REGIONE LIGURIA
SEGRETERIA GENERALE
Settore Infrastrutture

COMUNE DI GENOVA

CONVENZIONE TRA REGIONE LIGURIA E INFRASTRUTTURE LIGURIA PER PROGETTAZIONI CONNESSE AGLI INTERVENTI NECESSARI ALLA REALIZZAZIONE E AL RIPRISTINO DI OPERE INFRASTRUTTURALI DI INTERESSE REGIONALE IN RELAZIONE AI DANNI ALLUVIONALI – ADDENDUM DEL 17 LUGLIO 2012

Attività:

TORRENTE STURLA: SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL TRATTO COMPRESO TRA LA BRIGLIA PRESSO VIA DELL'ARENA ED IL VIADOTTO DI CORSO EUROPA

Oggetto:

PROGETTO DEFINITIVO

Titolo:

RELAZIONE IDRAULICA

Doc. n: I0030\ESE\DEF\IDR\R001

Timbro e firma

ORDINE INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI GENOVA
Dott. Ing. PIETRO MISURALE N. 5390

ITEC engineering S.r.l.
19038 SARZANA (SP)
Via Variante Aurelia, 98
TEL. +39 0187 610532 FAX +39 0187 610775
info@itec-engineering.it

16129 GENOVA
Via Antonio Cecchi 7/9-10
TEL. +39 010 5959690 FAX +39 010 5848355
www.itec-engineering.it

Sistema Certificato UNI EN ISO 9001 SC 10-2588/EA 34

Rev.	Data	Sez.	Pag.	Redatto	Controllato	Approvato	Descrizione
1	12/10/2016	….	…	PM	FB	SB	Per Emissione
2	15/11/2018	….	…	PM	FB	SB	Per Emissione

Sommario

1 PREMESSA 2
2 IL TRATTO D'ALVEO OGGETTO DI VERIFICA 3
3 ASPETTI NORMATIVI 4
3.1 Portate di piena 5
3.2 Aree inondabili 5
3.3 Piano degli interventi 7
3.4 Parametri di riferimento progettuale 8
4 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI 10
5 VERIFICHE IDRAULICHE 12
5.1 Portate di progetto 12
5.1.1 Metodologia di calcolo 12
5.1.2 Configurazioni di verifica, parametri di calcolo e condizioni al contorno 14
5.1.3 Risultati 16
6 VERIFICA DELL'OPERA DI PROTEZIONE IN MASSI NATURALI 17

ALLEGATO A – VERIFICHE IDRAULICHE

1 PREMESSA

La presente relazione fa parte del progetto definitivo di sistemazione idraulica del Torrente Sturla nel tratto compreso tra il ponte di Corso Europa e la briglia posta all'altezza di Via dell'Arena, per una lunghezza di circa 130 m..

Il presente progetto definitivo costituisce lotto funzionale del progetto preliminare relativo agli interventi di sistemazione idraulica del torrente Sturla nel *tratto tra Via Apparizione e Via delle Casette* in Comune di Genova*,* approvato con conferenza dei Servizi del Comune di Genova CDS 11/2015 in data 16/02/20125.

Il progetto preliminare prevedeva una serie di interventi idraulici sul torrente Sturla, per uno sviluppo complessivo di circa 800 m, finalizzati alla mitigazione del rischio idraulico del tratto, attualmente insufficiente al deflusso della portata 200-ennale e in parte al deflusso della portata 50-ennale.

Gli interventi individuati dal presente lotto funzionale riguardano in particolare la modifica della briglia attuale, con adeguamento dei muri d'argine su entrambe le sponde, la realizzazione della pista di accesso in alveo, il muro d'argine lungo Via dell'Arena, sino all'incrocio con Via dei Luoghi Santi, la sistemazione del fondo alveo, la realizzazione di una nuova passerella pedonale al di sotto del viadotto di Corso Europa.

Per gli aspetti idraulici è stato sostanzialmente mantenuto quanto previsto nel progetto preliminare, in modo da conservare una visione d'insieme della sistemazione, andando comunque a dettagliare alcuni aspetti relativi al tratto oggetto d'intervento, come ad esempio la realizzazione della nuova passerella pedonale, tenendo conto anche delle prescrizioni della conferenza dei servizi.

La realizzazione del muro di sponda destra permette di evitare l'allagamento di Via dell'Arena e di Via dei Luoghi Santi.

Il Comitato Tecnico di Bacino ha esaminato la proposta progettuale nella seduta del 12/02/2015 esprimendo alcune osservazioni.

Per quanto strettamente connesso alla stesura del progetto tali osservazioni riguardano in particolare:

- *evitare di norma la realizzazione di nuove arginature all'interno del limite demaniale eccetto laddove si tratti di modesti adeguamenti finalizzati ad un più razionale adeguamento delle sezioni ovvero sia tecnicamente motivato nell'ottica della messa in sicurezza complessiva e degli elementi a rischio presenti;*
- *mantenere le aree demaniali inondabili libere quali aree idraulicamente connesse all'alveo inciso, che dovranno essere configurate come aree di pertinenza del corso d'acqua destinandole pertanto ad usi compatibili con la demanialità e l'inondabilità dell'area*.

In sede di conferenza dei servizi sul progetto preliminare nel 2016 la Regione ha espresso il seguente parere: *eliminare la previsione della difesa spondale in sponda sinistra a monte della nuova passerella, prevedendo invece eventualmente una protezione allo scalzamento localizzata per la sola spalla della passerella*

Per tale ragione nel progetto definitivo era stato eliminato il muro di sponda sinistra in corrispondenza della bocciofila, con conseguente innalzamento dei livelli del pelo libero 200-ennale, rispetto alla configurazione di progetto preliminare e sostanziale mantenimento dei livelli attuali.

In sede di conferenza dei servizi sul progetto definitivo del 21/11/2017 la Regione ha espresso il seguente parere: *prevedere una soluzione che confermi il tracciato e la configurazione di alveo proposto nel progetto preliminare, con la sostituzione del muro ammalorato con una scogliera atta a contenere la portata cinquantennale, soluzione già approvata per il tratto di monte.*

Pertanto nella presente revisione del 15/11/18 l'alveo è stato riprofilato con l'allargamento in sponda sinistra tra la sezione 16 e la 14 con nuovo argine in scogliera atto a contenere a portata 50-ennale.

2 IL TRATTO D'ALVEO OGGETTO DI VERIFICA

Il torrente Sturla è uno dei corsi d'acqua principali dell'ambito cittadino genovese con un bacino di poco inferiore ai 13 Km^2, una lunghezza dell'asta principale di circa 9 km e una pendenza media dell'asta del 9% circa.

Il bacino ha una forma ad "L" con il tratto medio-vallivo orientato in direzione N-S ed il tratto montano orientato in direzione E-O.

Il tratto del torrente Sturla oggetto d'intervento del progetto preliminare è ubicato tra il ponte pedonale di Via delle Casette a monte della confluenza con il rio Penego ed il ponte di Via Apparizione, per una lunghezza di circa 800 m.

Il presente progetto definitivo riguarda il tratto compreso tra il ponte di Corso Europa e la briglia posta all'altezza di Via dell'Arena, di lunghezza pari a circa 130 m.

Non sono presenti affluenti significativi.

In tale tratto l'alveo presenta un andamento tendenzialmente meandriforme con 2 di curve in sequenza con andamento prevalente è in direzione N-S.

L'alveo è inserito in un contesto densamente urbanizzato, con presenza di viabilità spondale e di edifici commerciali e di civile abitazione che ne vincolano il percorso.

La viabilità spondale è costituita da Via dell'Arena in sponda destra e dall'inizio di Via Pontevecchio in sponda sinistra.

L'alveo è delimitato prevalentemente da muri d'argine in c.a. su entrambe le sponde con alcuni tratti in scarpata naturale o roccia.

Le sezioni sono approssimativamente di forma rettangolare con larghezza media di 20 m circa (variabile da un minimo di 19 m ad un massimo di 30 m circa) e altezza variabile da 3.1 m a 8.0 m circa in sponda destra (media 5.0 m) e tra 2.8 m e 6.9 m circa in sponda sinistra (media 4.8 m).

La pendenza media del tratto è pari all'1.1% circa.

I manufatti interferenti con il deflusso sono da monte verso valle:

- ponte carrabile di Via dell'Arena: è un ponte di accesso ad aree private in sponda sinistra, costituito da un impalcato in c.a. a campata unica e inclinato rispetto all'orizzontale; la luce è pari a 19.5 m con altezza libera di deflusso variabile tra 3.7 m in sponda destra a 5.9 m in sponda sinistra;
- briglia in c.a. di altezza 2.8 m, disposta trasversalmente rispetto all'asse del corso d'acqua;

Subito a monte del viadotto di Corso Europa era presente una passerella pedonale che nel corso dell'evento alluvionale del 4/11/2011 è stata danneggiata e, recentemente, è stata demolita.

La passerella era in struttura metallica, a due campate con una pila in alveo in c.a.

Il Comune di Genova, a seguito dell'alluvione 2014, ha effettuato un intervento di somma urgenza sul muro d'argine in via dell'Arena, in corrispondenza dell'incrocio con Via dei Luoghi Santi, per un tratto di lunghezza pari a 20 m circa.

Il fondo alveo è costituito prevalentemente da materiale alluvionale sciolto di pezzatura mediamente inferiore ai 20 cm, con considerevoli accumuli a monte della briglia e sul lato interno dei tratti in curva.

Nel tratto indagato non sono presenti affluenti significativi.

3 ASPETTI NORMATIVI

La normativa idraulica di riferimento è costituita dal Piano di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico del torrente Sturla - Ambito Regionale 14, approvato con DCP n. 66 del 12/12/2002 e con D.C.P. n. 59 del 17/12/2003, Ultima variante approvata: DGR n. 329 del 19/04/2016 entrata in vigore l'11/05/2016, e dal Regolamento Regionale n° 3 del 14/07/2011.

Il torrente Sturla è inserito tra i corsi d'acqua significativi nella cartografia del Piano e, secondo il Regolamento, è classificato come corso d'acqua di primo livello (S>1 km^2). Di seguito si riporta una sintesi dei contenuti salienti del Piano di Bacino e del Regolamento.

3.1 PORTATE DI PIENA

Nel Piano di Bacino sono riportati i valori delle portate di piena per assegnato periodo di ritorno in una serie di sezioni dell'asta principale del torrente Sturla e dei suoi affluenti principali. Le portate sono state valutate mediante un modello afflussi-deflussi composto da una parte di modello cinematico e da una di modello a serbatoio lineare (tipo Clark).

Nel tratto di torrente Sturla compreso tra la foce e Via Apparizione, risultano i seguenti valori di portata:

T. Sturla	Sezione	Area	Q50	Q200	Q500
Foce	181	13.00	231	324	389
Via Apparizione	112	11.75	185	265	320

Tab. 3.1

Per il rio Penego, affluente di sinistra subito a valle del tratto di interesse, risultano i seguenti valori di portata:

Rio Penego	Sezione	Area	Q50	Q200	Q500
Confluenza	181	0.6	20	28	34

Tab. 3.2

3.2 AREE INONDABILI

Il Piano indica come inondabili con tempo di ritorno 50-ennale (fascia A) e 200-ennale (fascia B) tutte le aree urbanizzate adiacenti al torrente Sturla nel tratto compreso tra il ponte di Via Apparizione e il ponte di Via delle Casette, con fasce più o meno estese in funzione della morfologia delle sponde.

Nella figura 3.2 sottoriportata è rappresentato un estratto della carta delle aree inondabili e storicamente inondate come risulta dal Piano di Bacino, aggiornata al dicembre 2012 e confermata nell'attuale aggiornamento.

Nella figura 3.3 è rappresentata la carta delle fasce fluviali che è stata aggiornata nel 2016, modificando le aree in adiacenza al tratto oggetto del presente studio da B* (Aree storicamente inondate e non indagate) a fascia A.

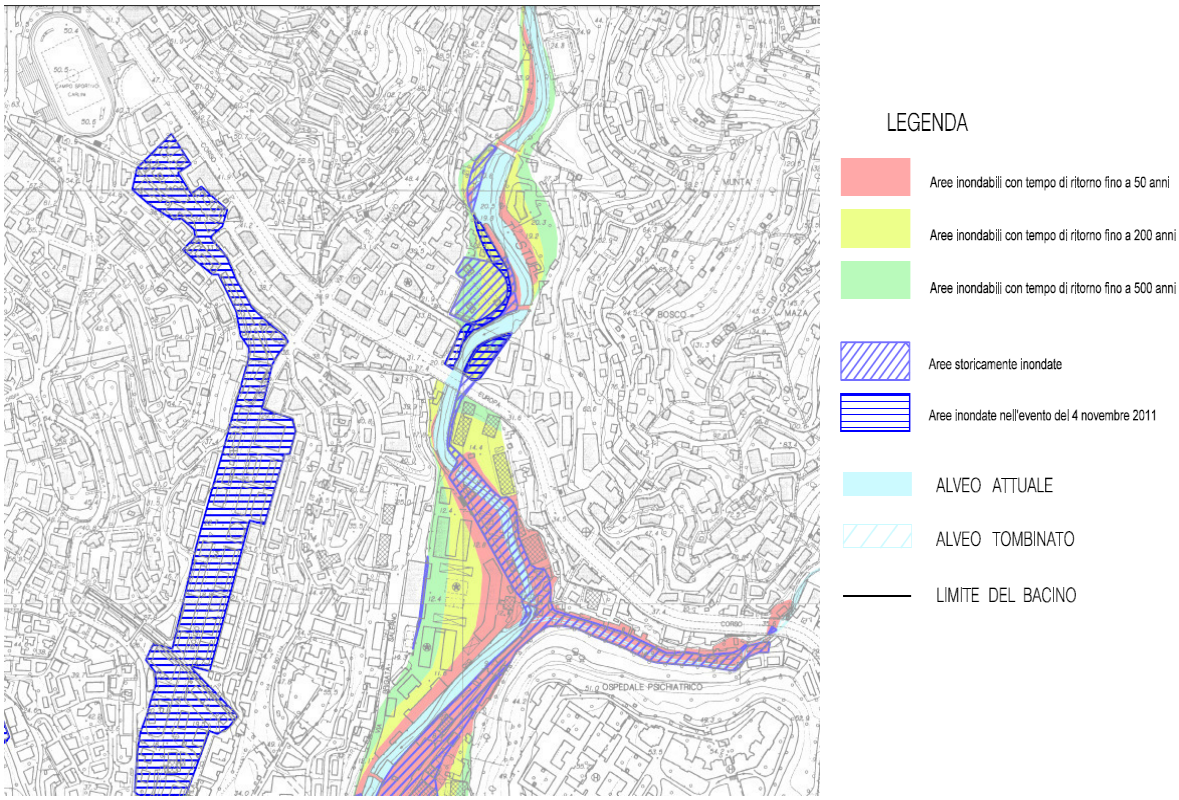


Figura 3.1

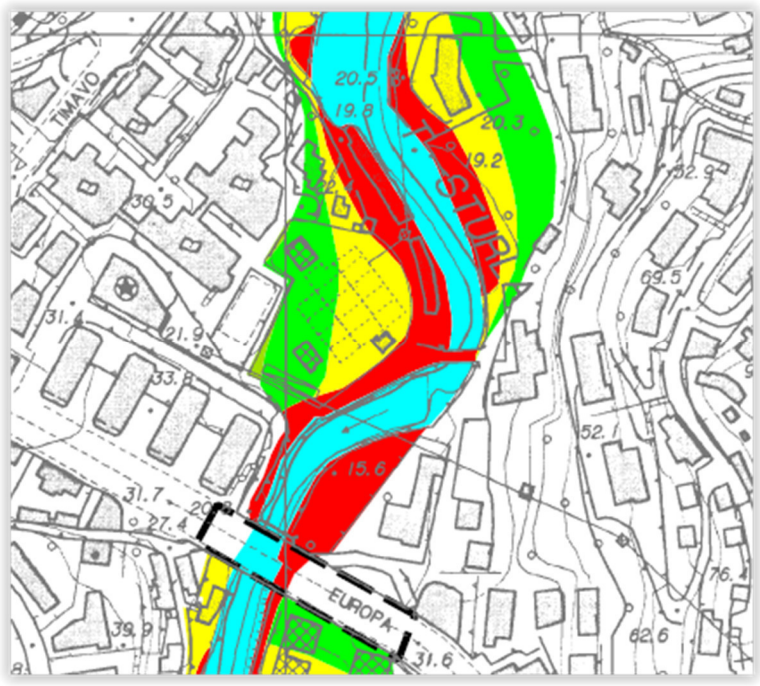


Figura 3.2

3.3 PIANO DEGLI INTERVENTI

Per il tratto in esame il Piano di Bacino individua i seguenti interventi volti alla mitigazione del rischio idraulico.

Intervento n° 1

Tratto compreso tra il ponte di Via delle Casette e il viadotto di Corso Europa

Delocalizzazione di edifici – allargamento sezione – adeguamento argini – ricostruzione ponte di Via Pontevecchio.

Intervento n° 2:

Tratto a monte del viadotto di corso Europa

Allargamento della sezione, briglia.

Un ulteriore intervento che interessa il tratto in oggetto è quello relativo alla realizzazione dello scolmatore del rio Vernazza (ID-VE-02) il cui recapito è previsto a monte dell'attuale ponte di Via Pontevecchio.

Nella figura seguente è riportato un estratto della Carta degli interventi relativo al tratto medio vallivo del torrente Sturla con evidenziati gli interventi di competenza del tratto in esame.

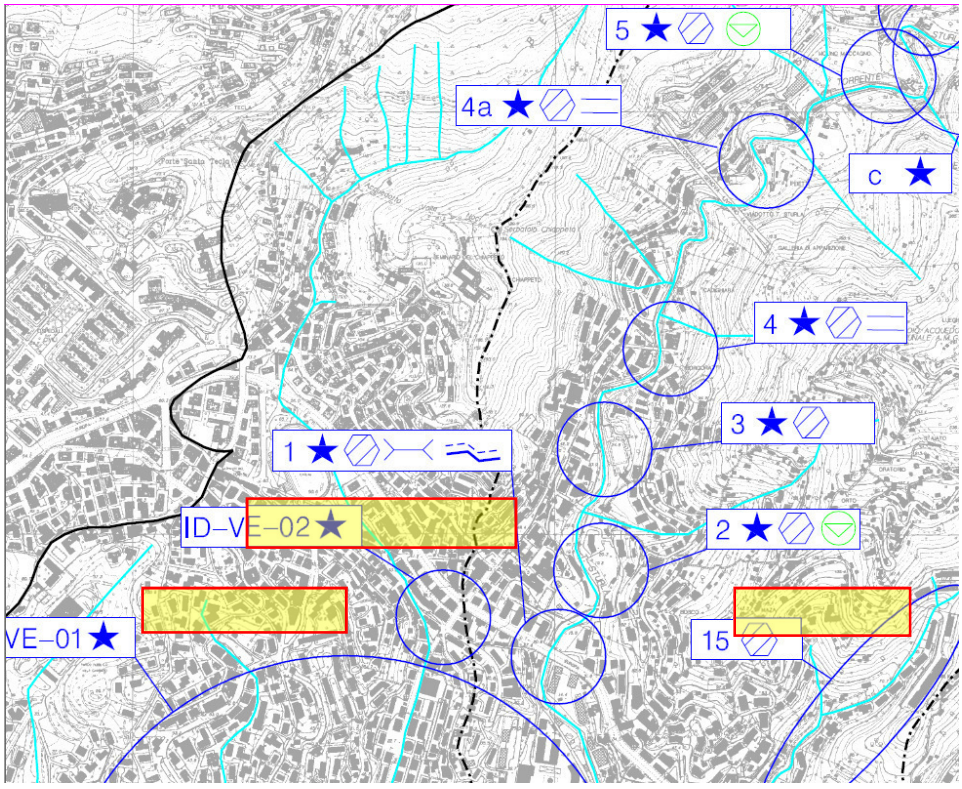


Figura 3.3

Con l'aggiornamento del Piano di Bacino l'intervento 1 è stato unito con l'intervento 2 , mantenendo comunque la medesima tipologia di opere previste nel progetto preliminare di cui il presente definitivo costituisce naturale prosecuzione e sviluppo.

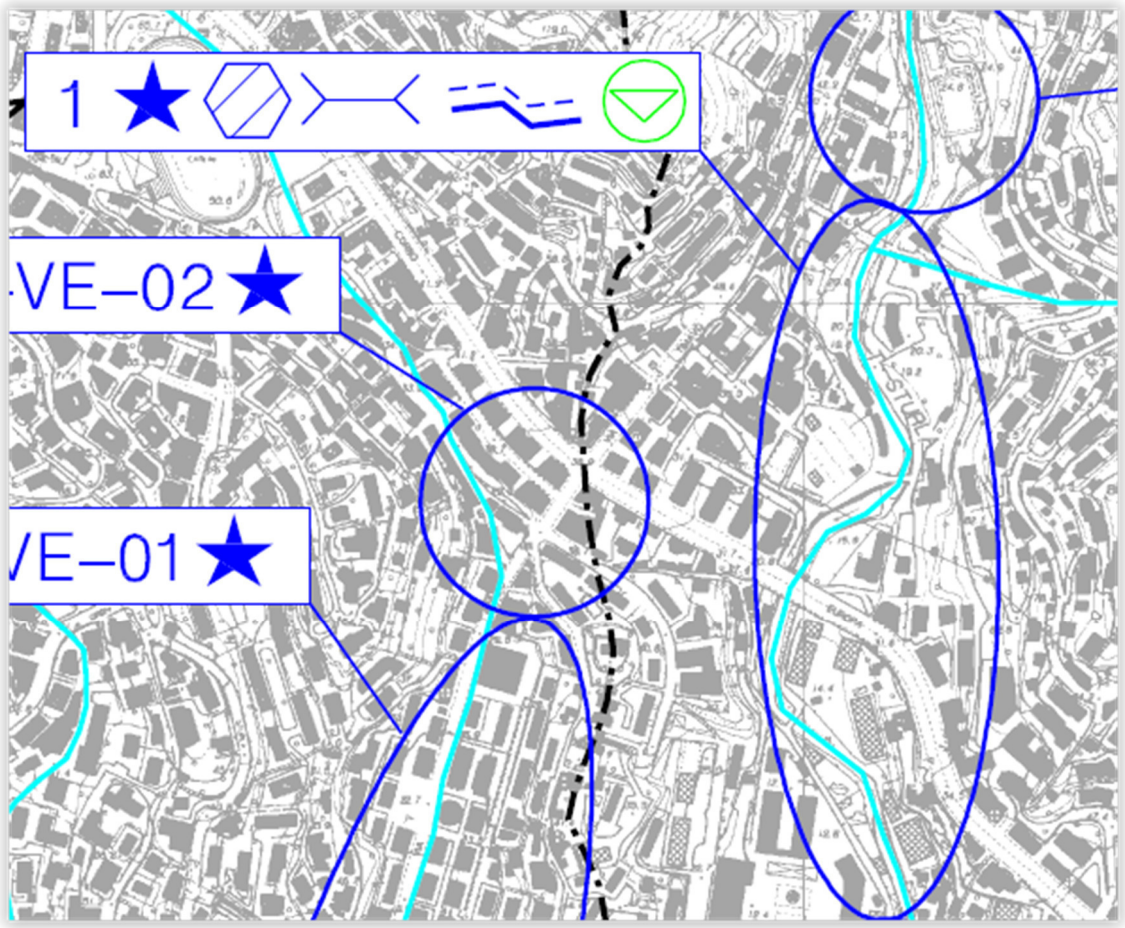


Figura 3.4

3.4 PARAMETRI DI RIFERIMENTO PROGETTUALE

Il Regolamento stabilisce i franchi minimi tra il livello di piena, la sommità degli argini e l'intradosso dei ponti, nonché i parametri di scabrezza da assumere nelle verifiche idrauliche. Per i corsi d'acqua principali e secondari i franchi non devono essere inferiori al valore maggiore tra:

- Il carico cinetico della corrente, determinabile come $U^2/2g$, con U[m/s] velocità della corrente e g[m/s2] è l'accelerazione di gravità;
- I valori di seguito indicati:

I	Argini e difese spondali	50/100 cm
II	Ponti e strutture di attraversamento fino ad estensioni longitudinali di m. 12	100/150 cm
III	Coperture e tombinature, ponti e strutture di attraversamento oltre 12 m	150/200 cm

Tab. 3.3

Per le opere di cui al punto III, nel caso di modesta rilevanza dell'opera e di bacini sistemati, il franco può essere derogato dall'amministrazione competente fino a 100 cm.

Il Regolamento fornisce inoltre le indicazioni per la scelta del coefficiente di scabrezza da utilizzare nelle verifiche idrauliche, che devono essere desunti dalla seguente tabella:

Descrizione	**Coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler**
Tratti di corsi d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione anche arbustiva-arborea in alveo	25-30
Corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo	30-35
Tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee) in buono stato	35-40
Corso d'acqua con fondo e argini totalmente cementati in ottimo stato e assenza di manufatti o discontinuità interferenti con le acque	40-45

Tab. 3.4

4 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Gli interventi previsti nel presente progetto definitivo riguardano la messa in sicurezza del tratto d'alveo del torrente Sturla compreso tra il ponte di Corso Europa e la briglia posta all'altezza di Via dell'Arena, per una lunghezza di circa 130 m.

Gli interventi di sistemazione sono stati ottimizzati al fine di garantire il corretto smaltimento della portata 200-ennale con franchi adeguati nel rispetto dei vincoli di carattere urbanistico e viabilistico presenti e di mantenimento per quanto possibile delle strutture esistenti.

Con riferimento alle planimetrie di progetto ed al riferimento alle sezioni idrauliche di seguito si descrivono i principali interventi.

Per una migliore comprensione si riporta tabella di comparazione tra le sezioni di progetto e le sezioni idrauliche:

Sezioni progetto	Sezioni idrauliche
1	21
2	17
3	16
4	15
5	14

Sistemazione alveo:

- regolarizzazione e riprofilatura del fondo alveo su una pendenza costante del 1.2% nel tratto a valle della briglia (tra sez. 14 e sez. 18, lunghezza 130 m), compatibilmente con le quote di fondo alveo di stato attuale.
- risagomatura delle sezioni con forma assimilabile alla rettangolare.
- parziale demolizione e rifacimento della briglia di Via dell'Arena (tra sez. 17 e sez. 23) con diverso orientamento in direzione perpendicolare all'asse del corso d'acqua.

Nel tratto in corrispondenza della bocciofila, come prescritto dal Comitato tecnico della Regione Liguria in sede di conferenza dei servizi del 21/12/17, l'argine sinistro viene sostituito (da sez. 16 a sez. 14) con una scogliera in massi naturali atta a contenere la portata 50-ennale.

E' prevista lungo la sponda sinistra la realizzazione di un muro di contenimento dell'altezza compresa tra 1.5 e 1.2 m, su un allineamento prossimo al limite demaniale esterno all'alveo attivo.

Interventi strutturali:

- rifacimento dell'arginatura lungo entrambe le sponde con 4 diverse tipologie di argini: muro a mensola in c.a., muro fondato su pali, paratia di micropali con rivestimento esterno, scogliera in massi naturali cementati.
  In particolare il muro a mensola è previsto lungo la sponda destra nei tratti compresi tra e tra le sez. 16 e 20 (L=60 m circa), lungo la sponda sinistra nei tratti compresi tra le sez. 17 e 21 (L=50 m circa) è previsto un muro con fondazione su micropali.

La paratia di micropali è prevista in sponda destra nei tratti compresi tra le sez. 15 e 16 (L=20 m), in modo da mantenere la viabilità di via dell'Arena anche durante il cantiere.

La scogliera (massi di terza categoria per la fondazione e di seconda categoria per lo spiccato di elevazione) è prevista lungo la sponda destra nei tratti compresi tra le sez. 20 e 21 (L=20 m circa) e lungo la sponda sinistra nei tratti compresi tra le sez. 16 e 14 (L=60 m circa).

- realizzazione di nuova passerella pedonale a monte del viadotto di Corso Europa, con struttura a campata unica di larghezza di 2.0 m e lunghezza 21 m; la campata ha altezza libera minima in sommità pari a circa 4.5 m dal fondo alveo.

L'intervento è completato dall'innalzamento e sottomurazione di alcuni brevi tratti di argine esistente.

La tipologia strutturale proposta per il nuovo attraversamento pedonale, è quella classica del ponte costituito da 2 travi in acciaio con appoggi in sponda sinistra nella nuova spalla con muro in c.a. realizzata nei pressi della bocciofila, e in sponda destra con pilastro mediante fondazione su pali.

La passerella pedonale presenta un'unica campata di circa 21 m di luce netta con struttura composita in acciaio e legno, pendenza del 8 % per ridurre le lunghezze dei raccordi e con una larghezza netta di passaggio di circa 2.0 m.

5 VERIFICHE IDRAULICHE

5.1 PORTATE DI PROGETTO

Le portate di progetto sono state valutate con riferimento ai contenuti del Piano di Bacino e del progetto delle "*Opere di adeguamento della canalizzazione del torrente Vernazza con deviatore nel torrente Sturla"* del 1996 effettuato, su incarico del Comune, da una equipe di professori universitari e professionisti coordinati dal Prof. Ing. Enrico Marchi.

Ai fini delle verifiche idrauliche sono stati pertanto considerati i seguenti valori della portata di piena 200-ennale, assunta come riferimento progettuale.

Tratto	**Sez. in – Sez. fin**	**Portata (A) [m3/s]**	**Portata (B) [m3/s]**
Tra da ponte di Via Apparizione a sbocco scolmatore Vernazza	36-9	300	300
Tra sbocco scolmatore Vernazza e sbocco rio Penego	9-0.9	300	325
Valle sbocco rio Penego	0.9-0.3	325	350

(A) : senza scolmatore rio Vernazza - **(B)** : con scolmatore rio Vernazza

Tab. 5.1

Tali valori risultano congrui con quanto indicato nel Piano di Bacino (vedi cap. 3.1) che indicano una portata di 324 m3/s alla foce e 265 m3/s in Via Apparizione.

Il valore di 300 m3/s è calcolato come la differenza tra la sezione alla foce e la portata affluente dal Rio Penego.

5.1.1 METODOLOGIA DI CALCOLO

Le verifiche idrauliche sono state eseguite mediante l'ausilio di un *software*[1] per il calcolo dell'andamento dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali che consente anche la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali ecc.

La determinazione del profilo teorico è ottenuta tramite l'applicazione del cosiddetto *Standard step method* che si basa sulla semplice equazione mono-dimensionale del contenuto energetico della corrente:

[1] HEC-RAS, Hydrologic Engineering Center – US Army Corps of Engineers

$$H_1 - H_2 = h_f + h_e$$

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:

$$h_f = j_f \cdot L$$

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:

$$J = \left[\frac{Q}{K}\right]^2$$

dove *Q[m³/s]* è la portata di calcolo e *K* (denominato *conveyance*) è ricavabile attraverso la seguente espressione:

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

dove *A[m²]* l'area della sezione liquida, *R[m]* il raggio idraulico e *n[$m^{-1/3}$ s]* è il parametro rappresentativo della scabrezza del fondo e delle sponde di Manning.

Il termine h_e dipende invece dalla variazione del carico cinetico della corrente tra le sezioni 1 e 2 dovuta al cambio di geometria delle sezioni stesse ed è a sua volta esprimibile come:

$$h_e = \beta \cdot \left| \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot g} - \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \right|$$

dove β è un coefficiente di contrazione o espansione dipendente dalle condizioni geometriche del tratto considerato, V_1 e V_2 *[m/s]* sono i valori delle velocità medie agli estremi del tronco e α_1 e α_2 sono i coefficienti correttivi dell'energia cinetica.

Il programma è in grado di simulare il deflusso attraverso ponti e tombinature (*culvert*) mediante la loro schematizzazione geometrica (impalcato, pile, setti, ecc.). La procedura di calcolo utilizzata consente la simulazione del deflusso a pelo libero al di sotto dell'impalcato, del deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato e la combinazione del deflusso in pressione e del deflusso con scavalcamento dell'impalcato stesso (funzionamento a stramazzo).

Per il deflusso a pelo libero il modello consente la scelta fra diversi metodi di calcolo quali il metodo del bilancio energetico (*Standard step method*), il metodo dei momenti (*Momentum Balance*), la formula di Yarnell per correnti lente.

Allo stesso modo il funzionamento in pressione può essere simulato, oltre che attraverso il metodo del bilancio energetico (*Standard step method*), anche mediante la formulazione propria dell'efflusso da luce:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

dove *Q[m³/s]* è la portata defluita attraverso la luce di area *A[m²]*, *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:

$$Q = C \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

dove Q[m³/s] è la portata defluita sulla soglia di larghezza L[m] e 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 stramazzanti e defluenti al di sotto dell'impalcato viene determinata attraverso una procedura iterativa combinando le equazioni che regolano i due fenomeni.

5.1.2 CONFIGURAZIONI DI VERIFICA, PARAMETRI DI CALCOLO E CONDIZIONI AL CONTORNO

La verifica idraulica è stata effettuata nelle seguenti configurazioni:

- *Stato attuale*
- *Stato di progetto del presente lotto*
- *Stato di progetto finale di tutti gli interventi previsti nel progetto preliminare*

La configurazione di progetto riguarda i soli interventi del presente lotto.

L'ultima configurazione è riferita alla possibile ipotesi di sistemazione futura che comporta tutti gli interventi previsti nel progetto preliminare tra cui il rifacimento del ponte privato in corrispondenza della sezione 23 con un diverso e più ampio allineamento dell'argine destro a cavallo di tale manufatto, come richiesto dalla Provincia di Genova.

La geometria del tratto d'alveo del torrente Sturla in oggetto e dei manufatti interferenti è stata ricavata da un rilievo topografico dell'alveo realizzato nell'ambito del progetto preliminare di sistemazione del giugno 2000, opportunamente aggiornato e integrato con una nuova campagna di misure effettuate tra la fine del 2012 e l'inizio del 2013.

Ai fini del calcolo sono state individuate una serie di sezioni trasversali numerate in senso crescente da valle verso monte da 13 a 23 in funzione delle caratteristiche geometriche e

morfologiche dell'alveo (larghezza, pendenza, curve, presenza di manufatti ecc.) con l'aggiunta di alcune sezioni di calcolo intermedie in corrispondenza di variazioni di sezione significative e dei manufatti, secondo il seguente schema:

Stato attuale

- sez. da 13 a 14 viadotto Corso Europa;
- sez. 14 Passerella pedonale
- sez. da 14 a 20 tratto compreso tra Via dell'Arena e Via dei Luoghi Santi e la bocciofila
- sez. 20 briglia
- sez. da 23 a 23.1 ponte privato

E' stata mantenuta la numerazione della simulazione idraulica effettuata nel progetto preliminare.

Per una migliore comprensione si riporta tabella di comparazione tra le sezioni di progetto e le sezioni idrauliche:

Sezioni progetto	Sezioni idrauliche
1	21
2	17
3	16
4	15
5	14

Al fine di migliorare la simulazione rispetto al progetto preliminare, nel tratto d'interesse, è stata inserita la sezione 14.5.

Il tratto considerato risulta pertanto il seguente:

Dato il carattere torrentizio del corso d'acqua, a favore di sicurezza il profilo è stato integrato per la sola condizione di corrente lenta da valle verso monte, al fine di massimizzare i tiranti idrici e dimensionare a favore di sicurezza le altezze dei muri d'argine e dell'intradosso dei ponti.

Come condizioni al contorno si sono assunti i livelli idrici delle sezioni di monte e di valle della zona oggetto d'intervento.

Le verifiche di progetto finale si sono ovviamente concentrate solo per il tratto interessato dagli interventi del presente progetto, pur collegandosi con gli interventi previsti nel progetto preliminare mantenendo in tal modo una visione di sistemazione d'insieme.

In accordo con le normative vigenti il coefficiente di scabrezza *n* di Manning è stato assunto pari a 0.03 lungo tutto il tratto, corrispondente alla condizione di corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo.

5.1.3 RISULTATI

Stato attuale

Il deflusso della portata 200-ennale avviene in corrente lenta, con numeri di Froude variabili tra 0.4 e 1 e velocità variabili tra 3.0 m/s e 5.3 m/s; le sezioni 23 (ponte di Via dell'Arena), 20 (sommità briglia), 14 (viadotto di Corso Europa) risultano sezioni di controllo con transizione attraverso lo stato critico (Fr=1).

Il deflusso della portata 200-ennale genera esondazione nei seguenti tratti:

Sponda destra

- tratto compreso tra il ponte di via Apparizione (sez. 36, progressiva circa 885 m) e ponte privato di via dell'Arena (sez. 23, progressiva circa 690 m);
- tratto di Via Dei luoghi santi e di Via dell'Arena (tra sez. 15 e sez. 16)
- tratto compreso tra Viadotto di Corso Europa (sez. 13, progressiva 479 m) e la sez. 10 (progressiva 380 m);
- tratto in corrispondenza del ponte di via Pontevecchio (sez. 9, progressiva circa 370 m) e tra sez. 6 (progressiva 242 m) e sez. 3 a monte del ponte "romano" di via delle Casette (progressiva 127 m).

Sponda sinistra

- lungo quasi l'intero tratto dal ponte di Via Apparizione (progressiva circa 885 m) al ponte "romano" di Via delle Casette (progressiva circa 100 m), ad eccezione di alcuni brevi tronchi in corrispondenza del ponte di Via Apparizione, del ponte di Via dell'Arena e della briglia.

Il deflusso al di sotto del ponte privato di Via dell'Arena (sez. 23.15) avviene con un franco rispetto all'intradosso dell' impalcato variabile da 0 a 2 m circa.

I risultati della verifica sono riassunti in forma numerica e grafica nell'*Allegato A – Verifiche idrauliche.*

Progetto

Il deflusso della portata 200-ennale risulta ovunque contenuta con quote del pelo libero inferiori alle quote degli argini su entrambe le sponde.

Gli interventi in progetto producono un significativo miglioramento rispetto allo stato attuale con diminuzione dei livelli di piena lungo tutto il tratto compresi tra 0.2 m e 2.0 m circa, con una media di 0.7 m circa.

Il deflusso della portata 200-ennale avviene in corrente lenta con numeri di Froude compresi tra 0.7 e 1.0 e velocità di deflusso variabili da un minimo di circa 3.2 m/s ad un massimo di circa 5.2 m/s.

I risultati della verifica sono riassunti in forma numerica e grafica nell'*Allegato A – Verifiche idrauliche.*

Il nuovo allineamento dell'argine in sponda sinistra a monte della passerella permette di contenere all'interno della scogliera il deflusso della portata 50-ennale, mentre il muro golenale esterno contiene la portata 200-ennale e il relativo franco idraulico.

La realizzazione dei nuovi muri d'argine fa si che il pelo libero sia contenuto in alveo e che le sponde abbiano franchi superiori a 0.5 m rispetto alla sommità dei muri d'argine e carico totale contenuto.

Il franco rispetto alla sommità arginale (ed in particolare ai nuovi muretti di contenimento sull'area golenale in sponda sinistra) risulta in questo caso superiore a 0.5 m con carico totale ovunque contenuto.

In corrispondenza della passerella il livello di piena 200-ennale è pari a 16.17 m slm ed il carico è pari a 17.03 m slm. L'intradosso minimo della passerella in sponda sinistra è stato collocato a quota di 17.30 m slm. Il franco idraulico risulta pertanto superiore a 1.0 m per il livello idrico e maggiore al carico totale della corrente.

Il piano d'imposta delle nuove fondazioni in sponda destra è stato inserito in corrispondenza della spalla della passerella preesistente, in una zona compresa tra il muro di Via dell'Arena e il primo pilone del ponte di Corso Europa.

Per la sponda sinistra la spalla sarà costituita da un muro d'argine che verrà realizzato tra il pilone di Corso Europa e la fine della scogliera.

Dal confronto tra lo Stato di progetto del presente lotto e lo stato di progetto finale di tutti gli interventi previsti nel progetto preliminare, le differenze sono limitate alle 2 sezioni d'estremità con differenze dell''ordine delle decine di centimetri.

6 VERIFICA DELL'OPERA DI PROTEZIONE IN MASSI NATURALI

Nei casi in cui sia necessario realizzare delle opere di protezione delle sponde o del fondo di un corso d'acqua con strutture permeabili, deformabili e isolate, occorre determinare le condizioni di equilibrio del singolo masso soggetto alle forze idrodinamiche della corrente che tendono a metterlo in movimento.

Si tratta cioè di determinare le dimensioni minime del singolo masso, e conseguentemente il suo peso, in grado di garantire le condizioni di stabilità in presenza di una corrente caratterizzata da una velocità media v.

Le formule di uso più comune, derivate dagli studi di Shields sul trasporto solido, definiscono la velocità critica v_{cr} che dà luogo al moto in funzione del diametro equivalente d della particella immersa nella corrente secondo la seguente espressione:

$$v_{cr} = k \cdot d^{0.5}$$

con v_{cr} espresso in m/s e d in metri.

Il coefficiente k assume valori variabili fra 4 e 8; nella comune pratica progettuale si assume k=5.

Assumendo come velocità critica la velocità della corrente e risolvendo l'espressione secondo d, si ottiene la dimensione minima del masso da utilizzare nel caso esaminato.

In base ai valori dei parametri idraulici della corrente sono state determinate le dimensioni minime del singolo masso e, conseguentemente, il peso in grado di garantire le condizioni di stabilità in presenza di una corrente caratterizzata da una velocità media v.

Le verifiche idrauliche indicano in circa 5 m/s la velocità media lungo il tratto in esame.

Per il calcolo della velocità si è proceduto ad effettuare la verifica con integrazione in corrente mista, in modo da ottenerne il valore massimo.

Il calcolo della stabilità del singolo masso conduce ad una dimensione d=1.0 m, corrispondente ad un masso del peso di circa 1360 kg.

In base a tali valutazioni per la realizzazione della scogliera si assumono massi del peso da 1 t a 3 t per lo spiccato di elevazione e da 3 t a 5 t per la fondazione, compatibili con le caratteristiche idrauliche dell'alveo.

Il rapporto tra l'altezza dei salti e la lunghezza del tratto di protezione con i massi è stato studiato al fine di consentire l'impatto della lama sfiorante con il fondo senza oltrepassare lo spigolo di valle e consentire quindi una dissipazione ottimale del getto.

Il calcolo del profilo è stato in questo caso simulabile come il profilo di una vena liquida in caduta libera esprimibile con l'equazione di Scimeni:

$$X = 0.5 \cdot Y^{1.85}$$

dove X e Y sono rispettivamente la distanza orizzontale e quella verticale (orientata verso il basso) adimensionalizzate rispetto al carico h della vena nel punto di sommità.

Nel caso in esame, posto h=4.12 m (carico totale della corrente relativa alla portata 200-ennale) in arrivo e y= 1.7 m (altezza del salto), risulta una distanza x= 3.7 m, che rappresenta il profilo interno della vena fluida.

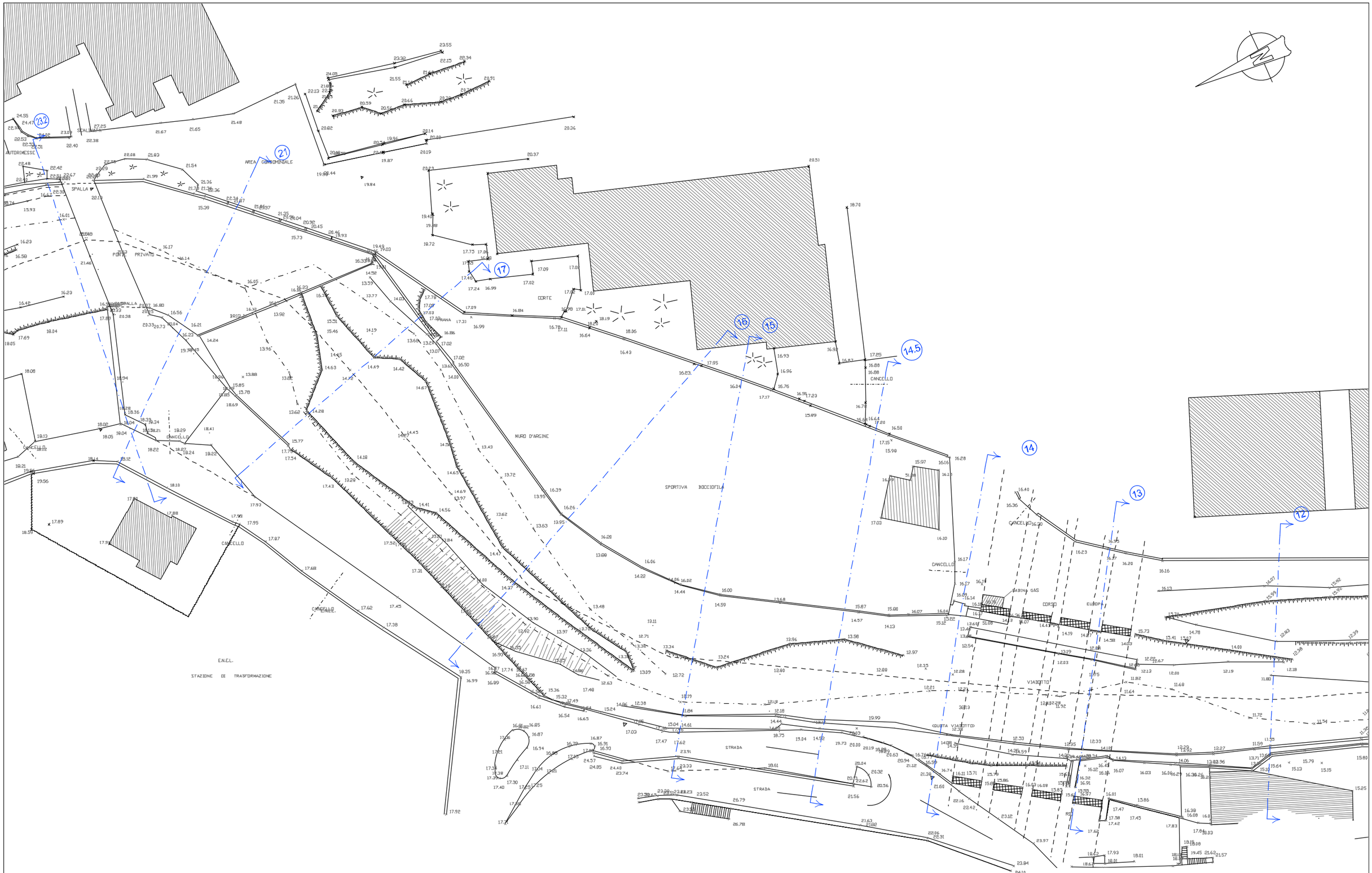
A tale valore è stata sommata in via cautelativa l'altezza critica, che risulta essere pari a 2.7 m, da cui si ottiene il valore di 6.6 m, che risulta essere inferiore ai 7 m disponibili.

ALLEGATO A

VERIFICHE IDRAULICHE

STATO ATTUALE

- ✓ Planimetria con indicazione sezioni idrauliche
- ✓ Tabella riassuntiva dei risultati
- ✓ Profili idraulici
- ✓ Sezioni idrauliche



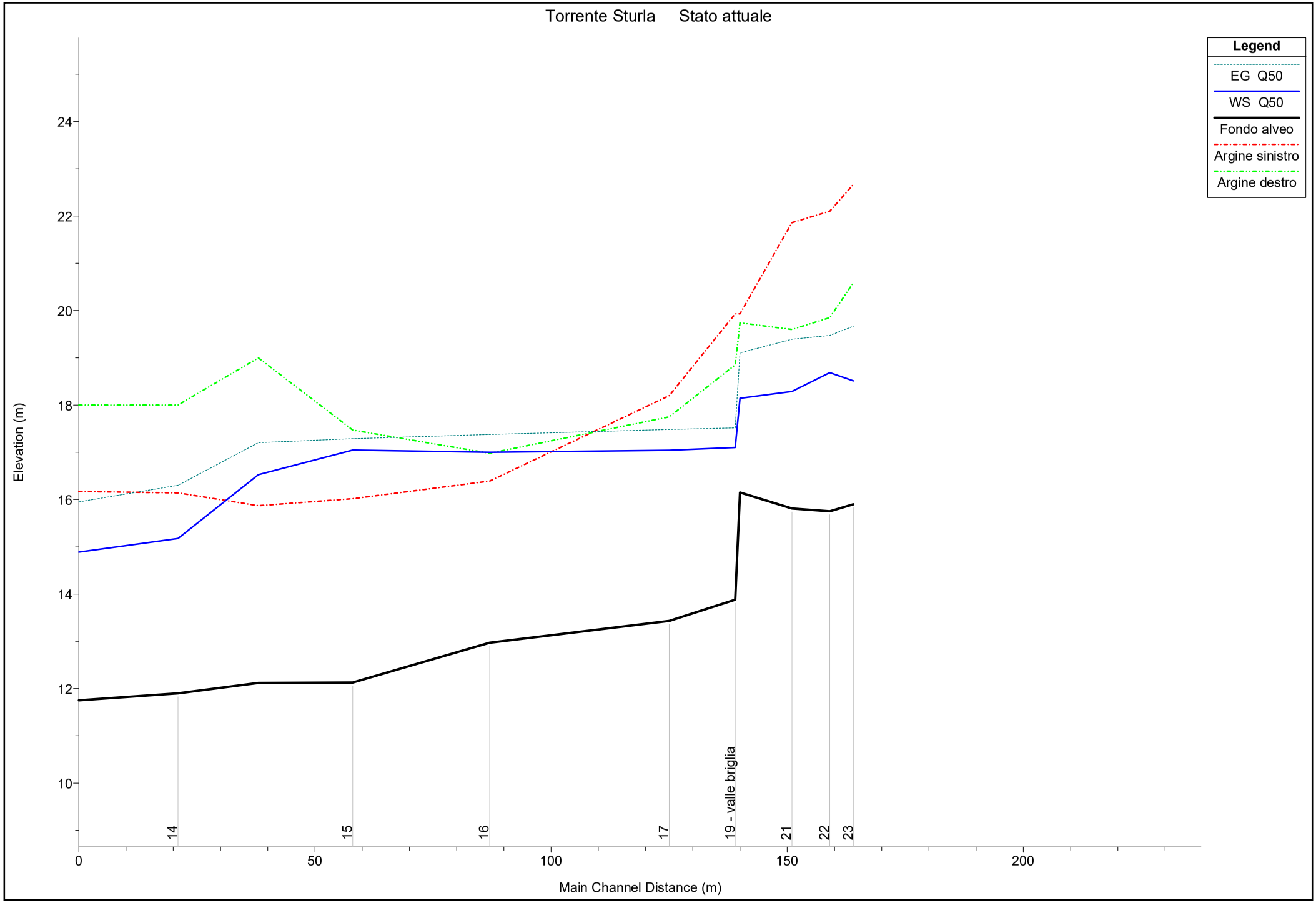
UBICAZIONE SEZIONI CALCOLO IDRAULICO
STATO ATTUALE
scala 1:500

HEC-RAS Plan: att River: Sturla Reach: Sturla Profile: Q200

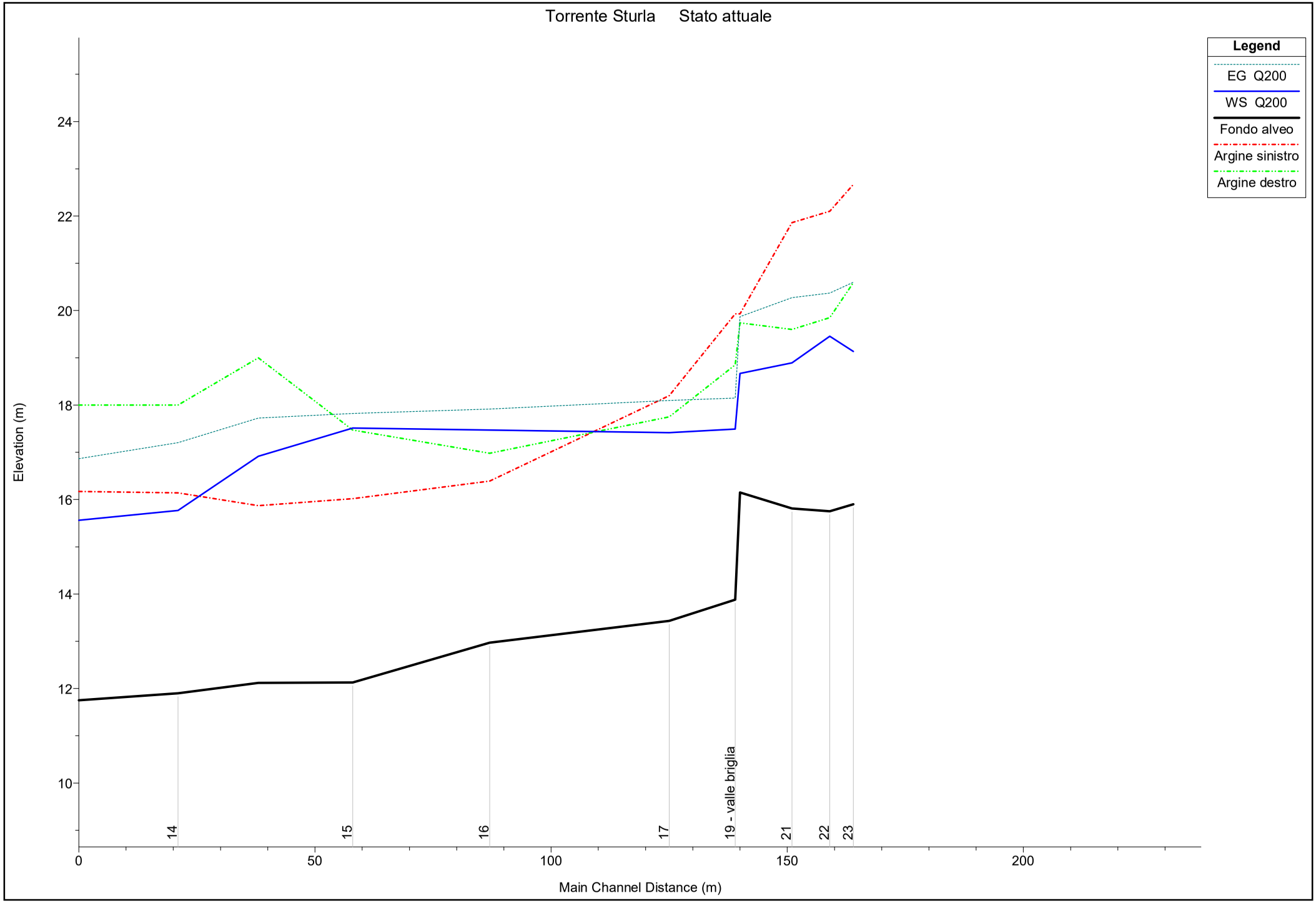
Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Q Total	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	W.S. Elev	Hydr Depth	Max Chl Dpth	E.G. Elev	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Sturla	23	Q200	164.00	300.00	15.90	22.67	20.59	19.13	2.92	3.23	20.60	5.36	56.00	19.16	1.00
Sturla	22	Q200	159.00	300.00	15.75	22.10	19.85	19.46	3.08	3.71	20.37	4.23	70.91	23.04	0.77
Sturla	21	Q200	151.00	300.00	15.81	21.86	19.60	18.89	2.76	3.08	20.27	5.20	57.65	20.87	1.00
Sturla	20	Q200	140.00	300.00	16.15	19.93	19.74	18.67	2.40	2.52	19.87	4.86	61.79	25.74	1.00
Sturla	19	Q200	139.00	300.00	13.88	19.93	18.85	17.49	3.20	3.61	18.15	3.58	83.73	26.18	0.64
Sturla	17	Q200	125.00	300.00	13.43	18.20	17.75	17.42	2.69	3.99	18.10	3.65	82.22	30.57	0.71
Sturla	16	Q200	87.00	300.00	12.97	16.39	16.98	17.47	1.97	4.50	17.92	3.20	112.29	56.93	0.53
Sturla	15	Q200	58.00	300.00	12.13	16.02	17.47	17.51	2.27	5.38	17.82	2.70	130.14	57.41	0.43
Sturla	14.5	Q200	38.00	300.00	12.12	15.87	19.00	16.91	1.79	4.79	17.73	4.36	83.16	46.58	0.78
Sturla	14	Q200	21.00	300.00	11.90	16.14	18.00	15.77	2.82	3.87	17.20	5.30	56.57	20.06	1.01
Sturla	13	Q200		300.00	11.75	16.17	18.00	15.56	2.95	3.81	16.87	5.06	59.23	20.07	0.94

HEC-RAS Plan: att River: Sturla Reach: Sturla Profile: Q50

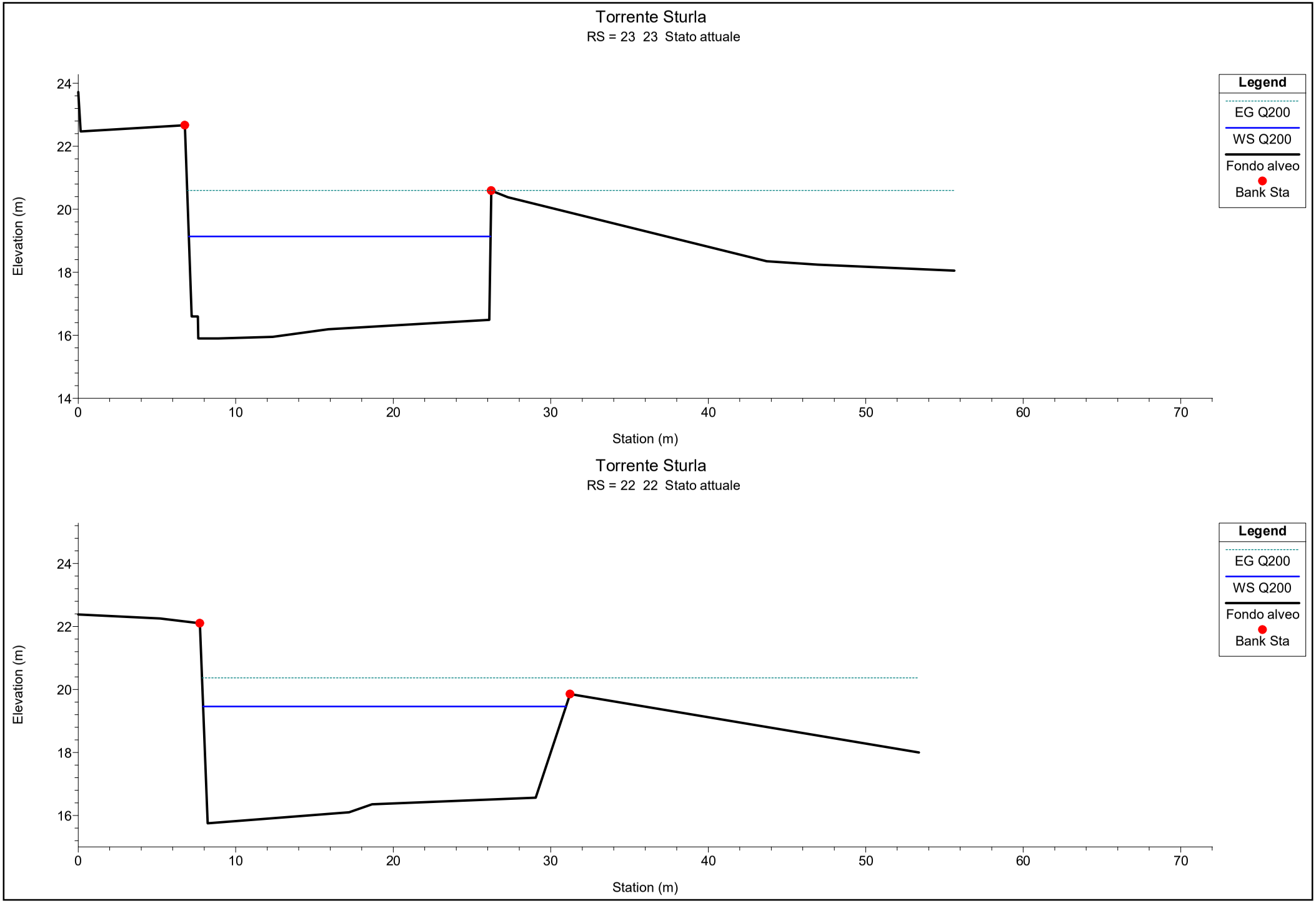
Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Q Total	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	W.S. Elev	Hydr Depth	Max Chl Dpth	E.G. Elev	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Sturla	23	Q50	164.00	210.00	15.90	22.67	20.59	18.51	2.31	2.61	19.67	4.76	44.09	19.09	1.00
Sturla	22	Q50	159.00	210.00	15.75	22.10	19.85	18.69	2.38	2.94	19.47	3.93	53.39	22.47	0.81
Sturla	21	Q50	151.00	210.00	15.81	21.86	19.60	18.29	2.20	2.48	19.39	4.65	45.14	20.47	1.00
Sturla	20	Q50	140.00	210.00	16.15	19.93	19.74	18.15	1.90	2.00	19.11	4.34	48.39	25.48	1.01
Sturla	19	Q50	139.00	210.00	13.88	19.93	18.85	17.10	2.83	3.22	17.52	2.86	73.55	26.01	0.54
Sturla	17	Q50	125.00	210.00	13.43	18.20	17.75	17.04	2.73	3.61	17.48	2.93	71.63	26.21	0.57
Sturla	16	Q50	87.00	210.00	12.97	16.39	16.98	17.00	1.63	4.03	17.38	2.85	85.56	52.65	0.51
Sturla	15	Q50	58.00	210.00	12.13	16.02	17.47	17.05	2.04	4.92	17.29	2.33	105.75	51.89	0.40
Sturla	14.5	Q50	38.00	210.00	12.12	15.87	19.00	16.53	1.40	4.41	17.20	3.86	65.15	46.50	0.73
Sturla	14	Q50	21.00	210.00	11.90	16.14	18.00	15.17	2.24	3.27	16.30	4.70	44.65	19.95	1.00
Sturla	13	Q50		210.00	11.75	16.17	18.00	14.89	2.36	3.14	15.95	4.57	45.99	19.47	0.95



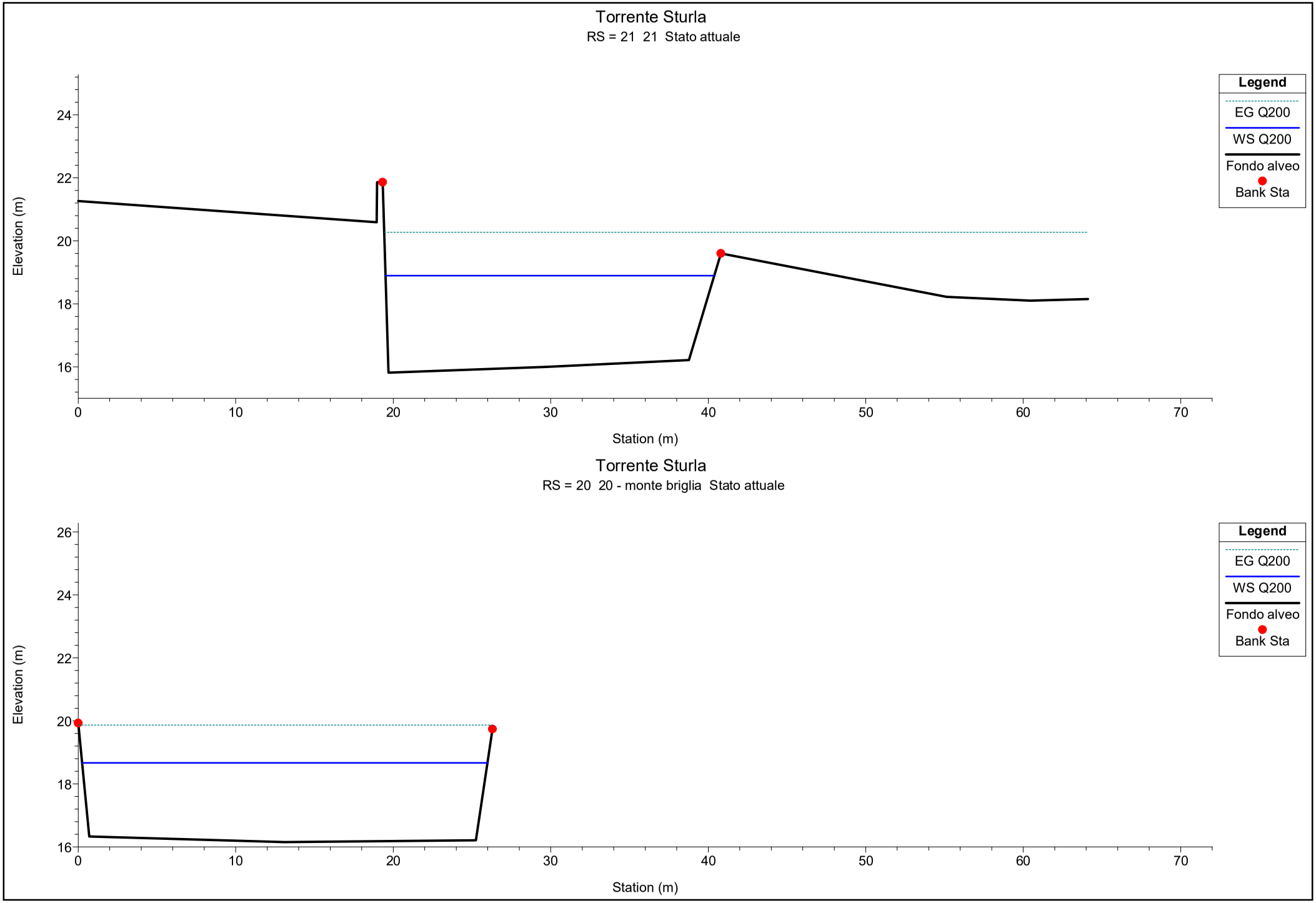
1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 1 m



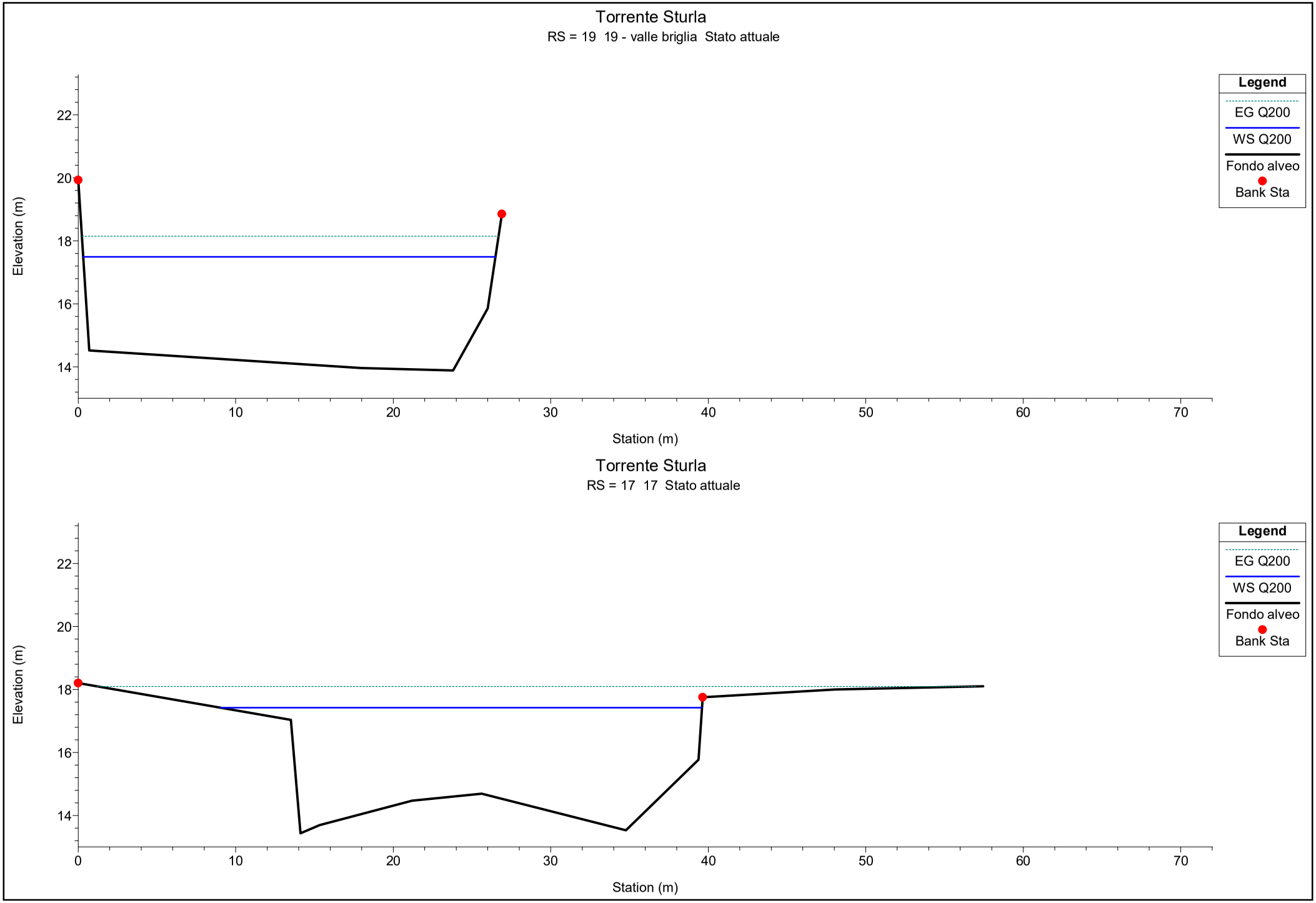
1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 1 m



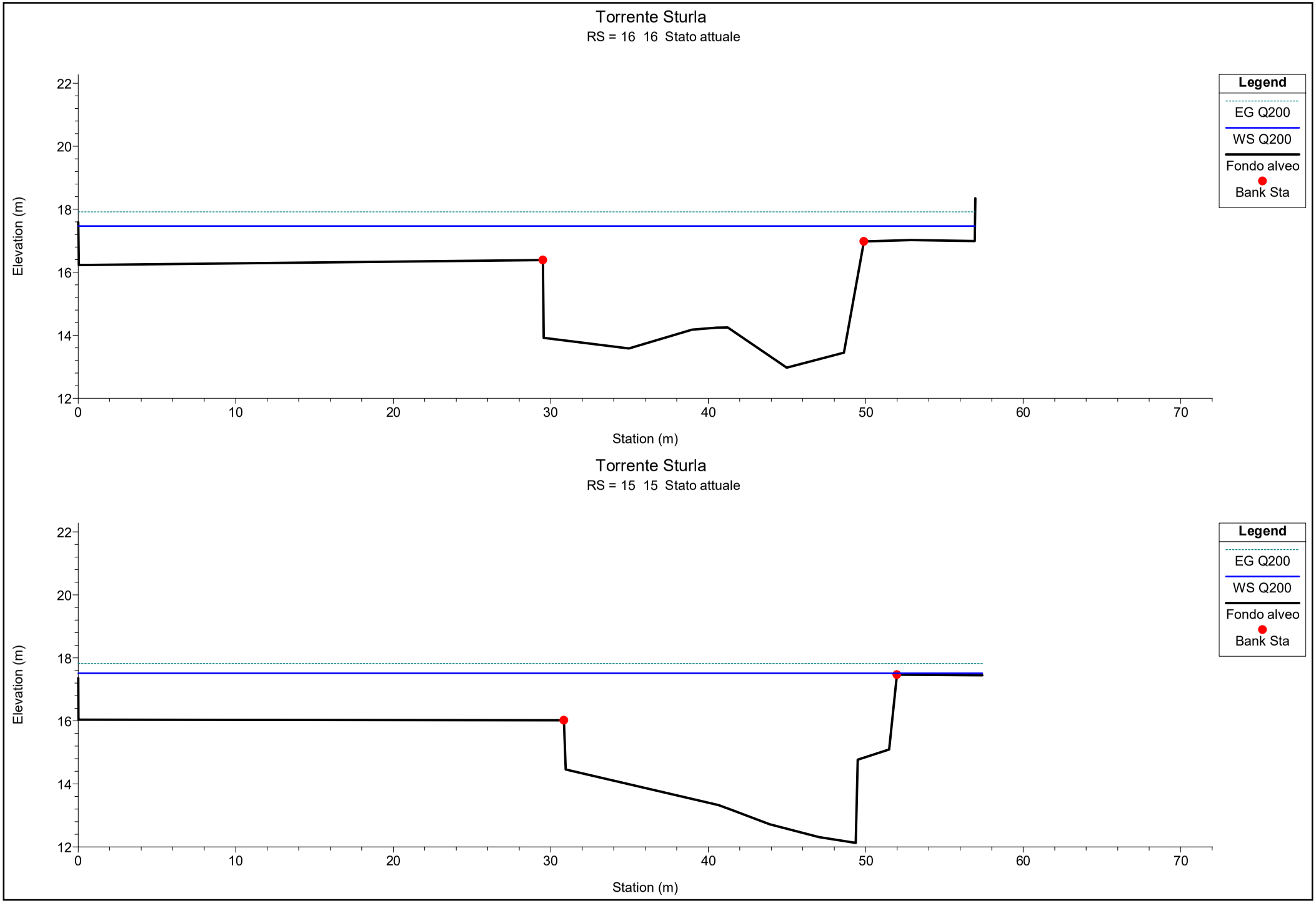
1 cm Horiz. = 3 m 1 cm Vert. = 1.5 m



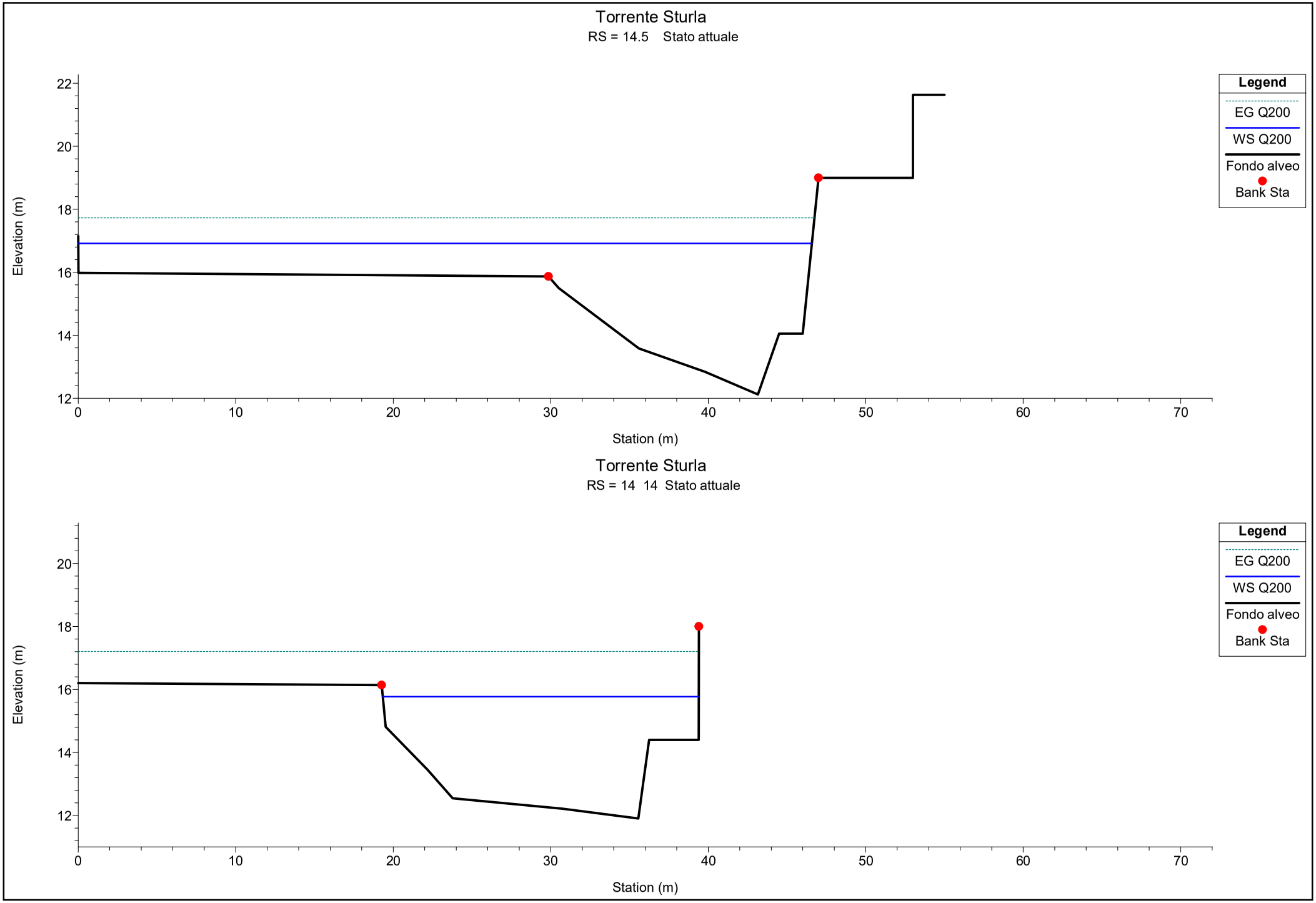
1 cm Horiz. = 3 m 1 cm Vert. = 1.5 m



1 cm Horiz. = 3 m 1 cm Vert. = 1.5 m



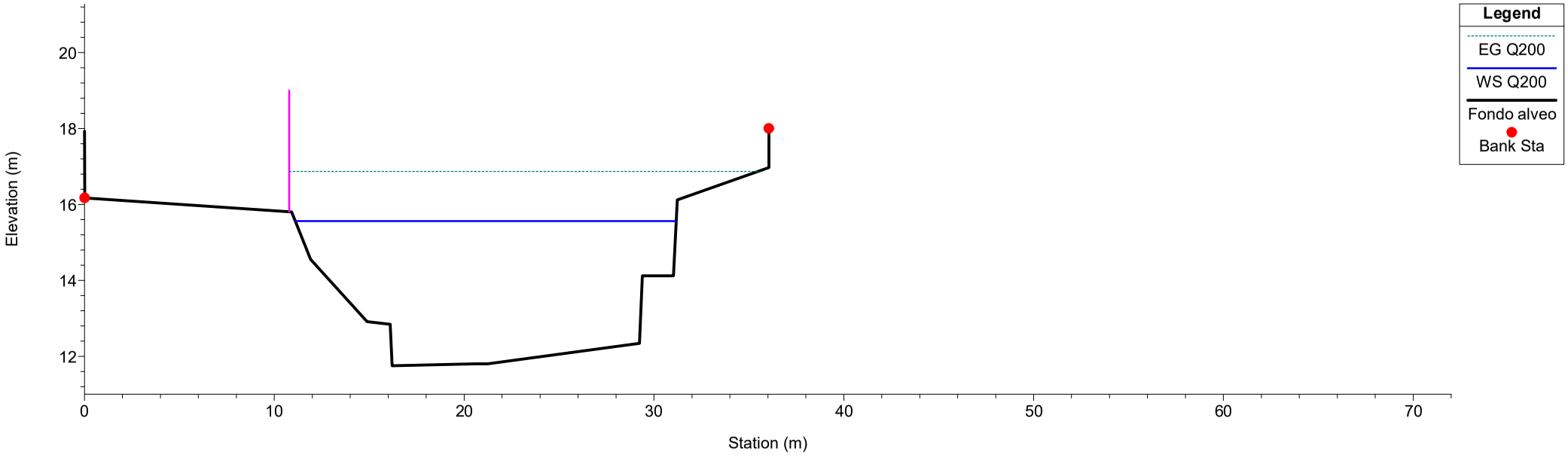
1 cm Horiz. = 3 m 1 cm Vert. = 1.5 m



1 cm Horiz. = 3 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Torrente Sturla

RS = 13 13 Stato attuale



1 cm Horiz. = 3 m 1 cm Vert. = 1.5 m

STATO DI PROGETTO DEL PRESENTE LOTTO

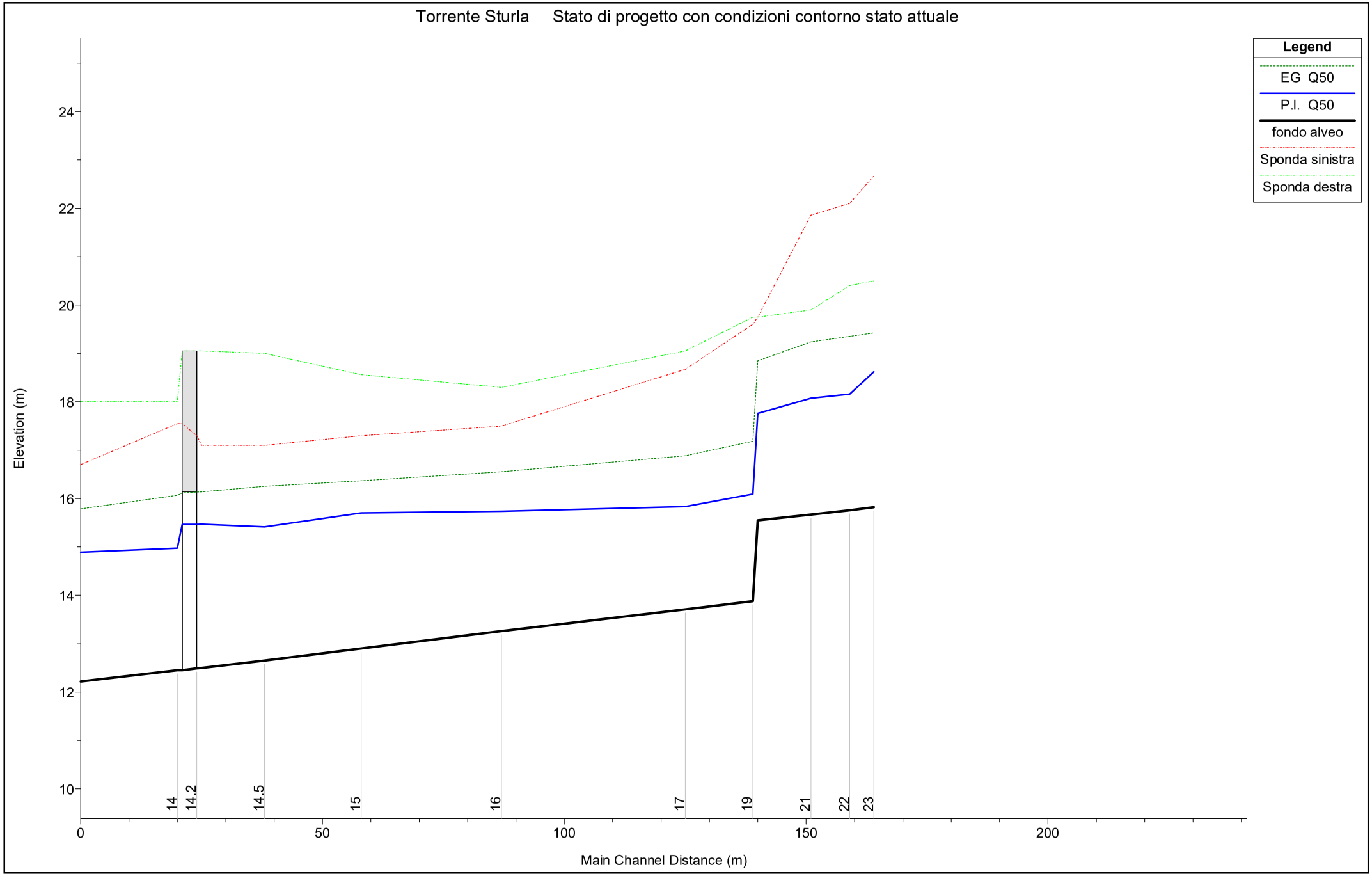
- ✓ Profili idraulici
- ✓ Sezioni idrauliche
- ✓ Tabella riassuntiva dei risultati

HEC-RAS Plan: rev6-condizioniattua River: Sturla Reach: Sturla Profile: Q200

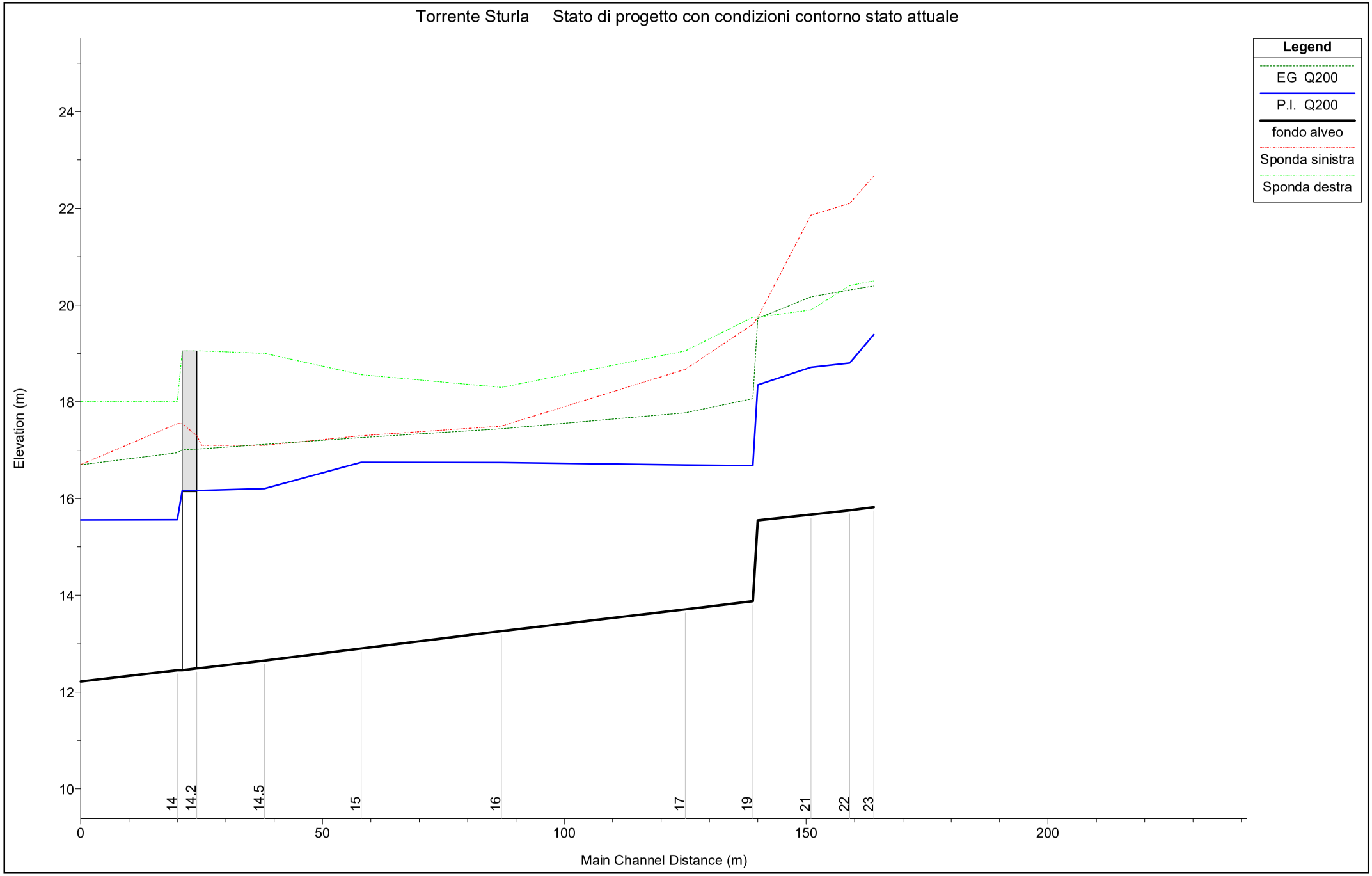
Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Q Total	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	W.S. Elev	E.G. Elev	Hydr Depth	Max Chl Dpth	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Sturla	23	Q200	164.00	300.00	15.82	22.67	20.50	19.39	20.40	3.52	3.57	4.44	67.64	19.19	0.75
Sturla	22	Q200	159.00	300.00	15.76	22.10	20.40	18.80	20.31	3.02	3.04	5.44	55.12	18.24	1.00
Sturla	21	Q200	151.00	300.00	15.67	21.86	19.90	18.71	20.17	2.91	3.04	5.35	56.11	19.25	1.00
Sturla	20	Q200	140.00	300.00	15.55	19.75	19.75	18.35	19.72	2.76	2.80	5.19	57.77	20.97	1.00
Sturla	19	Q200	139.00	300.00	13.88	19.60	19.75	16.68	18.07	2.77	2.80	5.21	57.56	20.79	1.00
Sturla	17	Q200	125.00	300.00	13.71	18.67	19.05	16.69	17.77	2.97	2.98	4.60	65.18	21.97	0.85
Sturla	16	Q200	87.00	300.00	13.26	17.50	18.30	16.74	17.44	2.13	3.48	3.70	81.02	38.04	0.81
Sturla	15	Q200	58.00	300.00	12.90	17.30	18.56	16.75	17.26	2.34	3.85	3.17	94.56	40.47	0.66
Sturla	14.5	Q200	38.00	300.00	12.65	17.10	19.00	16.21	17.12	2.02	3.56	4.24	70.82	35.14	0.95
Sturla	14.3	Q200	25.00	300.00	12.50	17.10	19.05	16.17	17.03	3.37	3.67	4.10	73.10	21.68	0.71
Sturla	14.2	Q200	24.00	300.00	12.49	17.30	19.05	16.17	17.02	3.38	3.68	4.10	73.17	21.67	0.71
Sturla	14.1	Q200	21.00	300.00	12.45	17.34	19.05	16.16	17.01	3.41	3.72	4.06	73.84	21.66	0.70
Sturla	14	Q200	20.00	300.00	12.45	17.55	18.00	15.56	16.95	2.77	3.11	5.21	57.55	20.78	1.00
Sturla	13	Q200		300.00	12.22	16.70	18.00	15.56	16.70	3.14	3.34	4.72	63.56	20.27	0.85

HEC-RAS Plan: rev6-condizioniattua River: Sturla Reach: Sturla Profile: Q50

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Q Total	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	W.S. Elev	E.G. Elev	Hydr Depth	Max Chl Dpth	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Sturla	23	Q50	164.00	210.00	15.82	22.67	20.50	18.62	19.42	2.76	2.80	3.97	52.84	19.11	0.76
Sturla	22	Q50	159.00	210.00	15.76	22.10	20.40	18.16	19.35	2.39	2.40	4.84	43.40	18.19	1.00
Sturla	21	Q50	151.00	210.00	15.67	21.86	19.90	18.08	19.24	2.32	2.41	4.78	43.95	18.91	1.00
Sturla	20	Q50	140.00	210.00	15.55	19.75	19.75	17.76	18.85	2.18	2.21	4.62	45.44	20.83	1.00
Sturla	19	Q50	139.00	210.00	13.88	19.60	19.75	16.09	17.19	2.19	2.21	4.64	45.30	20.68	1.00
Sturla	17	Q50	125.00	210.00	13.71	18.67	19.05	15.83	16.88	2.11	2.12	4.54	46.26	21.89	1.00
Sturla	16	Q50	87.00	210.00	13.26	17.50	18.30	15.74	16.55	2.41	2.48	4.00	52.50	21.78	0.82
Sturla	15	Q50	58.00	210.00	12.90	17.30	18.56	15.70	16.37	2.55	2.80	3.61	58.11	22.74	0.72
Sturla	14.5	Q50	38.00	210.00	12.65	17.10	19.00	15.42	16.25	2.58	2.77	4.06	51.77	20.10	0.81
Sturla	14.3	Q50	25.00	210.00	12.50	17.10	19.05	15.47	16.14	2.68	2.97	3.62	57.94	21.64	0.71
Sturla	14.2	Q50	24.00	210.00	12.49	17.30	19.05	15.47	16.13	2.68	2.98	3.62	58.01	21.63	0.71
Sturla	14.1	Q50	21.00	210.00	12.45	17.34	19.05	15.46	16.12	2.71	3.01	3.58	58.68	21.63	0.69
Sturla	14	Q50	20.00	210.00	12.45	17.55	18.00	14.97	16.07	2.19	2.52	4.63	45.34	20.75	1.00
Sturla	13	Q50		210.00	12.22	16.70	18.00	14.89	15.79	2.48	2.67	4.20	50.00	20.20	0.85



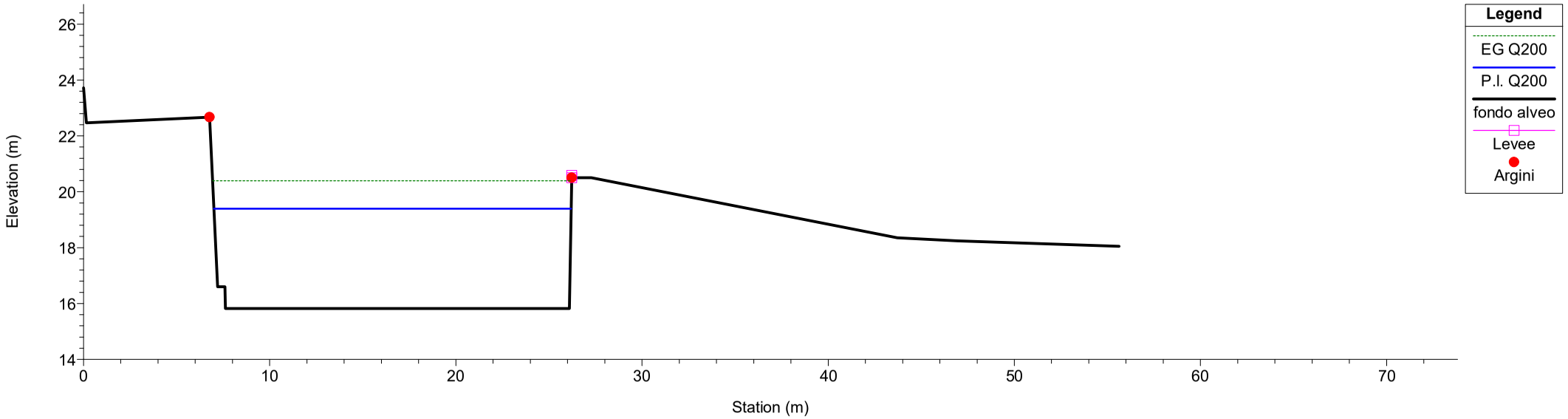
1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 1 m



1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 1 m

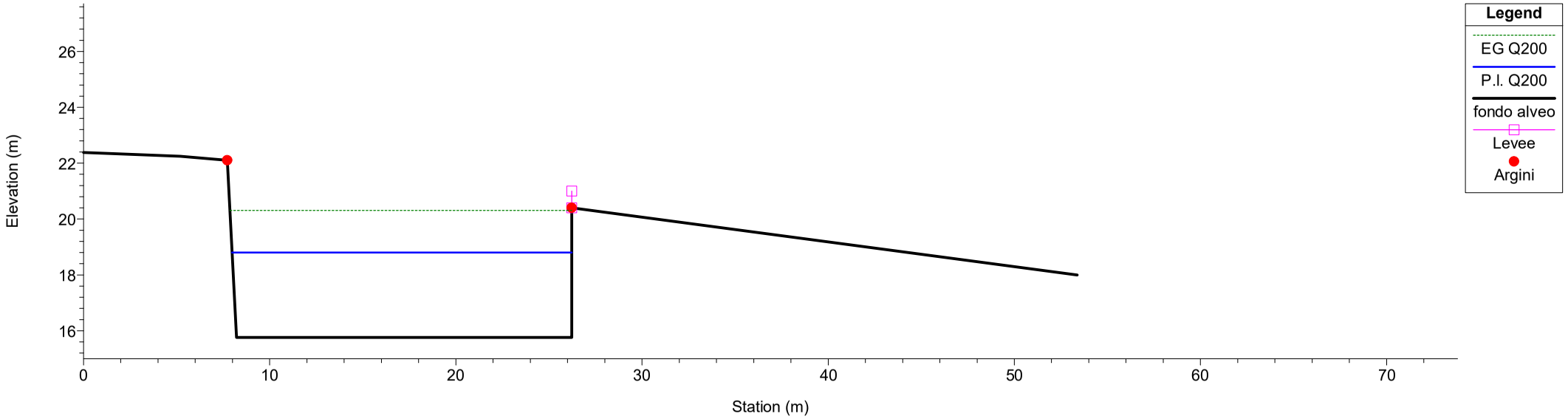
Torrente Sturla

23 Stato di progetto con condizioni contorno stato attuale

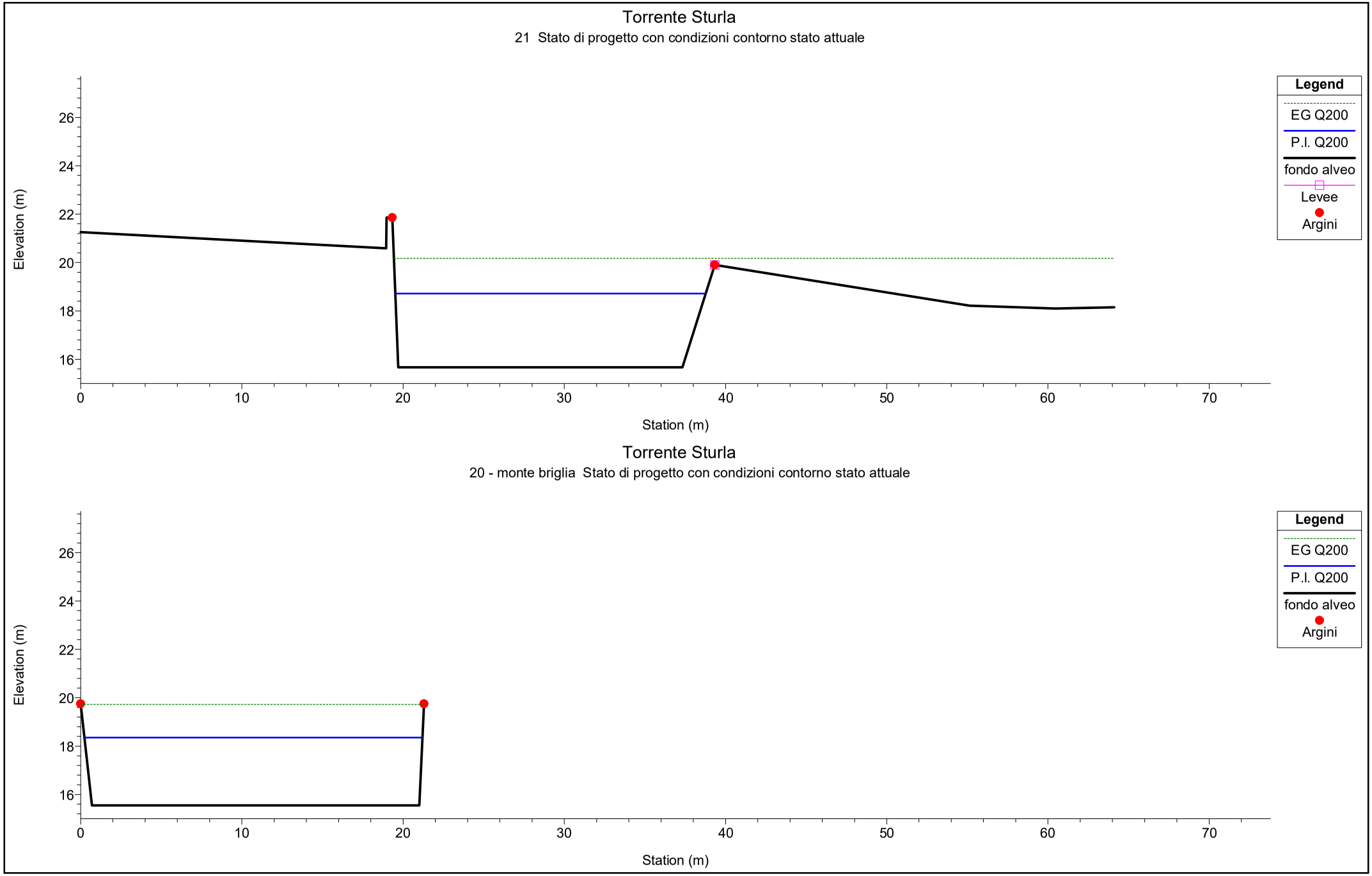


Torrente Sturla

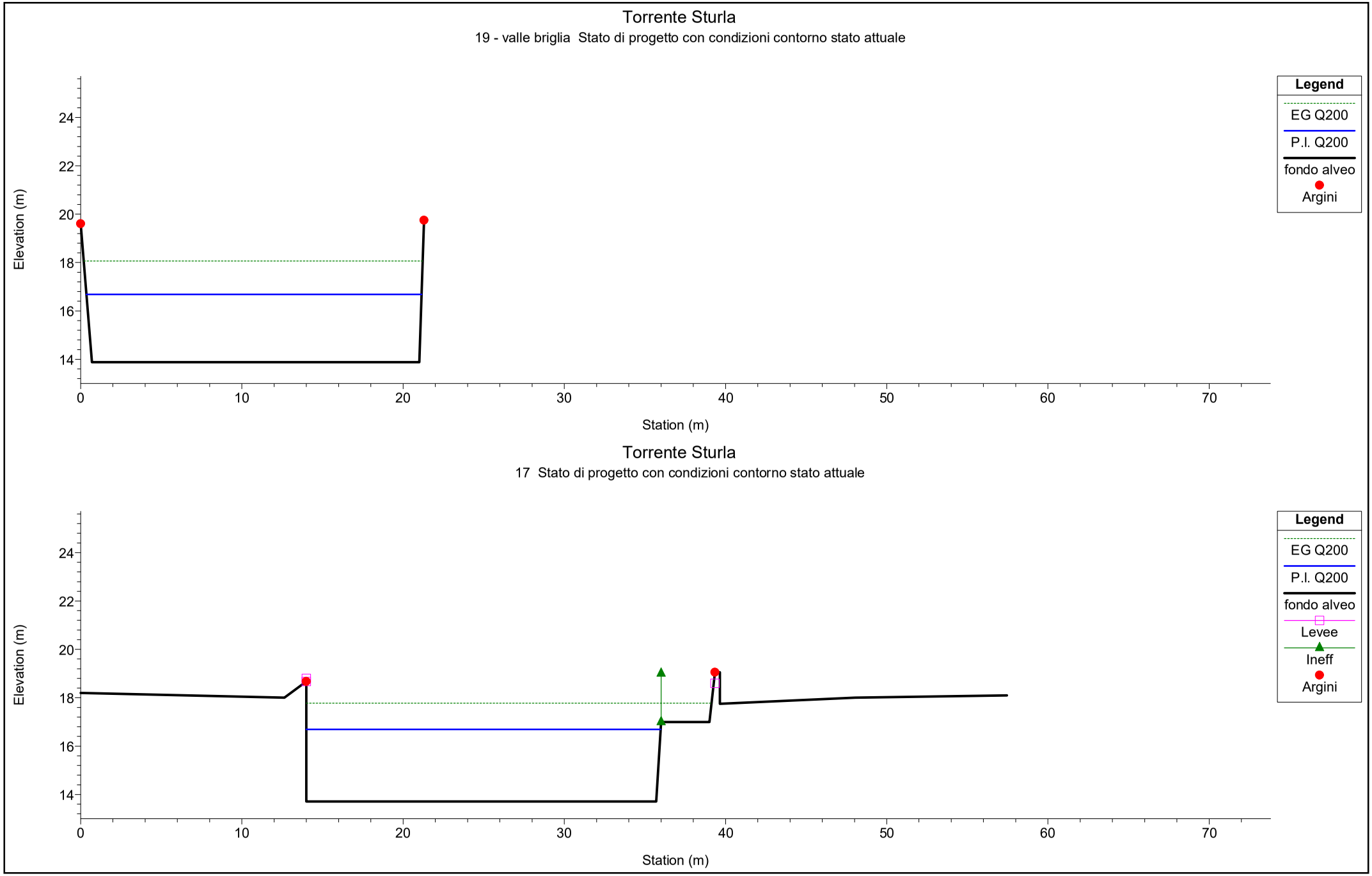
22 Stato di progetto con condizioni contorno stato attuale



1 cm Horiz. = 3 m 1 cm Vert. = 2 m



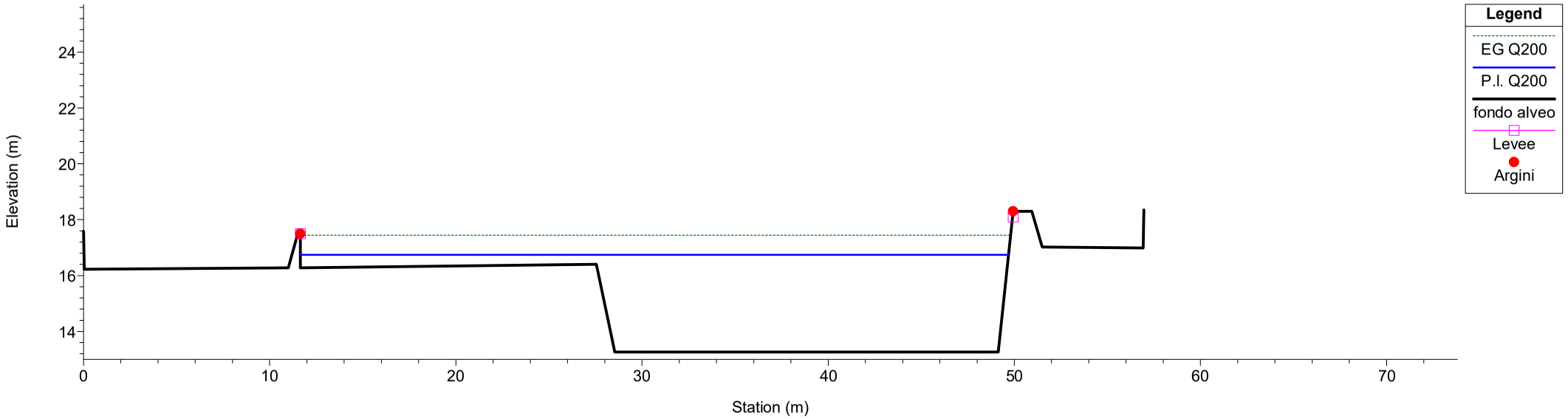
1 cm Horiz. = 3 m 1 cm Vert. = 2 m



1 cm Horiz. = 3 m 1 cm Vert. = 2 m

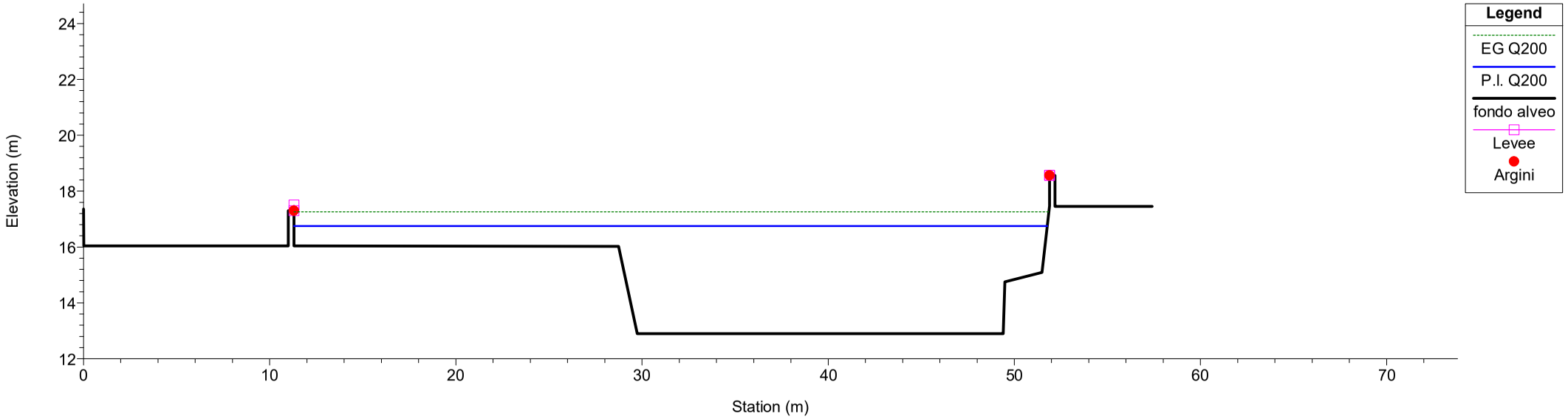
Torrente Sturla

16 Stato di progetto con condizioni contorno stato attuale

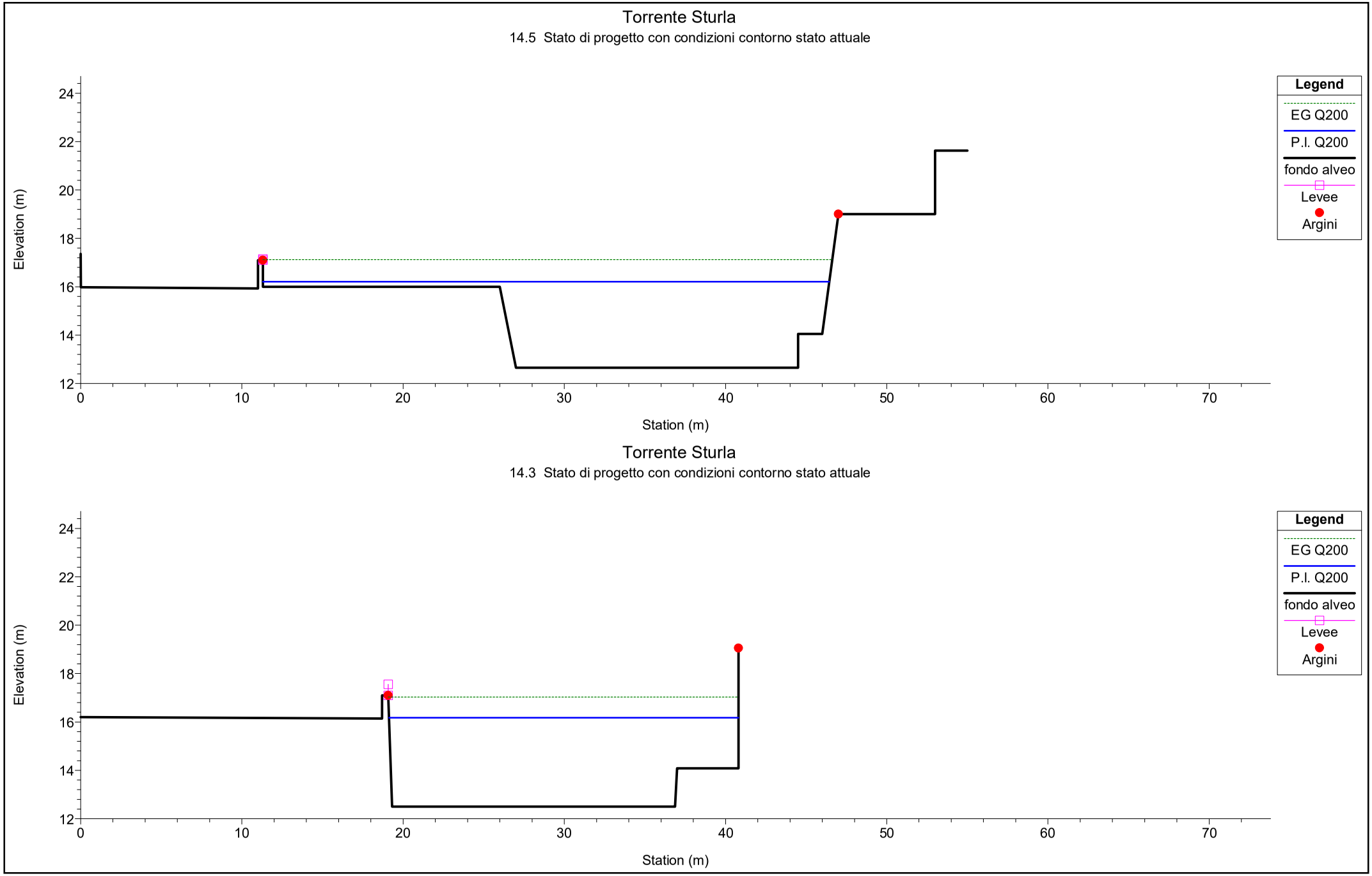


Torrente Sturla

15 Stato di progetto con condizioni contorno stato attuale



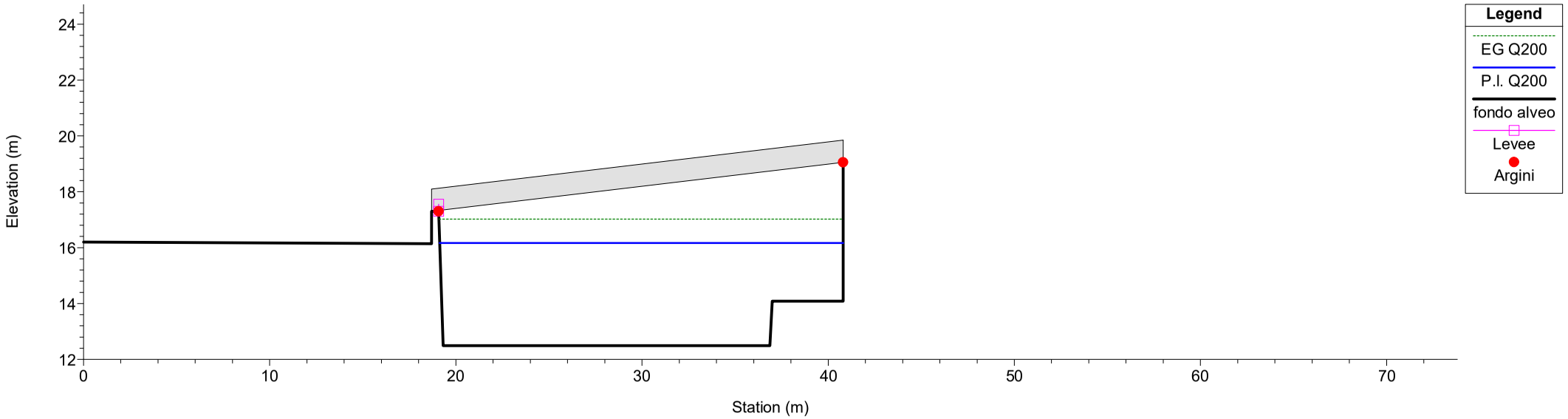
1 cm Horiz. = 3 m 1 cm Vert. = 2 m



1 cm Horiz. = 3 m 1 cm Vert. = 2 m

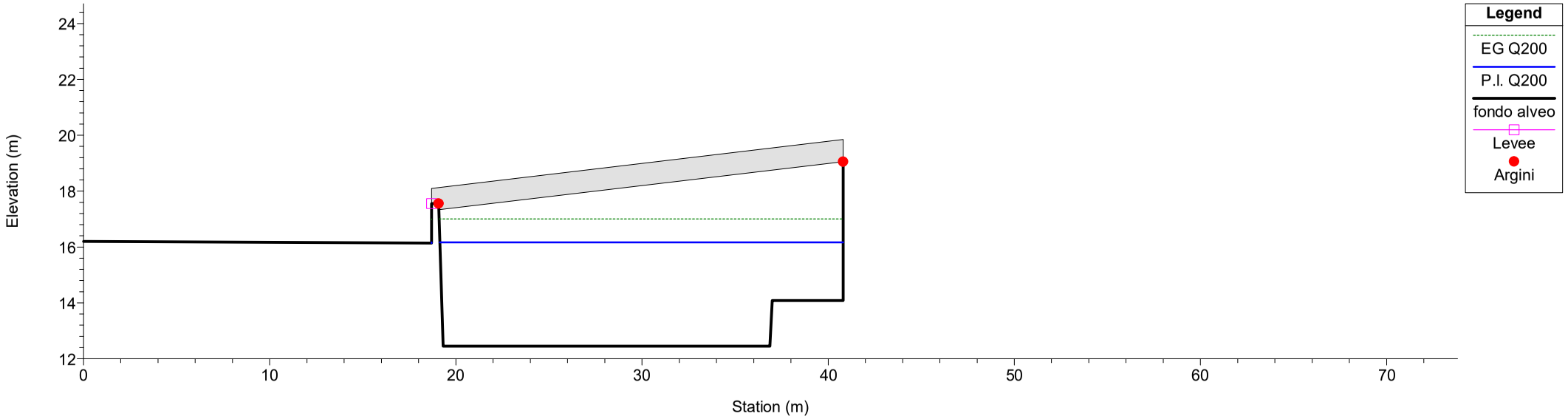
Torrente Sturla

14.2 Stato di progetto con condizioni contorno stato attuale



Torrente Sturla

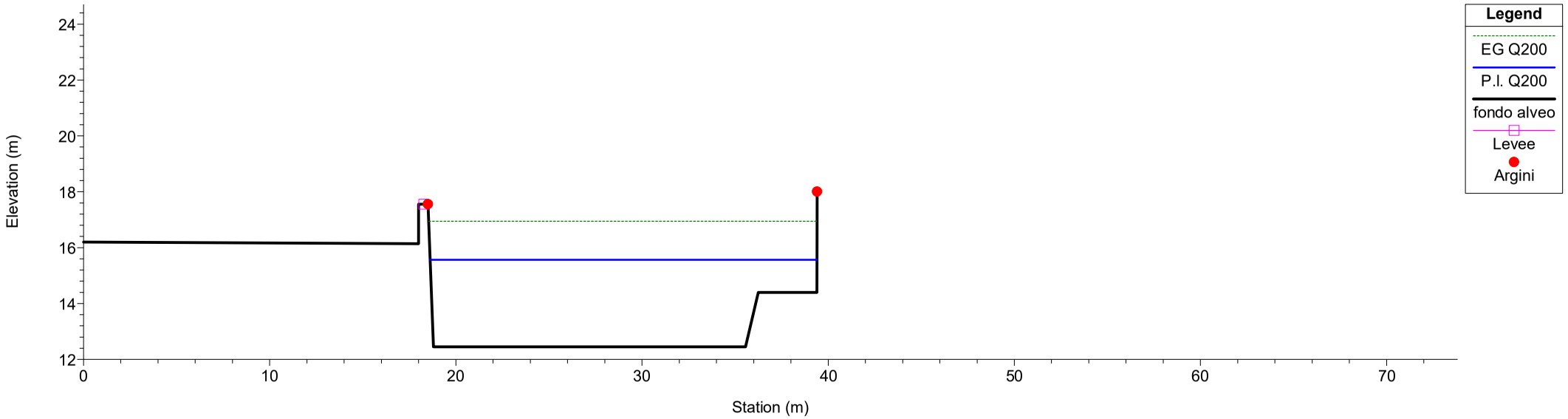
14.1 Stato di progetto con condizioni contorno stato attuale



1 cm Horiz. = 3 m 1 cm Vert. = 2 m

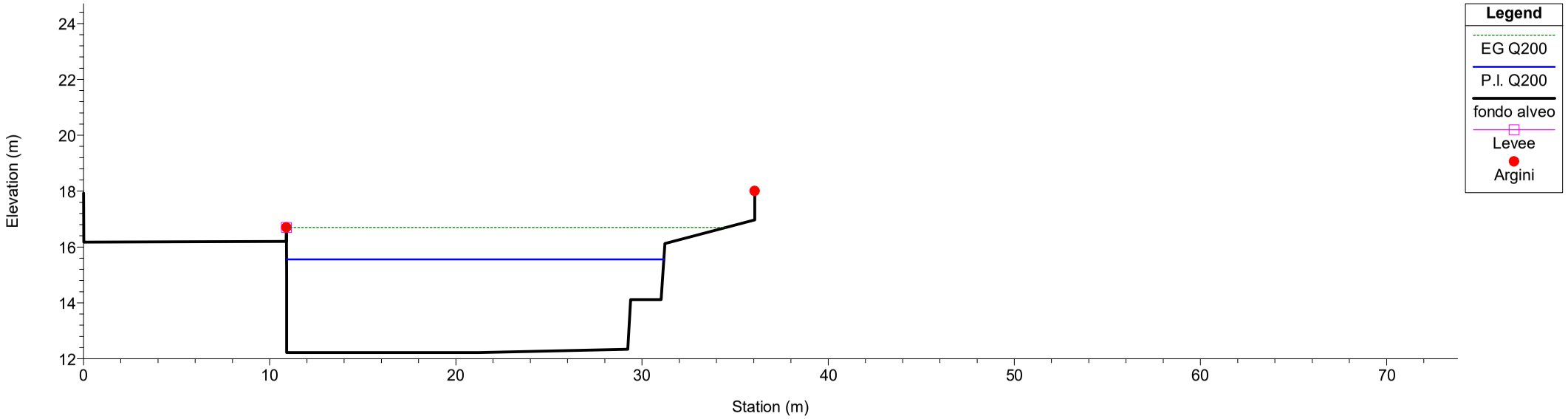
Torrente Sturla

14 Stato di progetto con condizioni contorno stato attuale



Torrente Sturla

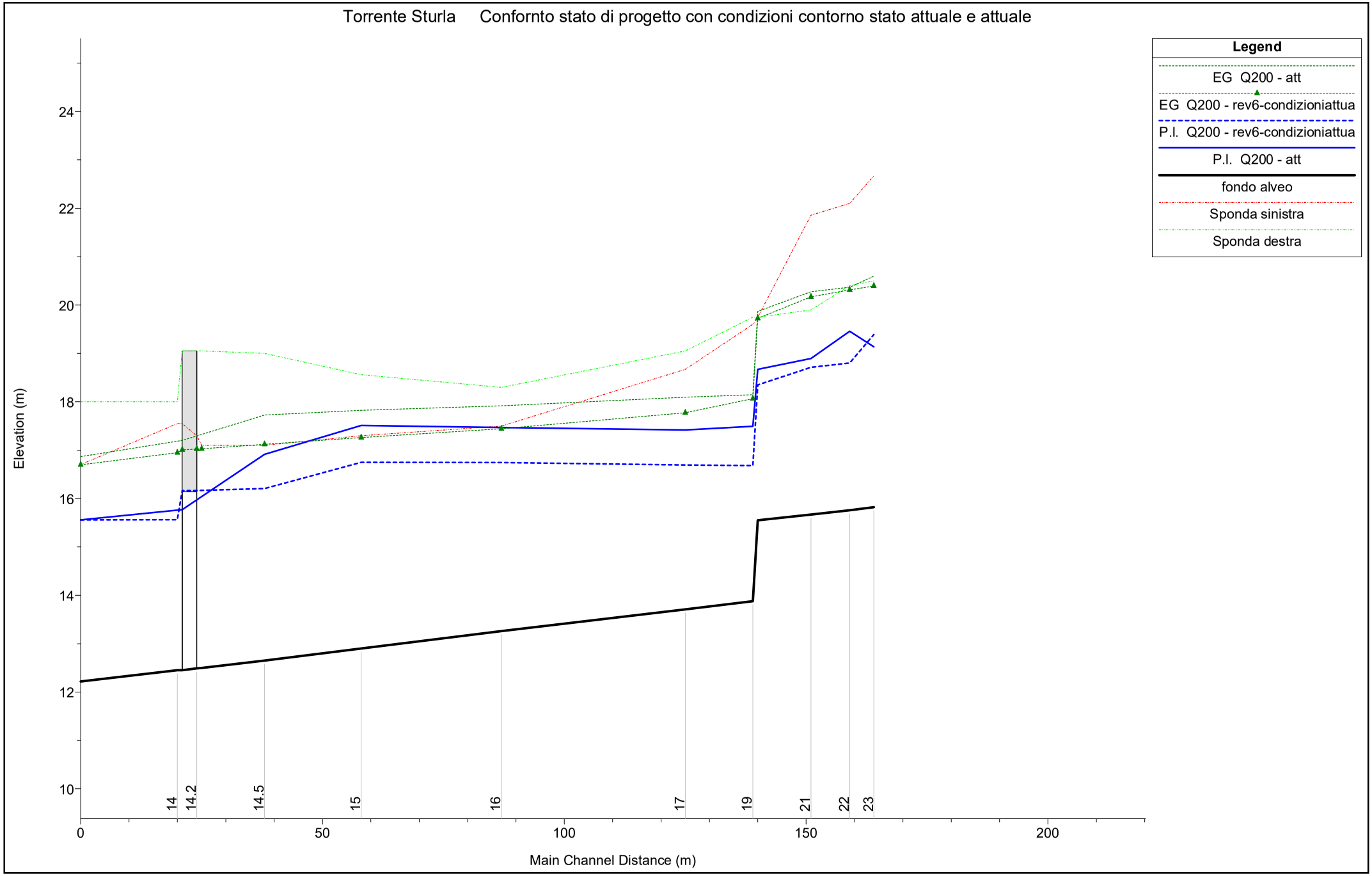
13 Stato di progetto con condizioni contorno stato attuale



1 cm Horiz. = 3 m 1 cm Vert. = 2 m

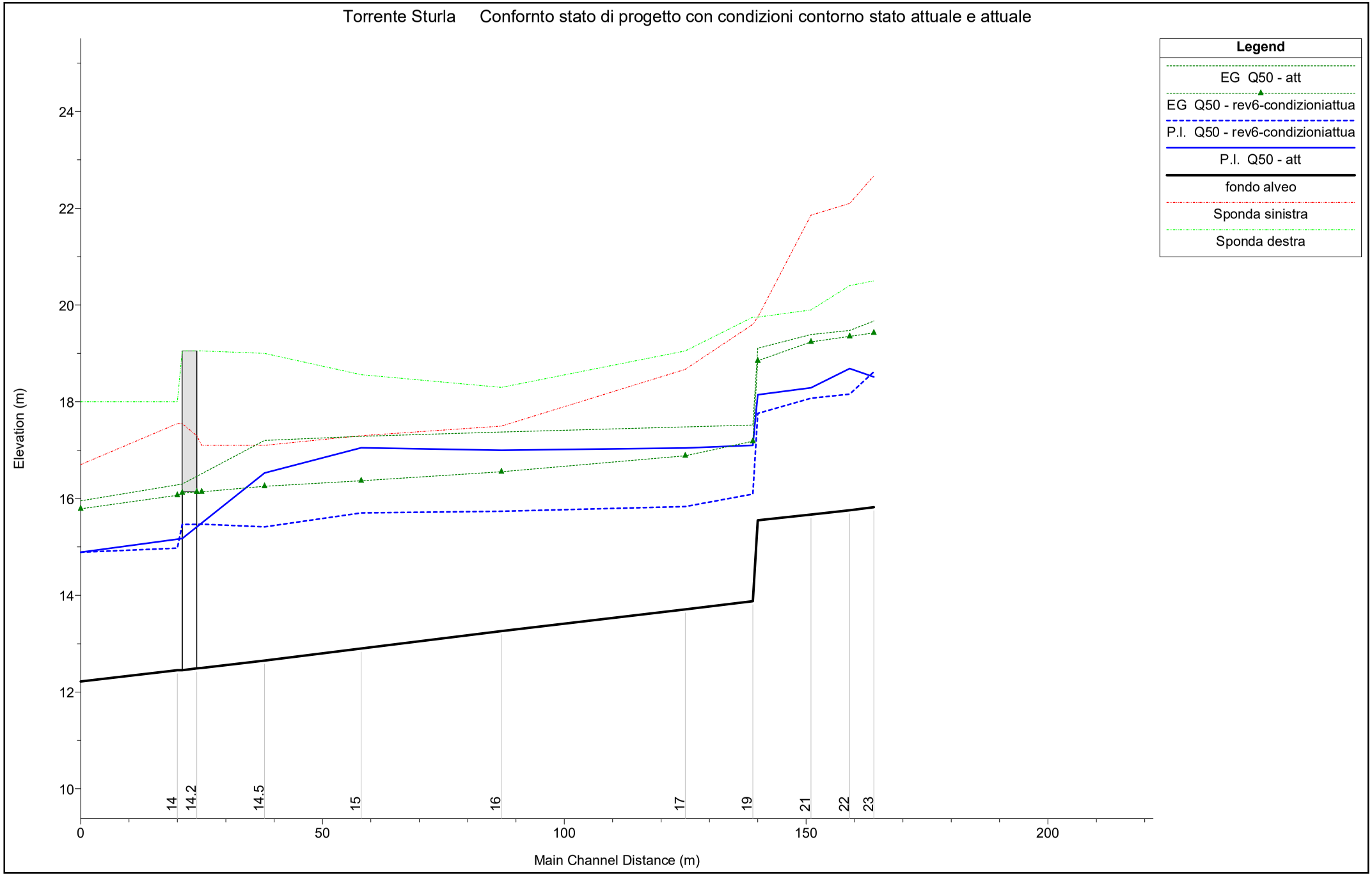
CONFRONTI

- ✓ Profilo Stato attuale/Progetto



1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 1 m

Torrente Sturla Confornto stato di progetto con condizioni contorno stato attuale e attuale



1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 1 m