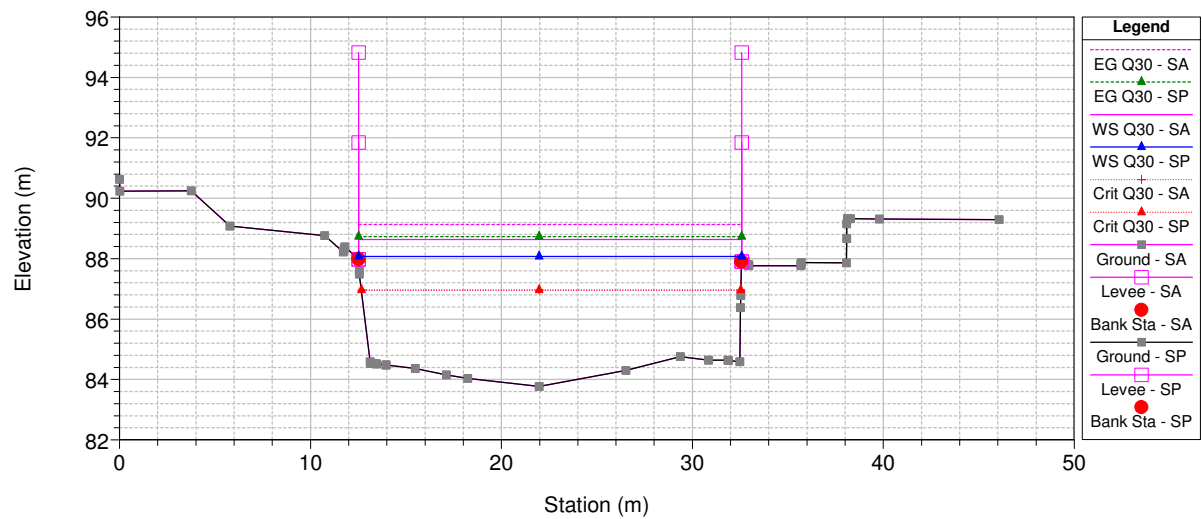
Nelle figure seguenti sono riportate, in stato sovrapposto, le sezioni del Torrente con i livelli idrici raggiunti dalla piena trentennale.

A fianco a ciascuna sezione è riportata la legenda con indicazione delle grandezze rappresentate.

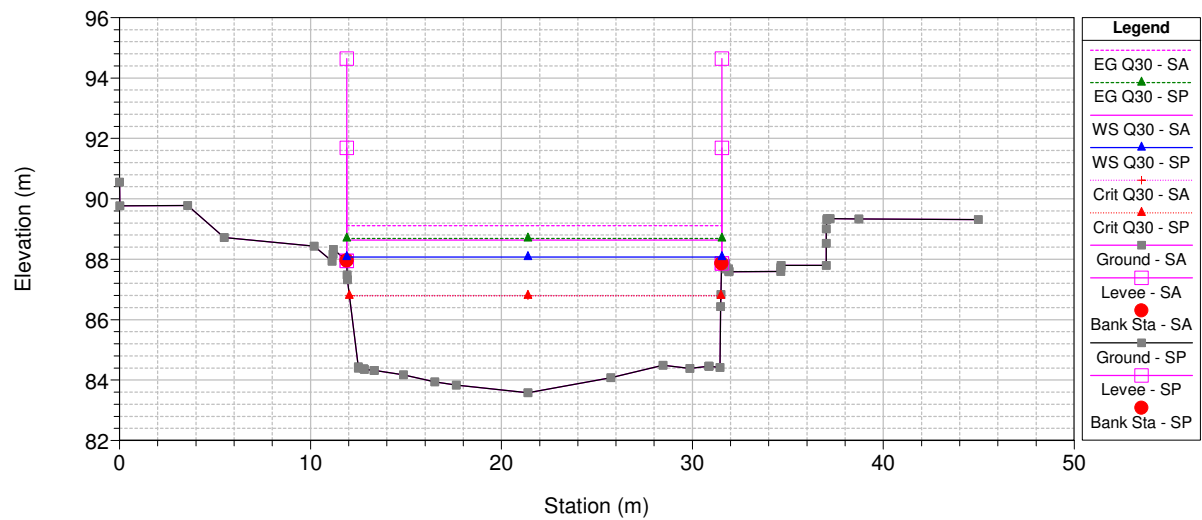
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 106 Distanze: Progressiva 1035.85 m; Parziale 9.495 m



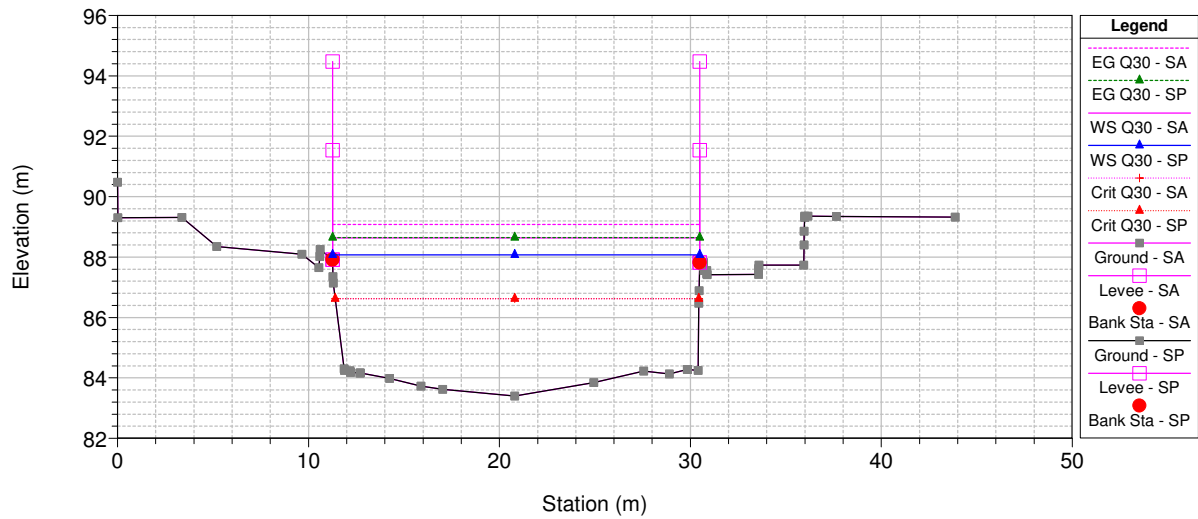
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 105.930* Distanze: Progressiva 1026.36 m; Parziale 9.495 m



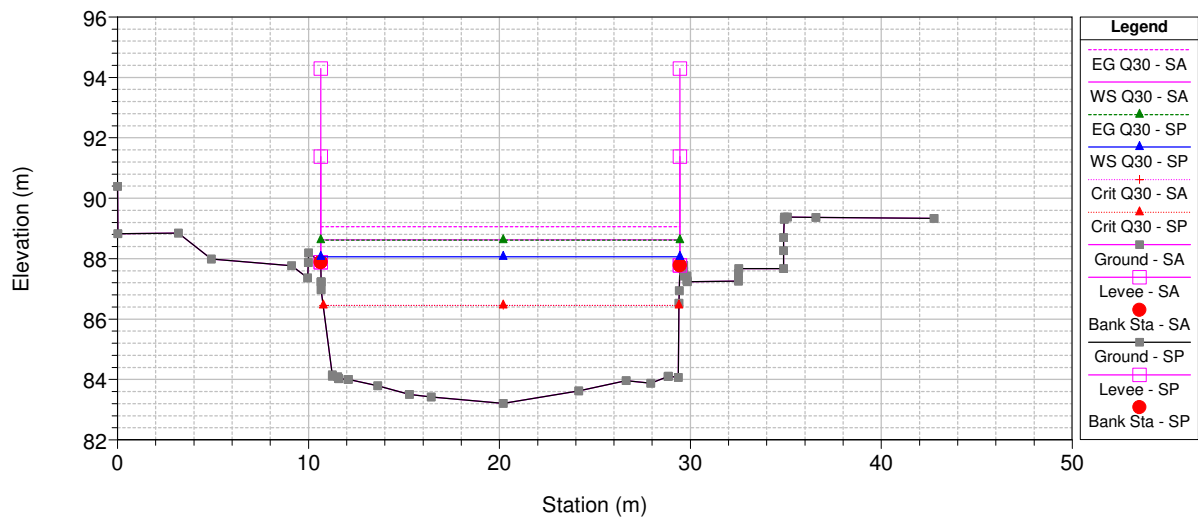
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 105.861* Distanze: Progressiva 1016.86 m; Parziale 9.495 m



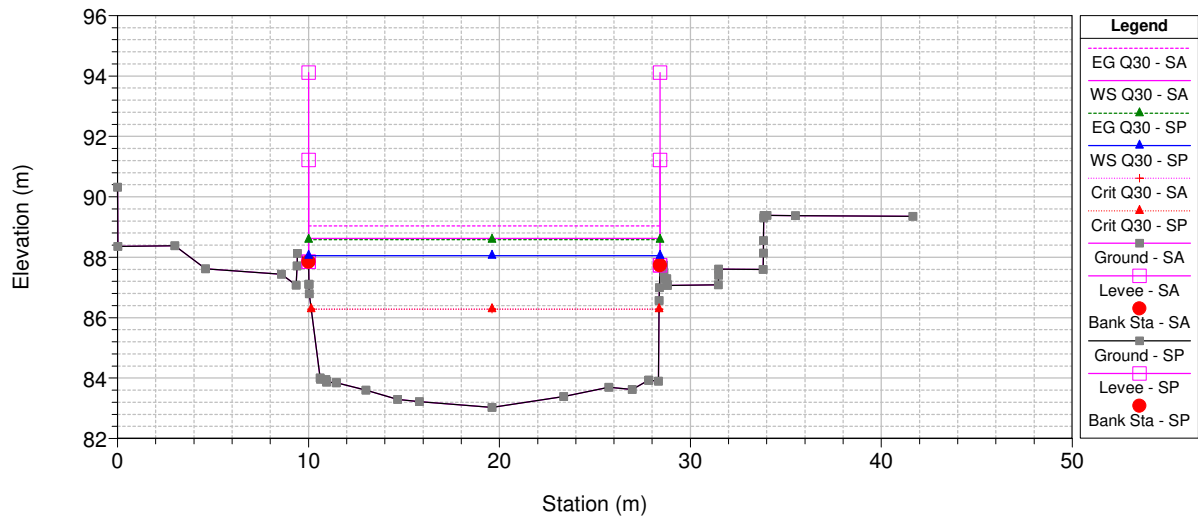
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 105.792* Distanze: Progressiva 1007.37 m; Parziale 9.495 m



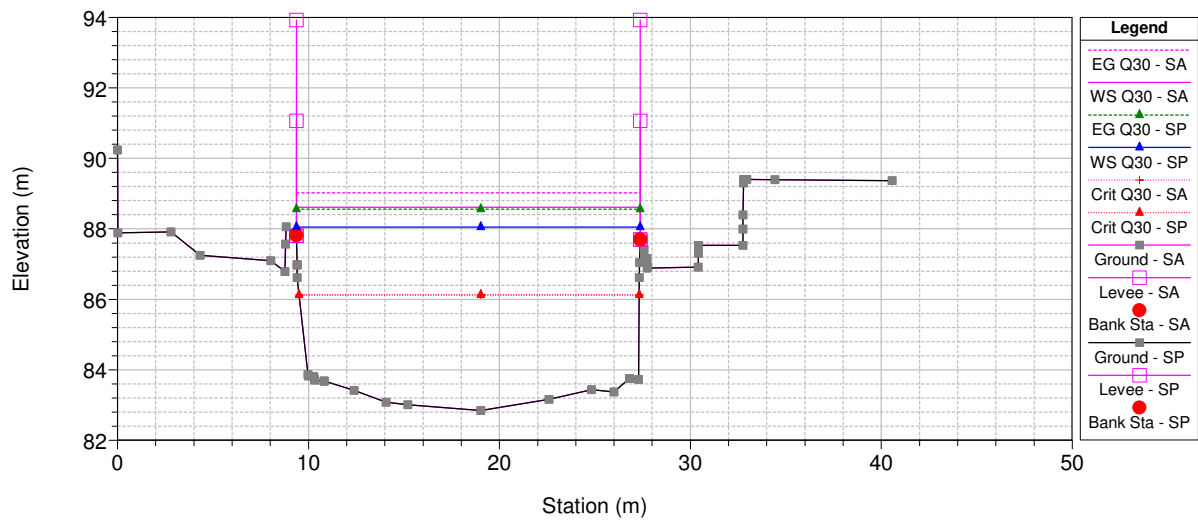
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 105.723* Distanze: Progressiva 997.87 m; Parziale 9.495 m



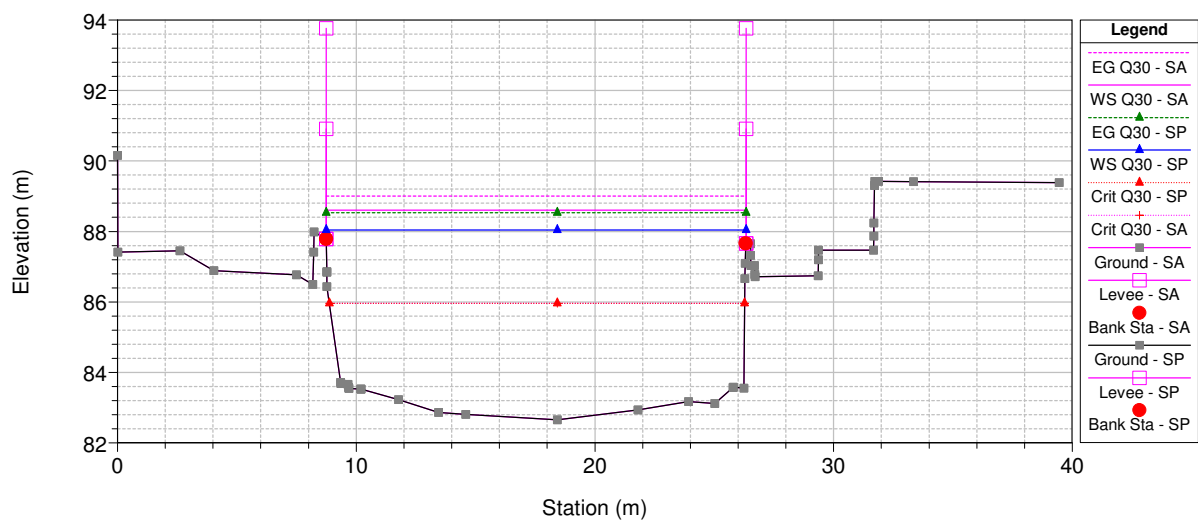
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 105.653* Distanze: Progressiva 988.38 m; Parziale 9.495 m



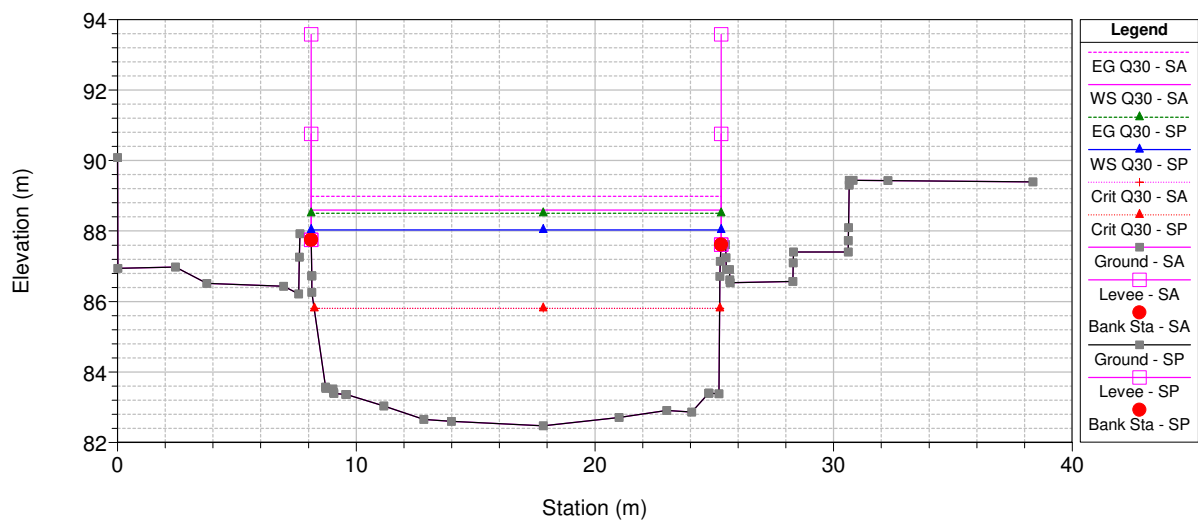
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 105.584* Distanze: Progressiva 978.88 m; Parziale 9.495 m



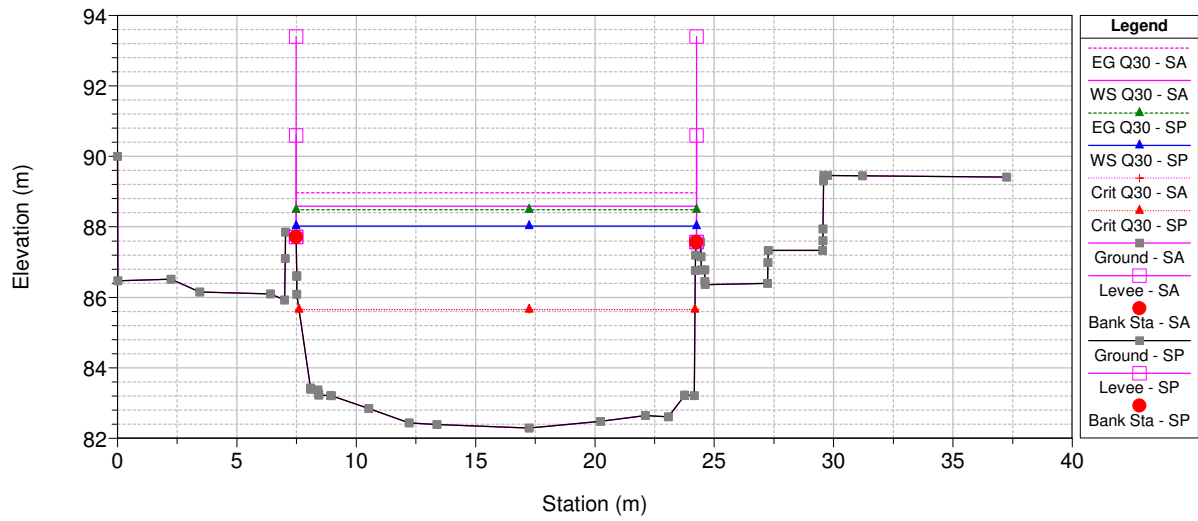
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 105.515* Distanze: Progressiva 969.39 m; Parziale 9.495 m



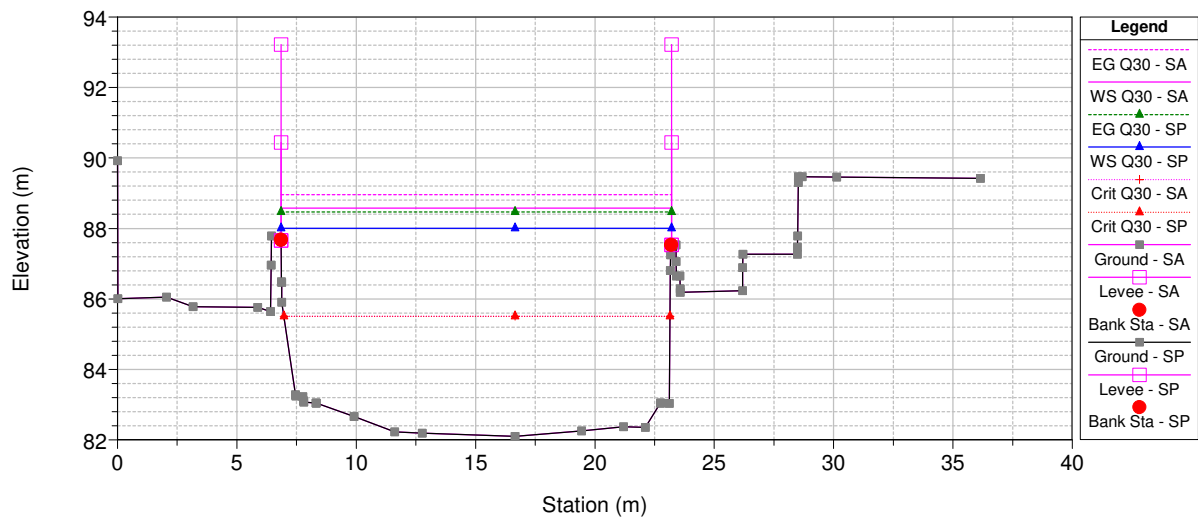
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 105.446* Distanze: Progressiva 959.89 m; Parziale 9.495 m



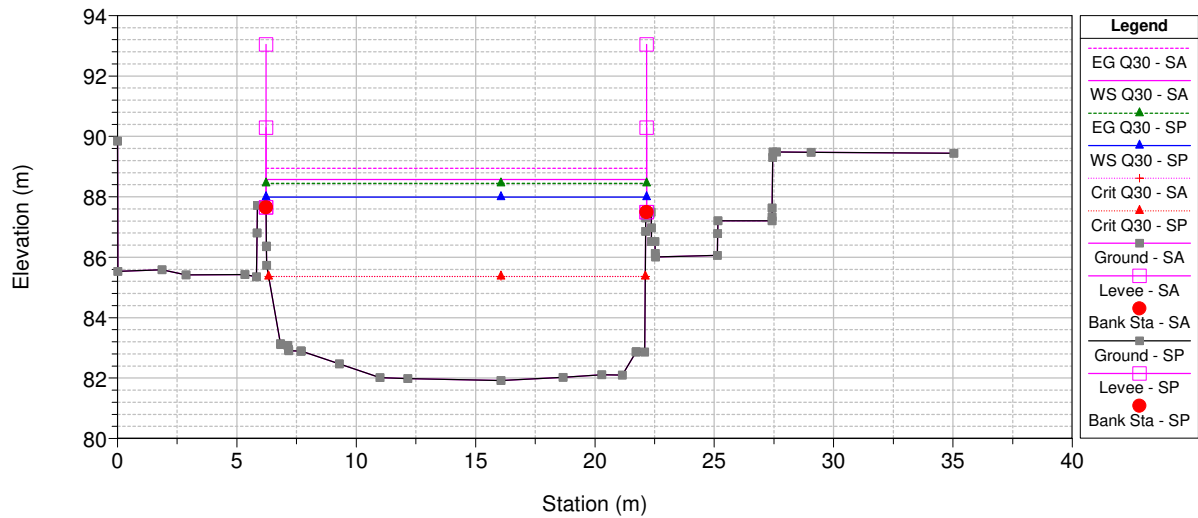
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 105.376* Distanze: Progressiva 950.40 m; Parziale 9.495 m



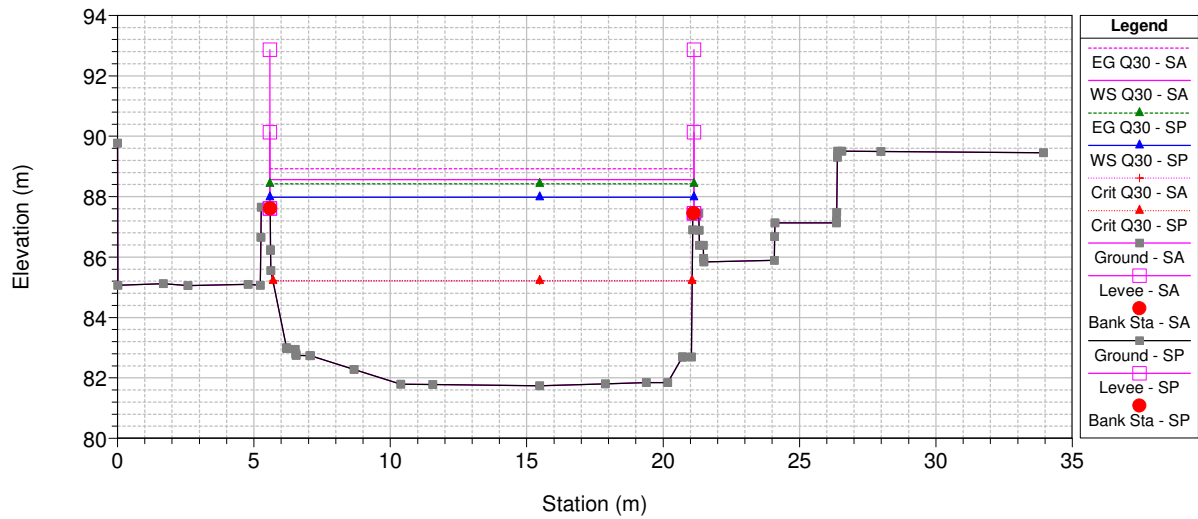
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 105.307* Distanze: Progressiva 940.90 m; Parziale 9.495 m



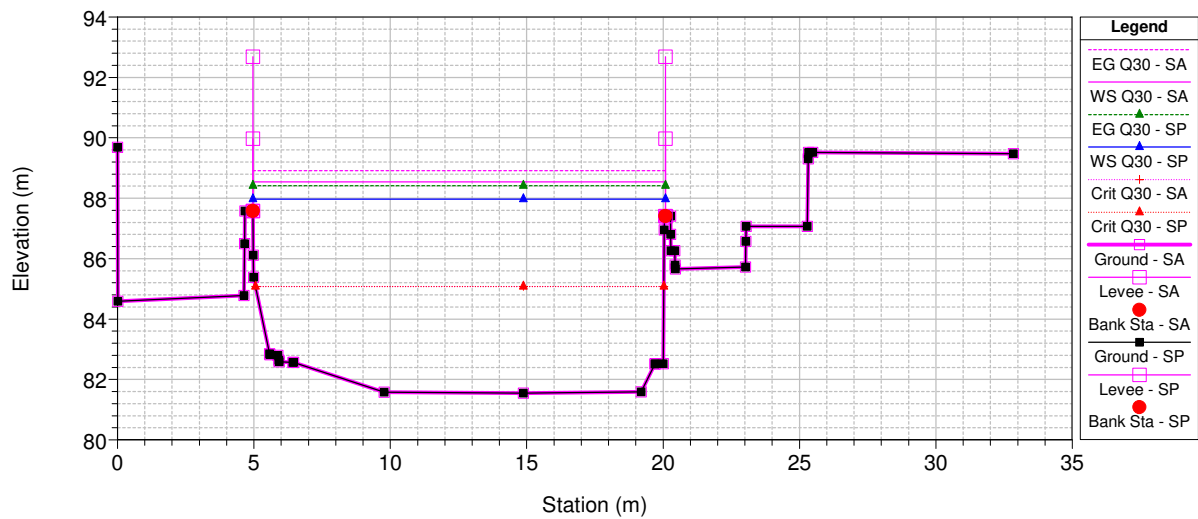
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 105.238* Distanze: Progressiva 931.41 m; Parziale 9.495 m



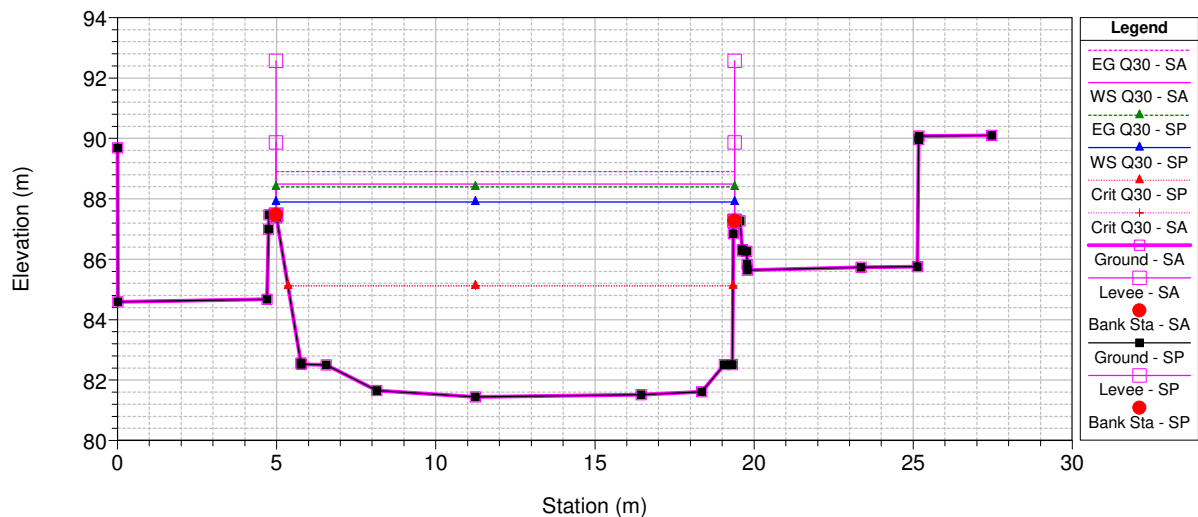
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 105.169* Distanze: Progressiva 921.91 m; Parziale 9.495 m



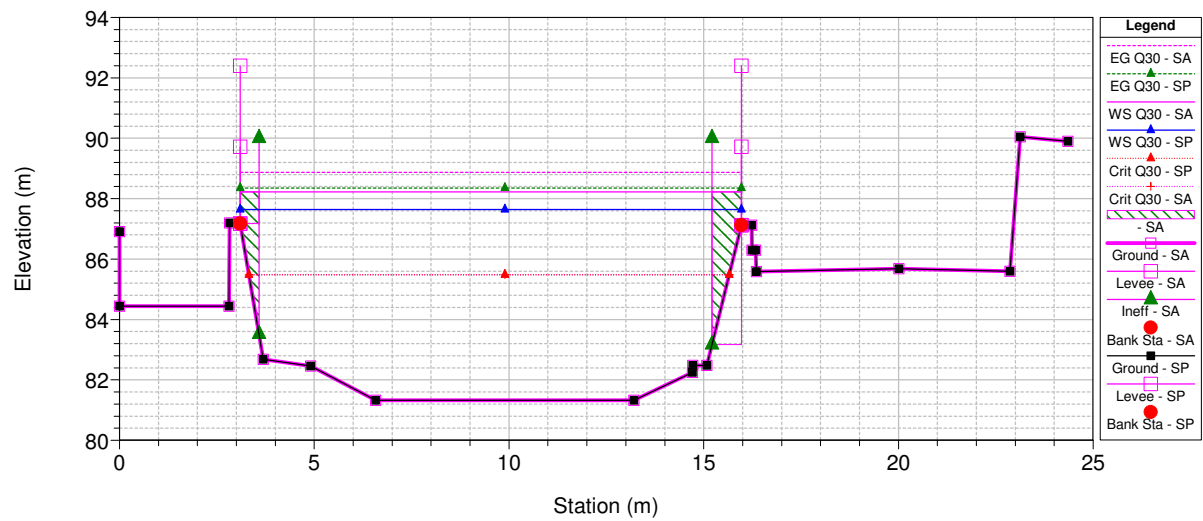
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 105.1 Distanze: Progressiva 912.42 m; Parziale 6.53 m



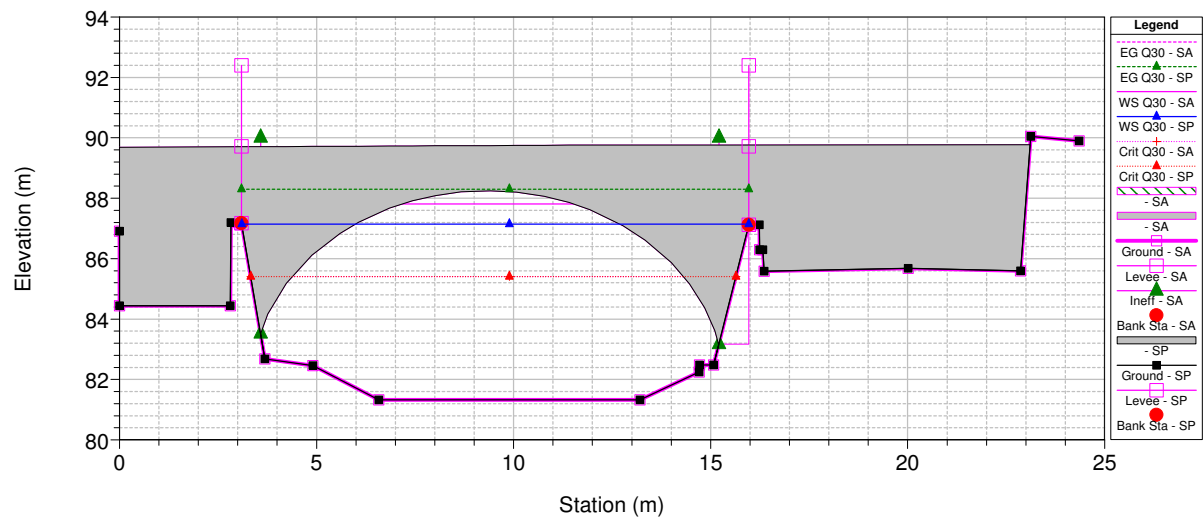
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 105 Distanze: Progressiva 905.89 m; Parziale 8.97 m



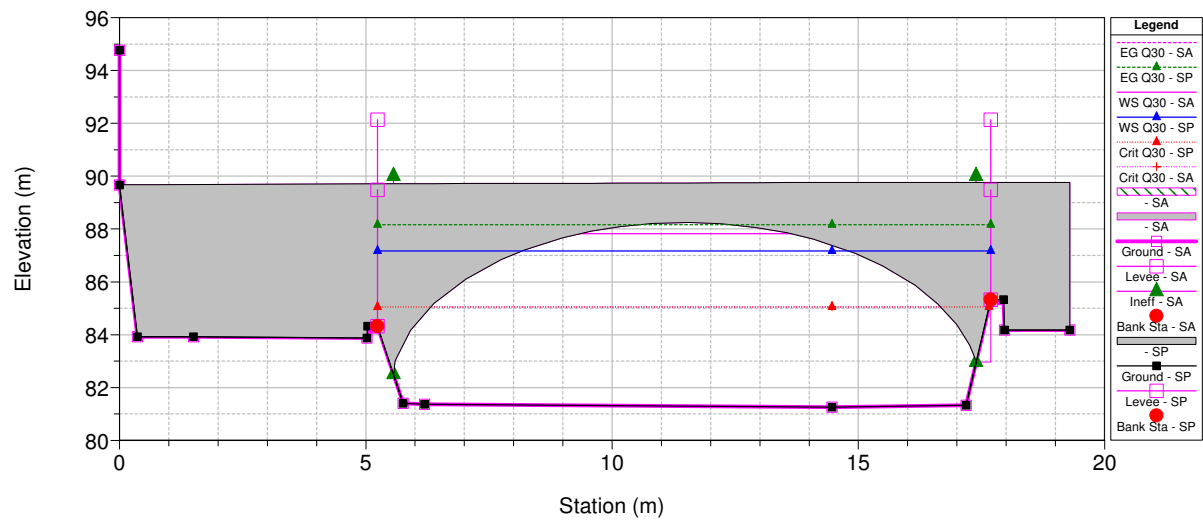
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 104.1 Distanze: Progressiva 896.92 m; Parziale 14.17 m



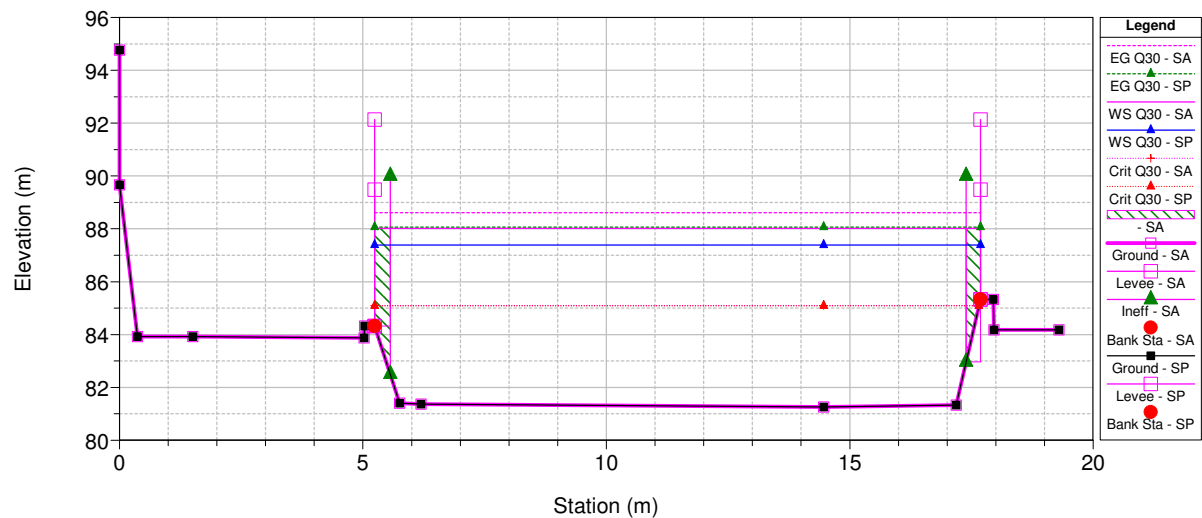
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 104 BR Ponte via Cavour



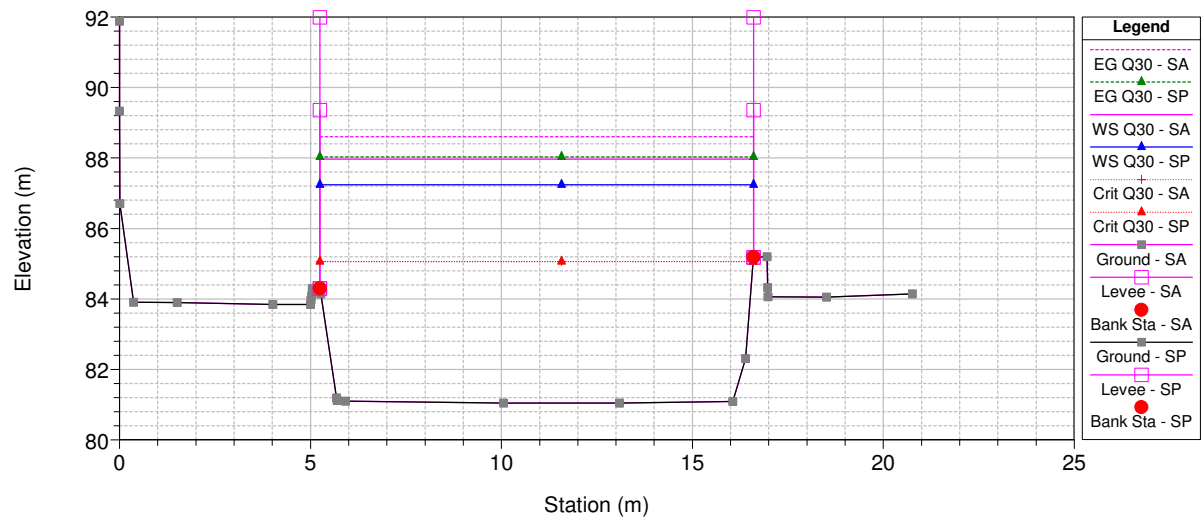
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 104 BR Ponte via Cavour



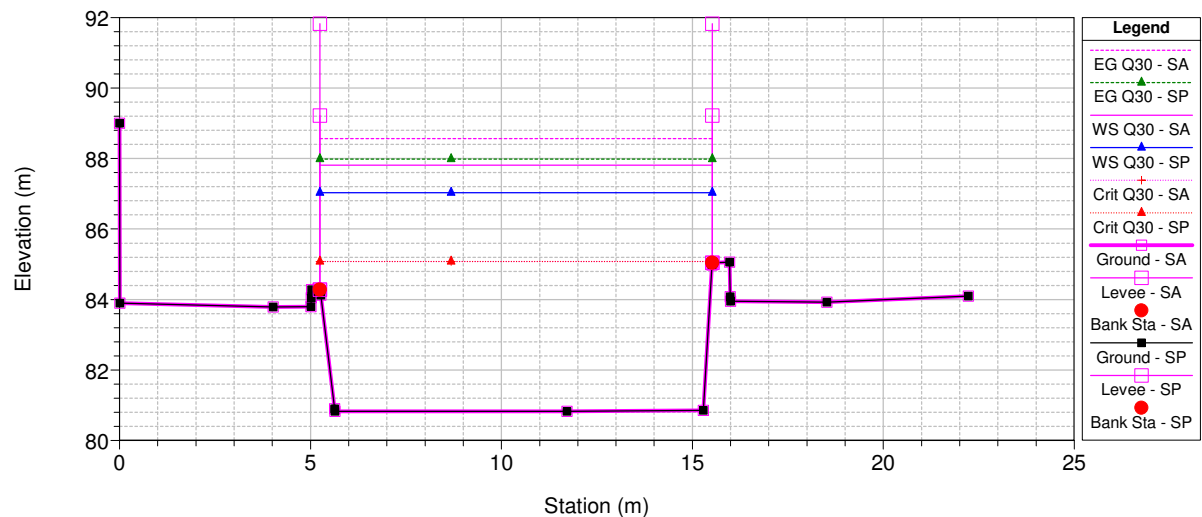
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 103.1 Distanze: Progressiva 882.75 m; Parziale 8.155 m



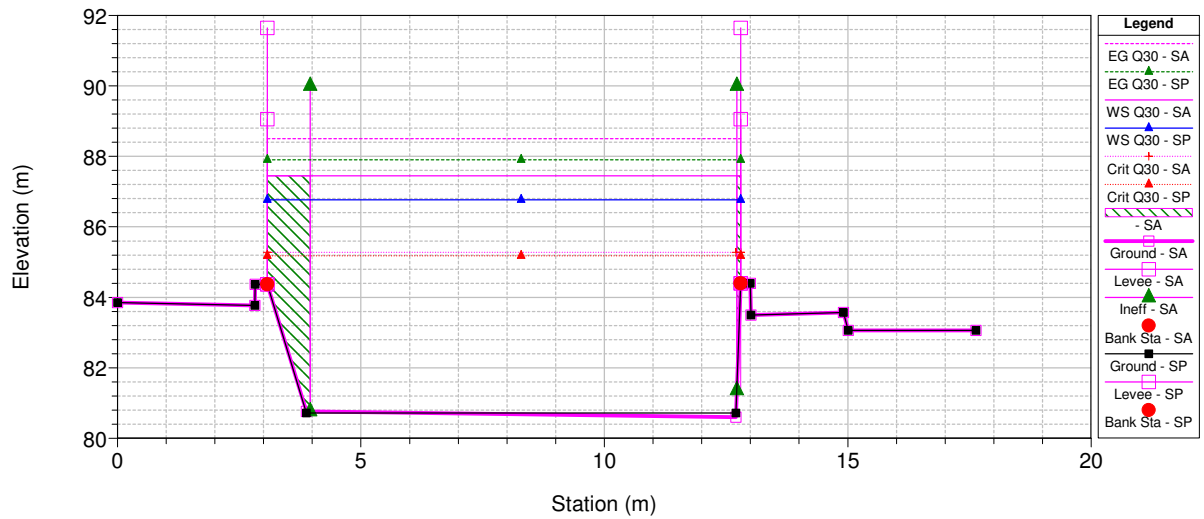
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 103.05* Distanze: Progressiva 874.59 m; Parziale 8.155 m



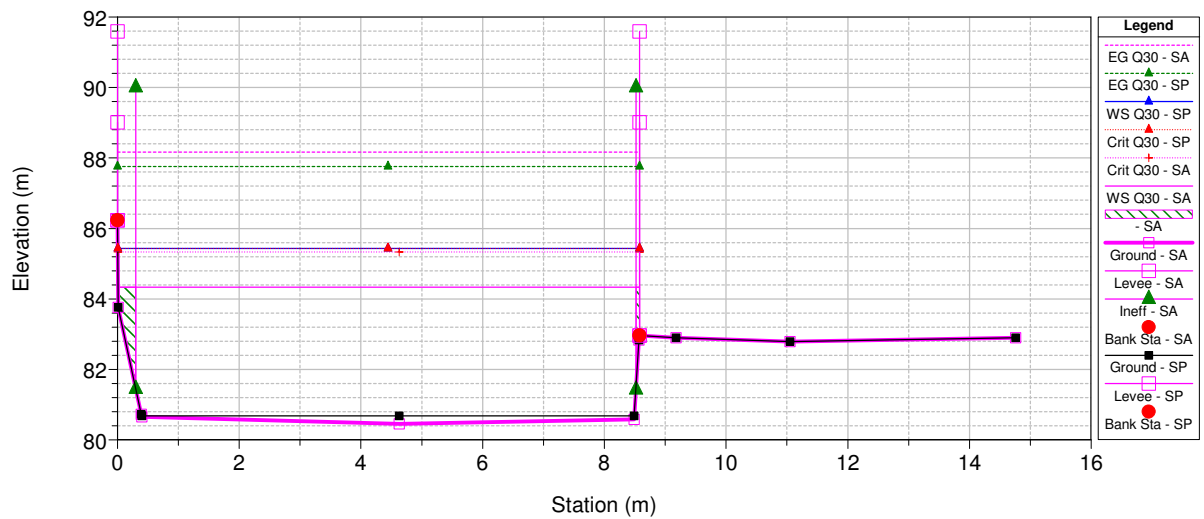
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 103 Distanze: Progressiva 866.44 m; Parziale 9.66 m



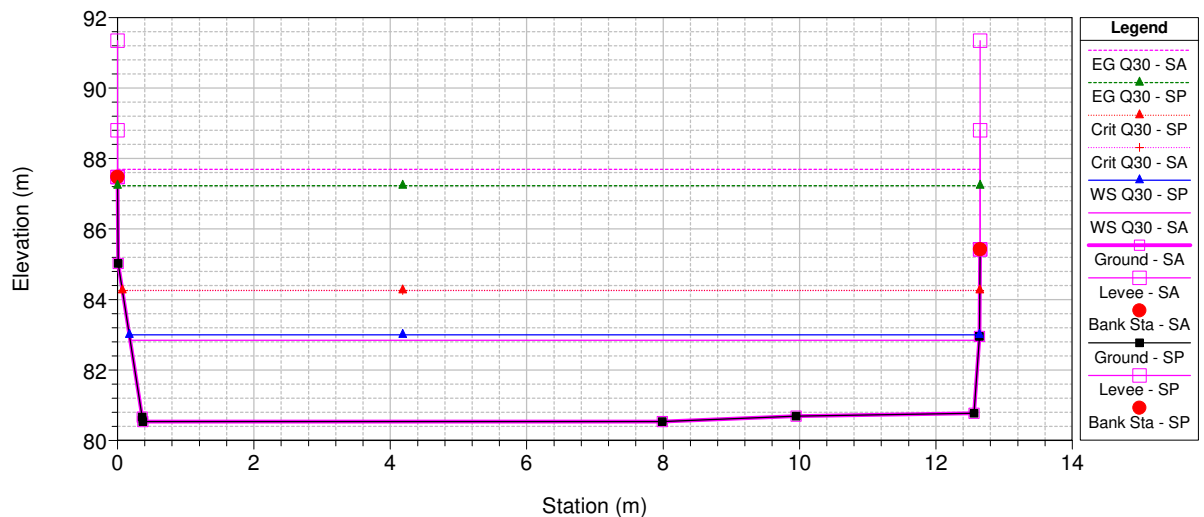
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 102.1 Distanze: Progressiva 856.78 m; Parziale 3.09 m. Monte via Gropp



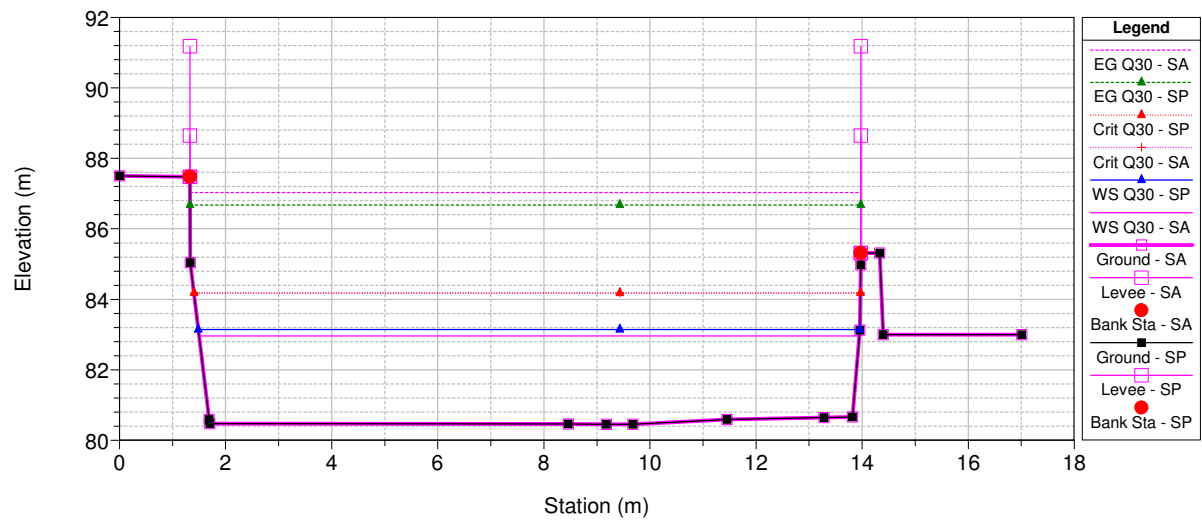
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 101.1 Distanze: Progressiva 853.69 m; Parziale 12.83 m. Valle via Grop



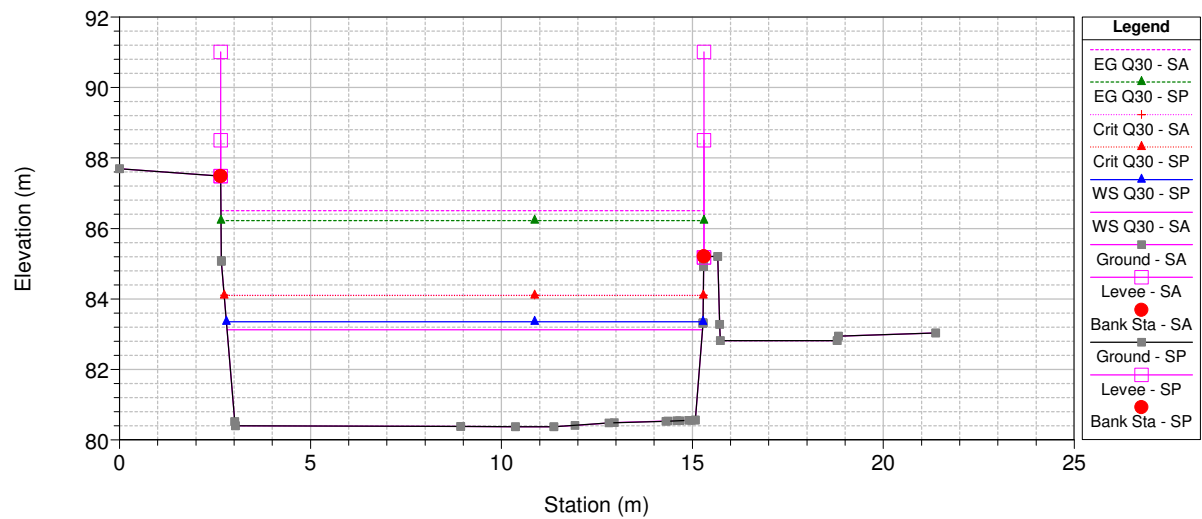
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 101 Distanze: Progressiva 840.86 m; Parziale 9.116 m



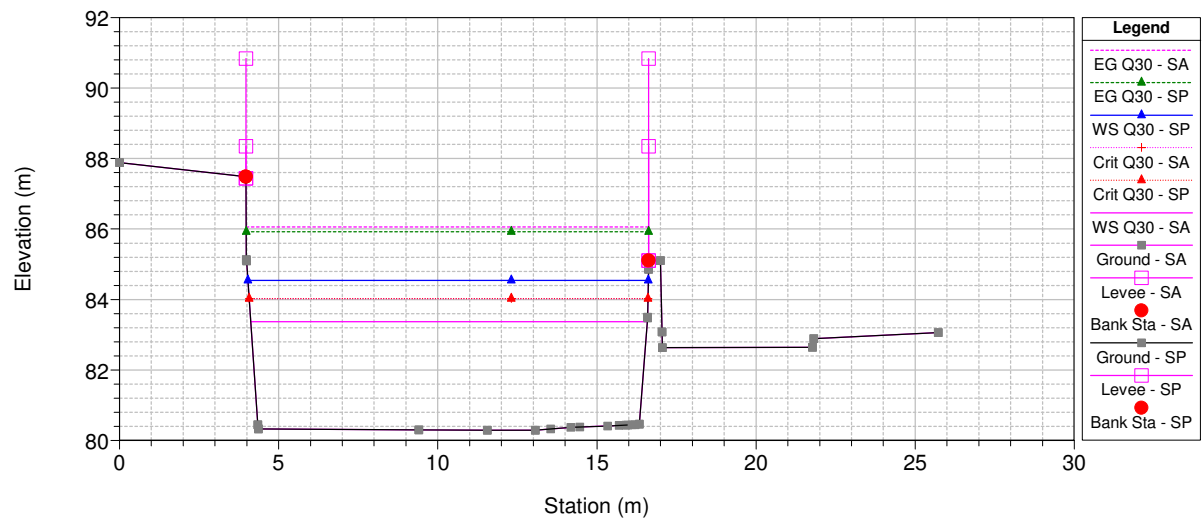
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 100.86 Distanze: Progressiva 831.74 m; Parziale 9.116 m



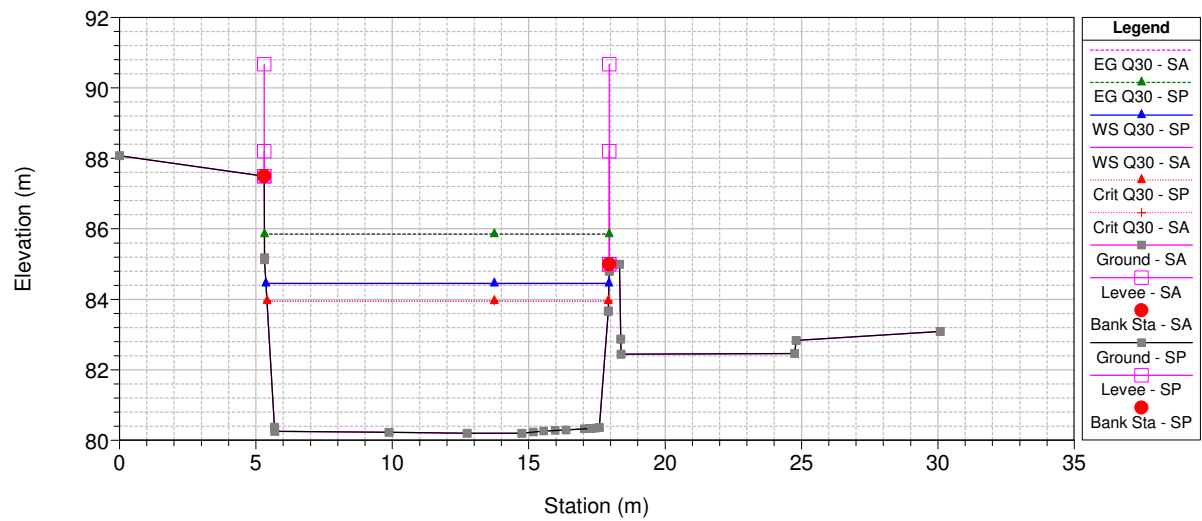
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 100.72* Distanze: Progressiva 822.63 m; Parziale 9.116 m



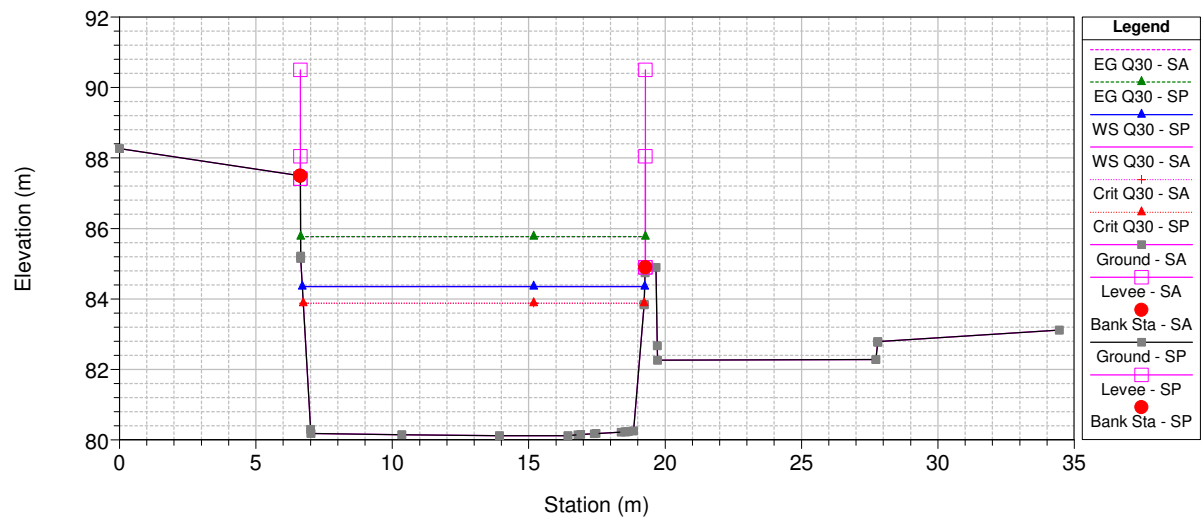
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 100.57* Distanze: Progressiva 813.51 m; Parziale 9.116 m



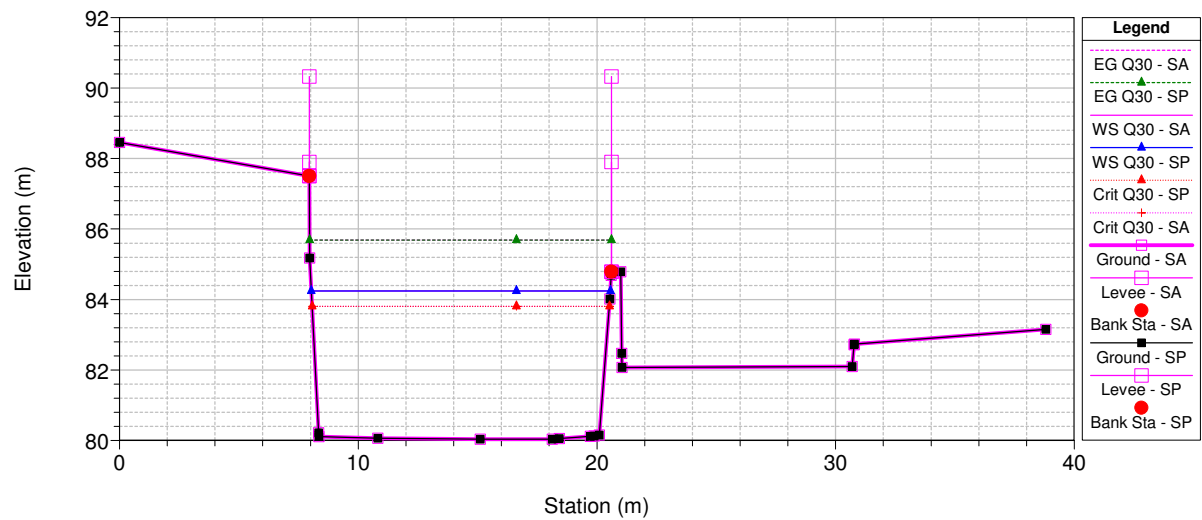
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 100.43* Distanze: Progressiva 804.40 m; Parziale 9.116 m



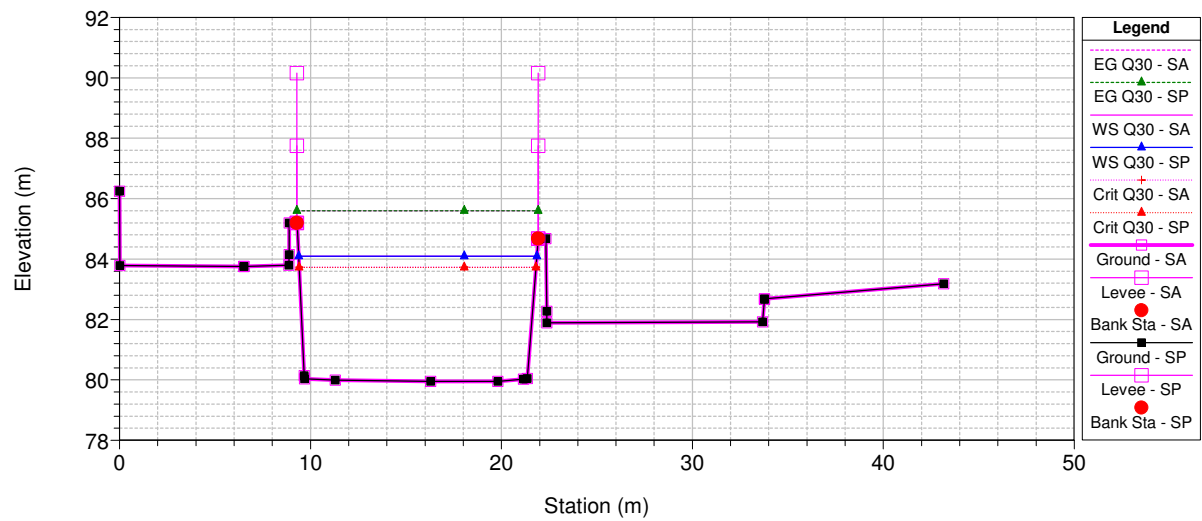
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 100.28* Distanze: Progressiva 795.28 m; Parziale 9.116 m



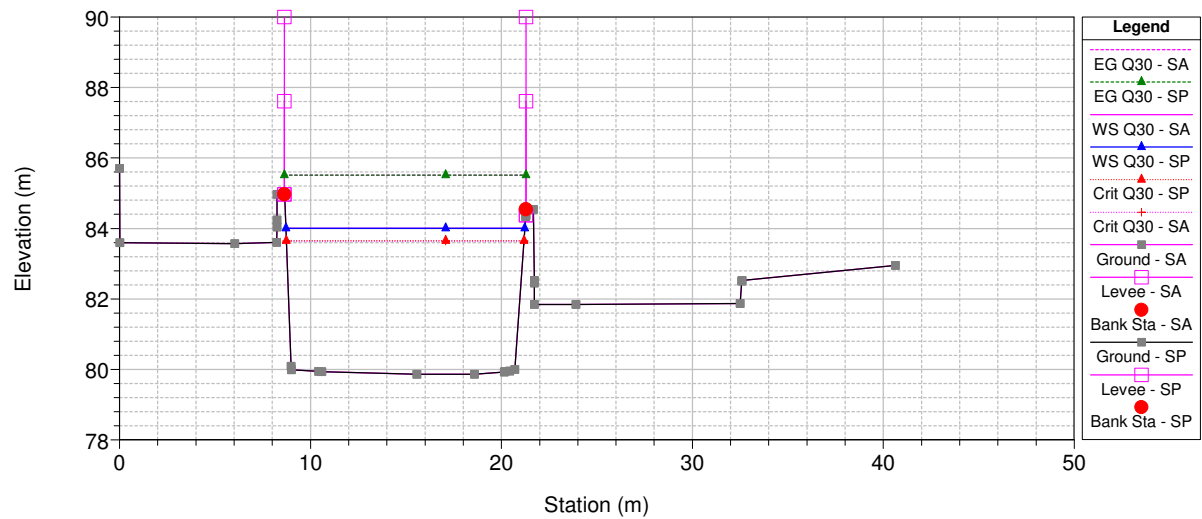
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 100.14 Distanze: Progressiva 786.16 m; Parziale 9.116 m



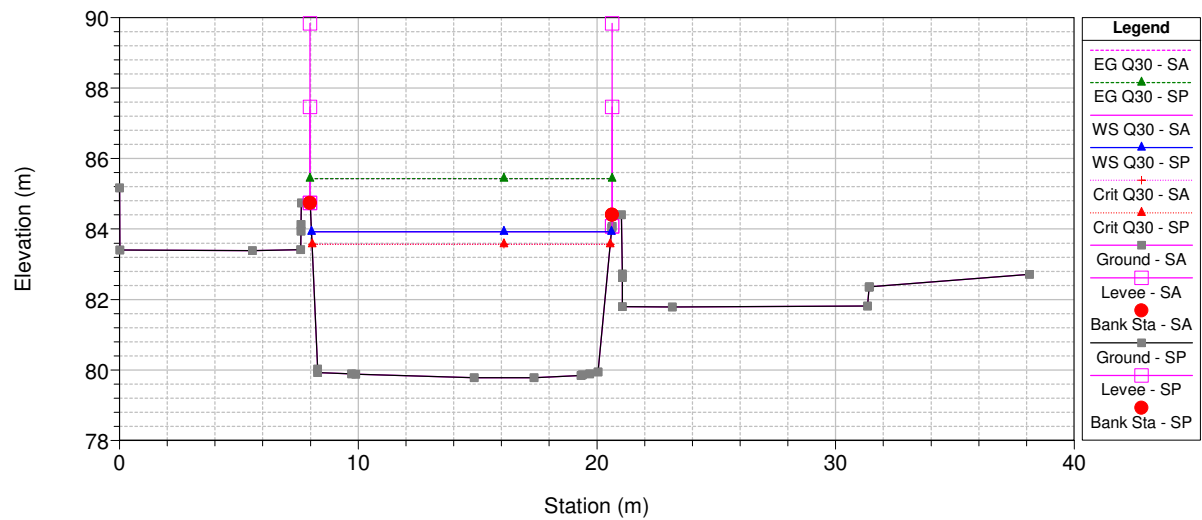
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 100 Distanze: Progressiva 777.05 m; Parziale 8.606 m



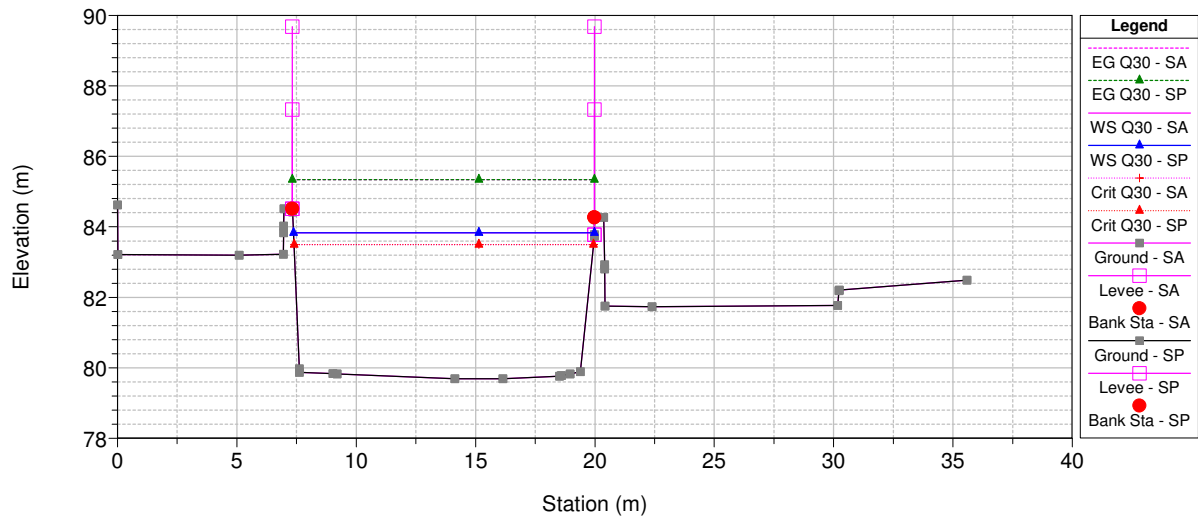
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 99.9714* Distanze: Progressiva 768.44 m; Parziale 8.606 m



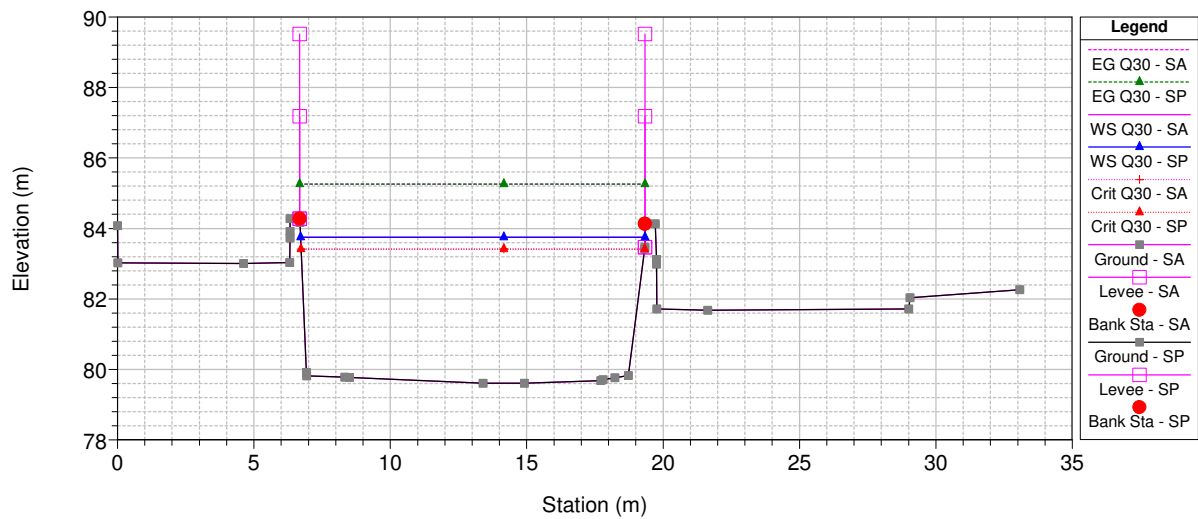
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 99.9428* Distanze: Progressiva 759.84 m; Parziale 8.606 m



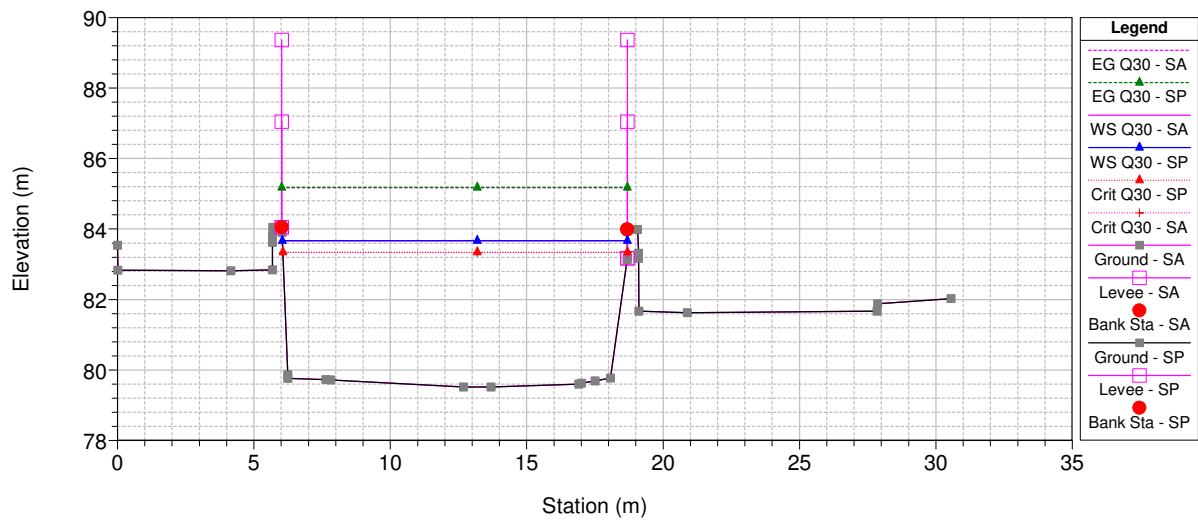
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 99.9142* Distanze: Progressiva 751.23 m; Parziale 8.606 m



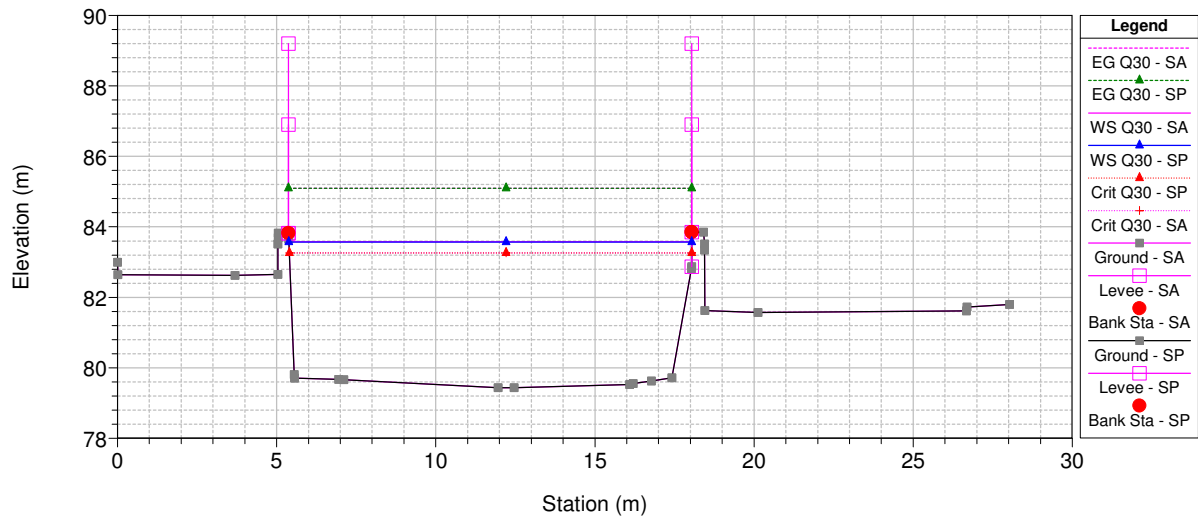
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 99.8857* Distanze: Progressiva 742.62 m; Parziale 8.606 m



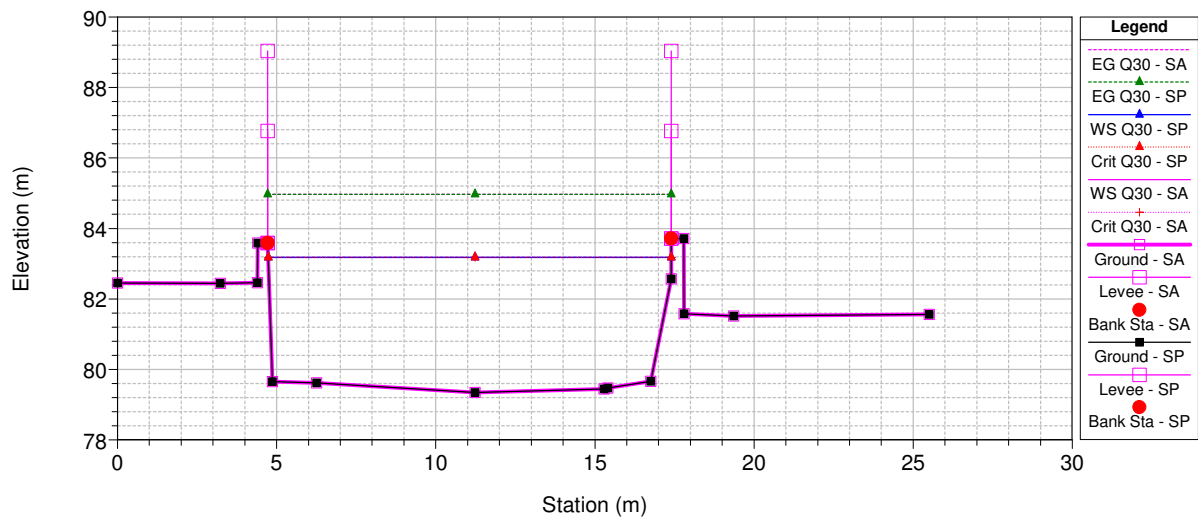
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 99.8571* Distanze: Progressiva 734.02 m; Parziale 8.606 m



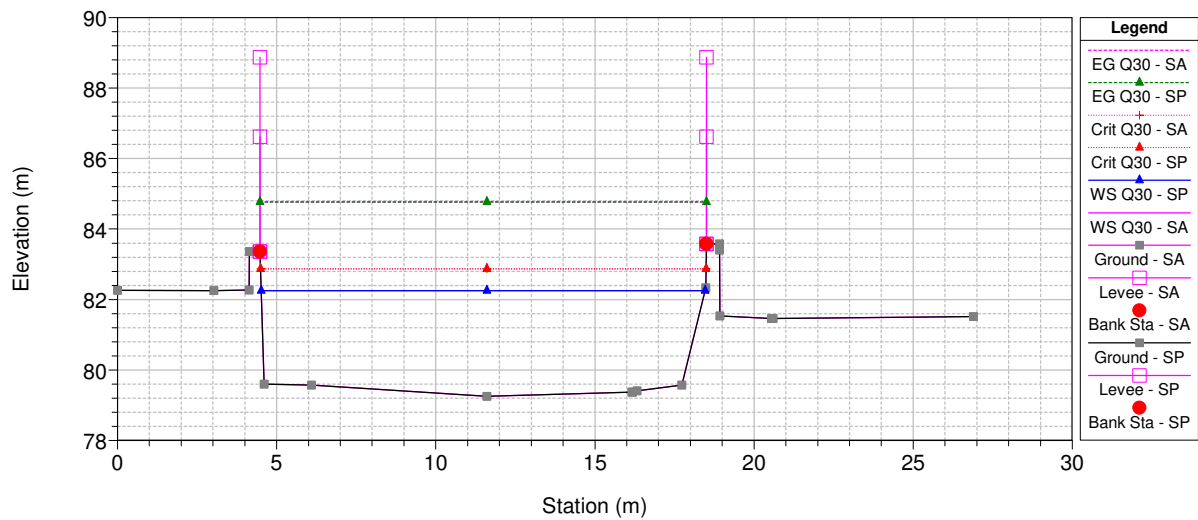
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 99.8285* Distanze: Progressiva 725.41 m; Parziale 8.606 m



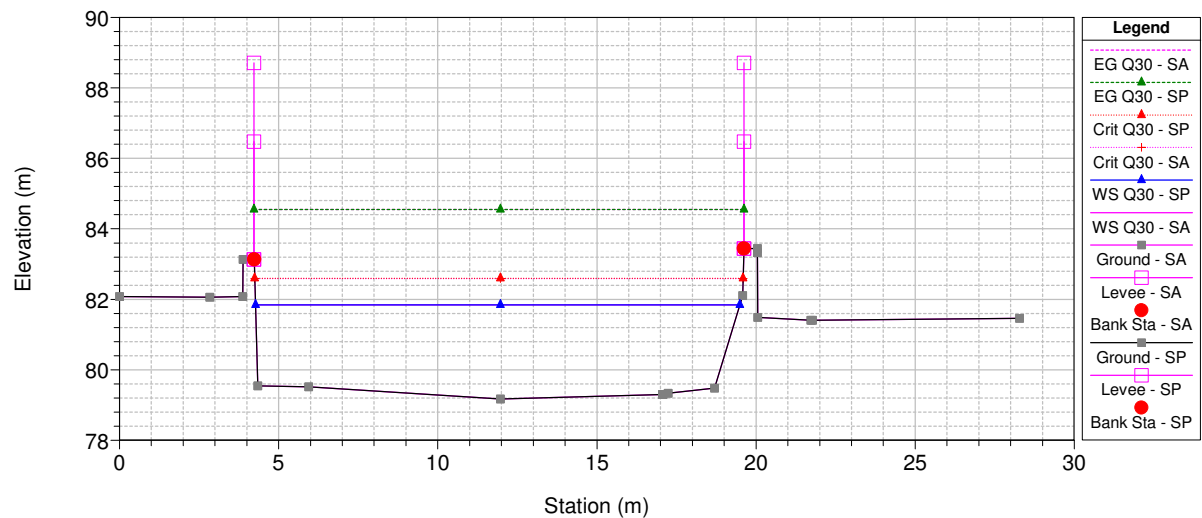
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 99.8 Distanze: Progressiva 716.81 m; Parziale 8.735 m



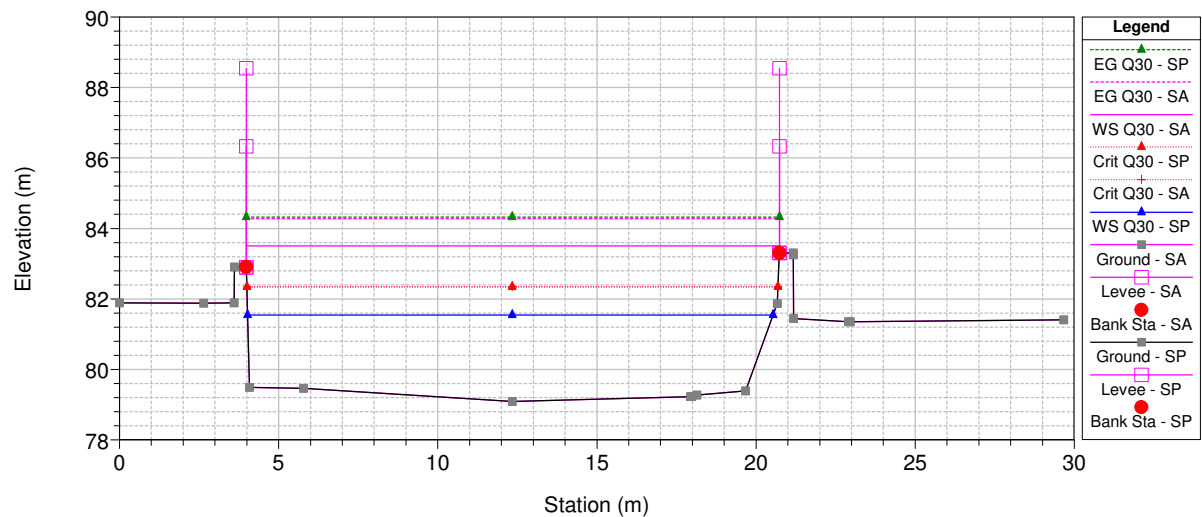
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 99.7250* Distanze: Progressiva 708.07 m; Parziale 8.735 m



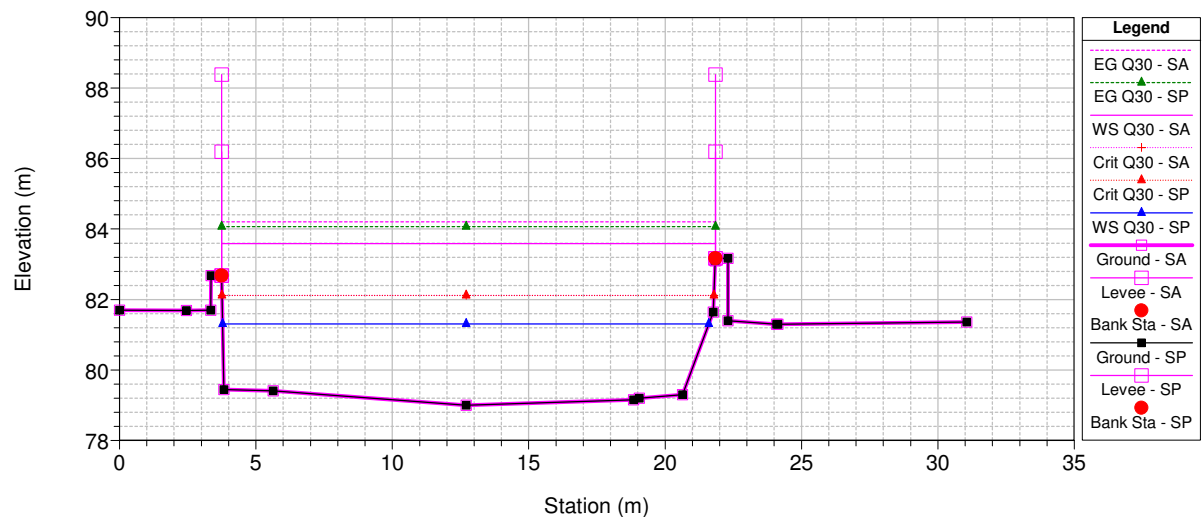
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 99.65* Distanze: Progressiva 699.34 m; Parziale 8.735 m



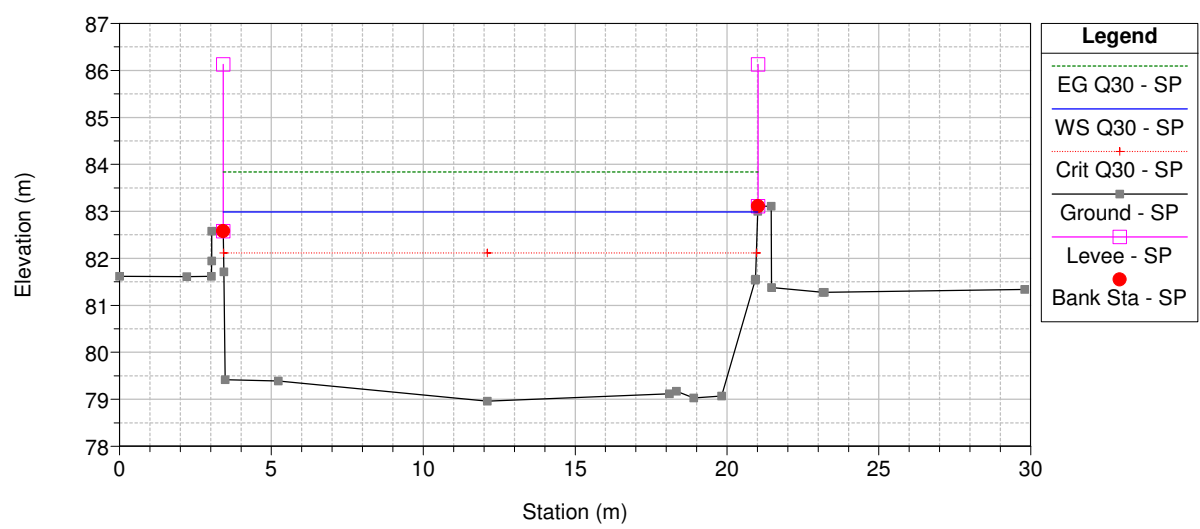
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 99.575* Distanze: Progressiva 690.60 m; Parziale 8.735 m



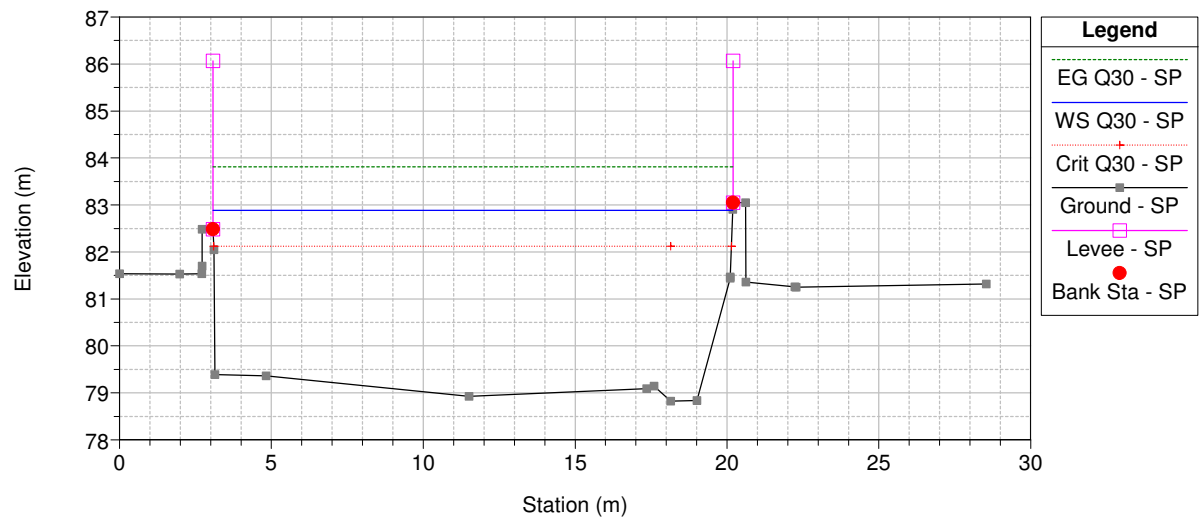
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 99.5 Distanze: Progressiva 681.87 m; Parziale 3.83 m



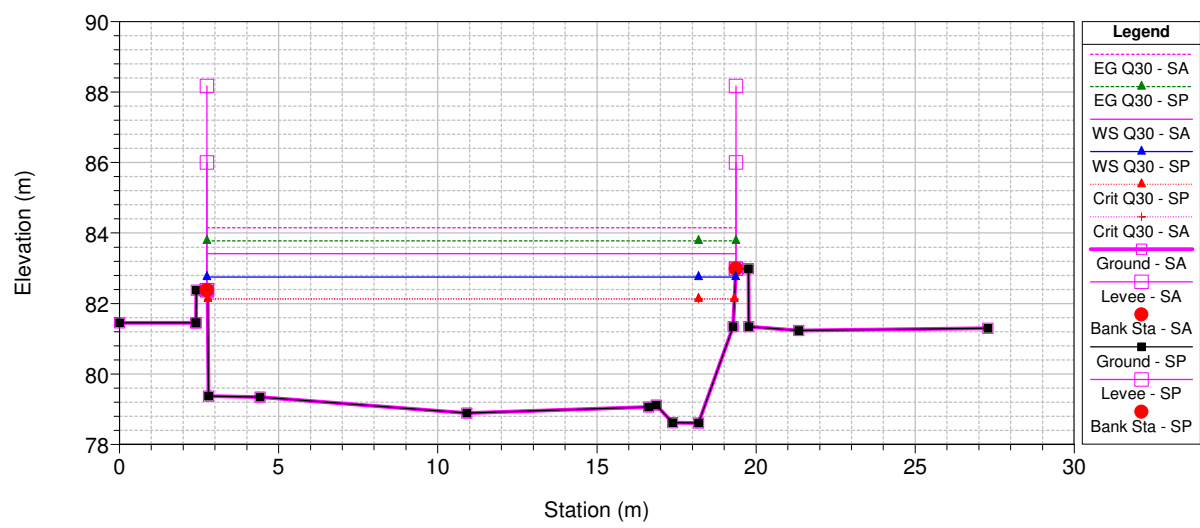
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 99.400* Distanze: Progressiva 678.04 m; Parziale 3.83 m



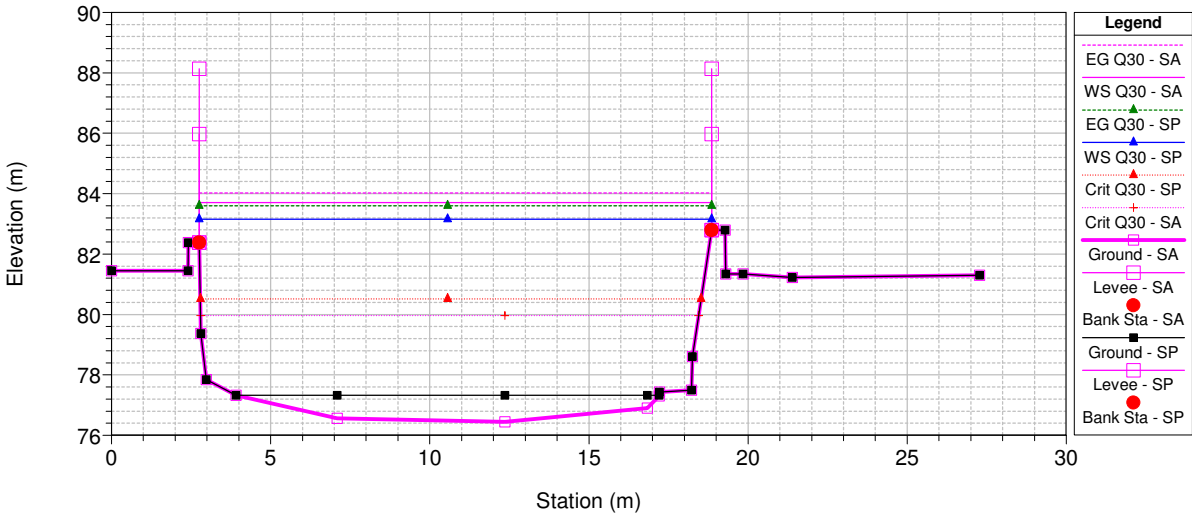
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 99.300* Distanze: Progressiva 674.21 m; Parziale 3.83 m



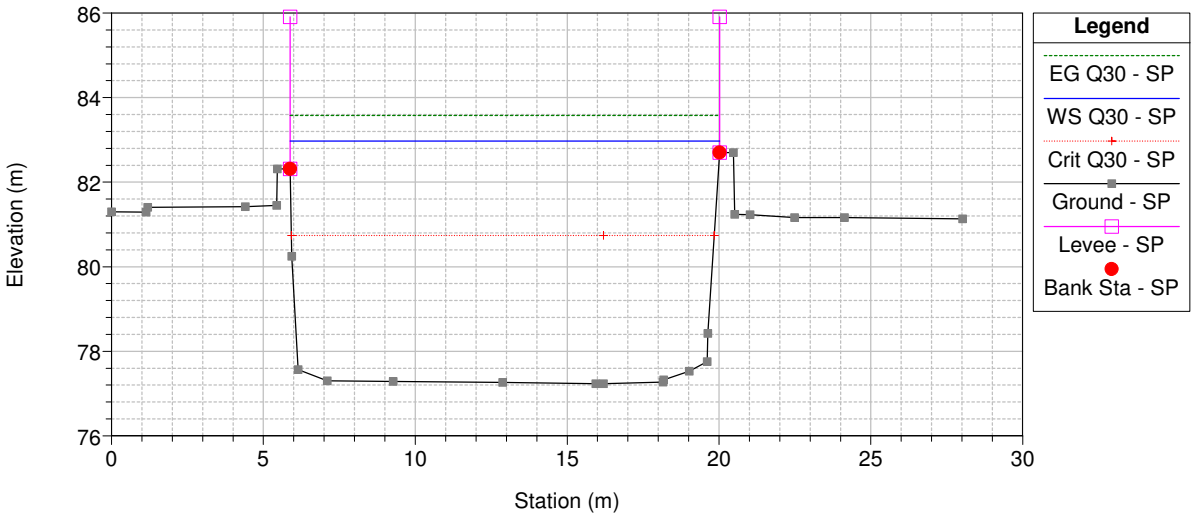
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 99.2 Distanze: Progressiva 670.38 m; Parziale 1.57 m



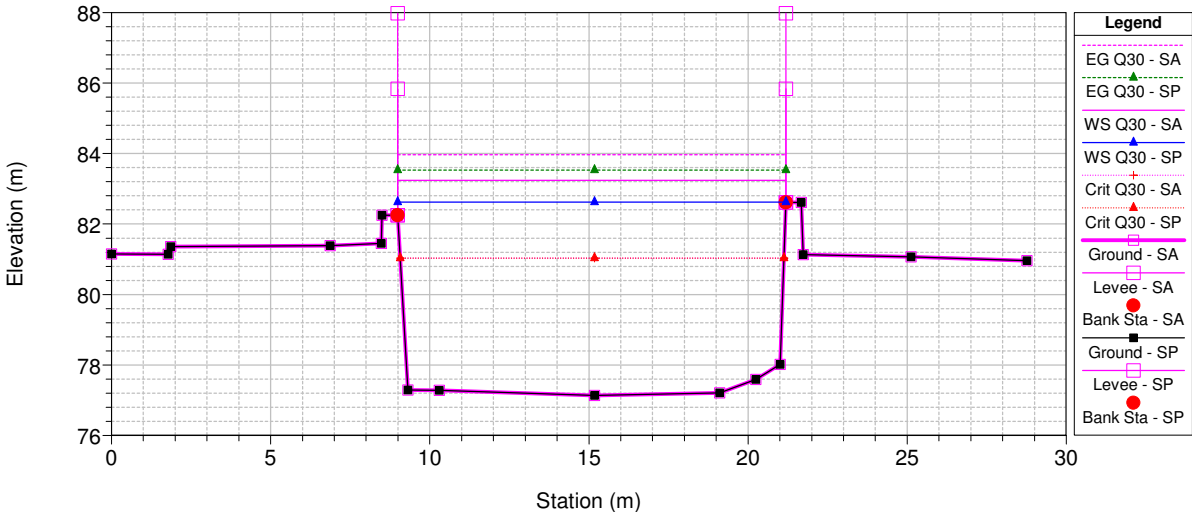
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 99.1 Distanze: Progressiva 668.81 m; Parziale 4.3 m



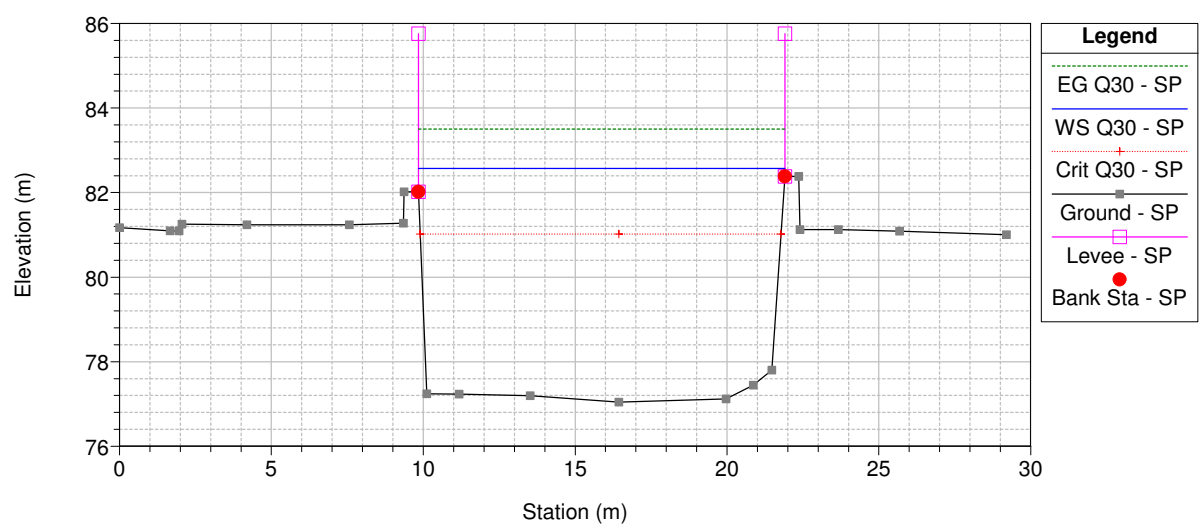
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 99.050* Distanze: Progressiva 664.51 m; Parziale 4.3 m



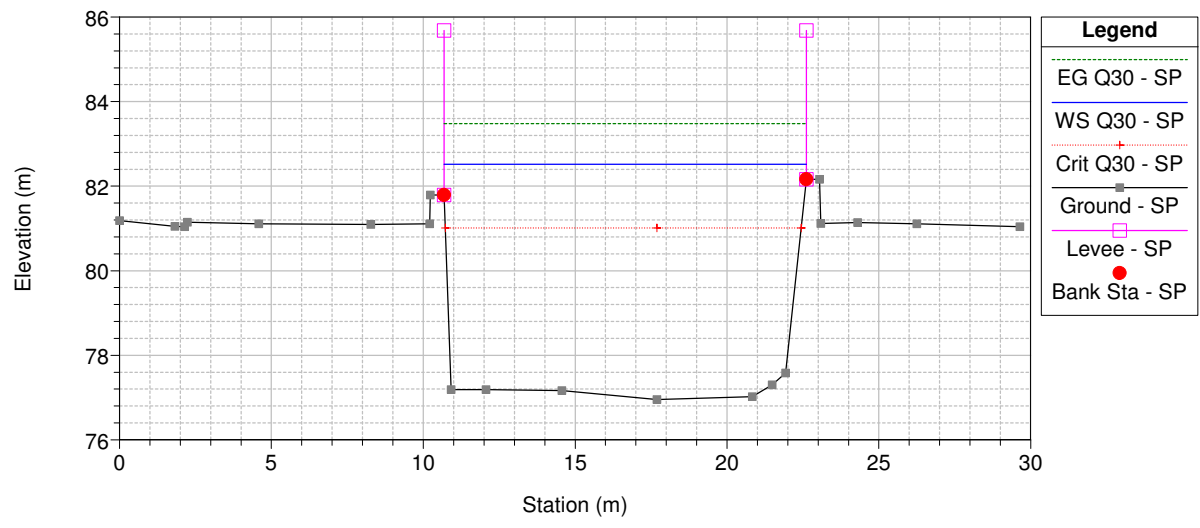
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 99 Distanze: Progressiva 660.21 m; Parziale 4.59 m



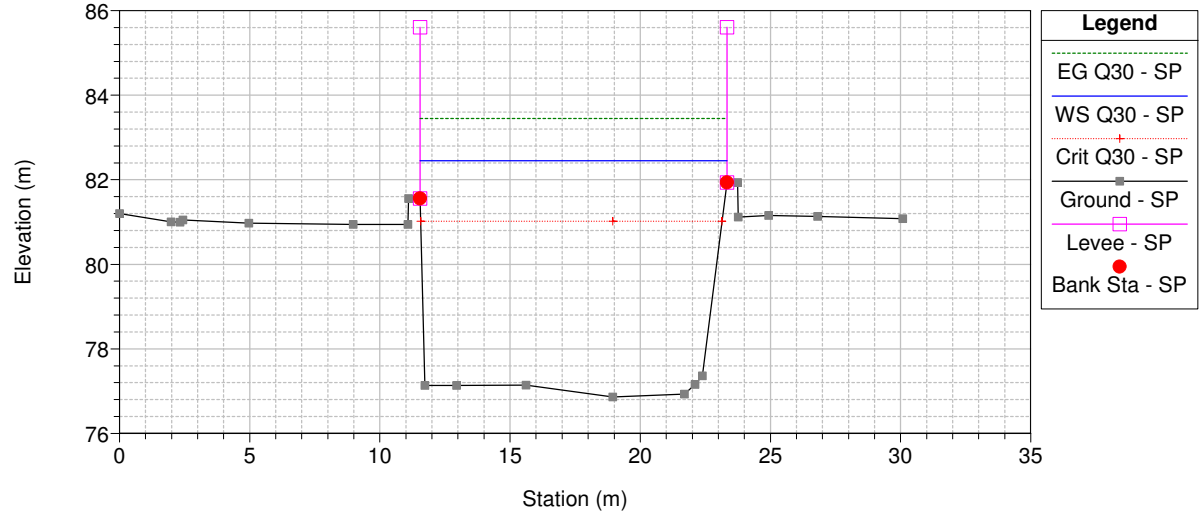
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 98.750* Distanze: Progressiva 655.62 m; Parziale 4.59 m



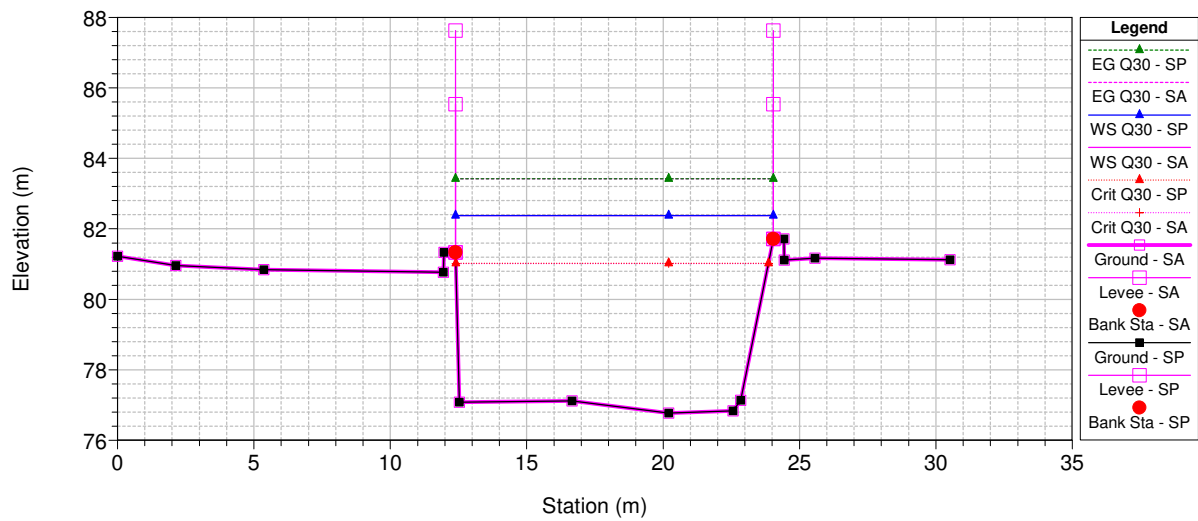
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 98.500* Distanze: Progressiva 651.03 m; Parziale 4.59 m. Monte ponticell



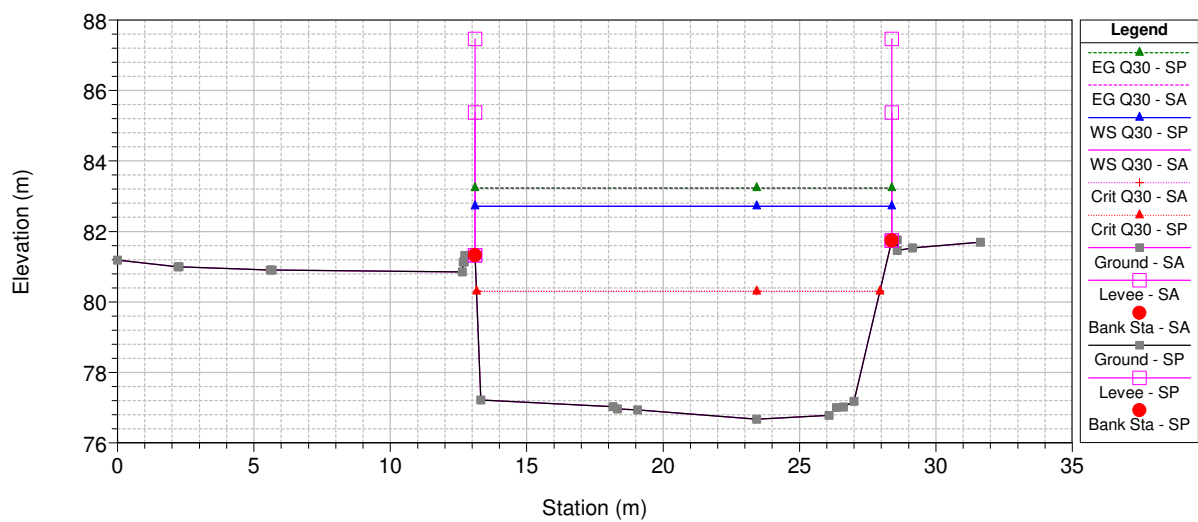
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 98.250* Distanze: Progressiva 646.44 m; Parziale 4.59 m



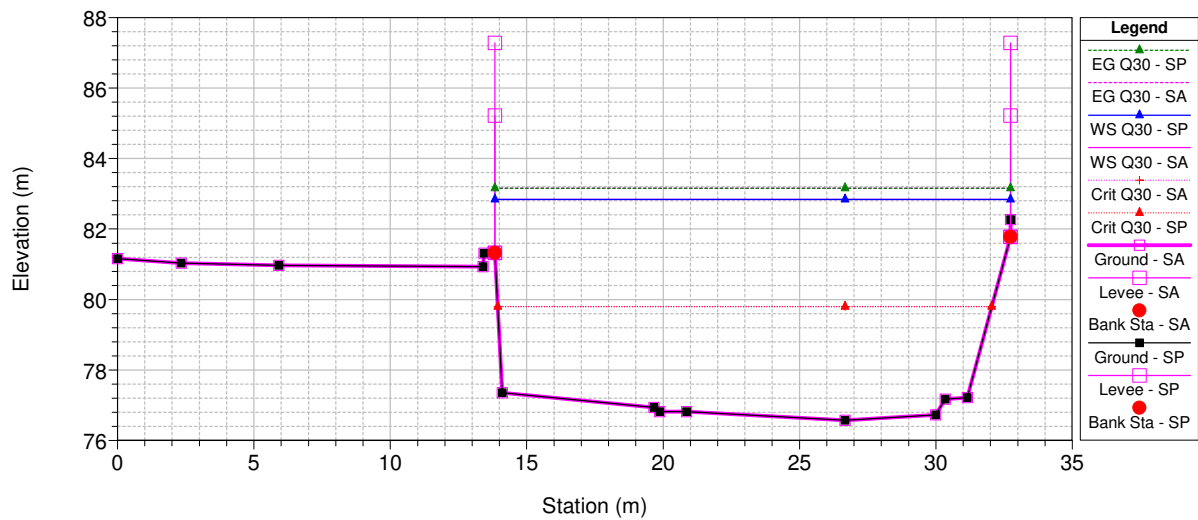
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 98 Distanze: Progressiva 641.85 m; Parziale 9.44 m. Valle ponticell



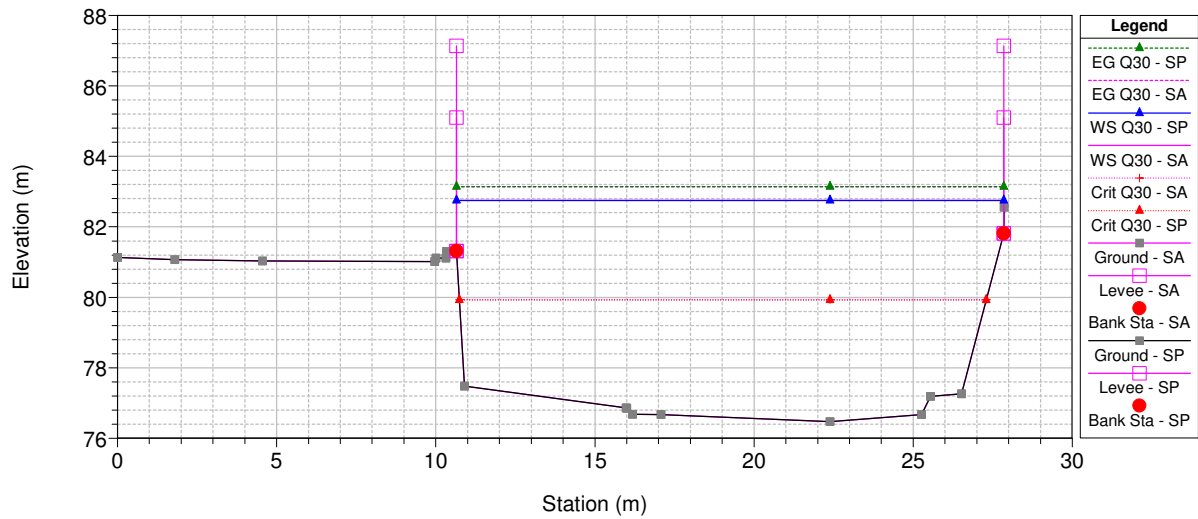
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 97.6* Distanze: Progressiva 632.41 m; Parziale 9.44 m



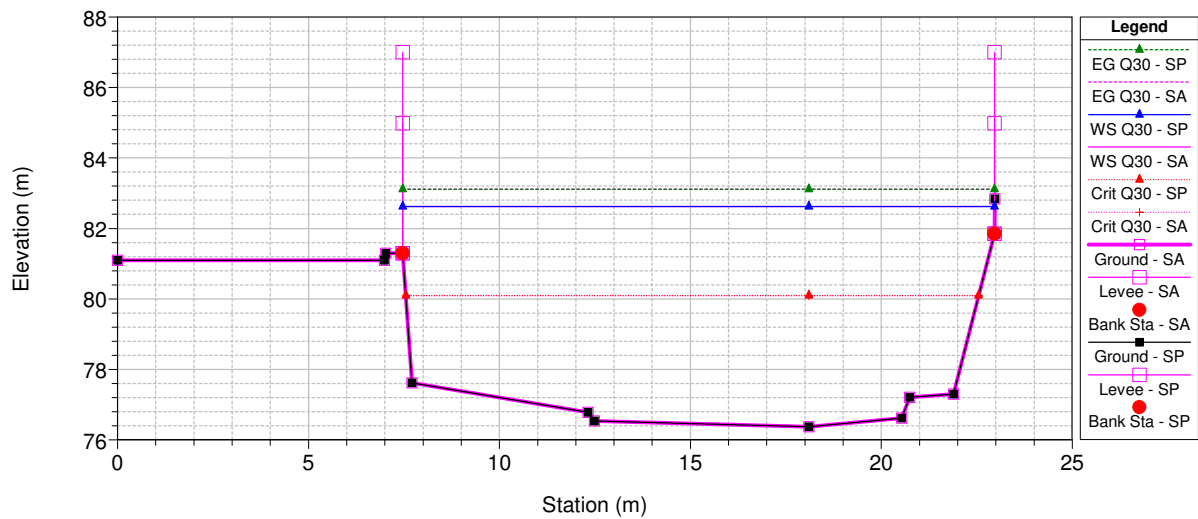
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 97.2 Distanze: Progressiva 622.97 m; Parziale 7.405 m



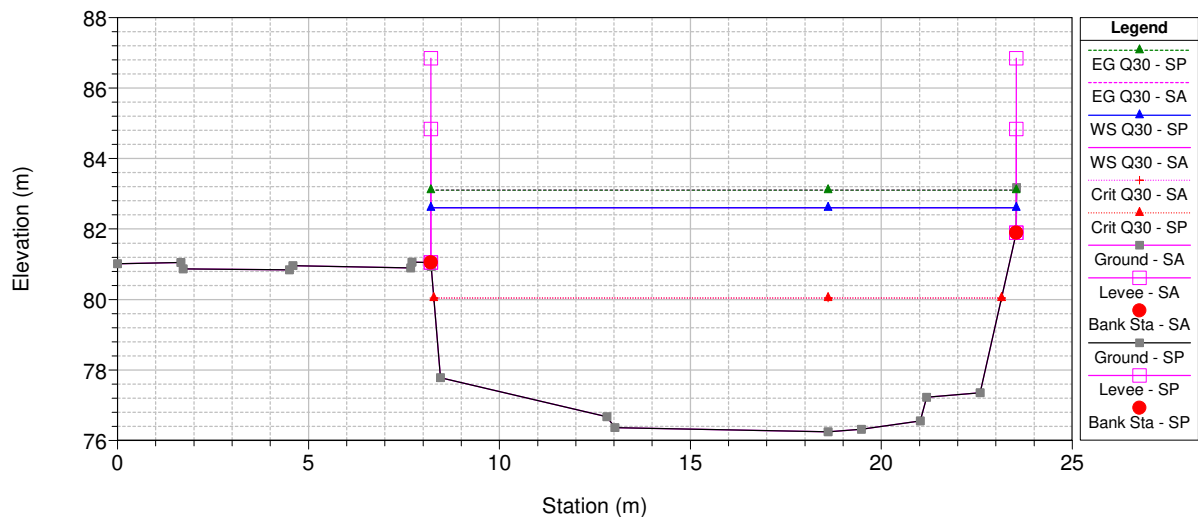
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 97.1499* Distanze: Progressiva 615.56 m; Parziale 7.405 m



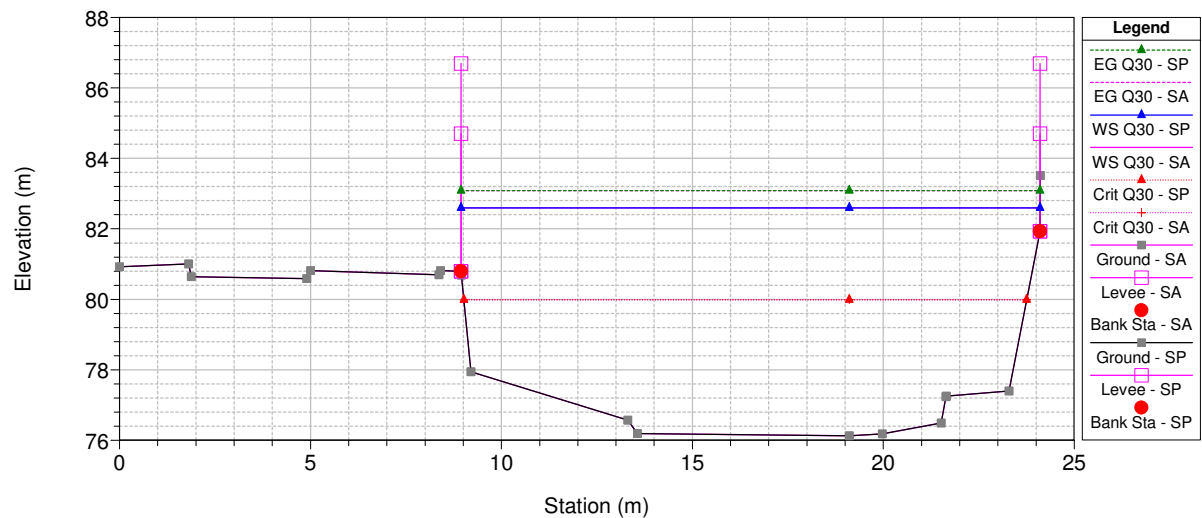
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 97.1 Distanze: Progressiva 608.16 m; Parziale 8.496 m



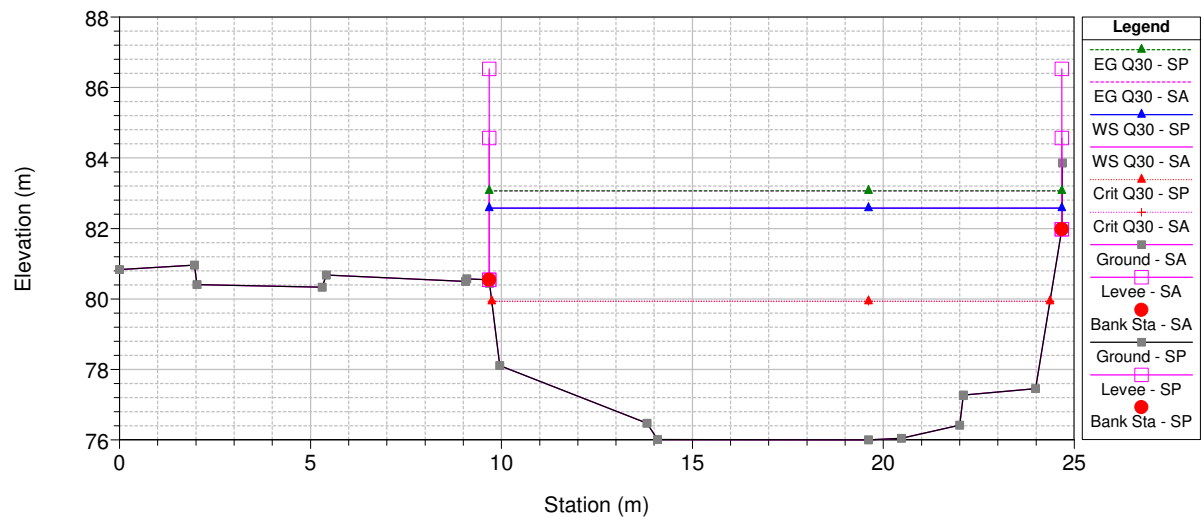
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 97.08* Distanze: Progressiva 599.66 m; Parziale 8.496 m



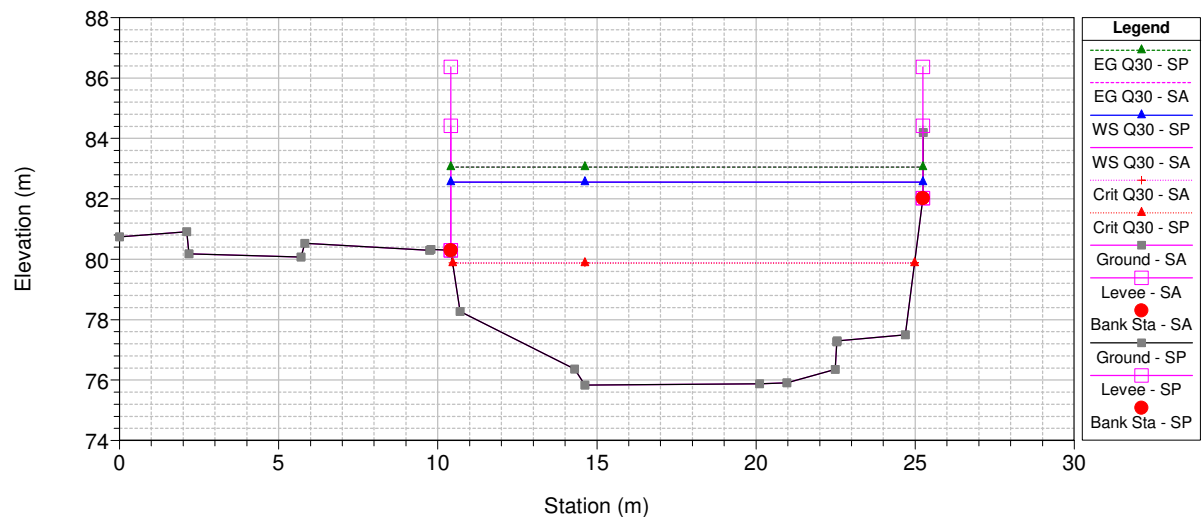
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 97.06* Distanze: Progressiva 591.16 m; Parziale 8.496 m



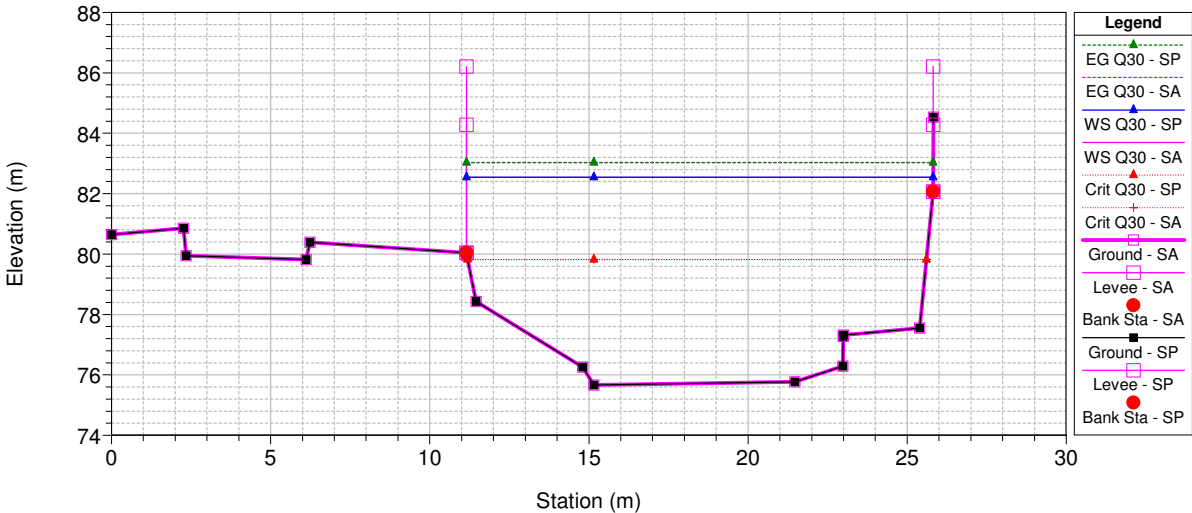
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 97.04* Distanze: Progressiva 582.67 m; Parziale 8.496 m



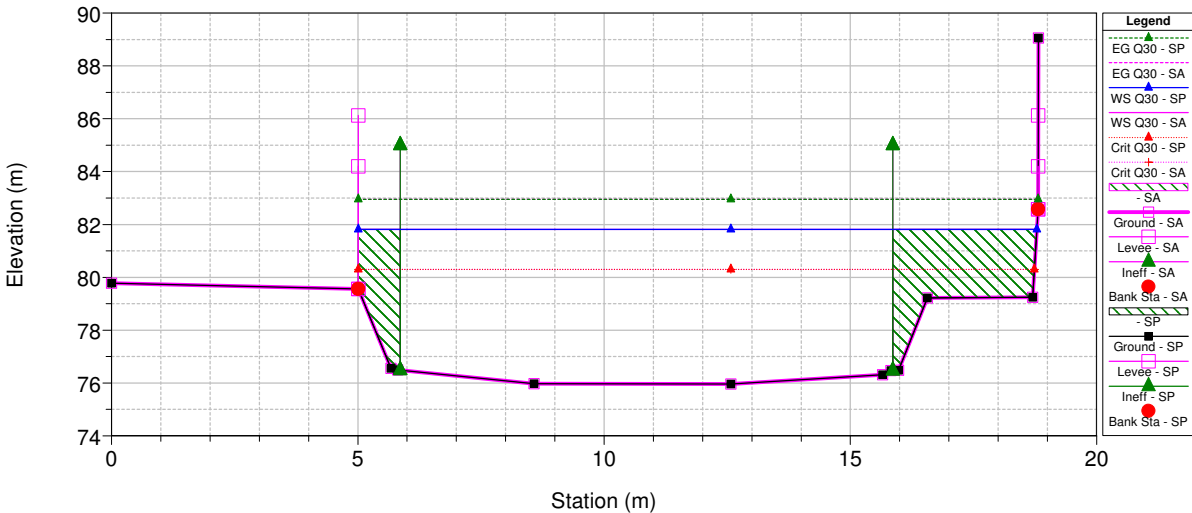
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 97.02* Distanze: Progressiva 574.17 m; Parziale 8.496 m



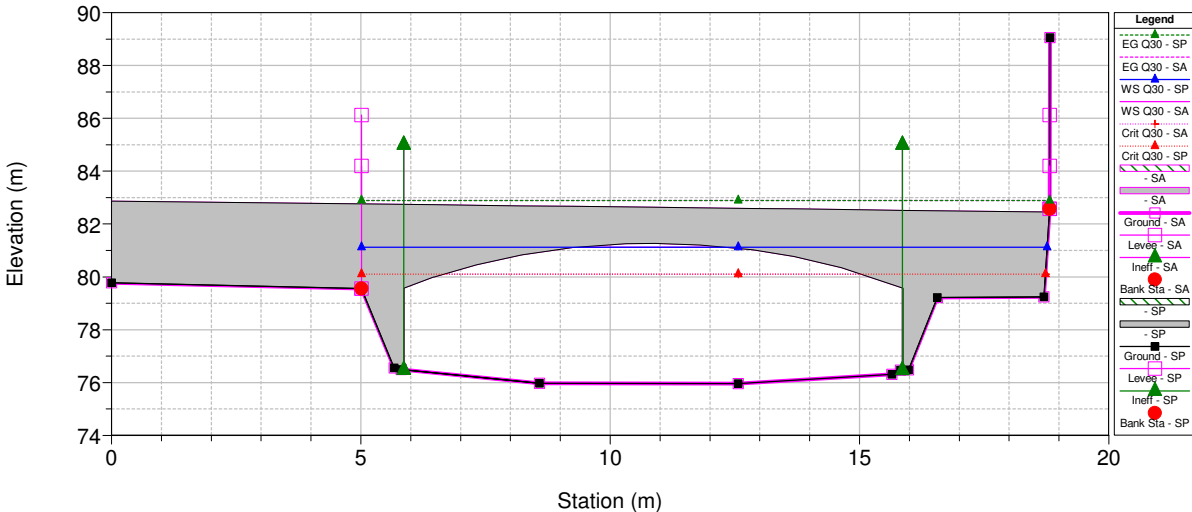
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 97 Distanze: Progressiva 565.68 m; Parziale 5.01 m



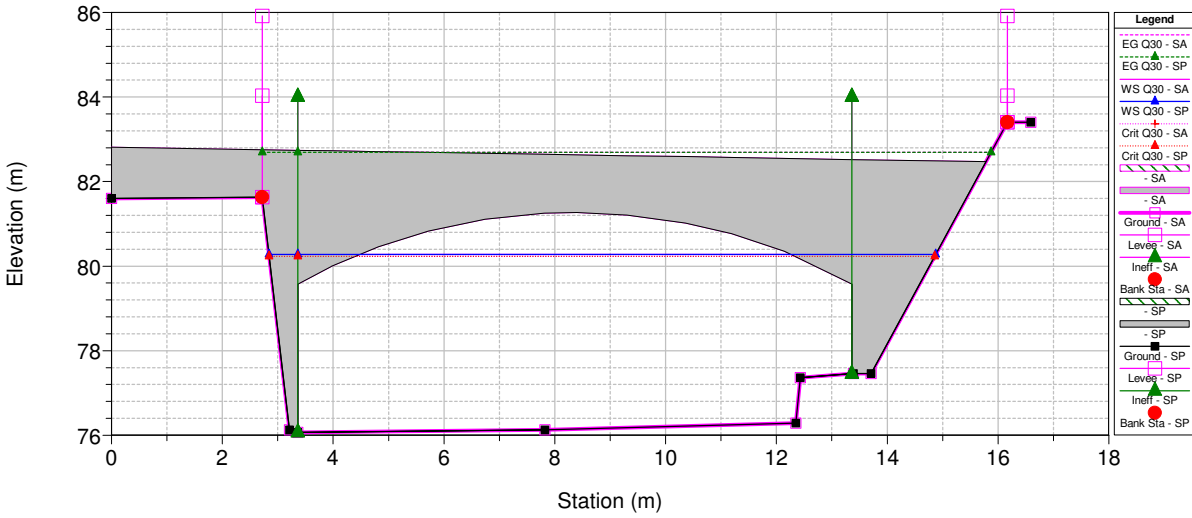
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 96.1 Distanze: Progressiva 560.67 m; Parziale 10.45 m



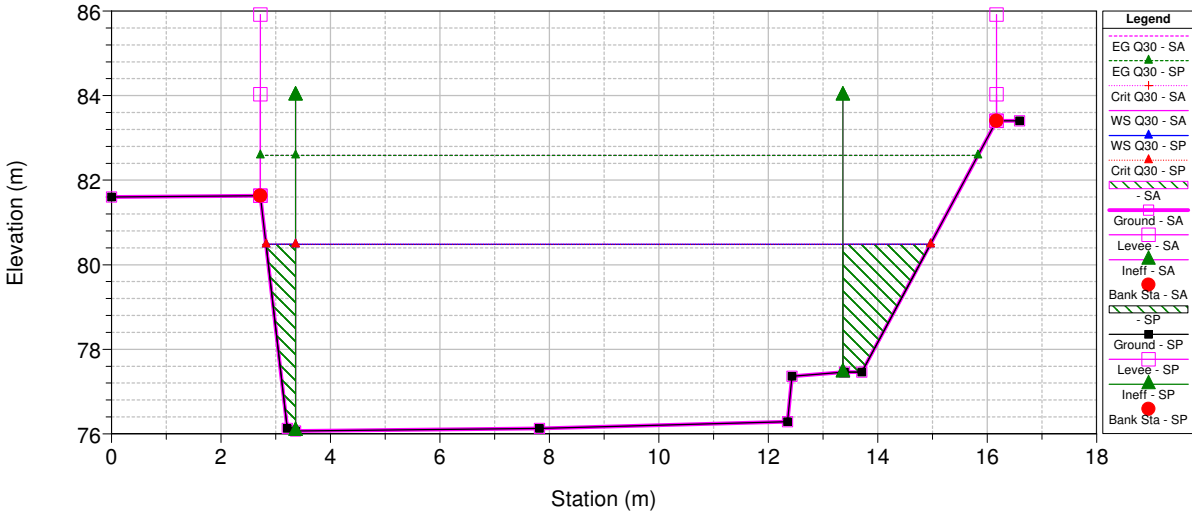
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 96 BR Ponte via San Martino



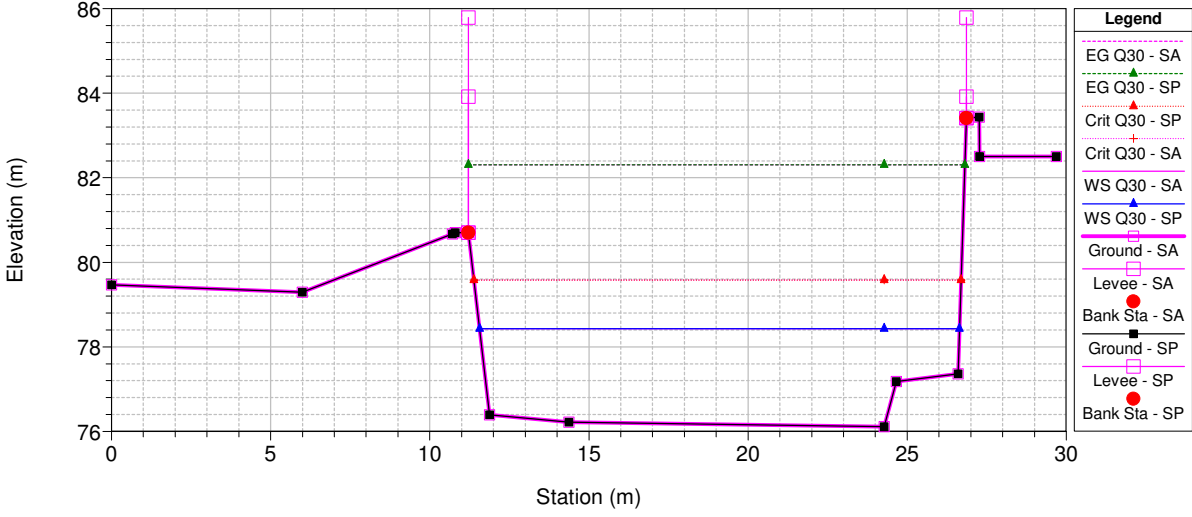
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 96 BR Ponte via San Martino



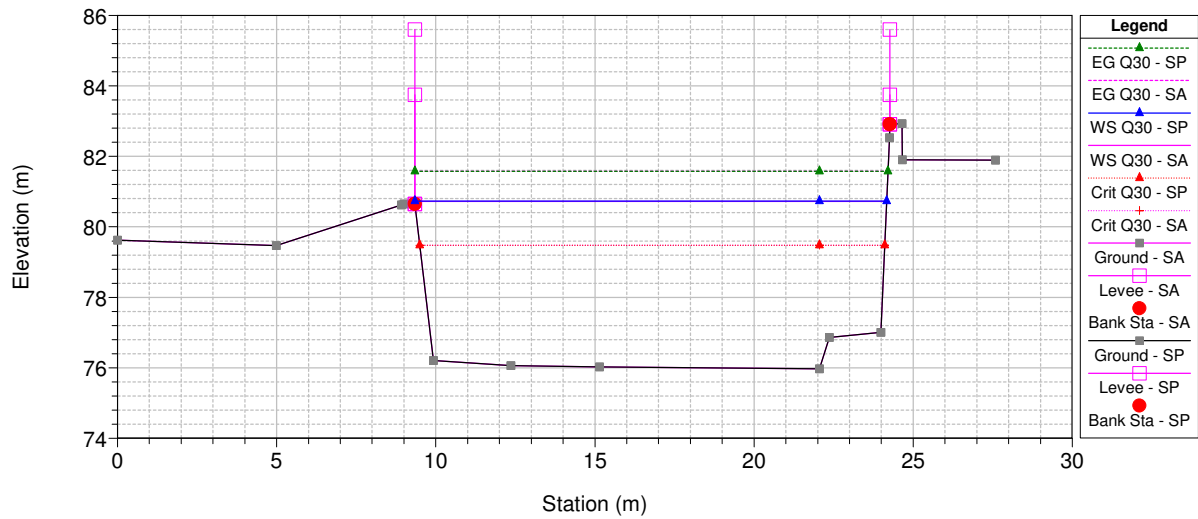
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 95.1 Distanze: Progressiva 550.22 m; Parziale 7.03 m



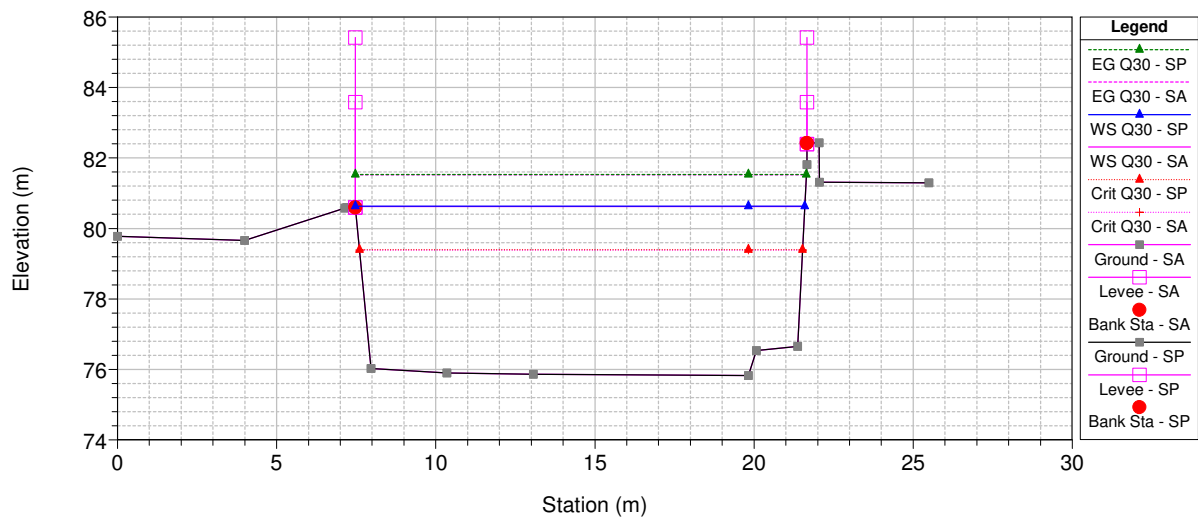
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 95 Distanze: Progressiva 543.19 m; Parziale 10.002 m



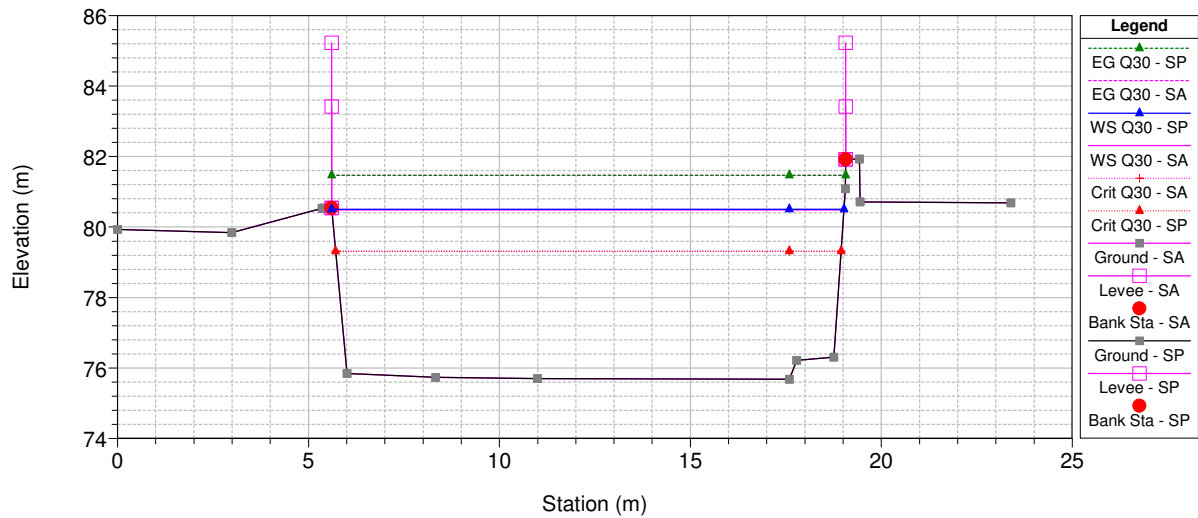
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 94.8333* Distanze: Progressiva 533.18 m; Parziale 10.002 m



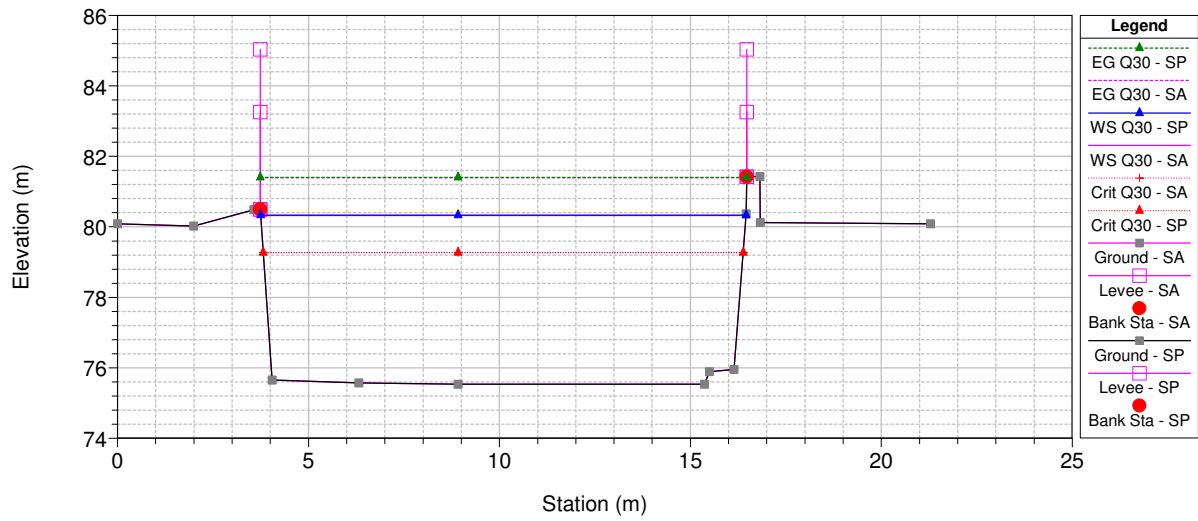
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 94.6666* Distanze: Progressiva 523.18 m; Parziale 10.002 m



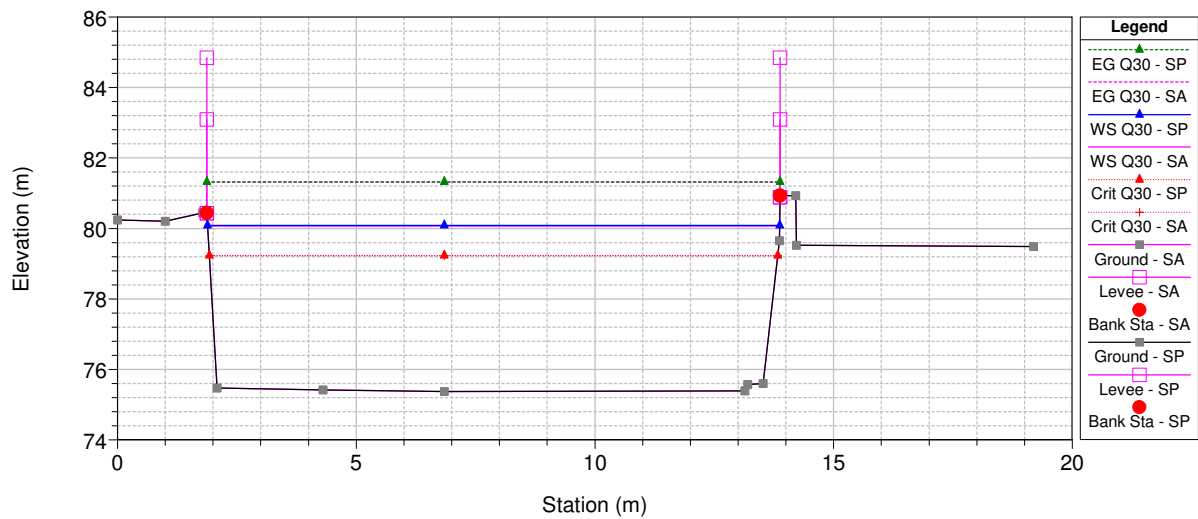
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 94.5* Distanze: Progressiva 513.18 m; Parziale 10.002 m



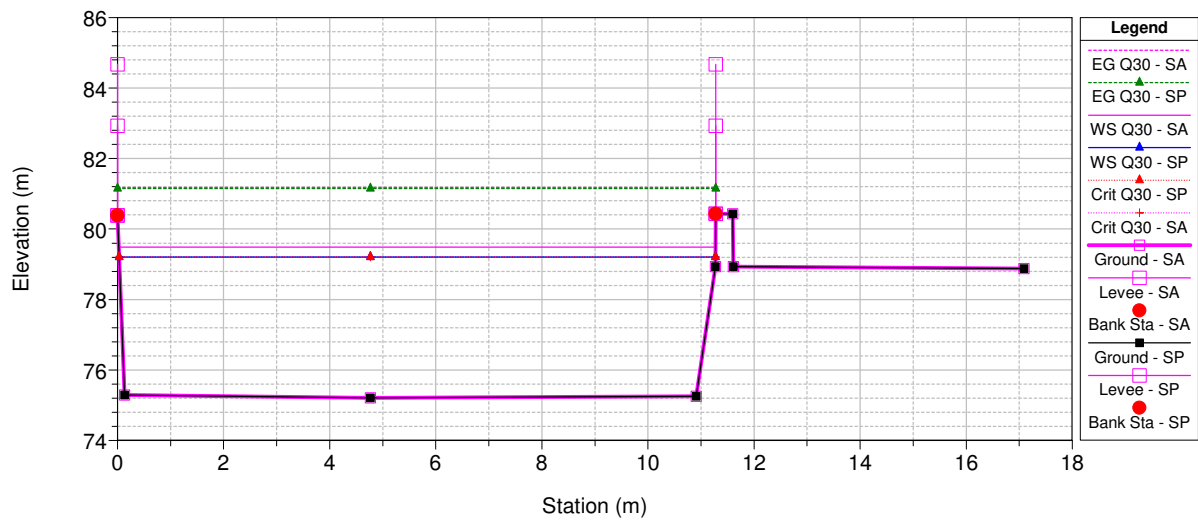
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 94.3333* Distanze: Progressiva 503.18 m; Parziale 10.002 m



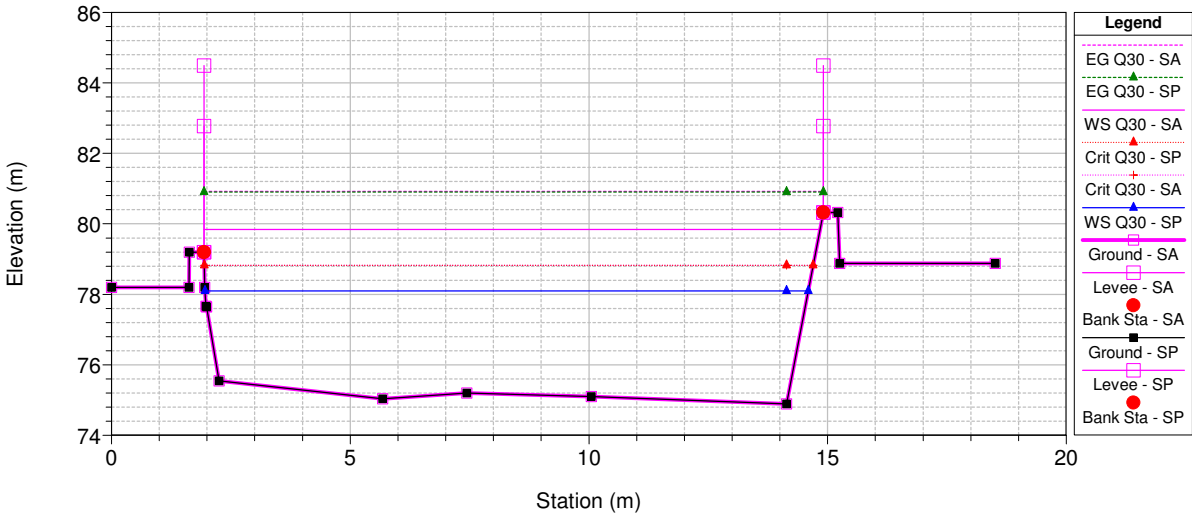
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 94.1666* Distanze: Progressiva 493.18 m; Parziale 10.002 m



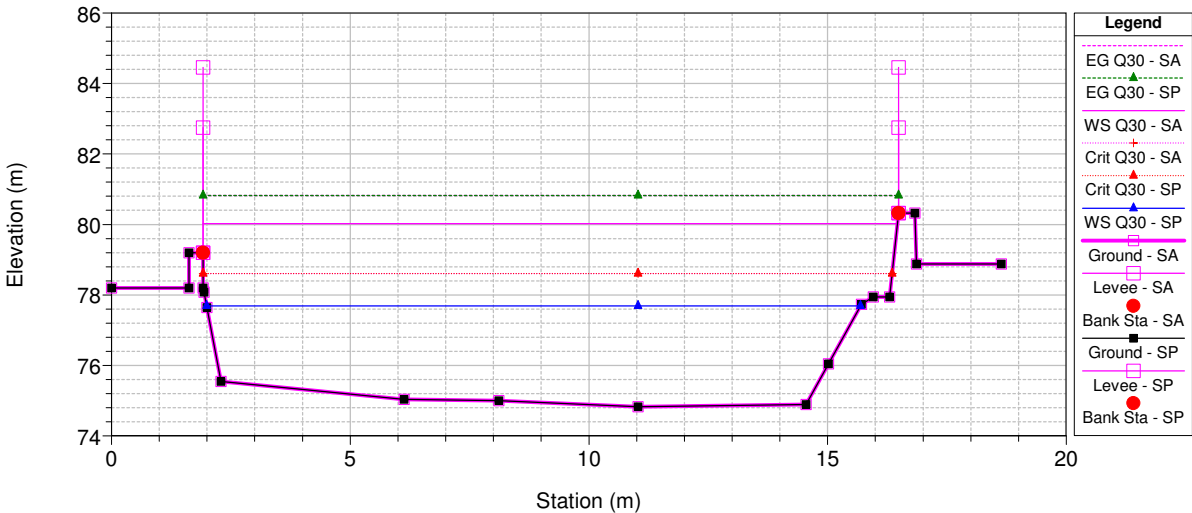
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 94 Distanze: Progressiva 483.17 m; Parziale 9.23 m



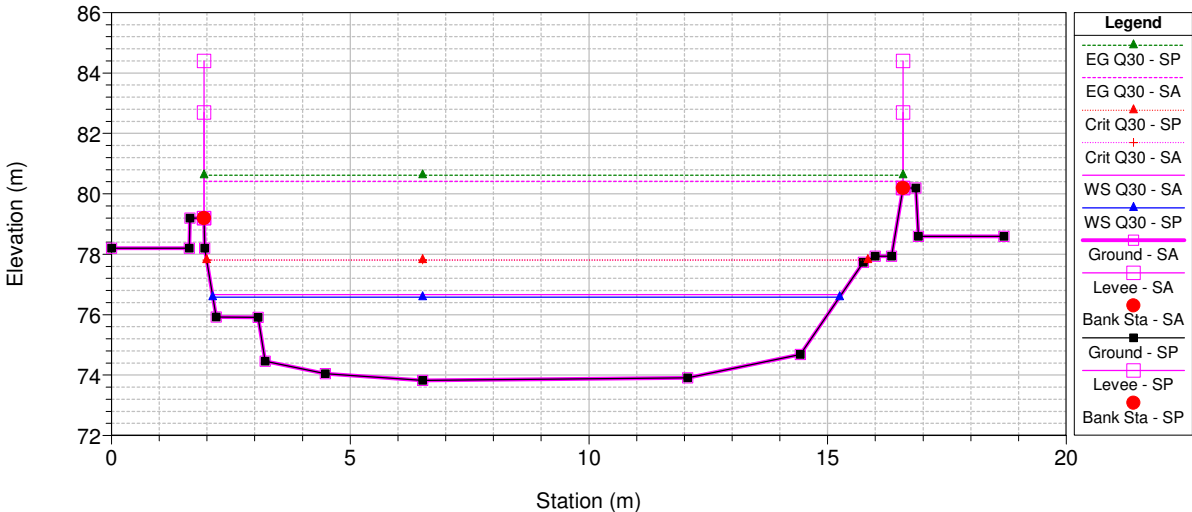
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 93.5 Distanze: Progressiva 473.94 m; Parziale 1.77 m



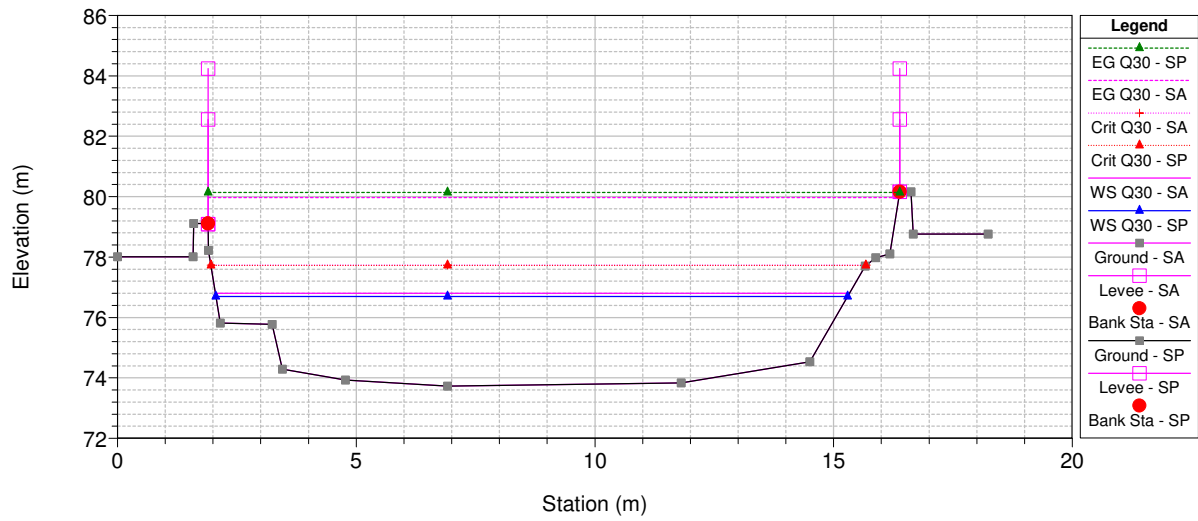
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 93.45 Distanze: Progressiva 472.17 m; Parziale 3.4 m. Monte ponticello



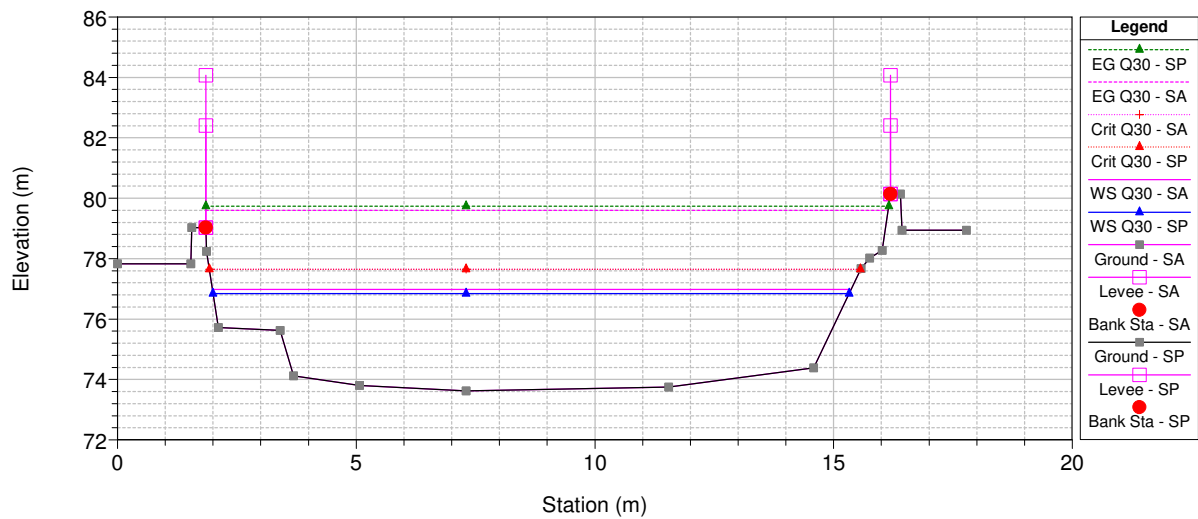
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 93.3 Distanze: Progressiva 468.77 m; Parziale 8.684 m. Valle ponticel



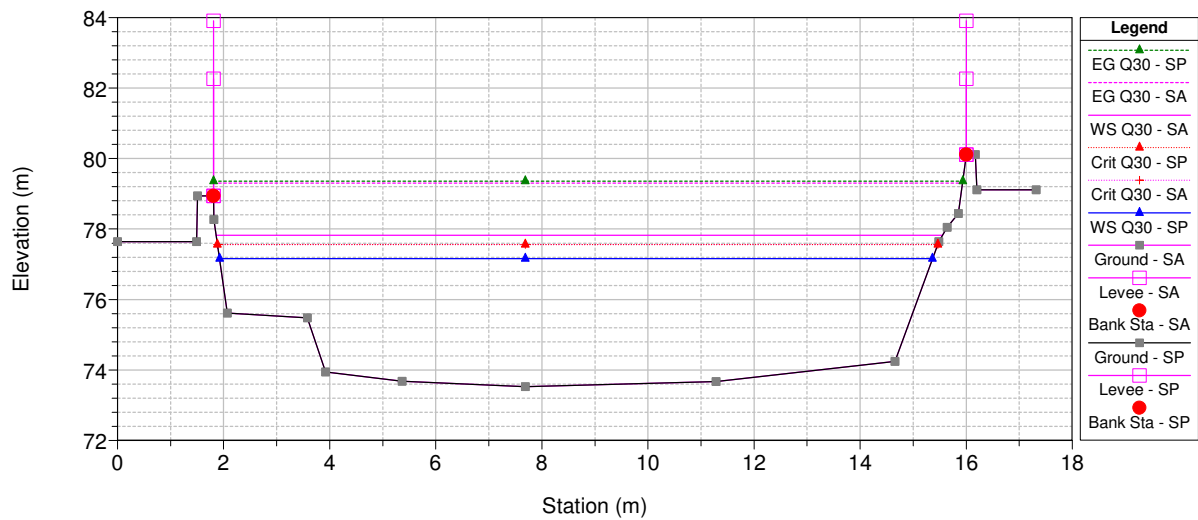
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 93.2875* Distanze: Progressiva 460.09 m; Parziale 8.684 m



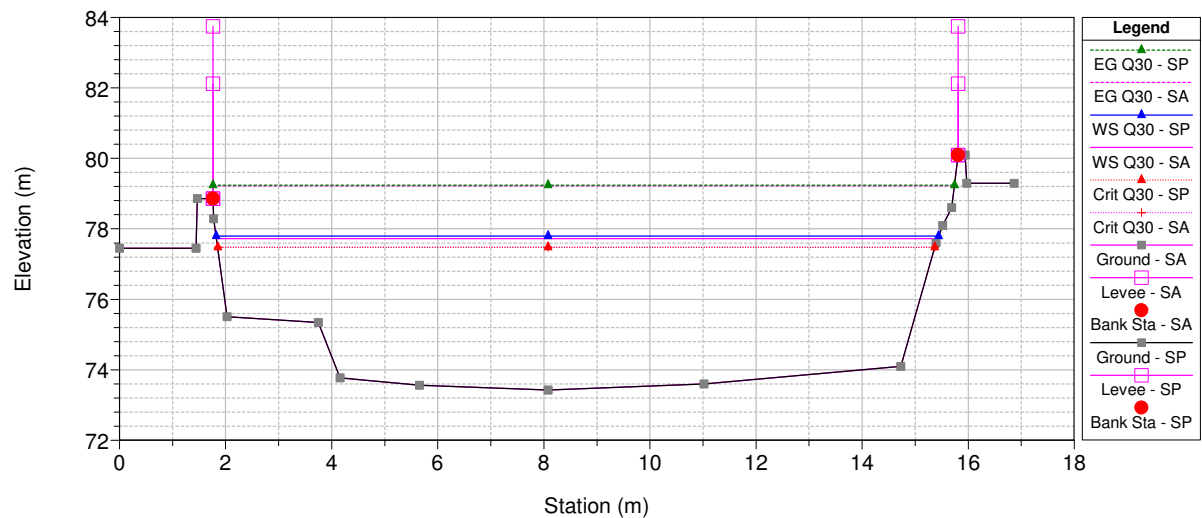
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 93.275* Distanze: Progressiva 451.41 m; Parziale 8.684 m



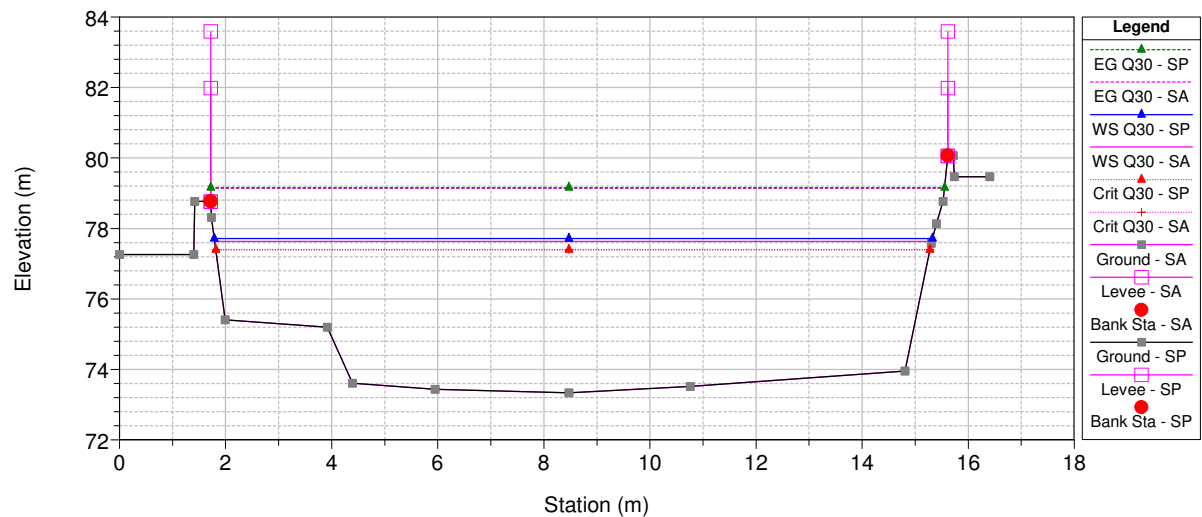
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 93.2625* Distanze: Progressiva 442.72 m; Parziale 8.684 m



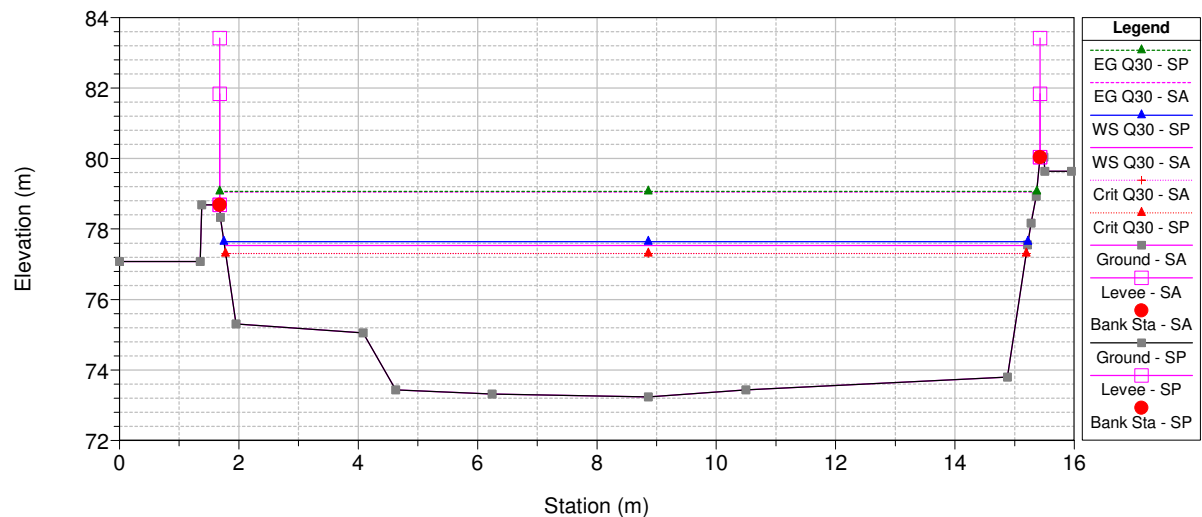
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 93.25* Distanze: Progressiva 434.04 m; Parziale 8.684 m



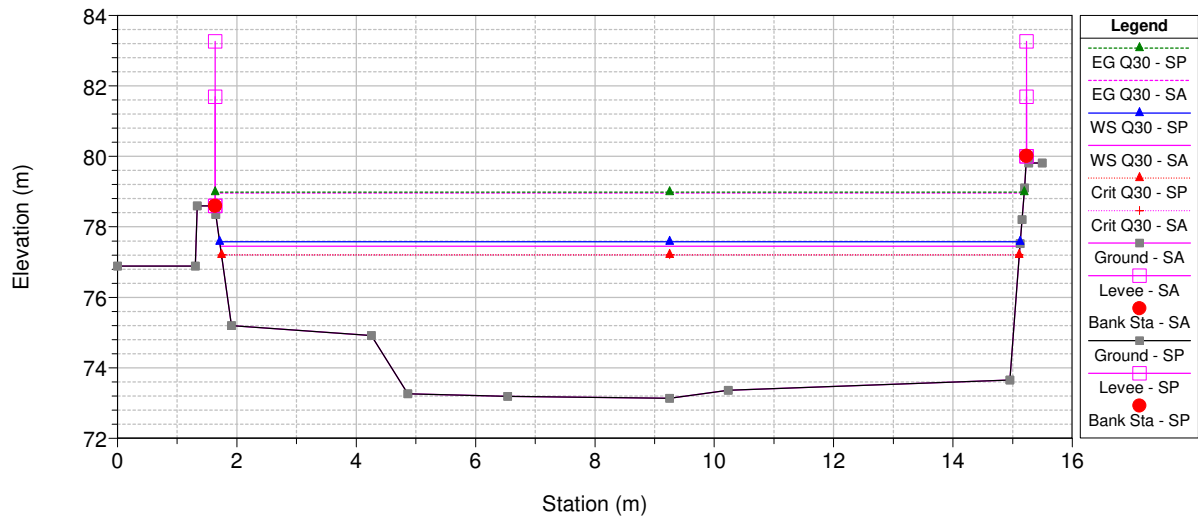
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 93.2375* Distanze: Progressiva 425.35 m; Parziale 8.684 m



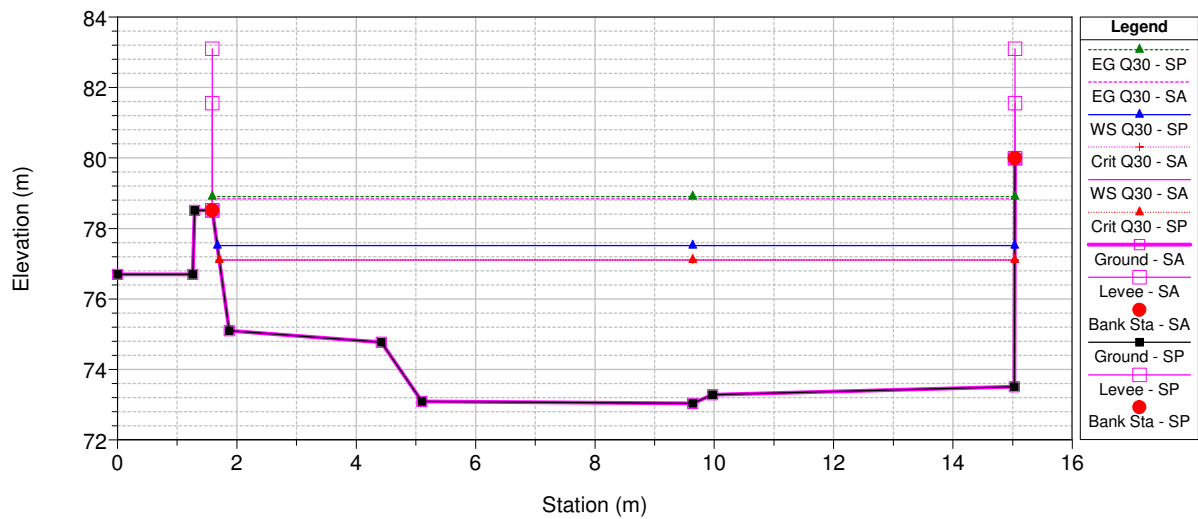
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 93.225* Distanze: Progressiva 416.67 m; Parziale 8.684 m



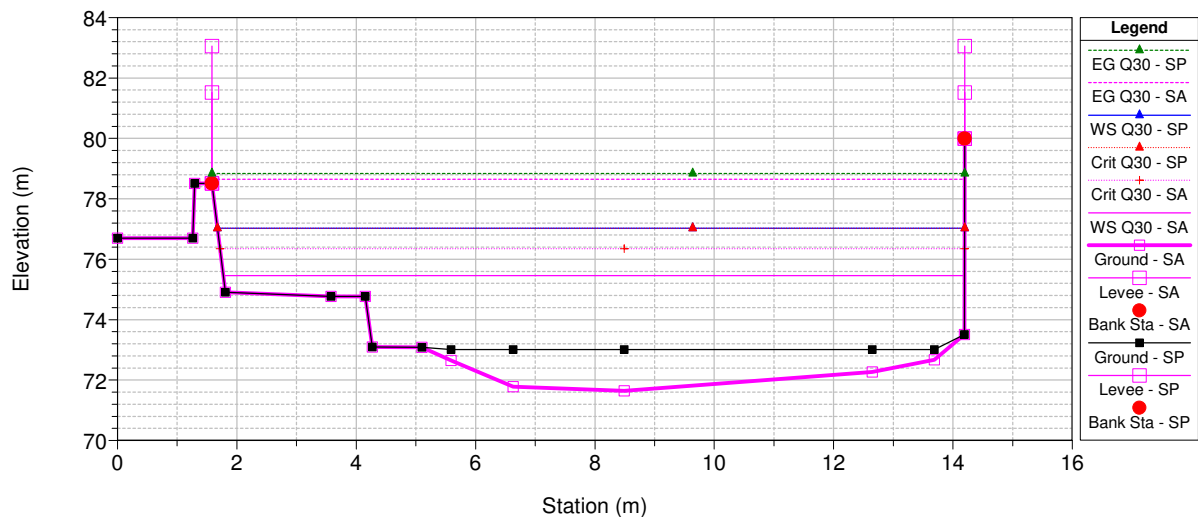
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 93.2124* Distanze: Progressiva 407.99 m; Parziale 8.684 m



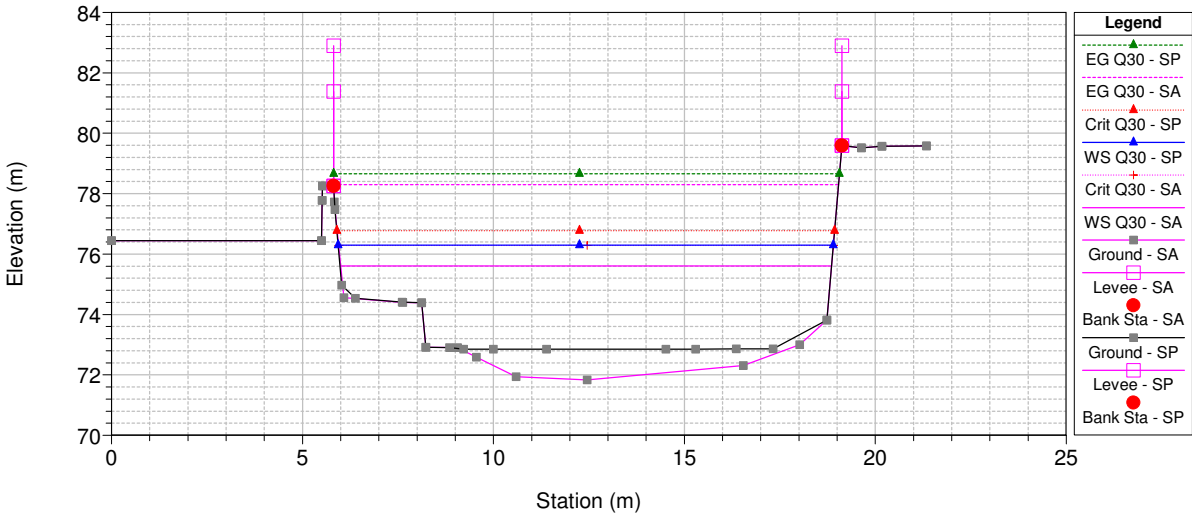
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 93.2 Distanze: Progressiva 399.30 m; Parziale 2.29 m



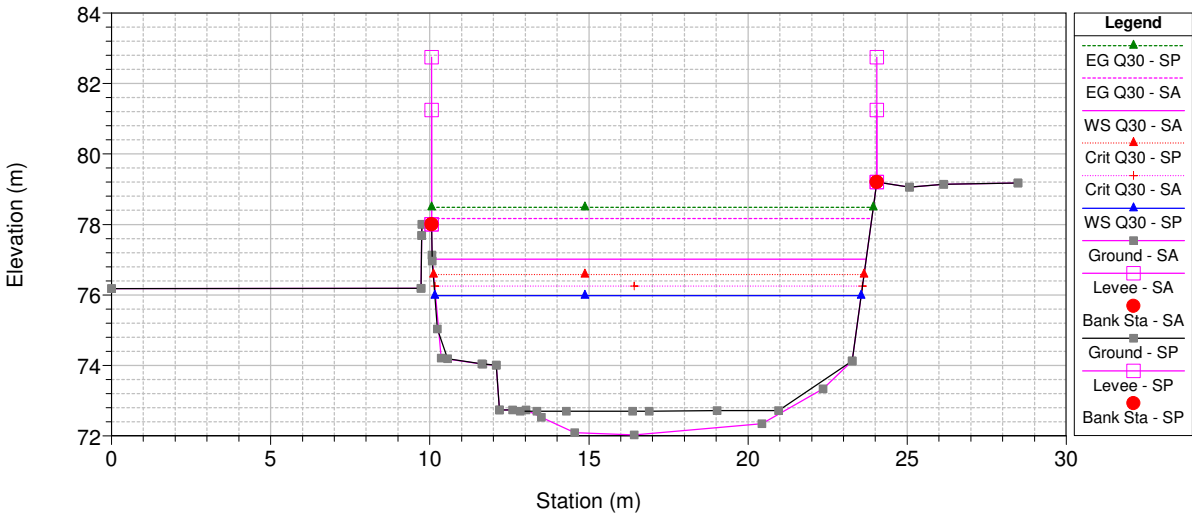
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 93.1 Distanze: Progressiva 397.01 m; Parziale 8.148 m



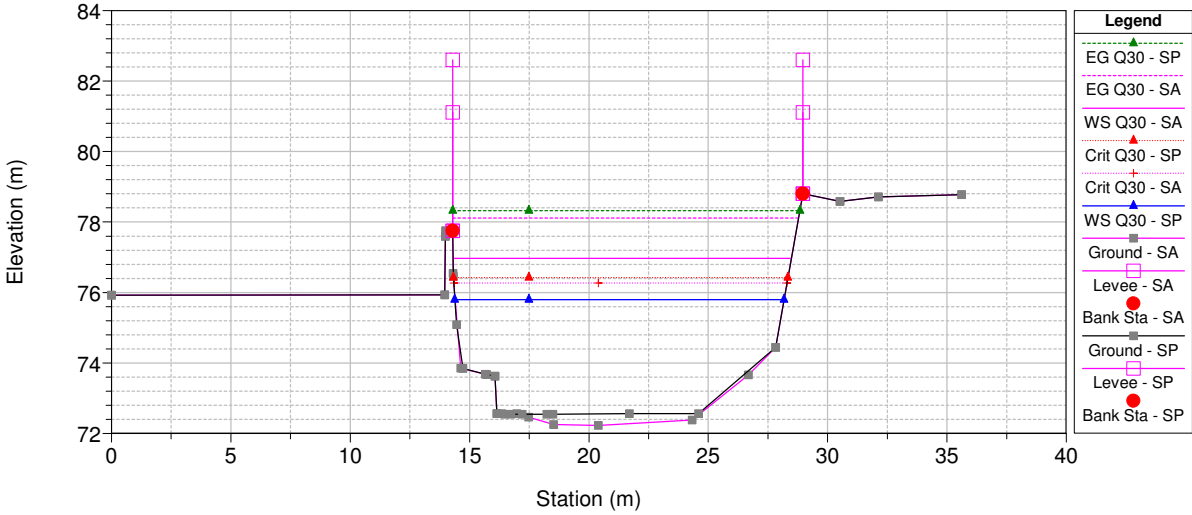
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 93.075* Distanze: Progressiva 388.86 m; Parziale 8.148 m



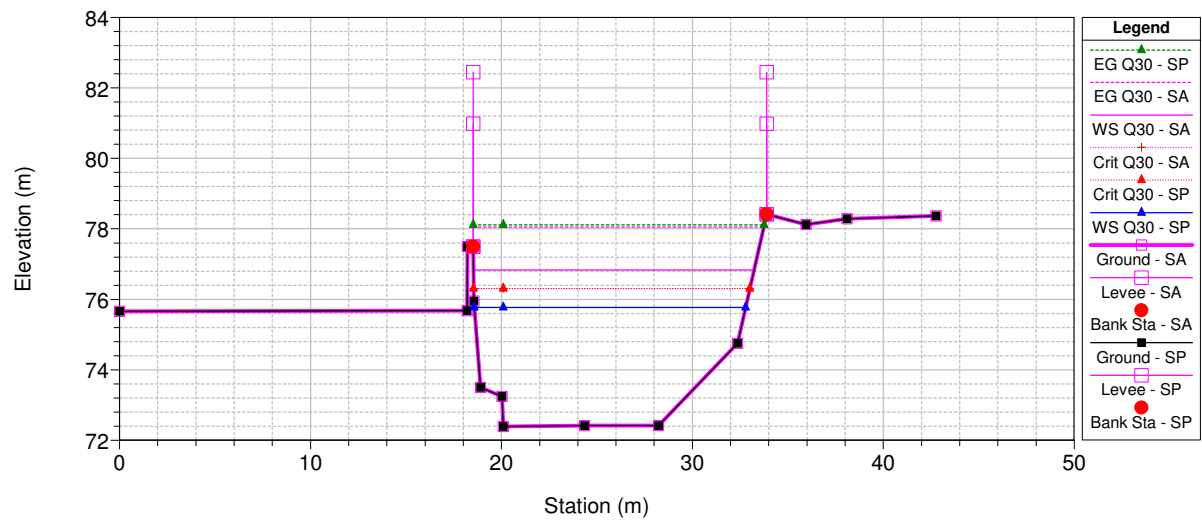
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 93.05* Distanze: Progressiva 380.72 m; Parziale 8.148 m



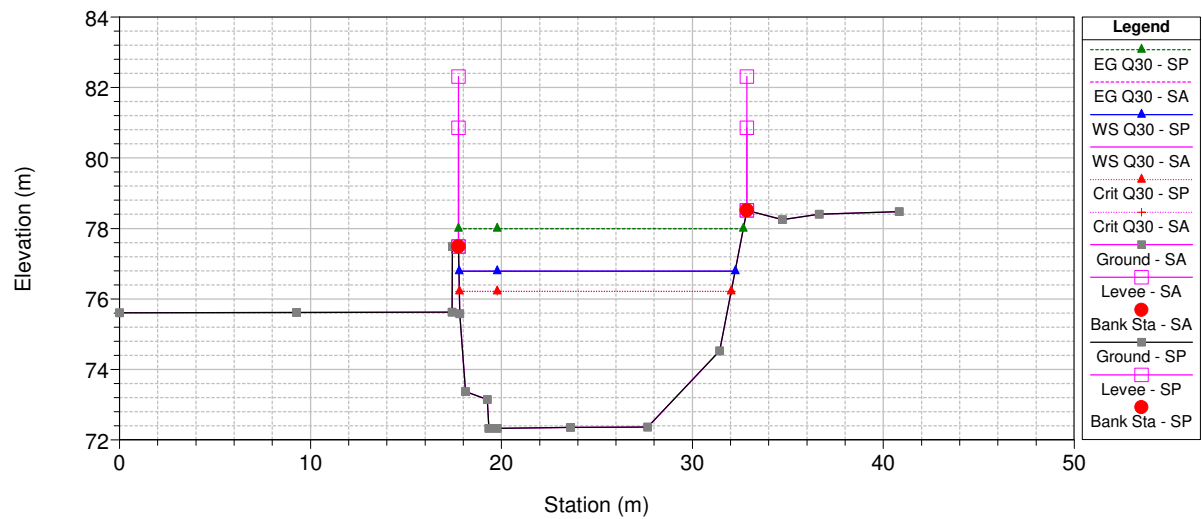
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 93.025* Distanze: Progressiva 372.57 m; Parziale 8.147 m



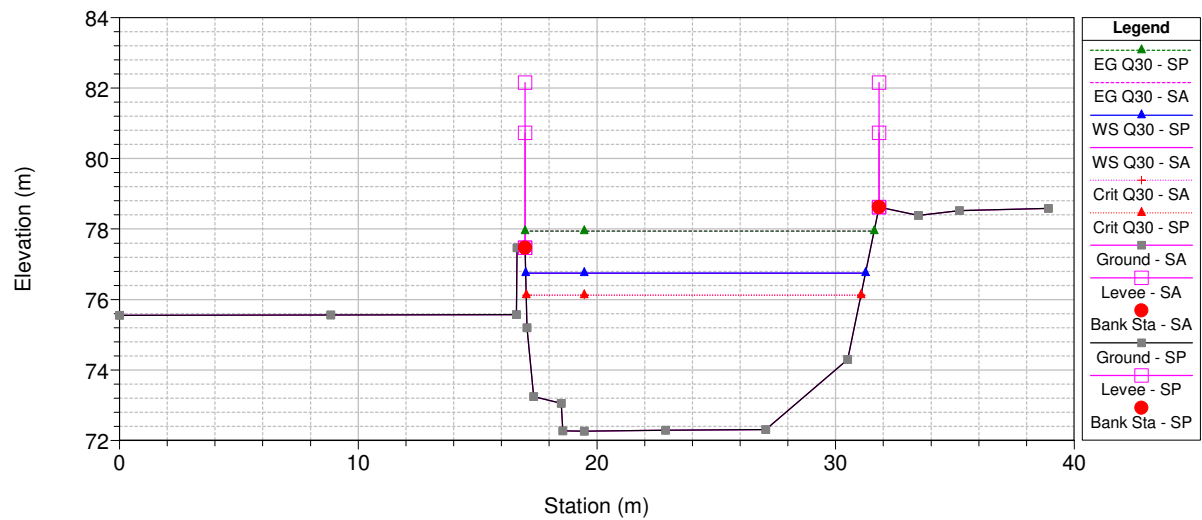
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 93 Distanze: Progressiva 364.42 m; Parziale 7.608 m



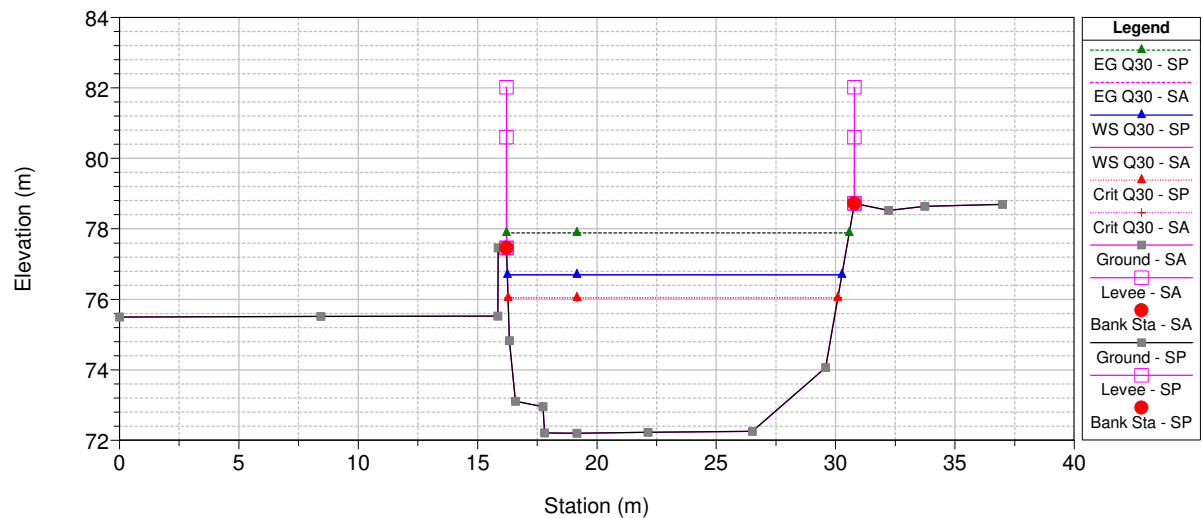
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 92.9* Distanze: Progressiva 356.81 m; Parziale 7.608 m



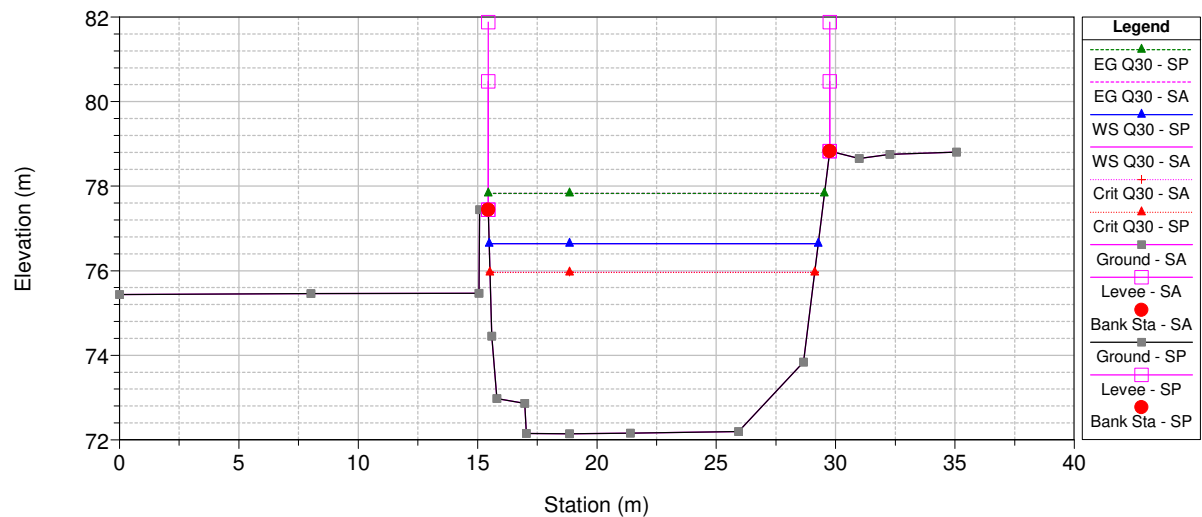
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 92.8* Distanze: Progressiva 349.20 m; Parziale 7.608 m



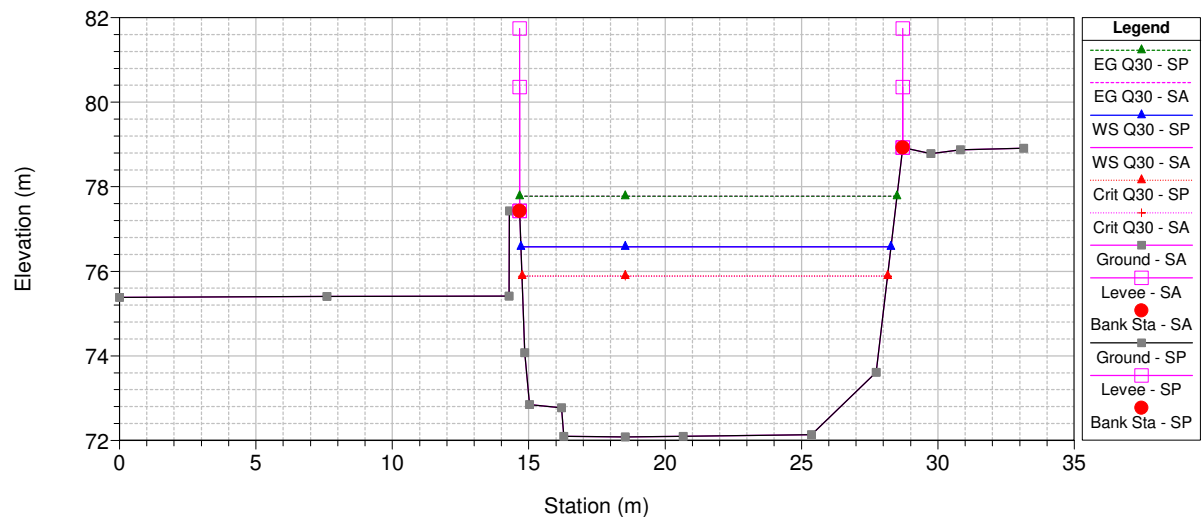
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 92.7* Distanze: Progressiva 341.60 m; Parziale 7.608 m



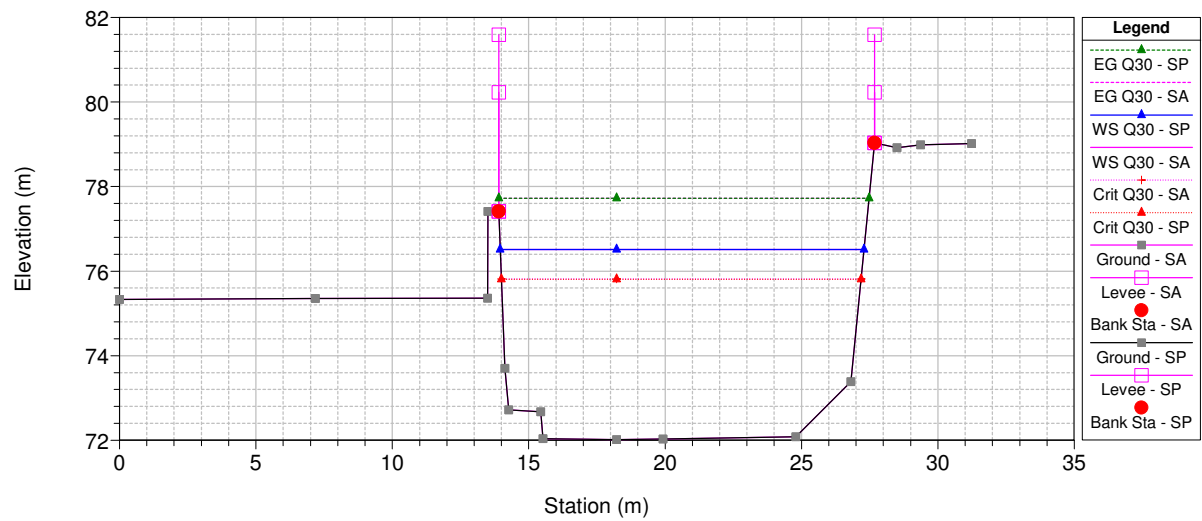
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 92.6* Distanze: Progressiva 333.99 m; Parziale 7.608 m



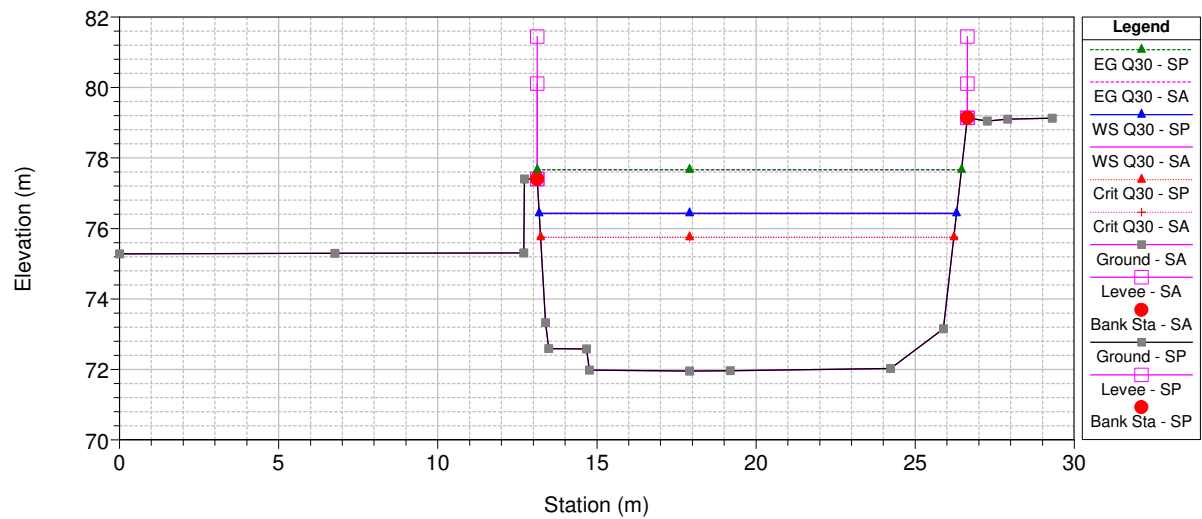
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 92.5* Distanze: Progressiva 326.38 m; Parziale 7.608 m



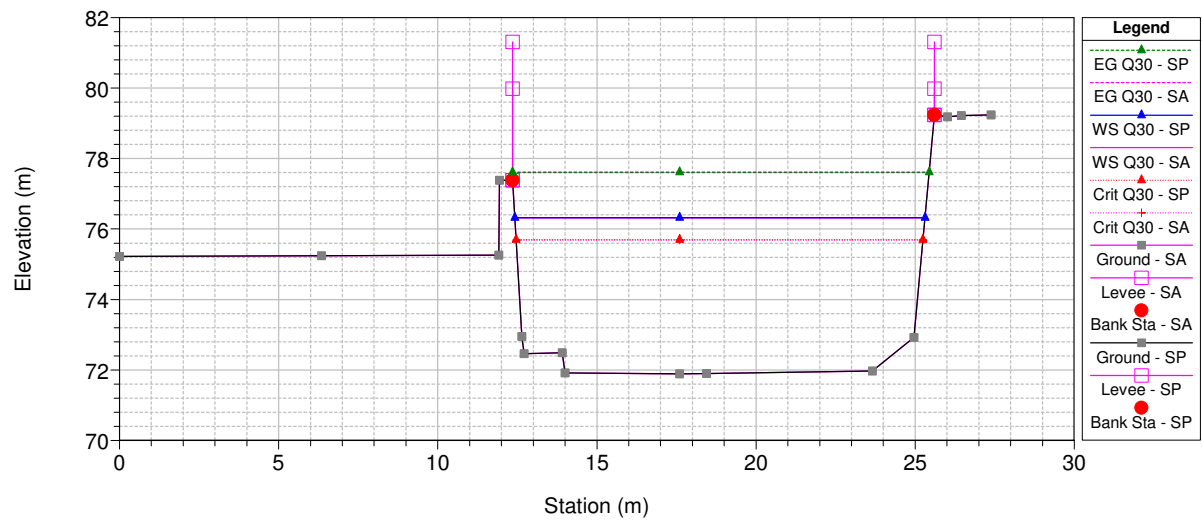
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 92.4* Distanze: Progressiva 318.77 m; Parziale 7.608 m



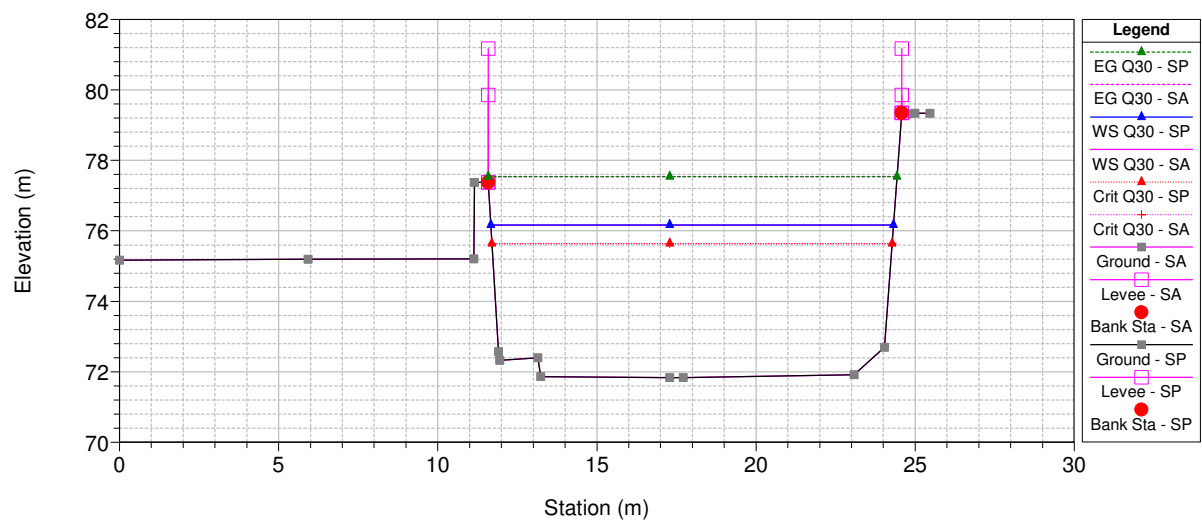
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 92.3* Distanze: Progressiva 311.16 m; Parziale 7.608 m



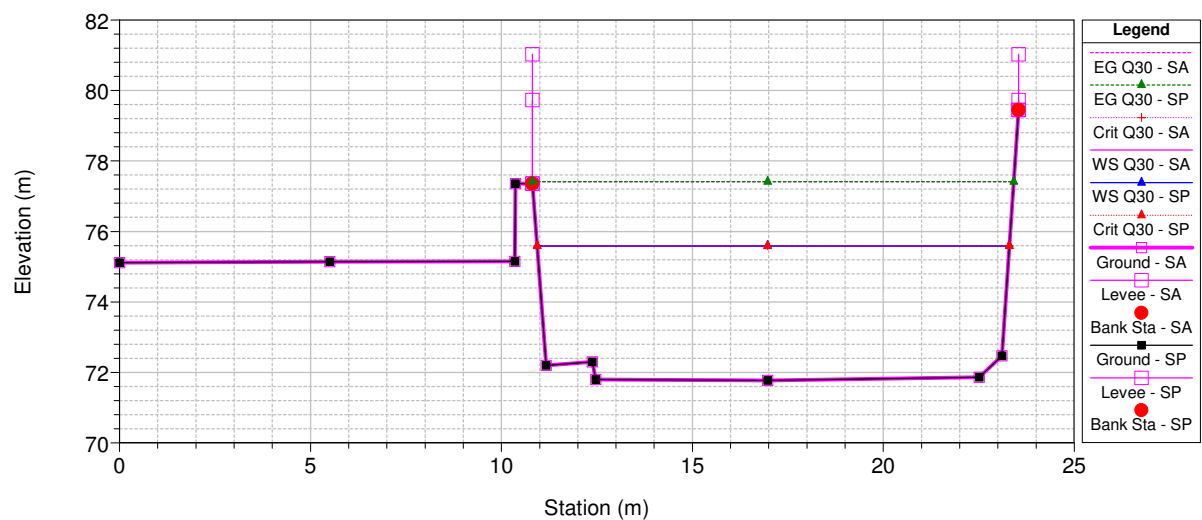
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 92.2* Distanze: Progressiva 303.56 m; Parziale 7.608 m



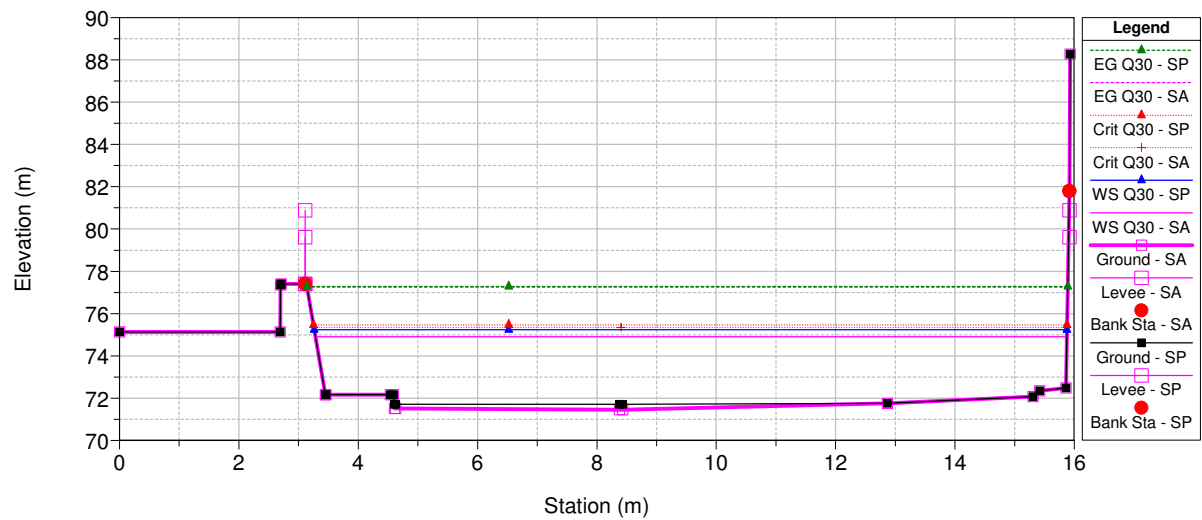
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 92.1* Distanze: Progressiva 295.95 m; Parziale 7.608 m



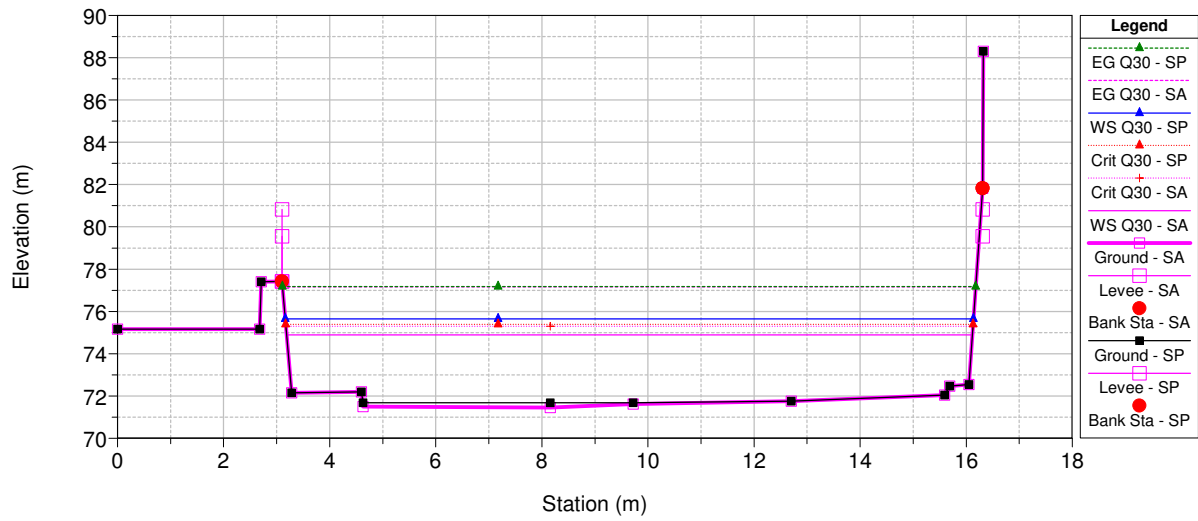
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 92 Distanze: Progressiva 288.34 m; Parziale 7.53 m



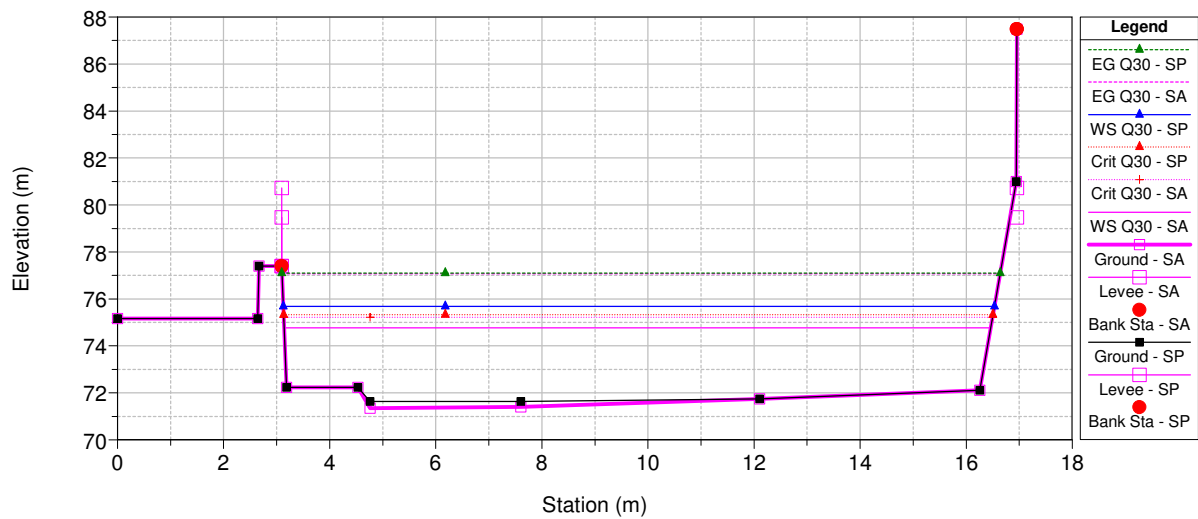
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 91.4 Distanze: Progressiva 280.81 m; Parziale 3.65 m. Monte passerell



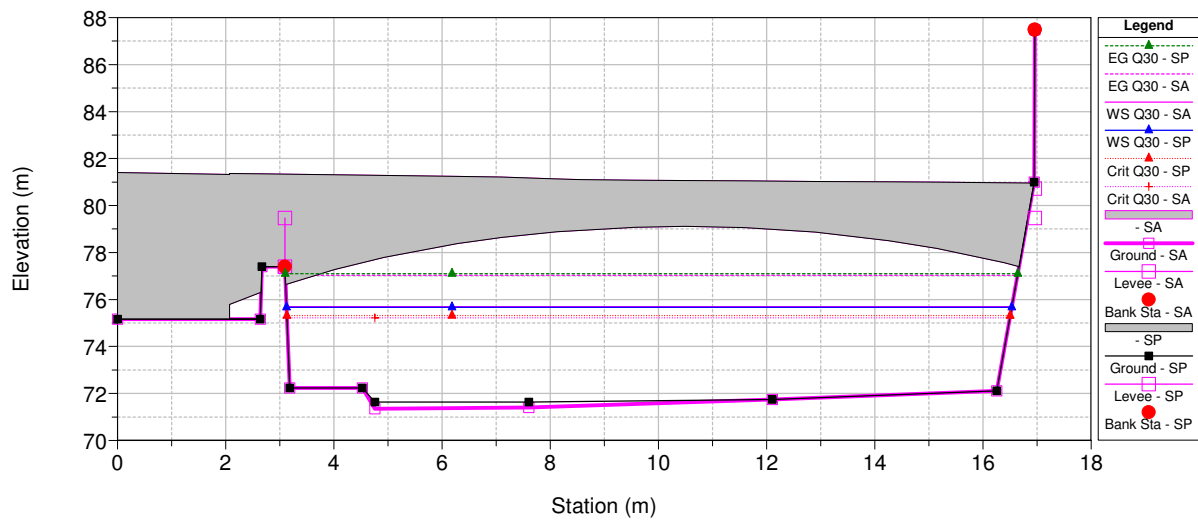
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 91.2 Distanze: Progressiva 277.16 m; Parziale 4.72 m. Valle passerell



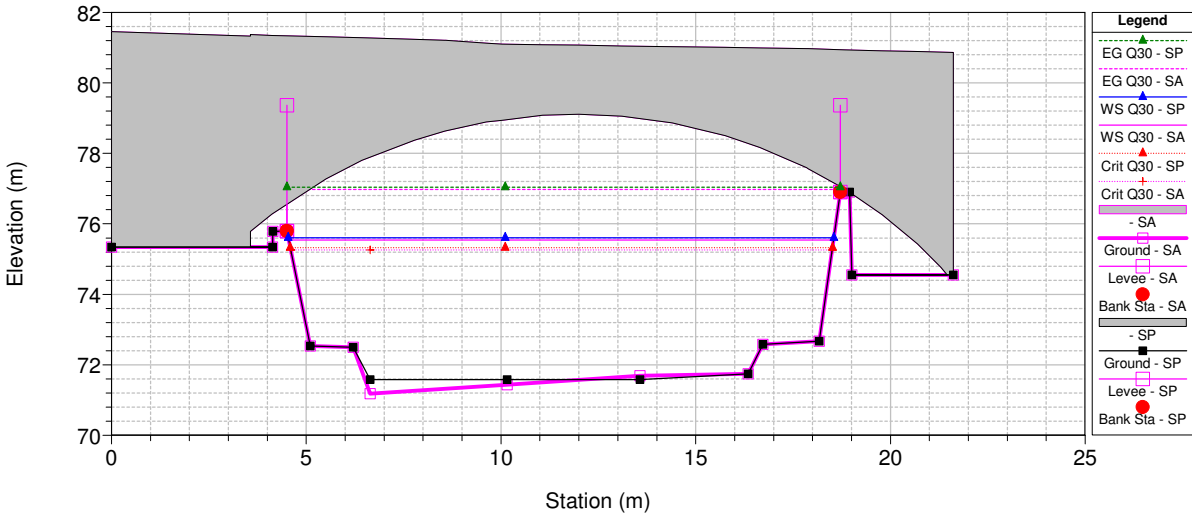
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 91.1 Distanze: Progressiva 272.44 m; Parziale 6.49 m



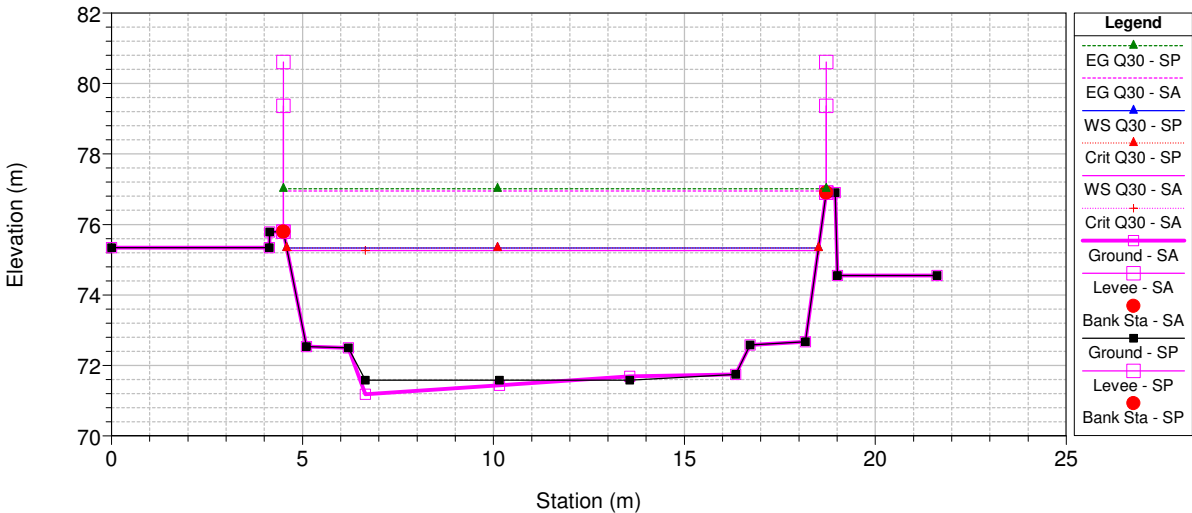
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
 RS = 91 BR Ponte via Elisa



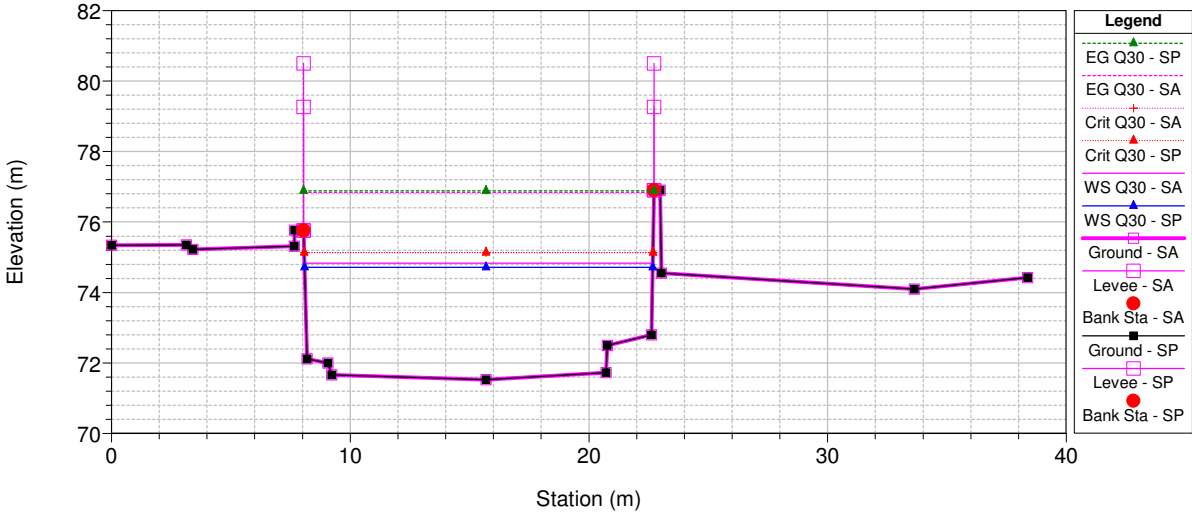
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 91 BR Ponte via Elisa



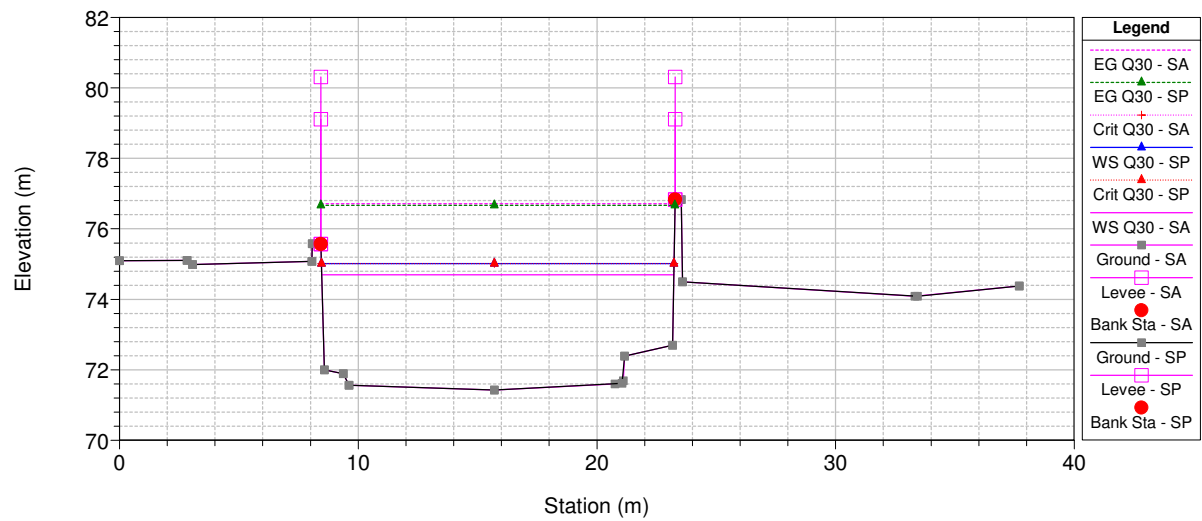
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 90.1 Distanze: Progressiva 265.95 m; Parziale 5.81 m



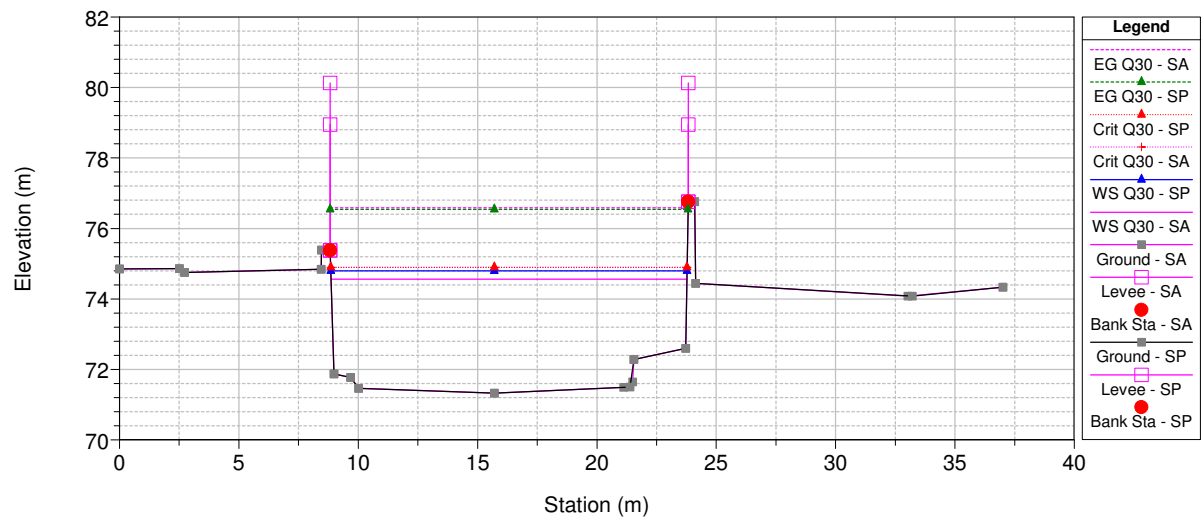
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 90 Distanze: Progressiva 260.14 m; Parziale 9.865 m



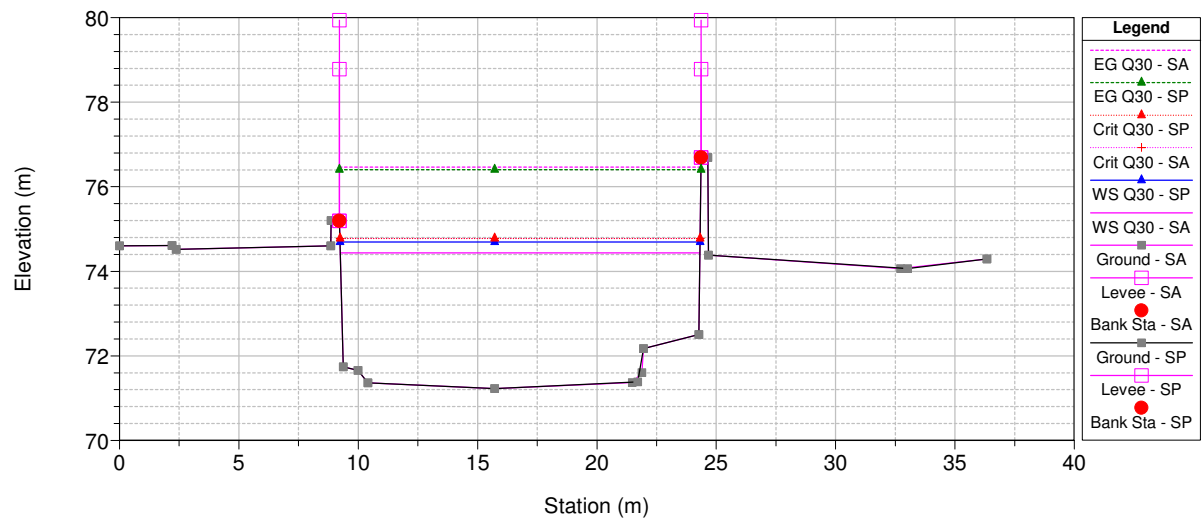
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 89.900* Distanze: Progressiva 250.28 m; Parziale 9.865 m



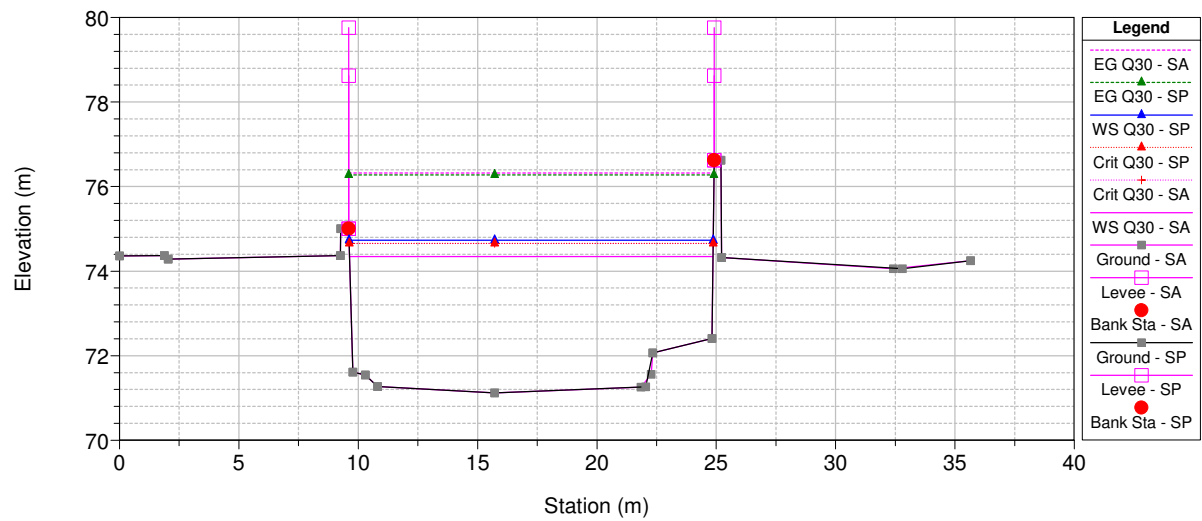
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 89.800* Distanze: Progressiva 240.41 m; Parziale 9.865 m



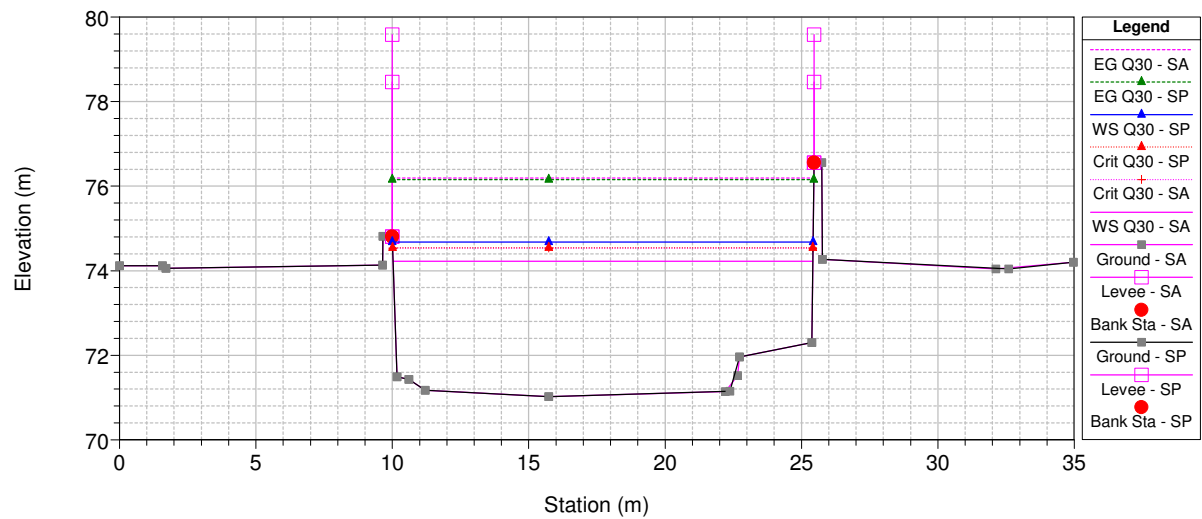
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 89.700* Distanze: Progressiva 230.55 m; Parziale 9.865 m



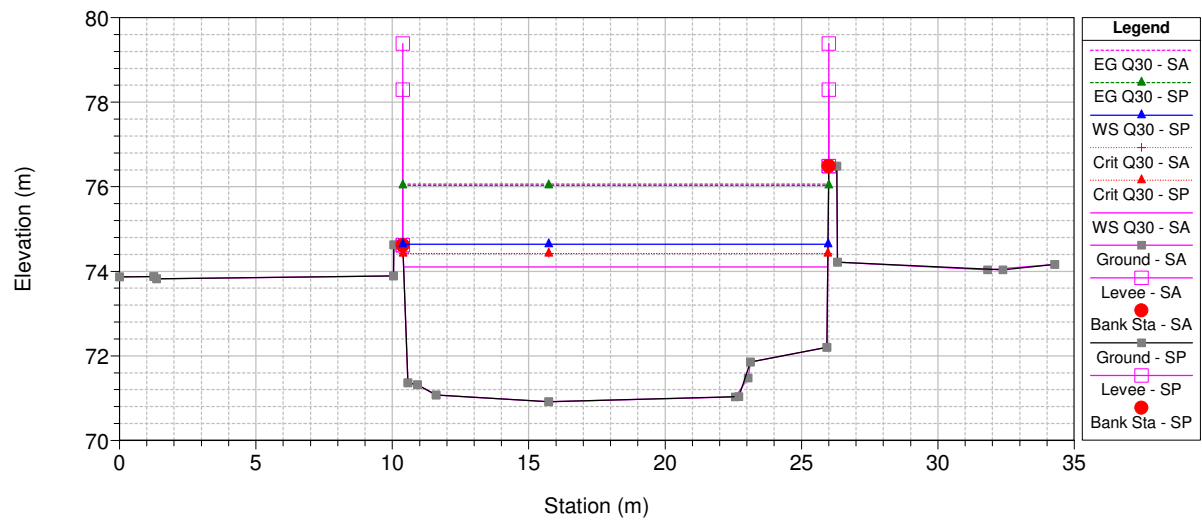
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 89.600* Distanze: Progressiva 220.68 m; Parziale 9.865 m



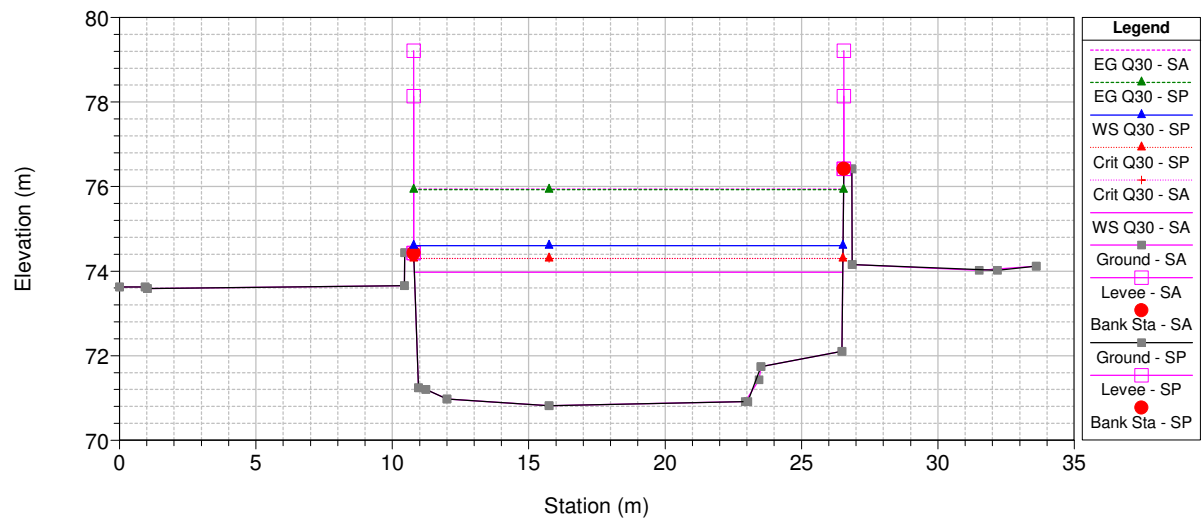
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 89.500* Distanze: Progressiva 210.82 m; Parziale 9.865 m



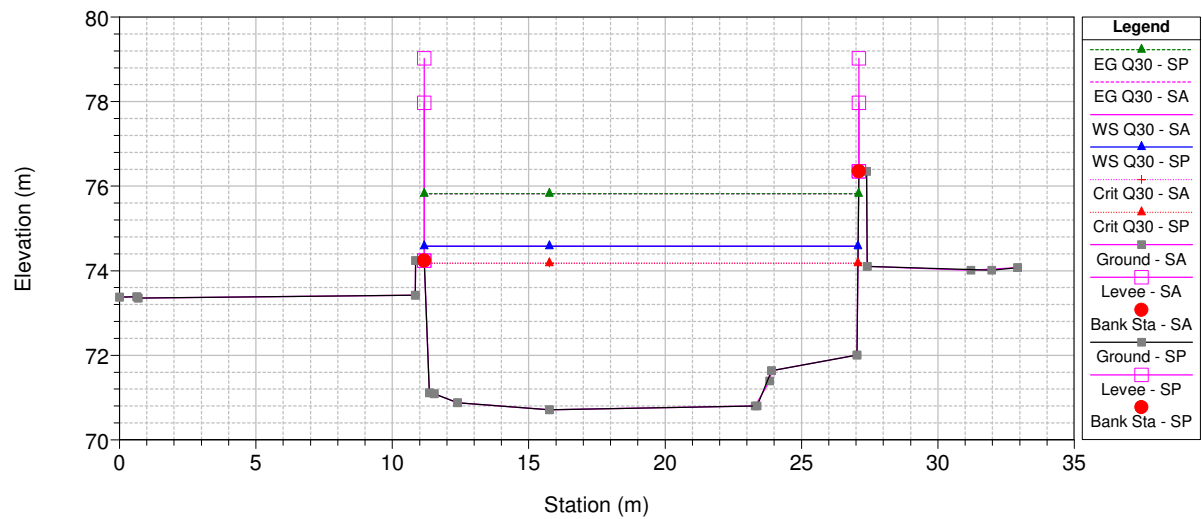
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 89.400* Distanze: Progressiva 200.95 m; Parziale 9.865 m



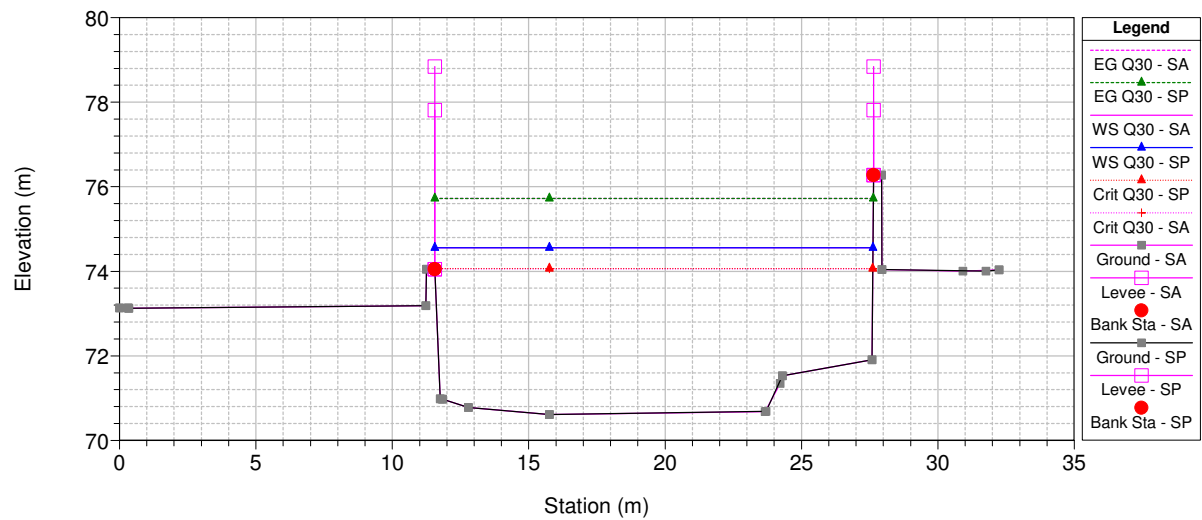
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 89.300* Distanze: Progressiva 191.09 m; Parziale 9.865 m



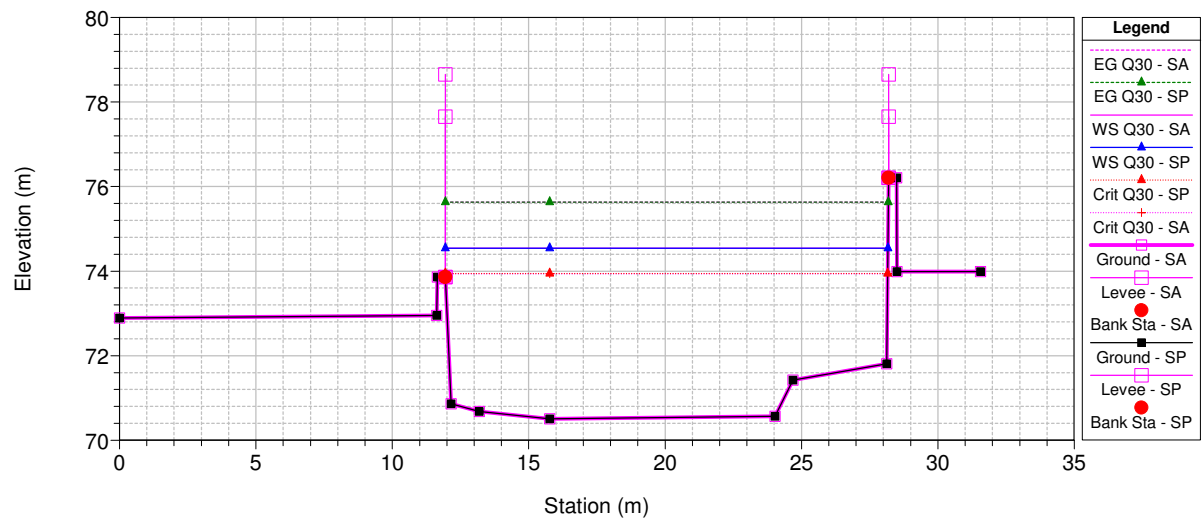
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 89.200* Distanze: Progressiva 181.22 m; Parziale 9.865 m



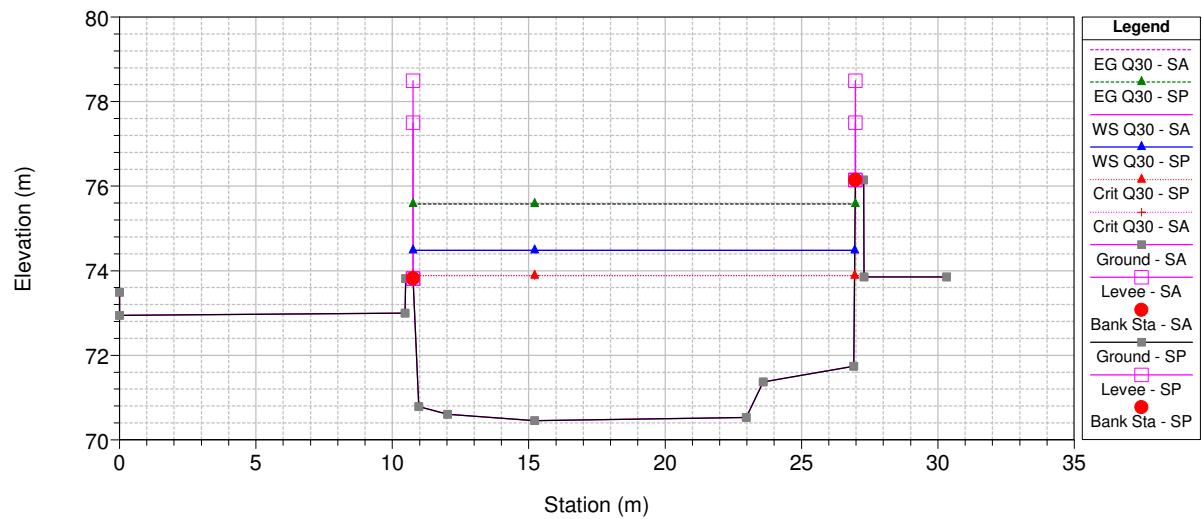
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 89.100* Distanze: Progressiva 171.36 m; Parziale 9.865 m



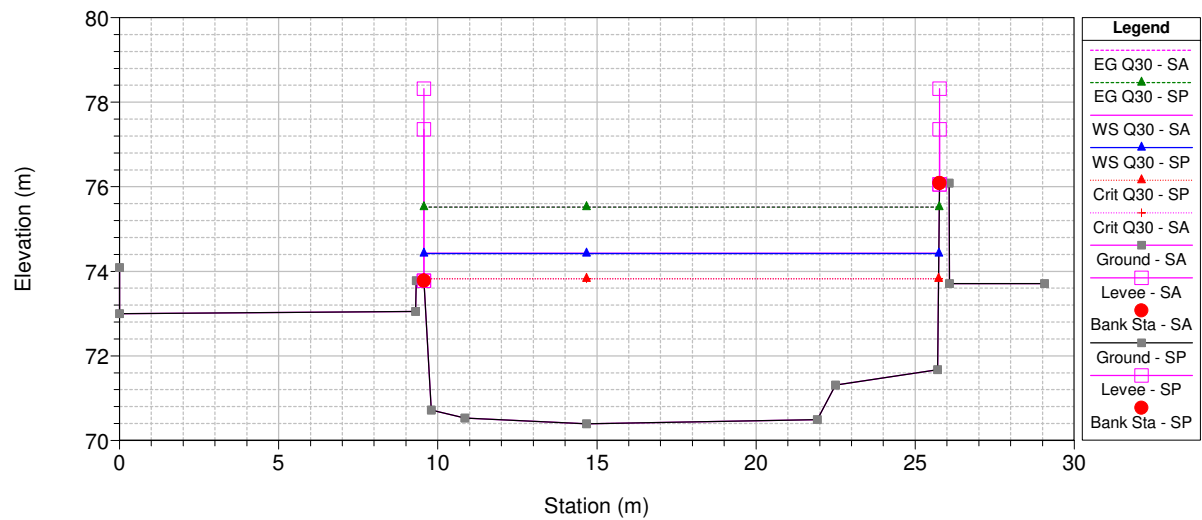
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 89 Distanze: Progressiva 161.49 m; Parziale 8.845 m



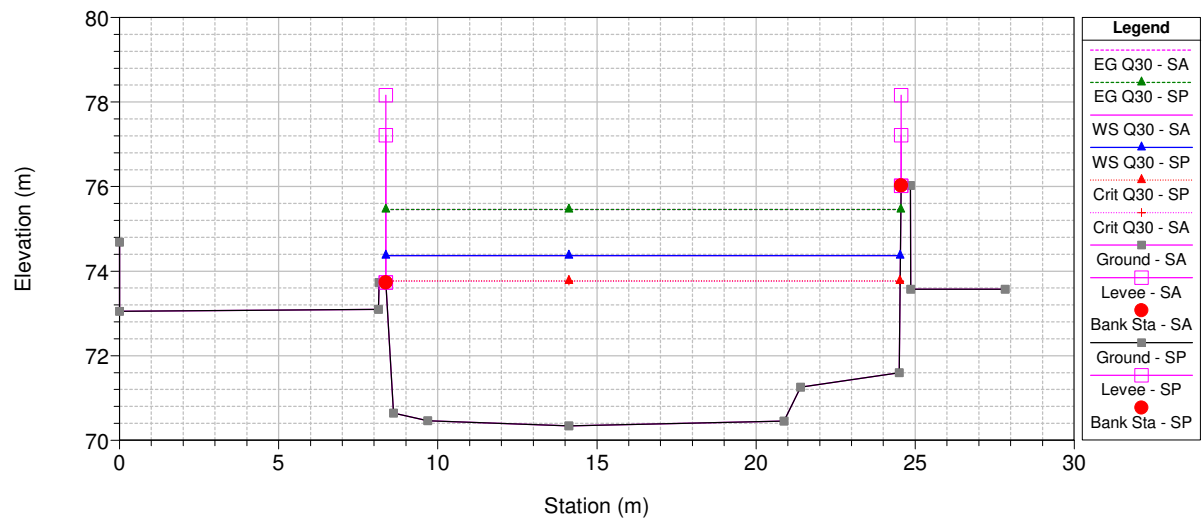
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 88.900* Distanze: Progressiva 152.65 m; Parziale 8.845 m



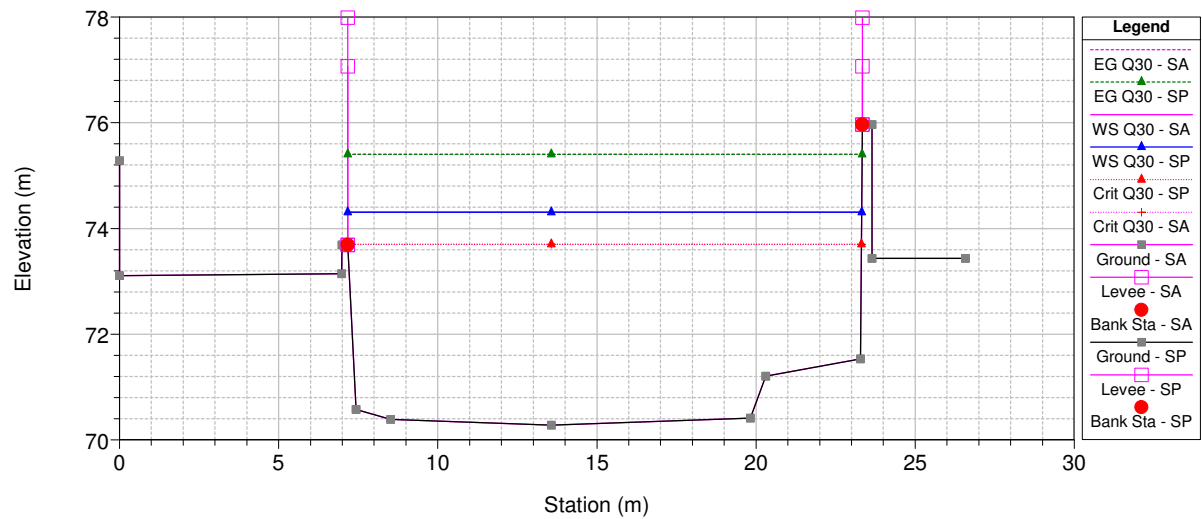
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 88.800* Distanze: Progressiva 143.80 m; Parziale 8.845 m



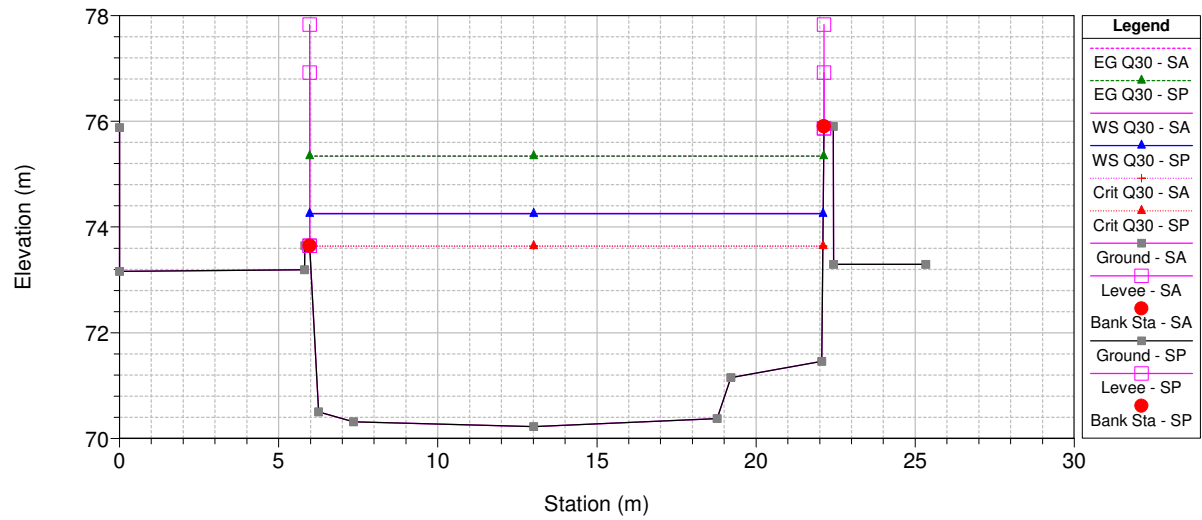
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 88.700* Distanze: Progressiva 134.96 m; Parziale 8.845 m



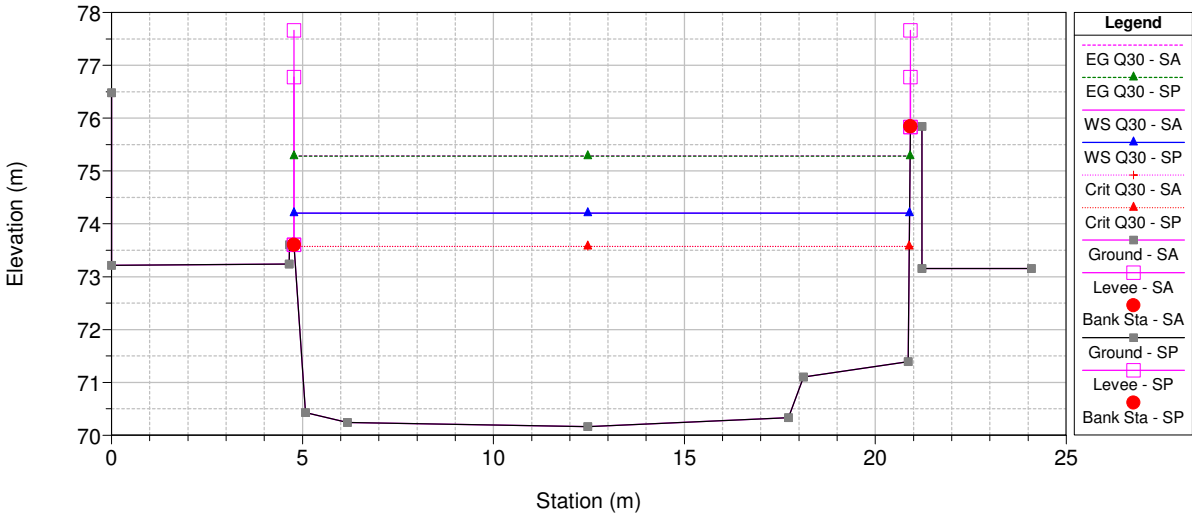
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 88.600* Distanze: Progressiva 126.11 m; Parziale 8.845 m



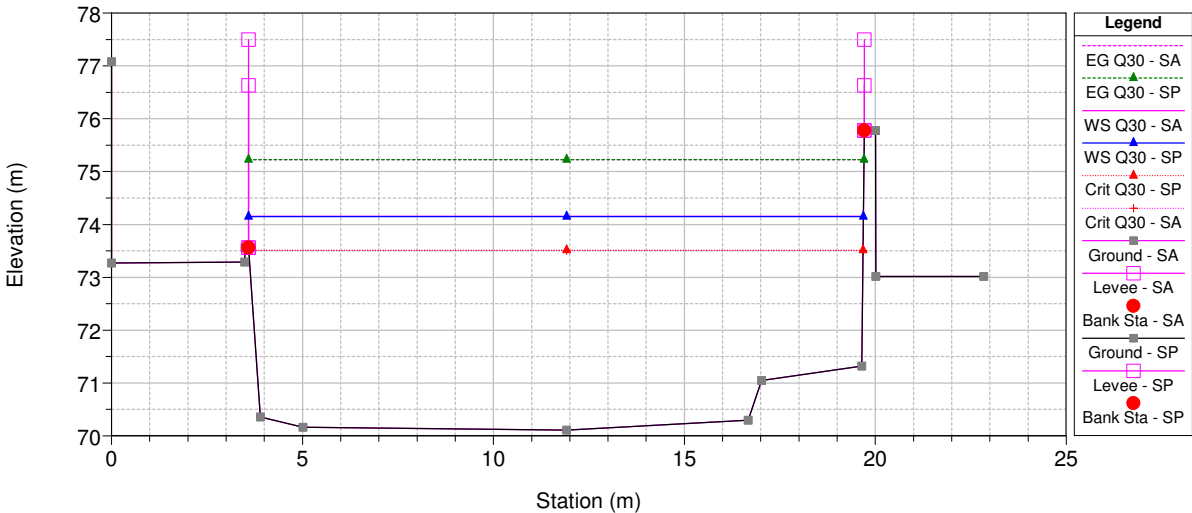
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 88.500* Distanze: Progressiva 117.27 m; Parziale 8.845 m



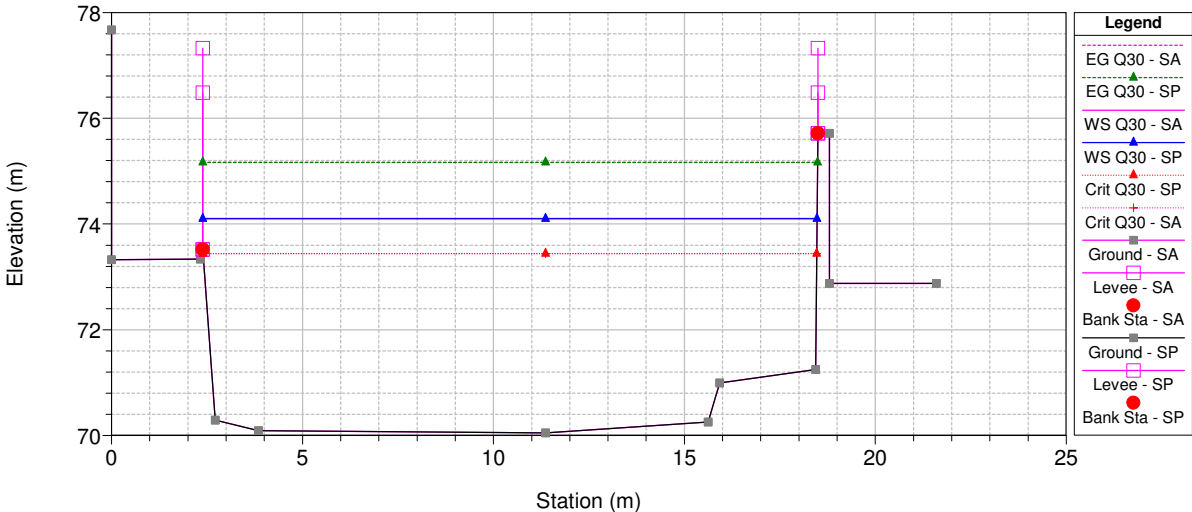
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 88.400* Distanze: Progressiva 108.42 m; Parziale 8.845 m



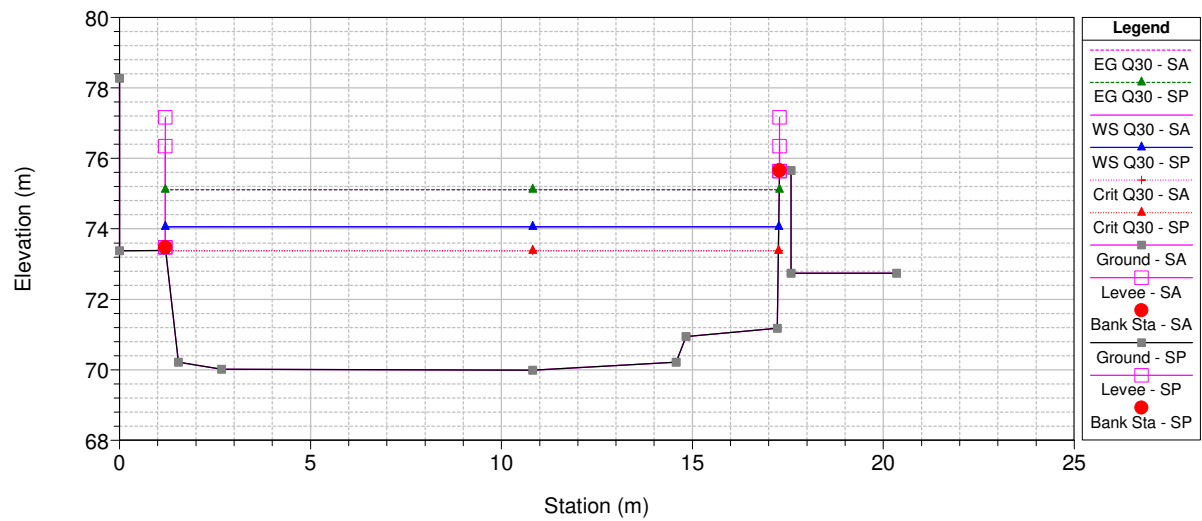
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 88.300* Distanze: Progressiva 99.58 m; Parziale 8.845 m



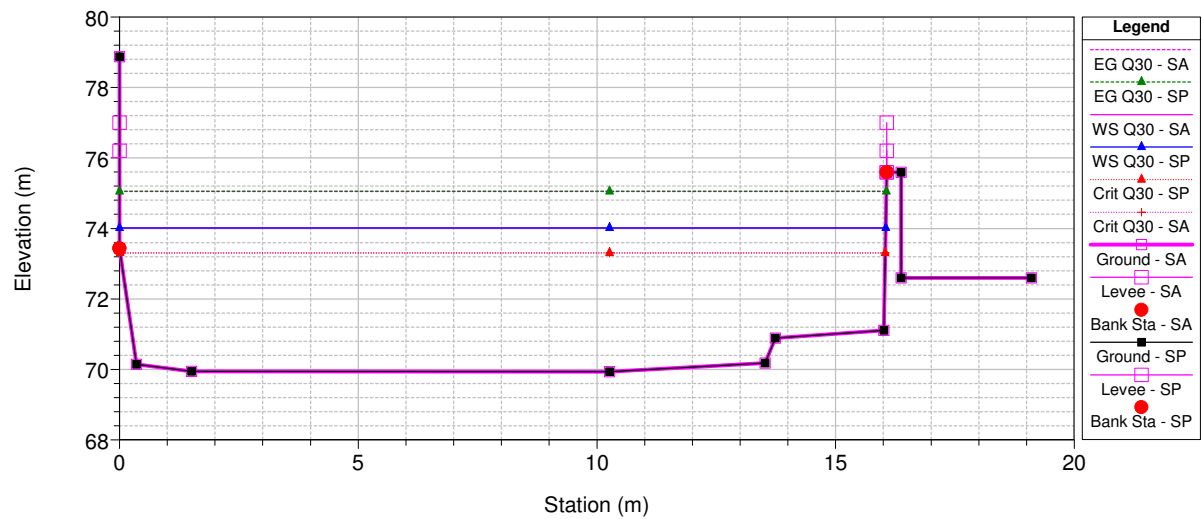
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 88.200* Distanze: Progressiva 90.73 m; Parziale 8.845 m



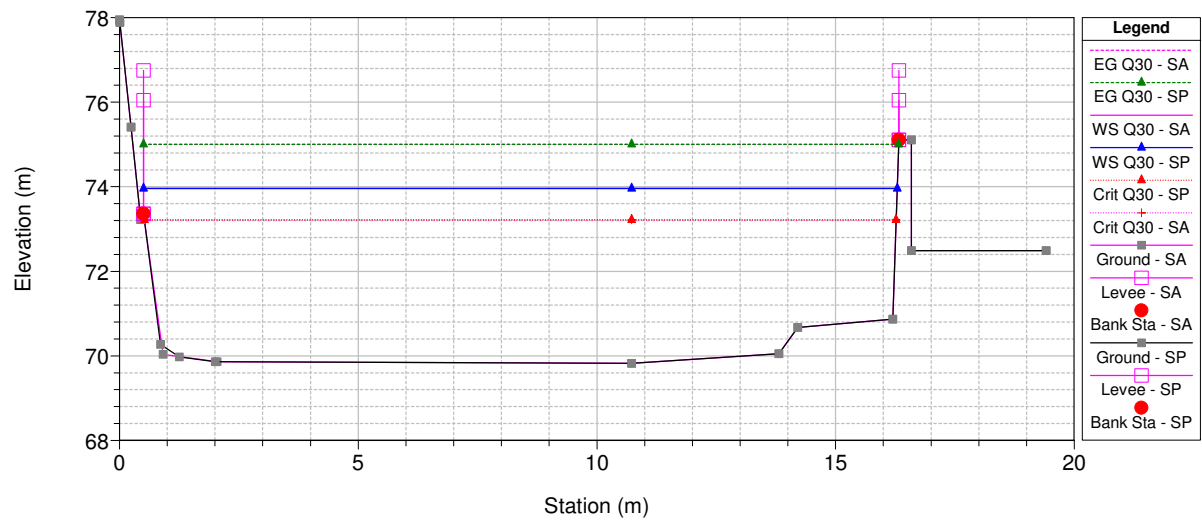
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 88.100* Distanze: Progressiva 81.89 m; Parziale 8.845 m



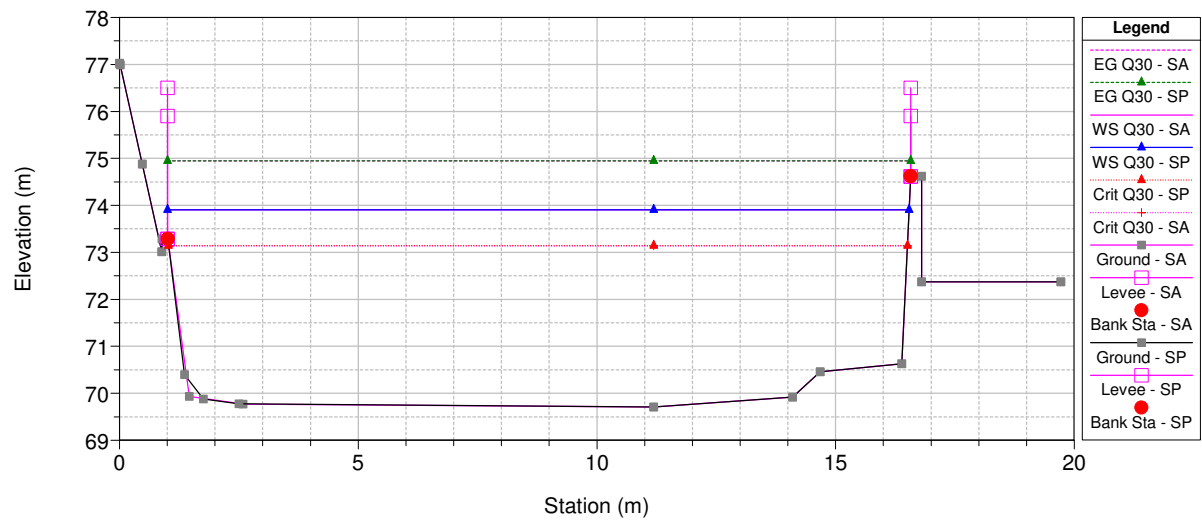
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 88 Distanze: Progressiva 73.04 m; Parziale 9.13 m



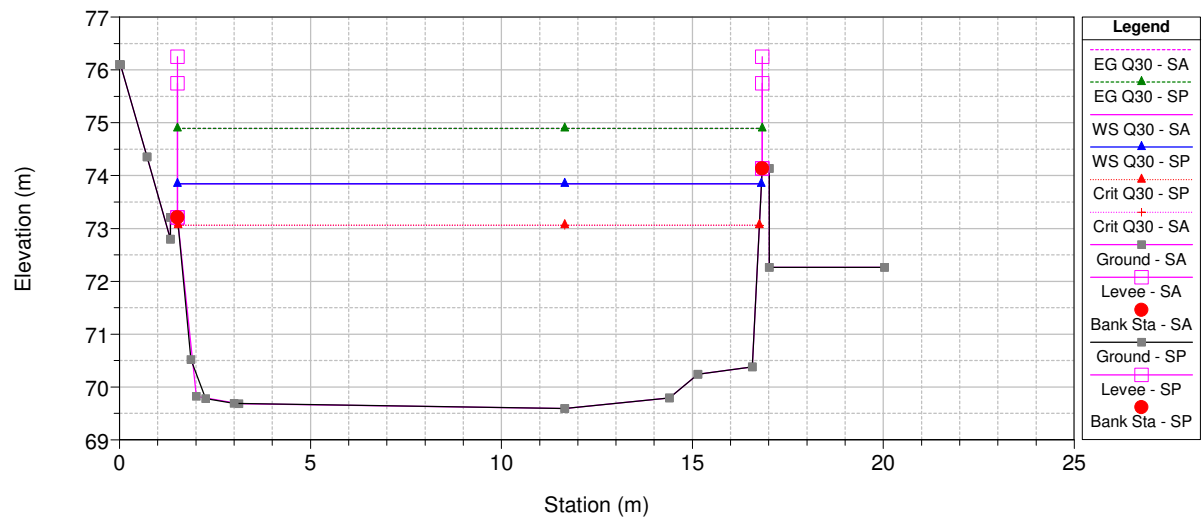
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 87.900* Distanze: Progressiva 63.91 m; Parziale 9.13 m



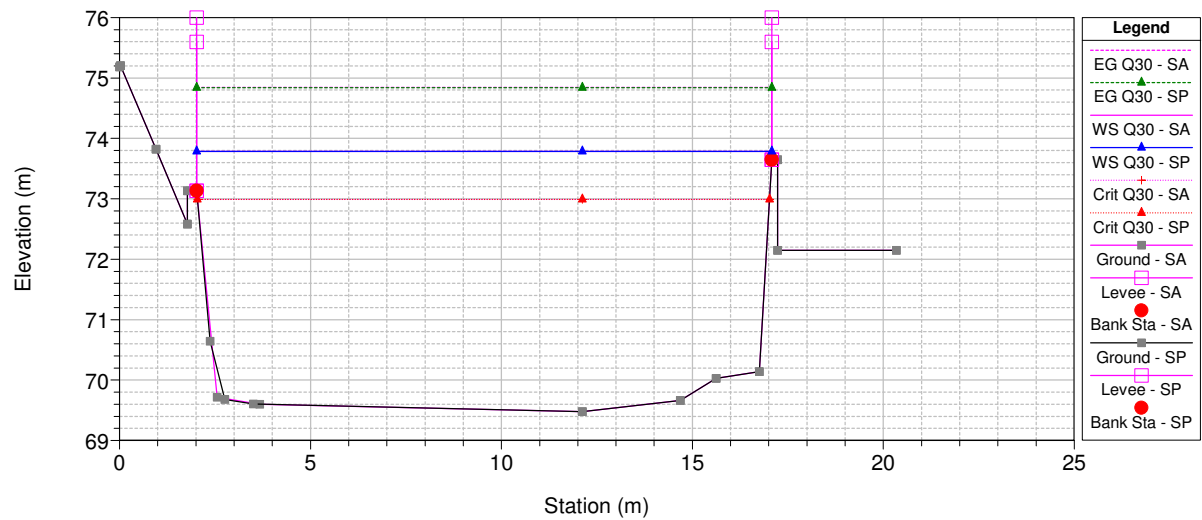
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 87.800* Distanze: Progressiva 54.78 m; Parziale 9.13 m



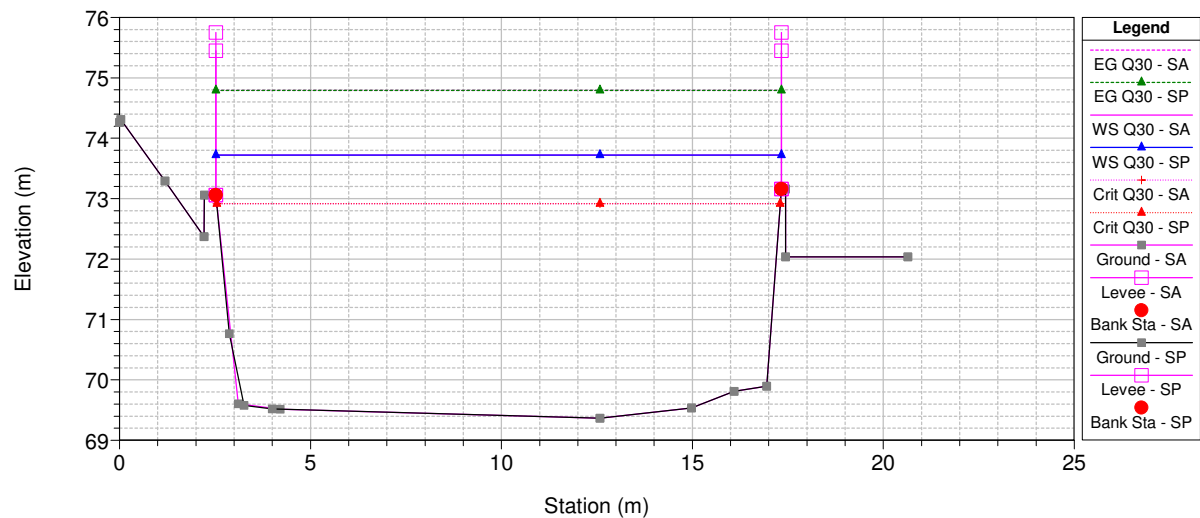
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 87.700* Distanze: Progressiva 45.65 m; Parziale 9.13 m



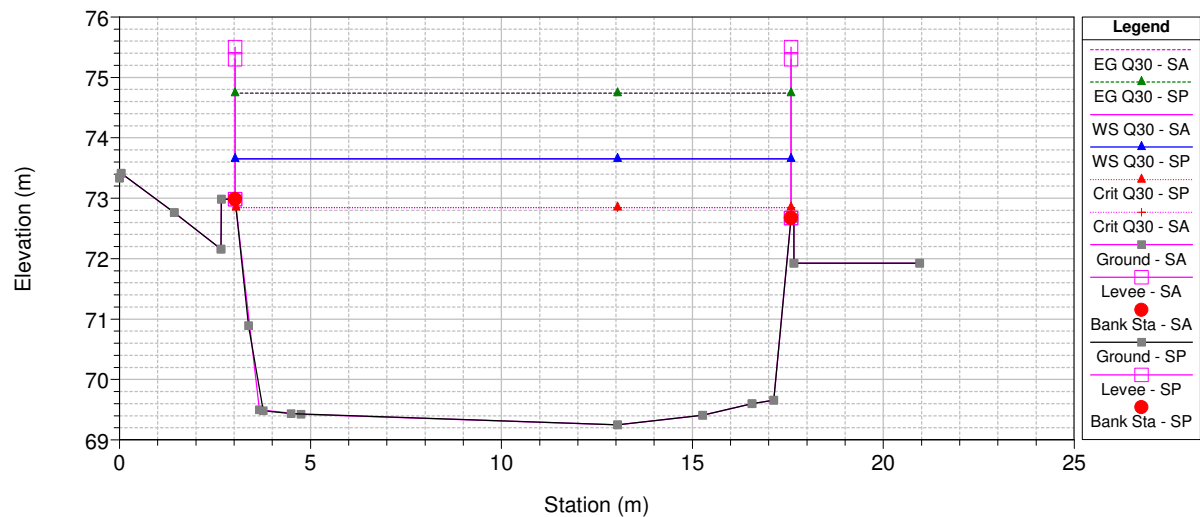
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 87.600* Distanze: Progressiva 36.52 m; Parziale 9.13 m



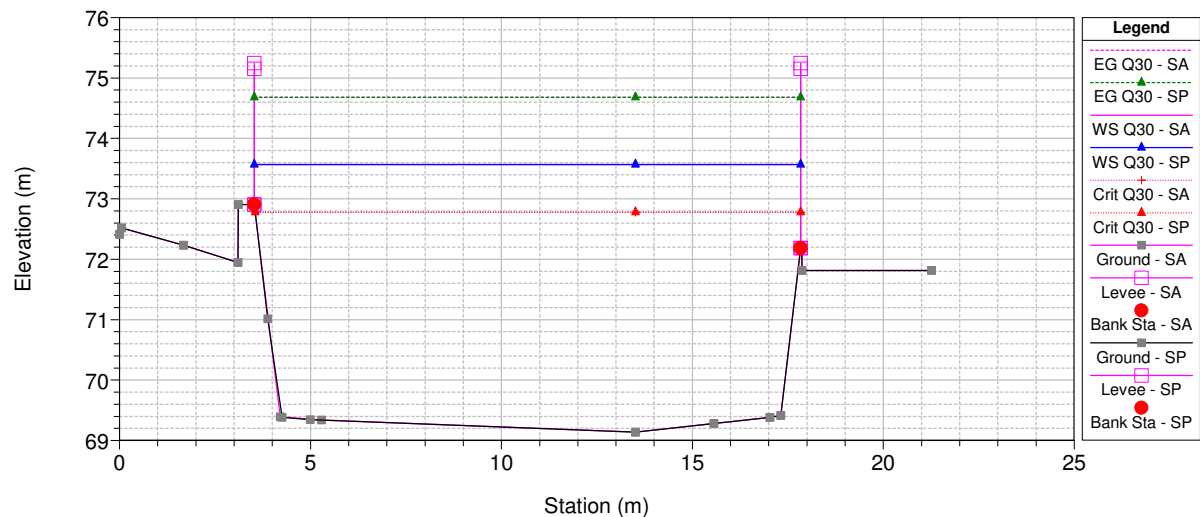
CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 87.500* Distanze: Progressiva 27.39 m; Parziale 9.13 m

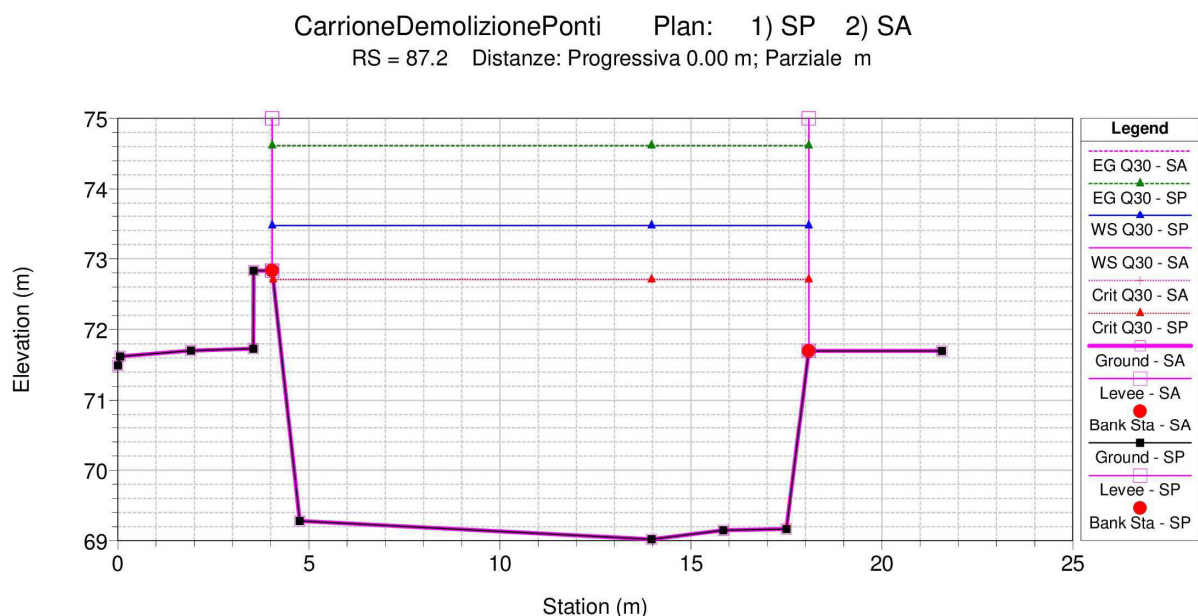


CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 87.400* Distanze: Progressiva 18.26 m; Parziale 9.13 m



CarrioneDemolizionePonti Plan: 1) SP 2) SA
RS = 87.300* Distanze: Progressiva 9.13 m; Parziale 9.13 m





6.3. Tabelle

Nella tabella seguente sono raccolte le caratteristiche della corrente prima e dopo l'intervento di demolizione.

Le colonne si riferiscono:

River Station:	Sezione nella simulazione;
Planning:	Progetto;
Q Total	Portata di calcolo;
Min Ch El	Quota del fondo alveo;
W.S. Elev	Quota del pelo libero;
Δ W.S.	Differenza di quota tra stato attuale e progetto;
Vel Chnl	Velocità dell'acqua;
Flow Area	Superficie liquida della sezione;
Top Width	Larghezza della superficie liquida;
Froude Chl	Numero di Froude;

River Station	Planning	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Δ W.S.	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		m^3/s	m	m	m	m/s	m^2	m	
106	Stato attuale	270	83.95	88.64		3.21	84.11	20.46	0.51
106	Stato di progetto	270	83.95	88.08	-0.56	3.72	72.6	20.46	0.63
105.930*	Stato attuale	270	83.77	88.64		3.12	86.53	20.05	0.48
105.930*	Stato di progetto	270	83.77	88.08	-0.56	3.59	75.28	20.05	0.59
105.861*	Stato attuale	270	83.58	88.63		3.04	88.74	19.64	0.46
105.861*	Stato di progetto	270	83.58	88.07	-0.56	3.47	77.73	19.64	0.56
105.792*	Stato attuale	270	83.4	88.63		2.97	90.77	19.23	0.44

River Station	Planning	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Δ W.S.	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		m^3/s	m	m	m	m/s	m^2	m	
105.792*	Stato di progetto	270	83.4	88.07	-0.56	3.38	79.98	19.23	0.53
105.723*	Stato attuale	270	83.21	88.63		2.92	92.6	18.82	0.42
105.723*	Stato di progetto	270	83.21	88.06	-0.57	3.29	82.03	18.82	0.5
105.653*	Stato attuale	270	83.03	88.62		2.87	94.23	18.41	0.4
105.653*	Stato di progetto	270	83.03	88.06	-0.56	3.22	83.87	18.41	0.48
105.584*	Stato attuale	270	82.84	88.61		2.82	95.66	18	0.39
105.584*	Stato di progetto	270	82.84	88.05	-0.56	3.16	85.51	18	0.46
105.515*	Stato attuale	270	82.66	88.61		2.79	96.91	17.59	0.38
105.515*	Stato di progetto	270	82.66	88.04	-0.57	3.1	86.96	17.59	0.45
105.446*	Stato attuale	270	82.47	88.6		2.76	97.97	17.18	0.37
105.446*	Stato di progetto	270	82.47	88.03	-0.57	3.06	88.22	17.18	0.43
105.376*	Stato attuale	270	82.29	88.59		2.73	98.84	16.77	0.36
105.376*	Stato di progetto	270	82.29	88.02	-0.57	3.02	89.28	16.77	0.42
105.307*	Stato attuale	270	82.1	88.58		2.71	99.51	16.36	0.35
105.307*	Stato di progetto	270	82.1	88.01	-0.57	3	90.15	16.36	0.41
105.238*	Stato attuale	270	81.92	88.57		2.7	99.99	15.95	0.34
105.238*	Stato di progetto	270	81.92	88	-0.57	2.97	90.83	15.95	0.4
105.169*	Stato attuale	270	81.73	88.56		2.69	100.28	15.54	0.34
105.169*	Stato di progetto	270	81.73	87.98	-0.58	2.96	91.32	15.54	0.39
105.1	Stato attuale	270	81.55	88.55		2.69	100.38	15.13	0.33
105.1	Stato di progetto	270	81.55	87.97	-0.58	2.95	91.62	15.13	0.38
105	Stato attuale	270	81.44	88.49		2.84	95.13	14.41	0.35
105	Stato di progetto	270	81.44	87.9	-0.59	3.12	86.56	14.41	0.41
104.1	Stato attuale	270	81.33	88.23		3.54	76.24	12.88	0.44
104.1	Stato di progetto	270	81.33	87.64	-0.59	3.73	72.44	12.88	0.5
104		Bridge							
103.1	Stato attuale	270	81.26	88.02		3.41	79.07	12.45	0.42
103.1	Stato di progetto	270	81.26	87.39	-0.63	3.66	73.78	12.45	0.48
103.05*	Stato attuale	270	81.05	87.97		3.51	76.91	11.36	0.43
103.05*	Stato di progetto	270	81.05	87.24	-0.73	3.93	68.65	11.36	0.51
103	Stato attuale	270	80.83	87.82		3.83	70.54	10.27	0.47
103	Stato di progetto	270	80.83	87.03	-0.79	4.32	62.45	10.27	0.56

River Station	Planning	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Δ W.S.	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		m^3/s	m	m	m	m/s	m^2	m	
102.1	Stato attuale	270	80.6	87.45		4.55	59.29	9.72	0.56
102.1	Stato di progetto	270	80.72	86.77	-0.68	4.72	57.15	9.72	0.62
102	Bridge								
101.1	Stato attuale	270	80.45	84.33		8.67	31.14	8.57	1.42
101.1	Stato di progetto	270	80.69	85.43	1.1	6.76	39.96	8.58	1
101	Stato attuale	270	80.54	82.84		9.76	27.67	12.45	2.09
101	Stato di progetto	270	80.54	82.99	0.15	9.12	29.6	12.47	1.89
100.86	Stato attuale	270	80.46	82.97		8.93	30.22	12.45	1.83
100.86	Stato di progetto	270	80.46	83.14	0.17	8.33	32.42	12.47	1.65
100.72*	Stato attuale	270	80.37	83.12		8.15	33.14	12.45	1.59
100.72*	Stato di progetto	270	80.37	83.35	0.23	7.51	35.95	12.48	1.41
100.57*	Stato attuale	270	80.29	83.37		7.26	37.17	12.46	1.34
100.57*	Stato di progetto	270	80.29	84.54	1.17	5.2	51.88	12.58	0.82
100.43*	Stato attuale	270	80.2	84.45		5.23	51.65	12.57	0.82
100.43*	Stato di progetto	270	80.2	84.45	0	5.23	51.66	12.57	0.82
100.28*	Stato attuale	270	80.12	84.35		5.26	51.29	12.55	0.83
100.28*	Stato di progetto	270	80.12	84.35	0	5.26	51.3	12.55	0.83
100.14	Stato attuale	270	80.03	84.24		5.32	50.74	12.53	0.84
100.14	Stato di progetto	270	80.03	84.24	0	5.32	50.73	12.53	0.84
100	Stato attuale	270	79.95	84.09		5.43	49.7	12.47	0.87
100	Stato di progetto	270	79.95	84.09	0	5.43	49.69	12.47	0.87
99.9714*	Stato attuale	270	79.86	84.01		5.43	49.69	12.52	0.87
99.9714*	Stato di progetto	270	79.86	84	-0.01	5.43	49.68	12.52	0.87
99.9428*	Stato attuale	270	79.78	83.92		5.43	49.68	12.57	0.87
99.9428*	Stato di progetto	270	79.78	83.92	0	5.44	49.67	12.56	0.87
99.9142*	Stato attuale	270	79.69	83.84		5.44	49.67	12.61	0.87
99.9142*	Stato di progetto	270	79.69	83.83	-0.01	5.44	49.65	12.61	0.88
99.8857*	Stato attuale	270	79.6	83.75		5.44	49.65	12.63	0.88
99.8857*	Stato di progetto	270	79.6	83.75	0	5.44	49.63	12.63	0.88
99.8571*	Stato attuale	270	79.52	83.67		5.44	49.62	12.65	0.88
99.8571*	Stato di progetto	270	79.52	83.66	-0.01	5.44	49.61	12.65	0.88
99.8285*	Stato attuale	270	79.43	83.57		5.46	49.49	12.66	0.88
99.8285*	Stato di progetto	270	79.43	83.57	0	5.46	49.47	12.66	0.88

River Station	Planning	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Δ W.S.	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		m^3/s	m	m	m	m/s	m^2	m	
99.8	Stato attuale	270	79.34	83.18		5.93	45.52	12.66	1
99.8	Stato di progetto	270	79.34	83.18	0	5.93	45.54	12.66	1
99.7250*	Stato attuale	270	79.26	82.25		7.02	38.47	13.95	1.35
99.7250*	Stato di progetto	270	79.26	82.25	0	7.02	38.48	13.95	1.35
99.65*	Stato attuale	270	79.17	81.84		7.29	37.05	15.22	1.49
99.65*	Stato di progetto	270	79.17	81.84	0	7.29	37.05	15.22	1.49
99.575*	Stato attuale	270	79.09	83.51		3.89	69.4	16.75	0.61
99.575*	Stato di progetto	270	79.09	81.54	-1.97	7.38	36.59	16.51	1.58
99.5	Stato attuale	270	79	83.59		3.47	77.86	18.11	0.53
99.5	Stato di progetto	270	79	81.3	-2.29	7.37	36.65	17.83	1.64
99.400*	Stato di progetto	270	78.96	82.99		4.09	66.08	17.6	0.67
99.35*	Stato attuale	270	78.93	83.51		3.62	74.64	17.37	0.56
99.300*	Stato di progetto	270	78.83	82.89		4.26	63.31	17.11	0.71
99.2	Stato attuale	270	78.61	83.41		3.8	71.07	16.62	0.59
99.2	Stato di progetto	270	78.61	82.75	-0.66	4.5	60	16.61	0.76
99.1	Stato attuale	270	76.45	83.7		2.49	108.38	16.1	0.31
99.1	Stato di progetto	270	77.33	83.15	-0.55	2.97	90.87	16.1	0.4
99.050*	Stato di progetto	270	77.24	82.97		3.45	78.27	14.15	0.47
99	Stato attuale	270	77.14	83.24		3.77	71.56	12.2	0.5
99	Stato di progetto	270	77.14	82.62	-0.62	4.21	64.06	12.2	0.59
98.750*	Stato di progetto	270	77.05	82.57		4.28	63.13	12.06	0.6
98.500*	Stato di progetto	270	76.95	82.52		4.35	62.11	11.93	0.61
98.4	Stato attuale	270	76.92	83.18		3.84	70.35	12.05	0.51
98.35		Bridge							
98.3	Stato attuale	270	76.86	82.84		4.05	66.66	12.03	0.55
98.250*	Stato di progetto	270	76.86	82.45		4.43	60.99	11.79	0.62
98.2	Stato attuale	270	76.79	82.73		4.24	63.71	11.73	0.58
98.1		Bridge							

River Station	Planning	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Δ W.S.	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		m^3/s	m	m	m	m/s	m^2	m	
98	Stato attuale	270	76.77	82.38		4.52	59.72	11.65	0.64
98	Stato di progetto	270	76.77	82.38	0	4.52	59.72	11.65	0.64
97.6*	Stato attuale	270	76.67	82.71		3.2	84.38	15.28	0.43
97.6*	Stato di progetto	270	76.67	82.71	0	3.2	84.38	15.28	0.43
97.2	Stato attuale	270	76.57	82.84		2.5	107.96	18.9	0.33
97.2	Stato di progetto	270	76.57	82.84	0	2.5	107.96	18.9	0.33
97.1499*	Stato attuale	270	76.47	82.75		2.76	97.68	17.19	0.37
97.1499*	Stato di progetto	270	76.47	82.75	0	2.76	97.69	17.19	0.37
97.1	Stato attuale	270	76.37	82.63		3.11	86.93	15.49	0.42
97.1	Stato di progetto	270	76.37	82.63	0	3.11	86.94	15.49	0.42
97.08*	Stato attuale	270	76.25	82.61		3.1	86.96	15.33	0.42
97.08*	Stato di progetto	270	76.25	82.61	0	3.1	86.96	15.33	0.42
97.06*	Stato attuale	270	76.12	82.59		3.1	86.98	15.16	0.41
97.06*	Stato di progetto	270	76.12	82.59	0	3.1	86.98	15.16	0.41
97.04*	Stato attuale	270	76	82.57		3.1	87.03	15	0.41
97.04*	Stato di progetto	270	76	82.57	0	3.1	87.03	15	0.41
97.02*	Stato attuale	270	75.84	82.56		3.1	87.08	14.83	0.41
97.02*	Stato di progetto	270	75.84	82.56	0	3.1	87.08	14.83	0.41
97	Stato attuale	270	75.66	82.54		3.1	87.15	14.67	0.41
97	Stato di progetto	270	75.66	82.54	0	3.1	87.16	14.67	0.41
96.1	Stato attuale	270	75.96	81.82		4.72	57.2	13.78	0.63
96.1	Stato di progetto	270	75.96	81.82	0	4.72	57.2	13.78	0.63
96		Bridge							
95.1	Stato attuale	270	76.07	80.48		6.42	42.07	12.14	1
95.1	Stato di progetto	270	76.07	80.48	0	6.42	42.07	12.14	1
95	Stato attuale	270	76.11	78.43		8.72	30.97	15.08	1.94
95	Stato di progetto	270	76.11	78.43	0	8.72	30.97	15.08	1.94
94.8333*	Stato attuale	270	75.97	80.72		4.09	66.01	14.83	0.62
94.8333*	Stato di progetto	270	75.97	80.73	0.01	4.08	66.14	14.83	0.62
94.6666*	Stato attuale	270	75.82	80.62		4.21	64.18	14.12	0.63
94.6666*	Stato di progetto	270	75.82	80.63	0.01	4.2	64.31	14.12	0.63
94.5*	Stato attuale	270	75.68	80.49		4.37	61.78	13.41	0.65
94.5*	Stato di progetto	270	75.68	80.5	0.01	4.36	61.93	13.41	0.65

River Station	Planning	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Δ W.S.	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		m^3/s	m	m	m	m/s	m^2	m	
94.3333*	Stato attuale	270	75.54	80.32		4.6	58.72	12.71	0.68
94.3333*	Stato di progetto	270	75.54	80.33	0.01	4.59	58.88	12.71	0.68
94.1666*	Stato attuale	270	75.37	80.07		4.94	54.65	11.99	0.74
94.1666*	Stato di progetto	270	75.37	80.08	0.01	4.92	54.85	11.99	0.73
94	Stato attuale	270	75.21	79.48		5.76	46.85	11.25	0.9
94	Stato di progetto	270	75.21	79.21	-0.27	6.17	43.75	11.24	1
93.5	Stato attuale	270	74.89	79.84		4.61	58.6	12.9	0.69
93.5	Stato di progetto	270	74.89	78.1	-1.74	7.41	36.43	12.64	1.39
93.45	Stato attuale	270	74.83	80.02		3.97	68.07	14.55	0.59
93.45	Stato di progetto	270	74.83	77.69	-2.33	7.84	34.42	13.7	1.58
93.4		Bridge							
93.3	Stato attuale	270	73.82	76.66		8.57	31.49	13.18	1.77
93.3	Stato di progetto	270	73.82	76.57	-0.09	8.91	30.31	13.13	1.87
93.2875*	Stato attuale	270	73.72	76.8		7.89	34.23	13.28	1.57
93.2875*	Stato di progetto	270	73.72	76.7	-0.1	8.22	32.86	13.23	1.66
93.275*	Stato attuale	270	73.63	76.99		7.16	37.72	13.38	1.36
93.275*	Stato di progetto	270	73.63	76.85	-0.14	7.53	35.87	13.32	1.46
93.2625*	Stato attuale	270	73.53	77.82		5.39	50.1	13.69	0.9
93.2625*	Stato di progetto	270	73.53	77.16	-0.66	6.57	41.08	13.44	1.2
93.25*	Stato attuale	270	73.43	77.72		5.42	49.83	13.6	0.9
93.25*	Stato di progetto	270	73.43	77.8	0.08	5.32	50.79	13.62	0.88
93.2375*	Stato attuale	270	73.33	77.63		5.44	49.63	13.52	0.91
93.2375*	Stato di progetto	270	73.33	77.72	0.09	5.31	50.85	13.54	0.88
93.225*	Stato attuale	270	73.23	77.53		5.45	49.51	13.46	0.91
93.225*	Stato di progetto	270	73.23	77.64	0.11	5.29	51	13.48	0.87
93.2124*	Stato attuale	270	73.14	77.45		5.44	49.59	13.4	0.9
93.2124*	Stato di progetto	270	73.14	77.58	0.13	5.26	51.32	13.42	0.86
93.2	Stato attuale	270	73.04	77.11		5.83	46.32	13.33	1
93.2	Stato di progetto	270	73.04	77.52	0.41	5.22	51.76	13.36	0.85
93.1	Stato attuale	270	71.64	75.46		7.92	34.1	12.42	1.53
93.1	Stato di progetto	270	73.01	77.03	1.57	5.95	45.35	12.52	1
93.075*	Stato attuale	270	71.83	75.61		7.26	37.19	12.85	1.36

River Station	Planning	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Δ W.S.	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		m^3/s	m	m	m	m/s	m^2	m	
93.075*	Stato di progetto	270	72.86	76.29	0.68	6.8	39.68	12.97	1.24
93.05*	Stato attuale	270	72.03	77.02		4.76	56.72	13.63	0.75
93.05*	Stato di progetto	270	72.7	75.98	-1.04	7.01	38.54	13.4	1.32
93.025*	Stato attuale	270	72.23	76.97		4.75	56.84	14.18	0.76
93.025*	Stato di progetto	270	72.55	75.8	-1.17	7.03	38.4	13.79	1.35
93	Stato attuale	270	72.39	76.83		4.9	55.15	14.69	0.81
93	Stato di progetto	270	72.39	75.77	-1.06	6.78	39.85	14.21	1.29
92.9*	Stato attuale	270	72.33	76.79		4.86	55.54	14.46	0.79
92.9*	Stato di progetto	270	72.33	76.79	0	4.86	55.58	14.46	0.79
92.8*	Stato attuale	270	72.27	76.74		4.84	55.81	14.24	0.78
92.8*	Stato di progetto	270	72.27	76.75	0.01	4.83	55.85	14.24	0.78
92.7*	Stato attuale	270	72.2	76.7		4.83	55.94	14.01	0.77
92.7*	Stato di progetto	270	72.2	76.7	0	4.82	55.98	14.01	0.77
92.6*	Stato attuale	270	72.14	76.64		4.83	55.91	13.79	0.77
92.6*	Stato di progetto	270	72.14	76.64	0	4.83	55.94	13.79	0.77
92.5*	Stato attuale	270	72.08	76.58		4.85	55.7	13.56	0.76
92.5*	Stato di progetto	270	72.08	76.58	0	4.84	55.74	13.56	0.76
92.4*	Stato attuale	270	72.02	76.51		4.88	55.32	13.34	0.77
92.4*	Stato di progetto	270	72.02	76.51	0	4.88	55.36	13.34	0.76
92.3*	Stato attuale	270	71.96	76.43		4.94	54.69	13.11	0.77
92.3*	Stato di progetto	270	71.96	76.43	0	4.93	54.73	13.11	0.77
92.2*	Stato attuale	270	71.89	76.31		5.03	53.63	12.88	0.79
92.2*	Stato di progetto	270	71.89	76.32	0.01	5.03	53.68	12.88	0.79
92.1*	Stato attuale	270	71.83	76.16		5.19	52.02	12.65	0.82
92.1*	Stato di progetto	270	71.83	76.17	0.01	5.18	52.09	12.65	0.82
92	Stato attuale	270	71.77	75.59		5.99	45.1	12.37	1
92	Stato di progetto	270	71.77	75.59	0	5.99	45.1	12.37	1
91.4	Stato attuale	270	71.45	74.9		6.78	39.81	12.59	1.22
91.4	Stato di progetto	270	71.71	75.24	0.34	6.34	42.6	12.62	1.1
91.3		Bridge							
91.2	Stato attuale	270	71.45	74.89		6.66	40.53	12.93	1.2
91.2	Stato di progetto	270	71.68	75.64	0.75	5.49	49.19	12.98	0.9

River Station	Planning	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Δ W.S.	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		m^3/s	m	m	m	m/s	m^2	m	
91.1	Stato attuale	270	71.35	74.76		6.72	40.18	13.32	1.24
91.1	Stato di progetto	270	71.64	75.68	0.92	5.29	51.08	13.41	0.86
91		Bridge							
90.1	Stato attuale	270	71.18	75.26		5.75	46.93	13.9	1
90.1	Stato di progetto	270	71.58	75.33	0.07	5.75	46.96	13.92	1
90	Stato attuale	278	71.53	74.84		6.27	44.37	14.6	1.15
90	Stato di progetto	278	71.53	74.72	-0.12	6.52	42.65	14.59	1.22
89.900*	Stato attuale	278	71.43	74.69		6.3	44.14	14.75	1.16
89.900*	Stato di progetto	278	71.43	75.01	0.32	5.69	48.84	14.77	1
89.800*	Stato attuale	278	71.33	74.56		6.3	44.12	14.91	1.17
89.800*	Stato di progetto	278	71.33	74.8	0.24	5.85	47.54	14.93	1.05
89.700*	Stato attuale	278	71.22	74.44		6.3	44.11	15.07	1.18
89.700*	Stato di progetto	278	71.22	74.69	0.25	5.8	47.95	15.09	1.04
89.600*	Stato attuale	278	71.12	74.35		6.22	44.69	15.23	1.16
89.600*	Stato di progetto	278	71.12	74.73	0.38	5.51	50.45	15.26	0.97
89.500*	Stato attuale	278	71.02	74.23		6.21	44.74	15.39	1.16
89.500*	Stato di progetto	278	71.02	74.68	0.45	5.38	51.69	15.42	0.94
89.400*	Stato attuale	278	70.92	74.1		6.21	44.77	15.55	1.17
89.400*	Stato di progetto	278	70.92	74.64	0.54	5.24	53.1	15.59	0.91
89.300*	Stato attuale	278	70.82	73.98		6.21	44.78	15.71	1.17
89.300*	Stato di progetto	278	70.82	74.61	0.63	5.09	54.66	15.74	0.87
89.200*	Stato attuale	278	70.71	74.58		4.93	56.41	15.9	0.84
89.200*	Stato di progetto	278	70.71	74.58	0	4.93	56.35	15.9	0.84
89.100*	Stato attuale	278	70.61	74.56		4.78	58.19	16.06	0.8
89.100*	Stato di progetto	278	70.61	74.56	0	4.78	58.15	16.06	0.8
89	Stato attuale	278	70.51	74.54		4.63	60.07	16.22	0.77
89	Stato di progetto	278	70.51	74.54	0	4.63	60.04	16.22	0.77
88.900*	Stato attuale	278	70.45	74.48		4.63	60.02	16.2	0.77
88.900*	Stato di progetto	278	70.45	74.48	0	4.63	60	16.2	0.77
88.800*	Stato attuale	278	70.4	74.43		4.63	60.03	16.18	0.77
88.800*	Stato di progetto	278	70.4	74.42	-0.01	4.63	60	16.18	0.77
88.700*	Stato attuale	278	70.34	74.37		4.63	60.05	16.17	0.77
88.700*	Stato di progetto	278	70.34	74.37	0	4.63	60.02	16.17	0.77

River Station	Planning	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Δ W.S.	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		m^3/s	m	m	m	m/s	m^2	m	
88.600*	Stato attuale	278	70.28	74.31		4.62	60.12	16.15	0.77
88.600*	Stato di progetto	278	70.28	74.31	0	4.63	60.09	16.15	0.77
88.500*	Stato attuale	278	70.22	74.26		4.62	60.22	16.13	0.76
88.500*	Stato di progetto	278	70.22	74.25	-0.01	4.62	60.19	16.13	0.76
88.400*	Stato attuale	278	70.16	74.2		4.6	60.4	16.12	0.76
88.400*	Stato di progetto	278	70.16	74.2	0	4.61	60.36	16.12	0.76
88.300*	Stato attuale	278	70.11	74.15		4.59	60.62	16.1	0.75
88.300*	Stato di progetto	278	70.11	74.15	0	4.59	60.58	16.1	0.76
88.200*	Stato attuale	278	70.05	74.11		4.57	60.88	16.08	0.75
88.200*	Stato di progetto	278	70.05	74.1	-0.01	4.57	60.84	16.08	0.75
88.100*	Stato attuale	278	69.99	74.06		4.54	61.24	16.07	0.74
88.100*	Stato di progetto	278	69.99	74.06	0	4.54	61.2	16.07	0.74
88	Stato attuale	278	69.94	74.02		4.51	61.63	16.05	0.74
88	Stato di progetto	278	69.94	74.01	-0.01	4.51	61.58	16.05	0.74
87.900*	Stato attuale	278	69.82	73.96		4.51	61.63	15.78	0.73
87.900*	Stato di progetto	278	69.82	73.96	0	4.51	61.58	15.78	0.73
87.800*	Stato attuale	278	69.71	73.91		4.52	61.52	15.53	0.72
87.800*	Stato di progetto	278	69.71	73.9	-0.01	4.52	61.46	15.53	0.73
87.700*	Stato attuale	278	69.59	73.85		4.53	61.32	15.29	0.72
87.700*	Stato di progetto	278	69.59	73.85	0	4.54	61.28	15.29	0.72
87.600*	Stato attuale	278	69.48	73.79		4.55	61.07	15.06	0.72
87.600*	Stato di progetto	278	69.48	73.78	-0.01	4.56	61.03	15.06	0.72
87.500*	Stato attuale	278	69.36	73.72		4.58	60.73	14.81	0.72
87.500*	Stato di progetto	278	69.36	73.72	0	4.58	60.69	14.81	0.72
87.400*	Stato attuale	278	69.25	73.65		4.61	60.26	14.55	0.72
87.400*	Stato di progetto	278	69.25	73.65	0	4.62	60.24	14.55	0.72
87.300*	Stato attuale	278	69.14	73.57		4.67	59.59	14.3	0.73
87.300*	Stato di progetto	278	69.14	73.57	0	4.67	59.57	14.3	0.73
87.2	Stato attuale	278	69.02	73.47		4.74	58.64	14.05	0.74
87.2	Stato di progetto	278	69.02	73.47	0	4.74	58.64	14.05	0.74

7. Conclusioni

Come si nota la demolizione delle passerelle comporta una modifica del pelo liquido in corrispondenza dei ponticelli abbattuti con abbassamento della quota del profilo a monte ed un aumento dello stesso a valle.

Come si vede dal profilo delle fig. 20, 21 e 22, tali innalzamenti sono contenuti in tratti di lunghezza modestissima e comunque tali da non aggravare i livelli di rischio.

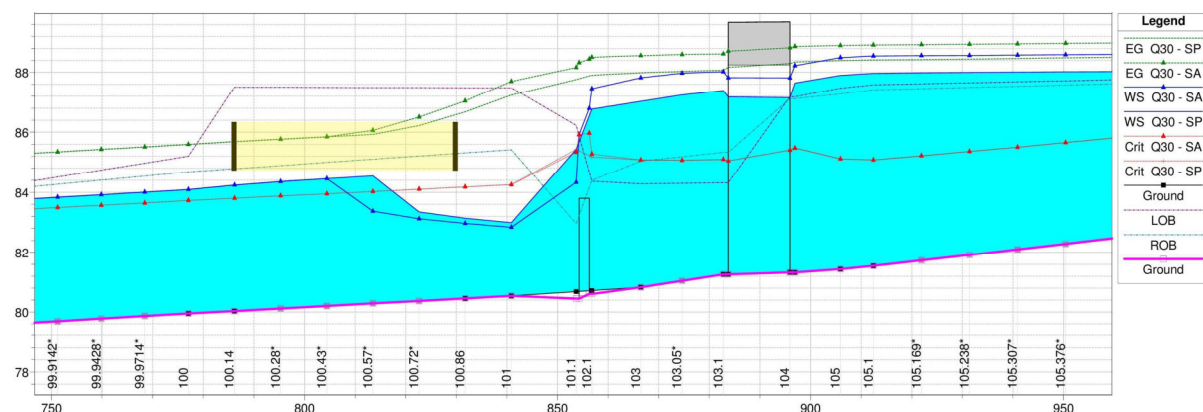


Fig. 20 – Profili in corrispondenza della sez. 102 (in evidenza la parte finestrata)

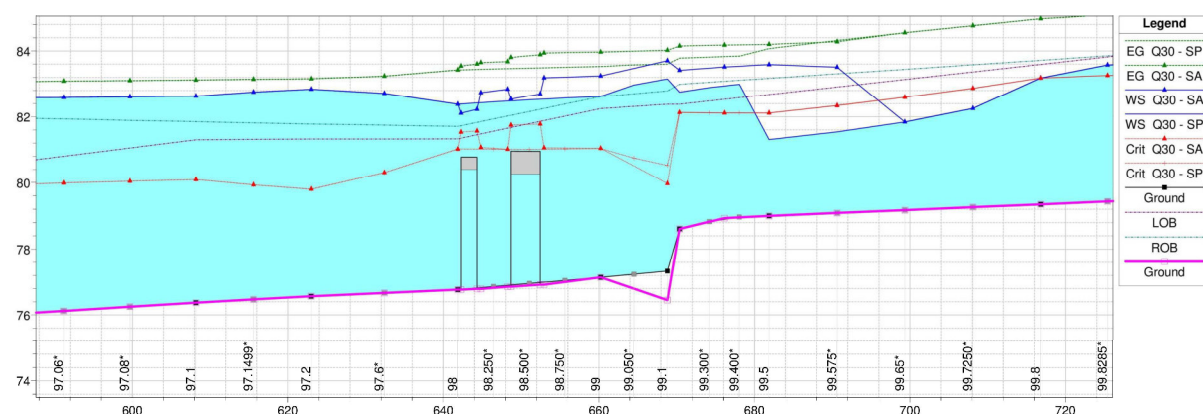


Fig. 21 – Profili a monte del ponte di via S. Martino

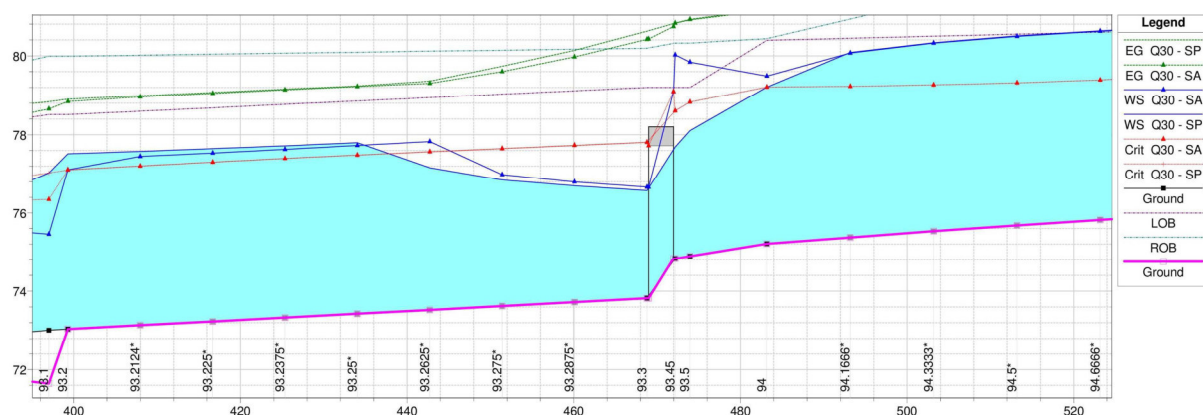


Fig. 22 – Profili in corrispondenza della sez. 93.45

In considerazione di quanto sopra argomentato, l'intervento non produce incrementi

di rischio nelle aree interessate in quanto non c'è modificazione delle aree allagate dalle esondazioni.

Lungo il tratto interessato, in alcuni tratti, il contenimento della piena è affidato alle pareti di fabbricati, a volte finestrate. Poiché alcune aperture potrebbero essere interessate dalla piena, è necessario che queste siano dotate di idonei dispositivi di chiusura a tenuta stagna.

Nei tratti dove invece la piena è contenuta da muri, questi, non essendo oggetto di questo studio, dovranno essere sottoposti a successive valutazioni al fine di accertare la loro efficacia idraulica.

Il Tecnico
Dott. Ing. Enrico Bersanelli