IMPLUVIO NATURALE - RIO ANONIMO

VERIFICA DELLE SEZIONI CRITICHE DI DEFLUSSO – VERIFICA DEL FRANCO DI SICUREZZA

La modellazione idraulica dell'affluente in sponda sinistra del fiume Bormida in Località San Rocco, è stata condotta con il software **HEC–RAS River Analysis System** sviluppato dall'*Hydrologic Engineering Center* di Davis, CA (USA). Il programma è in grado di eseguire il calcolo dei profili idraulici di moto permanente gradualmente vario nei canali naturali; possono essere simulati correnti lineari in regime di corrente lenta, veloce e mista con sezioni di qualsiasi geometria e in presenza di manufatti idraulici di varie tipologie.

Per valutare il profilo idraulico di un tratto fluviale, il programma utilizza una procedura basata sulla soluzione iterativa (*standard step method*) dell'equazione di bilancio energetico tra due sezioni adiacenti trasversali al moto.

Il moto permanente nel codice HEC-RAS (da HEC-RAS Hydraulic Reference Manual)

Il tracciamento del profilo di moto permanente è condotto secondo il metodo delle differenze finite, risolvendo l'equazione del bilancio energetico per il tronco generico di lunghezza Δx_i , compreso tra la sezione *i-esima* e la sezione *i+1* supposte crescenti nel senso del moto:

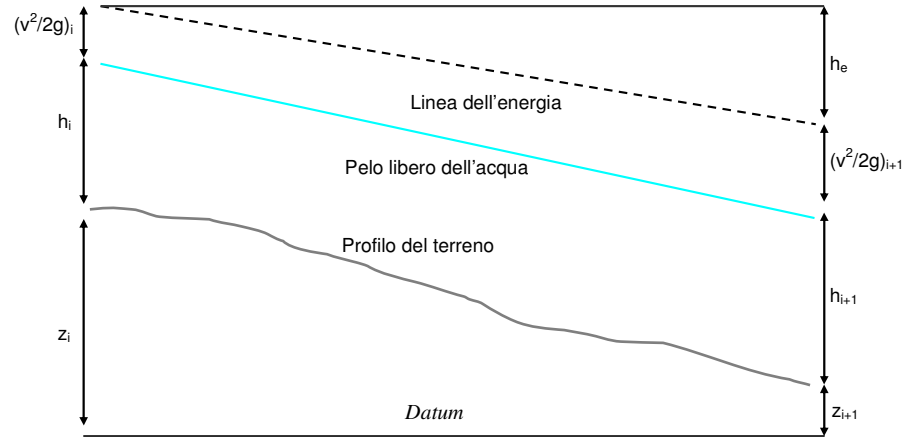
$$H_i=H_{i+1}+h_e$$

ovvero

$$\left(z_0 + h + \alpha \frac{v^2}{2g} \right)_i = \left(z_0 + h + \alpha \frac{v^2}{2g} \right)_{i+1} + \Delta h_e$$

in cui

z_0 = quota topografica del fondo rispetto alla linea di riferimento;
h = tirante idrico (quota della superficie dell'acqua rispetto al punto più profondo della sezione;
v = velocità media;
g = accelerazione gravitazionale;
α = coefficienti di ponderazione della velocità;
Δh_e = perdita di energia.



La perdita di energia tra la sezione *i* e la sezione *i+1* comprende le perdite di carico continue dovute al moto e le perdite localizzate causate dalle contrazioni ed espansioni del flusso. L'equazione delle perdite di energia è la seguente:

$$\Delta h_e = LS_f + C\left|\left(\alpha\frac{v^2}{2g}\right)_{i+1} - \left(\alpha\frac{v^2}{2g}\right)_i\right|$$

dove

L = distanza tra la sezione *i-esima* e la sezione *i+1*;
S_f = *friction slope* (pendenza della linea dell'energia nel tratto Δx_i);
C = coefficienti per le perdite di espansione e contrazione del flusso.

Se Δx_i è piccolo, il metodo fornisce risultati soddisfacenti.

Per l'integrazione dell'equazione differenziale del primo ordine dH/dx = f(x,h) è necessario introdurre una condizione al contorno, ossia assegnare il valore del tirante idraulico in una sezione significativa; nel caso della corrente lenta sarà la sezione di valle che controlla il moto verso monte in quanto piccole perturbazioni potranno propagarsi a ritroso, mentre in presenza di una corrente veloce, sarà la sezione di monte ad influenzare il moto nelle sezioni successive.

Il calcolo della WS (*water surface*) è condotto risolvendo l'equazione di bilancio energetico con il "metodo della secante". Si assume un primo valore di tentativo della WS (*water surface*) nella sezione incognita (se la corrente è veloce, sarà la sezione di valle, che chiamiamo sezione *i+1*) pari alla quota della sezione precedente, quindi si calcolano il termine cinetico e le perdite di carico nel tratto Δx_i. Introducendo queste quantità nell'equazione di bilancio energetico si ottiene il valore della quota del pelo libero nella sezione *i+1* (sezione a valle, se la corrente è veloce):

$$\left(WS^1{}_{calc}\right)_{i+1} = H_i + \Delta h_e - \left(\alpha\frac{v^2}{2g}\right)_{i+1}$$

L'errore nella prima iterazione è pari a

$$err^1 = \left(WS^1{}_{ass}\right)_{i+1} - \left(WS^1{}_{calc}\right)_{i+1} = E_{i+1} - (E_i + \Delta h_e)$$

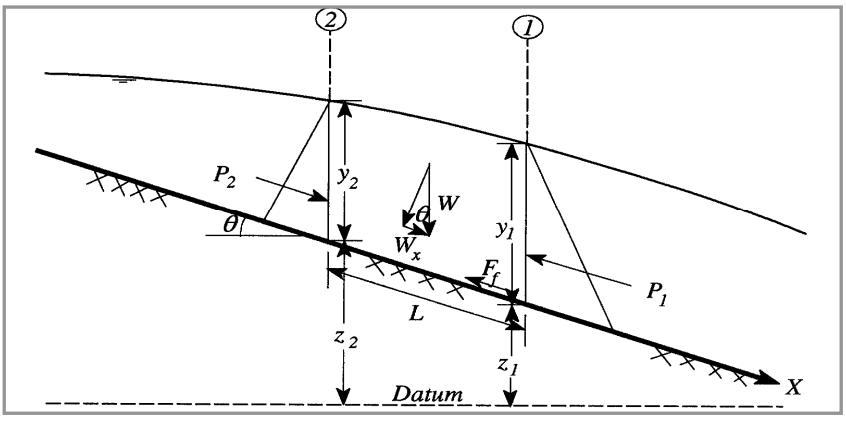
Si assume come valore di tentativo per la seconda iterazione:

$$\left(WS^2{}_{ass}\right)_{i+1} = \left(WS^1{}_{ass}\right)_{i+1} - 0.7err^1$$

e si determina il corrispondente err^2.
Nei tentativi successivi si applica il metodo della secante e si procede fino a quando l'errore diventa minore della tolleranza. Se non si rientra all'interno della tolleranza nel numero di iterazioni previste, si assume la WS (*water surface*) con il minore errore ottenuto.

Spesso in un canale naturale si sviluppa un regime di corrente mista, veloce a monte e lenta a valle; i due profili che si creeranno, saranno connessi tra di loro dal cosiddetto risalto idraulico. In questo caso è necessario fornire due condizioni al contorno, una nella sezione più a monte del tratto per il regime di corrente veloce, l'altra nella sezione più a valle per il regime di corrente lenta.
Quando il profilo idraulico passa attraverso l'altezza critica (nel passaggio tra corrente veloce e corrente lenta) l'equazione dell'energia perde di validità in quanto essa è applicabile, come già evidenziato, solamente nelle situazioni di moto gradualmente vario e non in quelle di moto rapidamente variabile. In questo caso si applica l'equazione del momento. Tale equazione deriva dalla seconda legge di Newton *F=ma* e viene applicata alla massa d'acqua racchiusa dalle due sezioni di monte (sezione 2) e di valle (sezione 1).

\



La formulazione dell'equazione del momento è simile a quella dell'equazione dell'energia:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x$$

in cui

P_1 = pressione idrostatica dell'acqua agente nella sezione 1;
W_x = forza dovuta al peso dell'acqua, in direzione x;
F_f = forza dovuta alle perdite esterne per attrito nelle sezioni 1 e 2;

Q = portata;
ρ = densità dell'acqua;
ΔV_x = variazione dell'energia tra la sezione 1 e la sezione 2 in direzione x.

Si sottolinea che le perdite nell'equazione dell'energia rappresentano le perdite interne di energia, mentre nell'equazione del momento rappresentano le perdite dovute alle forze esterne (nel moto uniforme le perdite interne e quelle esterne sono identiche, nel moto gradualmente vario sono prossime).
HEC RAS può utilizzare l'equazione del momento in corrispondenza del risalto idraulico, nelle giunzioni, in corrispondenza dei ponti e in presenza di brusche variazioni della pendenza dell'alveo tra due sezioni successive.

HEC-RAS calcola le perdite di energia causate dalle strutture quali le tombinature e le suddivide in tre parti: la prima consiste nelle perdite di energia che si verificano nel tratto di canale immediatamente a valle della struttura, dove generalmente si verifica un'espansione del flusso; la seconda parte è la perdita di energia in corrispondenza della struttura stessa, che può essere calcolata utilizzando diversi metodi; la terza parte consiste nelle perdite che si verificano nel tratto di canale immediatamente a monte della struttura, dove il flusso si contrae per passare attraverso l'apertura della tombinatura.
A causa delle analogie tra le tombinature e certi tipi di ponti, le tombinature sono modellate in HEC-RAS in modo del tutto simile ai ponti. La maggior parte degli aspetti della modellazione dei ponti viene applicata anche alla modellazione delle tombinature.

L'algoritmo di calcolo delle perdite di energia dovute ai ponti necessita di quattro sezioni trasversali; durante il calcolo, il programma inserisce automaticamente due sezioni supplementari all'interno della struttura del ponte. La prima sezione, quella più a valle rispetto alla struttura, viene posizionata sufficientemente lontano dal ponte in modo che il flusso si sia completamente espanso ed essa non risenta della presenza del ponte. Una seconda sezione è posizionata, sempre a valle del ponte, ma ad una distanza molto piccola dalla struttura e dovrebbe rappresentare la superficie naturale del terreno a valle del ponte. La terza sezione è posizionata subito a monte della struttura a breve distanza; la quarta sezione è posizionata a monte del ponte ad una distanza tale per cui le linee del flusso sono parallele. Come già specificato, durante il calcolo, il programma inserisce automaticamente due sezioni all'interno del ponte (tra la sezione 2 e la sezione 3); la geometria di tali sezioni è una combinazione tra la geometria del ponte e delle sezioni di bordo 2 e 3. La geometria del ponte consiste nella geometria dell'impalcato, delle pile e delle spalle.

Analisi di moto permanente

Lo studio dell'affluente in sponda sinistra del fiume Bormida in Località San Rocco nel Comune di Cairo Millesimo è stato condotto eseguendo un'analisi di moto permanente nella situazione attuale.

Nella Figura 1 è riportata la planimetria del tratto di corso d'acqua studiato: sono indicati l'alveo allo stato attuale così come ottenuto dal rilievo topografico e le sezioni trasversali posizionate in planimetria per la costruzione della geometria in HEC-RAS.

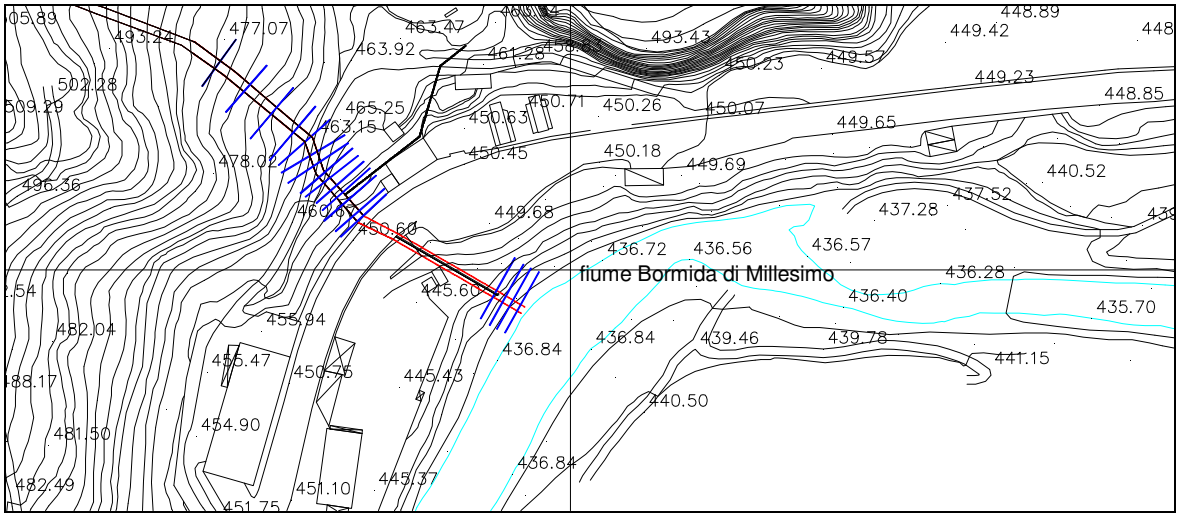


Figura 1 – Planimetria dell'affluente di sinistra del fiume Bormida in prossimità della cava San Rocco

Nella Figura 2 si riporta lo schema planimetrico (inteso come insieme delle sezioni trasversali e dell'asse fluviale che le collega) del corso d'acqua così com'è stato ricostruito in HEC-RAS.

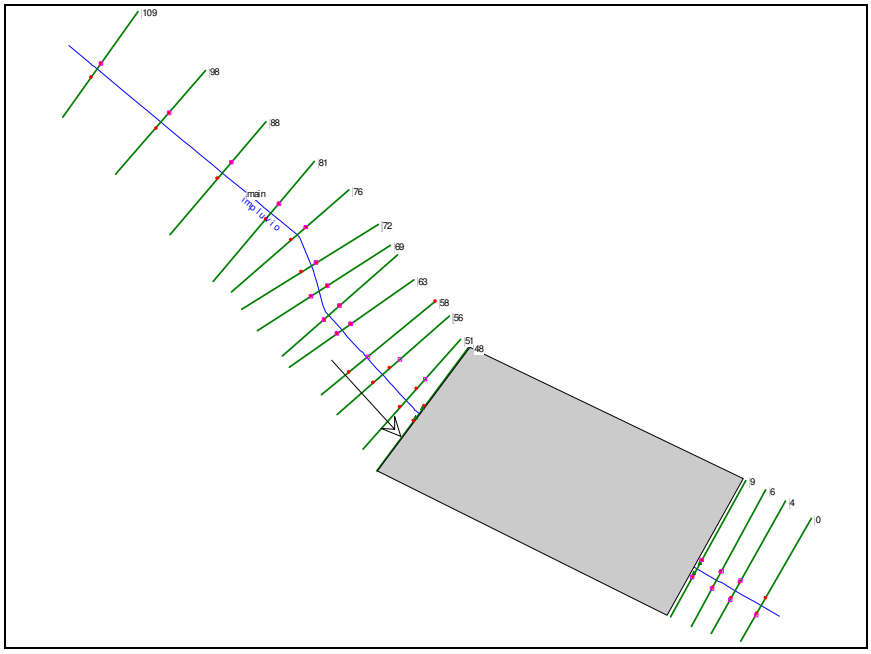


Figura 2 – Schema planimetrico del modello HEC-RAS

Si può ipotizzare che il corso d'acqua, nel tratto studiato, sia a sezione compatta e non presenti zone golenali. La stima del parametro di scabrezza è stata fatta sulla base di osservazioni qualitative che hanno portato ad assumere un valore del coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler K_s pari a 30 $m^{1/3}s^{-1}$ per il fondo dell'alveo e per le sponde. Nel tratto della tombinatura il coefficiente di scabrezza utilizzato è pari a 76.9 $m^{1/3}s^{-1}$.
I parametri di scabrezza sono stati scelti in base alle indicazioni fornite nel documento "*Criteri per la redazione dei piani di bacino. Ambiti normativi delle fasce di inondabilità in funzione dei tiranti idrici e velocità di scorrimento" (approvato con DGR Regione Liguria n.250 del 15/02/2005).* Il dettaglio delle scabrezze assegnate è riportato nell'Appendice 1 (Tabella coefficiente di Manning).

Trattandosi di corrente in regime di moto vario, è stato necessario indicare una condizione al contorno di monte ed una di valle: nello specifico è stata introdotta l'altezza di moto uniforme.

Per calcolare il profilo di moto permanente è stata assunta una portata di colmo con tempo di ritorno pari a 200 anni pari a 4.73 m^3/s in corrispondenza della sezione di monte (sezione 109). Inoltre, per tenere conto degli afflussi laterali provenienti dalla regimazione delle acque della cava, la portata è stata variata a quota 463 m s.l.m. in corrispondenza della sezione 72 ed assunta pari a 5.23 m^3/s; analogamente, in corrispondenza della sezione 51 (a quota 447 m s.l.m.) la portata è stata impostata pari a 5.73 m^3/s.

Nella Figura 3 si riporta una prospettiva del modello HEC-RAS del tratto studiato.

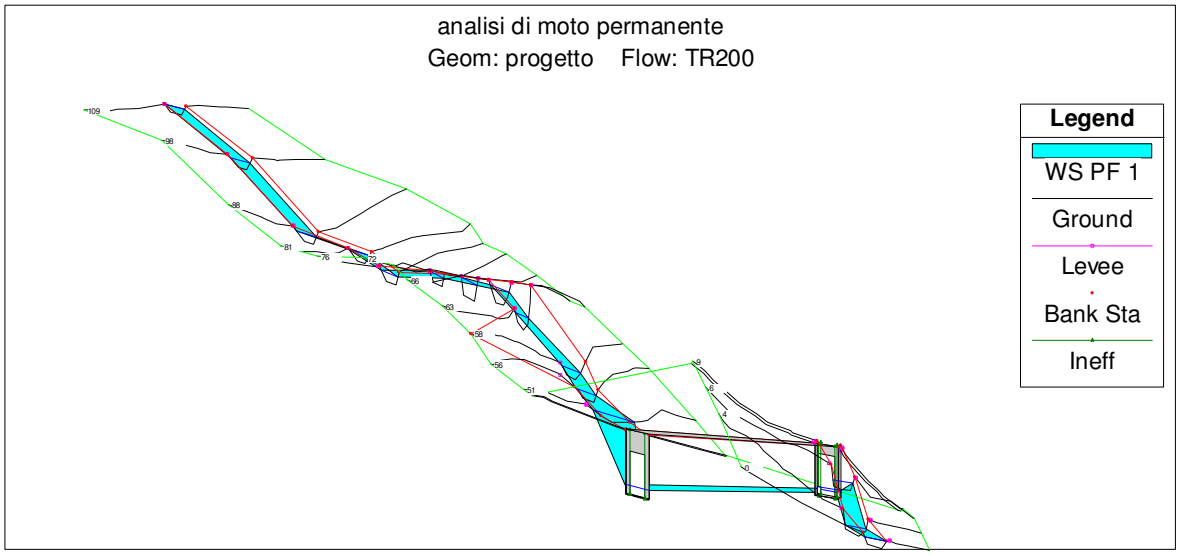
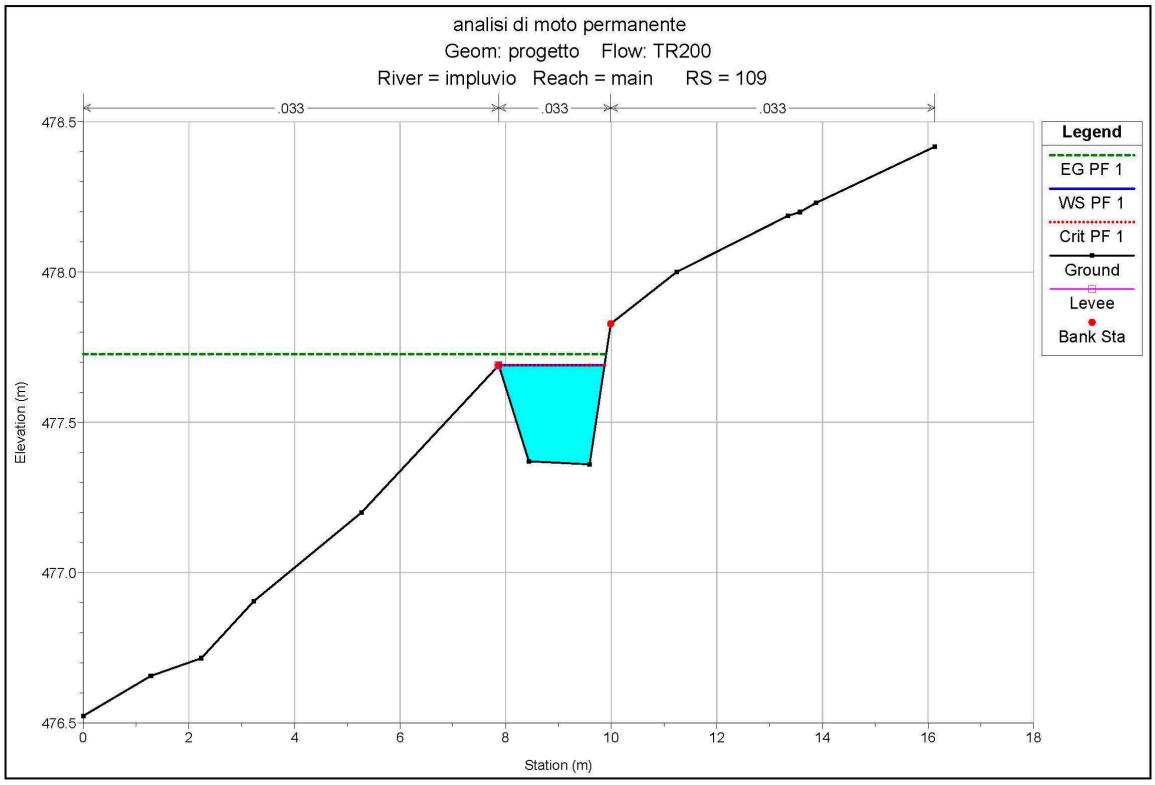
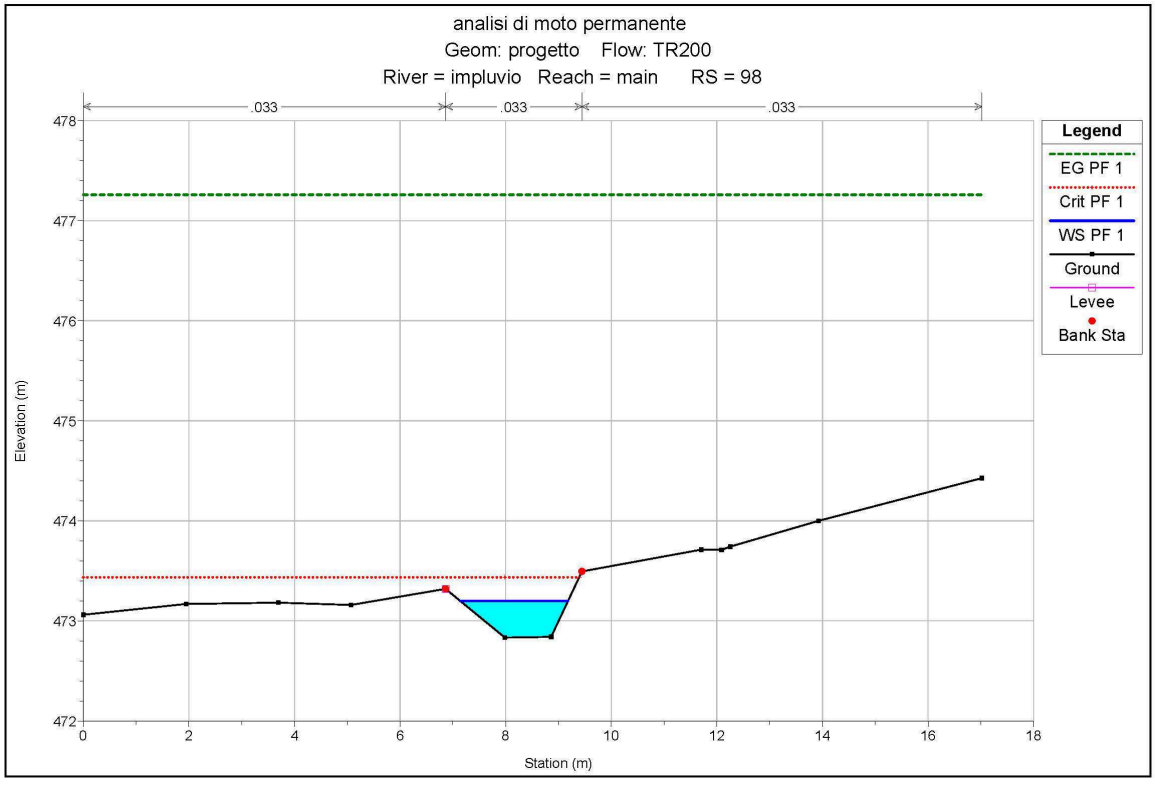
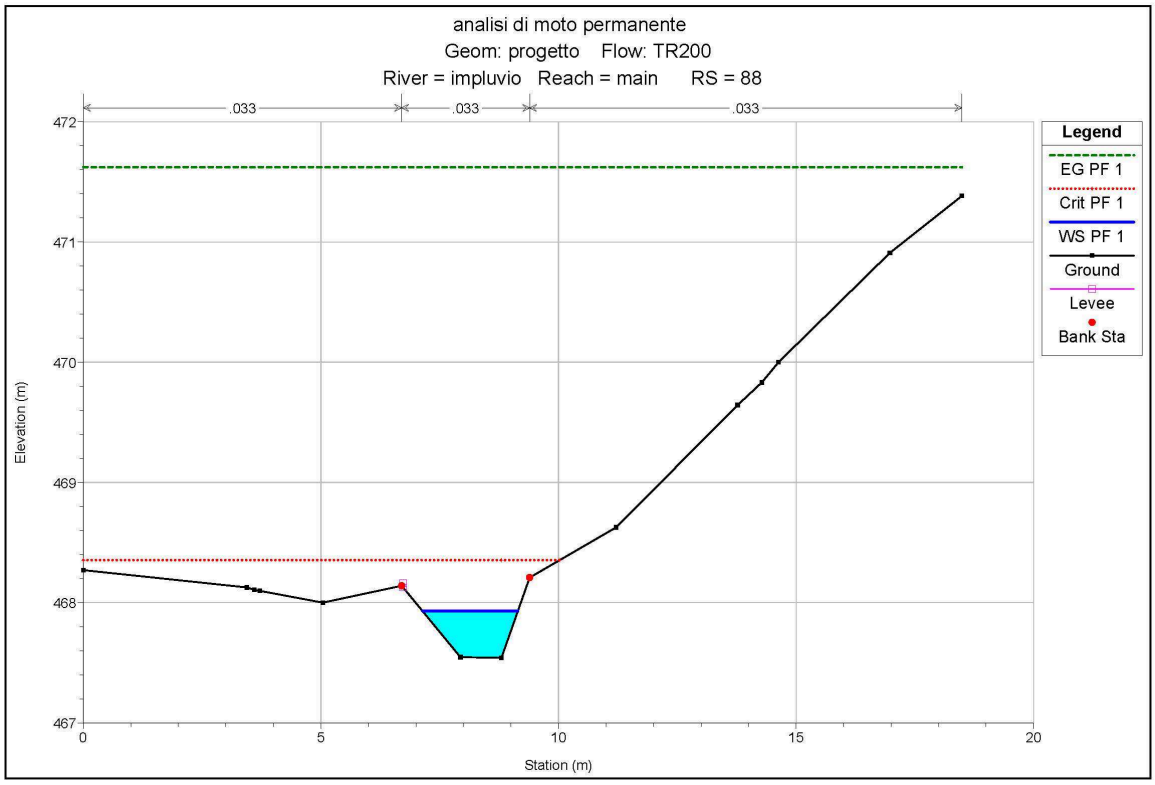


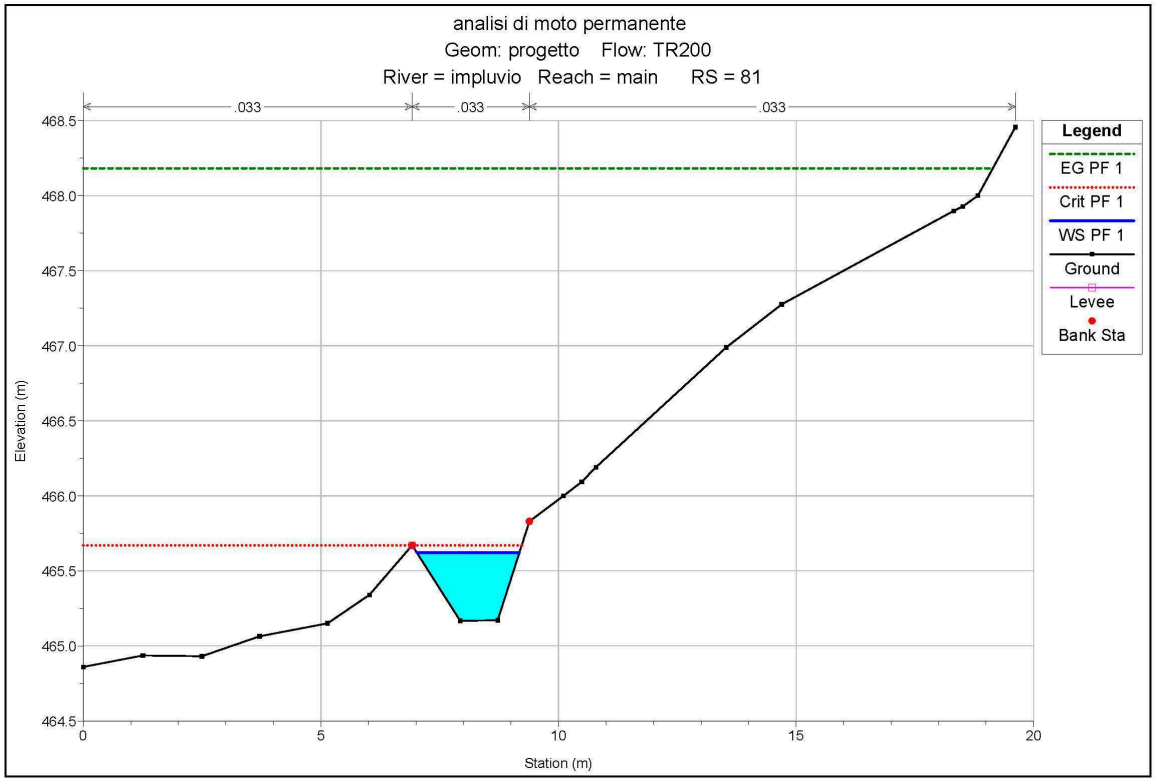
Figura 3 – Vista 3D del modello HEC-RAS

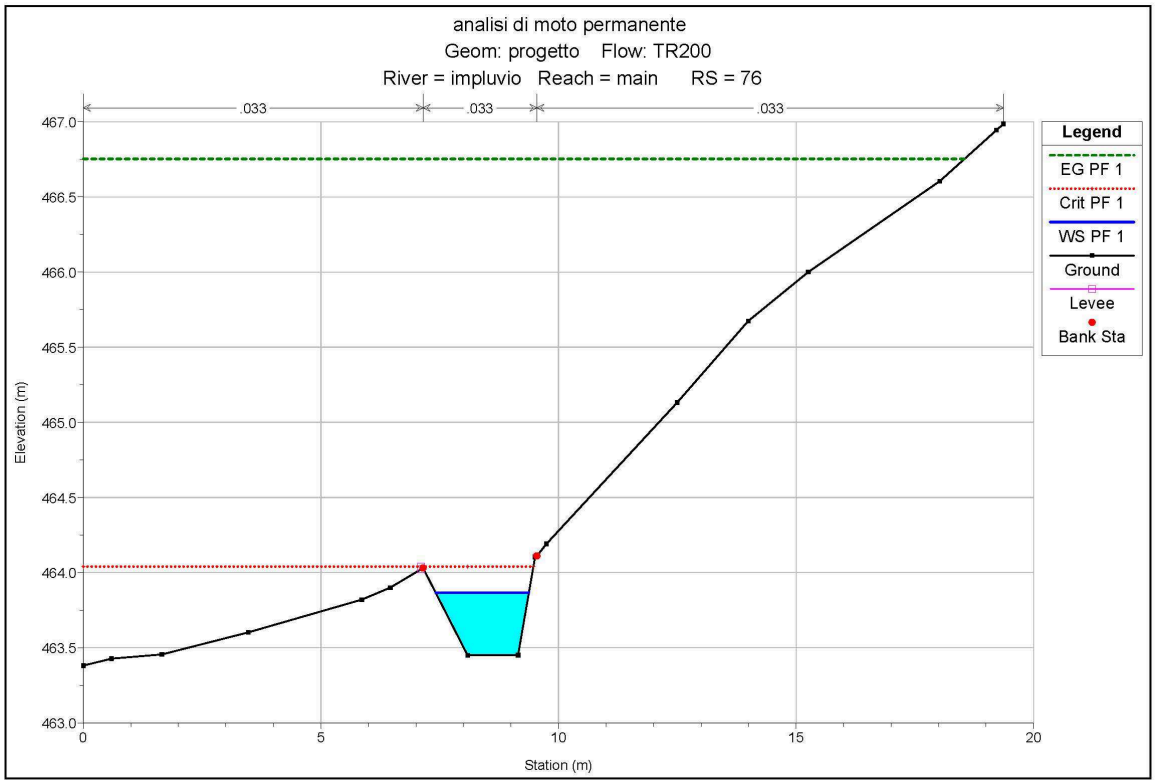
Le figure nelle pagine seguenti mostrano il risultato dell'analisi nell'ipotesi di portata riferita al tempo di ritorno di 200 anni; sono riportate le sezioni principali utilizzate nell'analisi. L'Appendice 1, infine, riporta le tabelle ottenute nel calcolo.

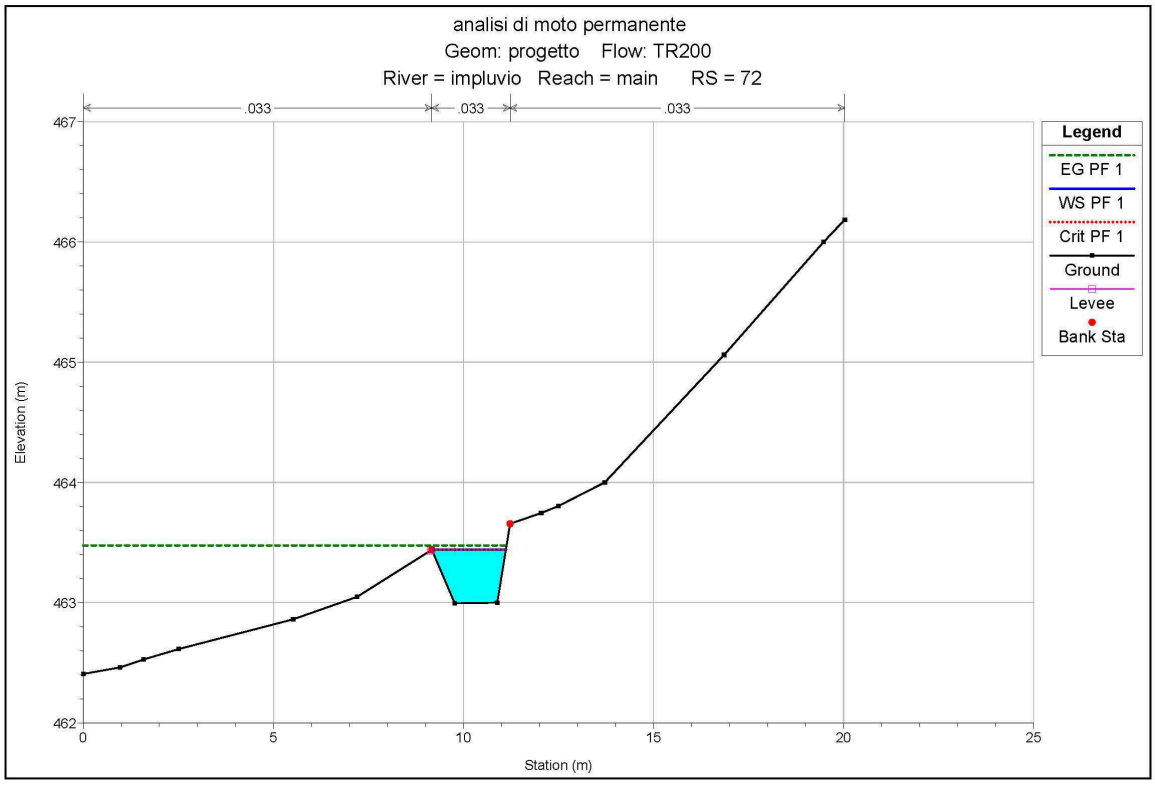

analisi di moto permanente
Geom: progetto Flow: TR200
River = impluvio Reach = main RS = 109
.033
.033
.033
Legend
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 1
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
478.5
478.0
477.5
477.0
476.5
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18

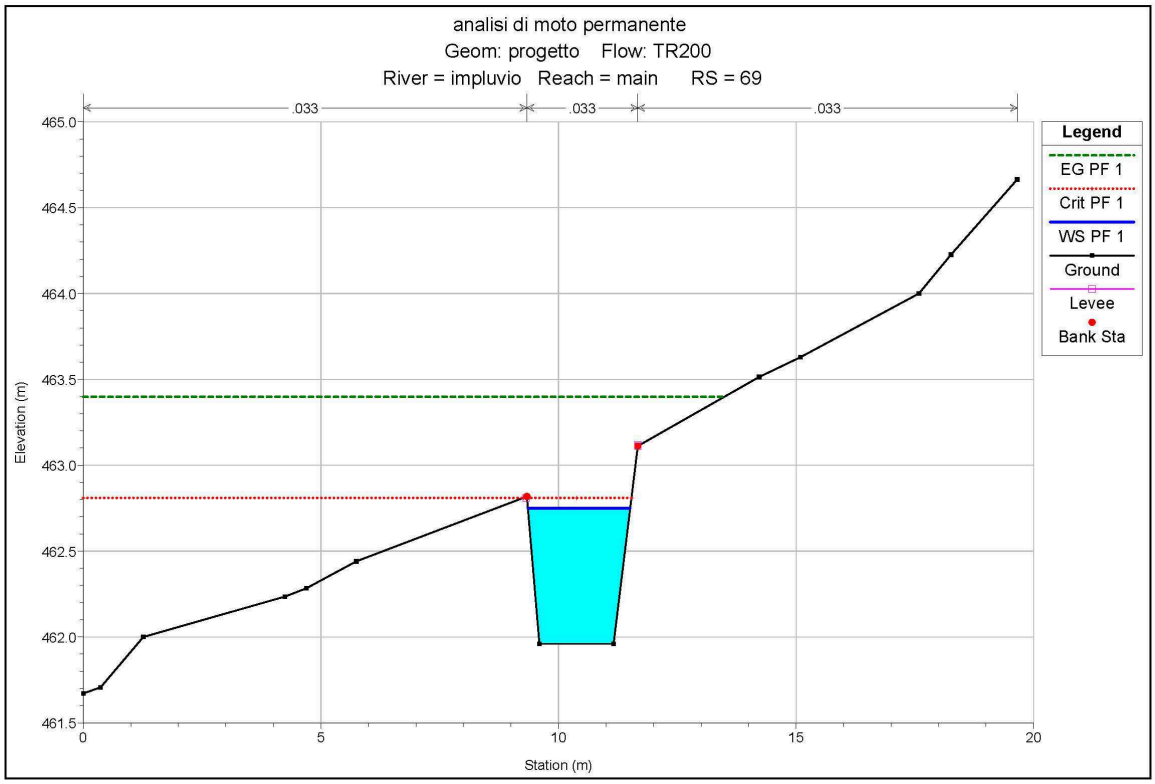

analisi di moto permanente
Geom: progetto Flow: TR200
River = impluvio Reach = main RS = 98
.033
.033
.033
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
478
477
476
475
474
473
472
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18

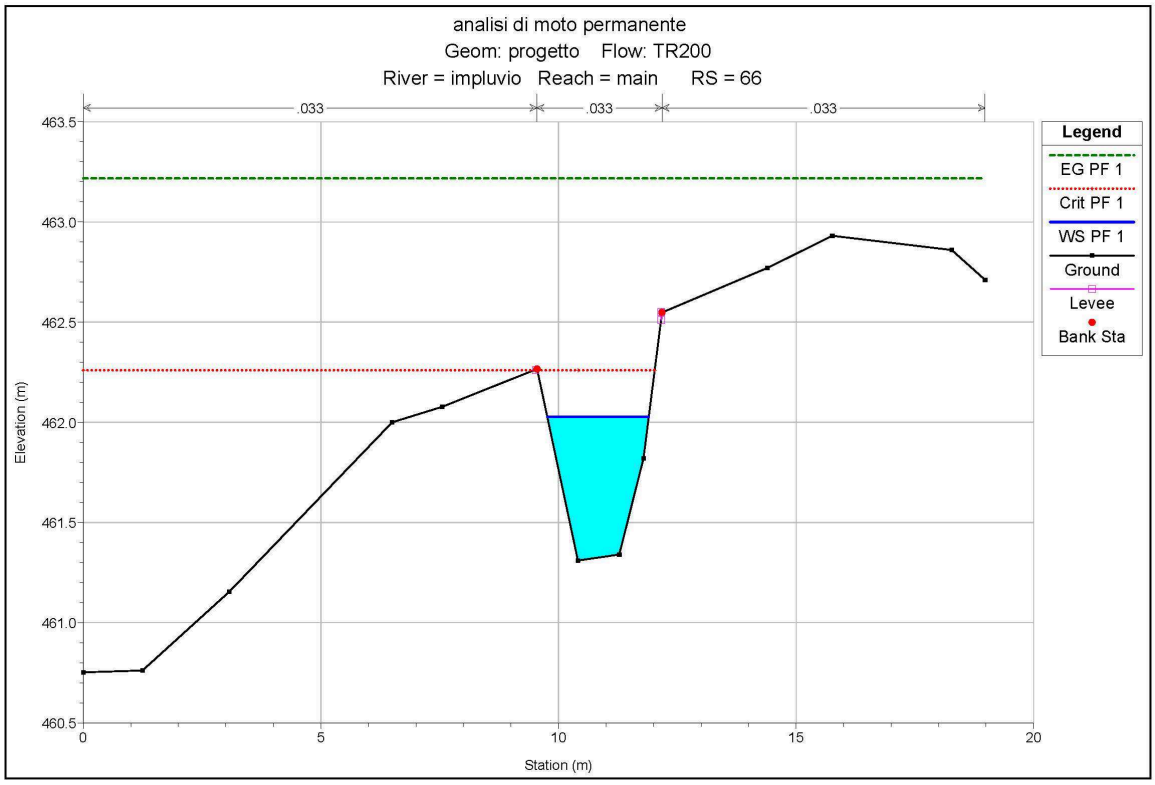

analisi di moto permanente
Geom: progetto Flow: TR200
River = impluvio Reach = main RS = 88
.033
.033
.033
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
472
471
470
469
468
467
0
5
10
15
20

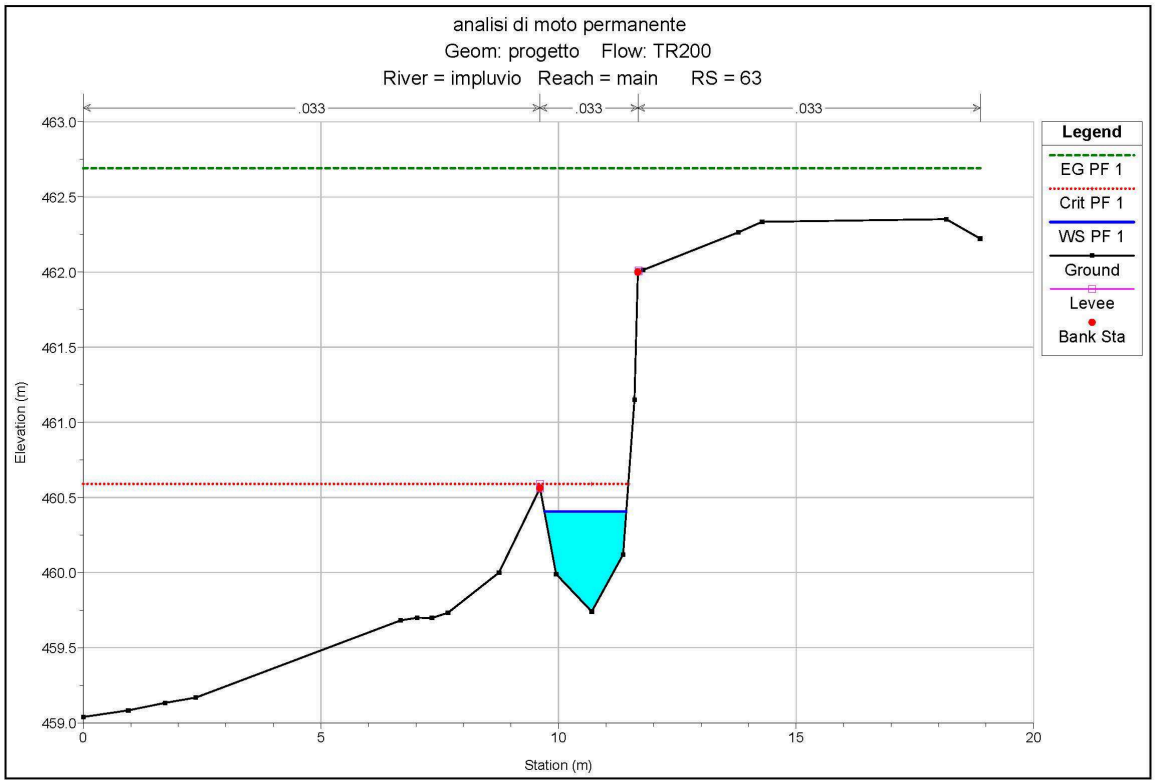

analisi di moto permanente
Geom: progetto Flow: TR200
River = impluvio Reach = main RS = 81
.033
.033
.033
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
468.5
468.0
467.5
467.0
466.5
466.0
465.5
465.0
464.5
0
5
10
15
20

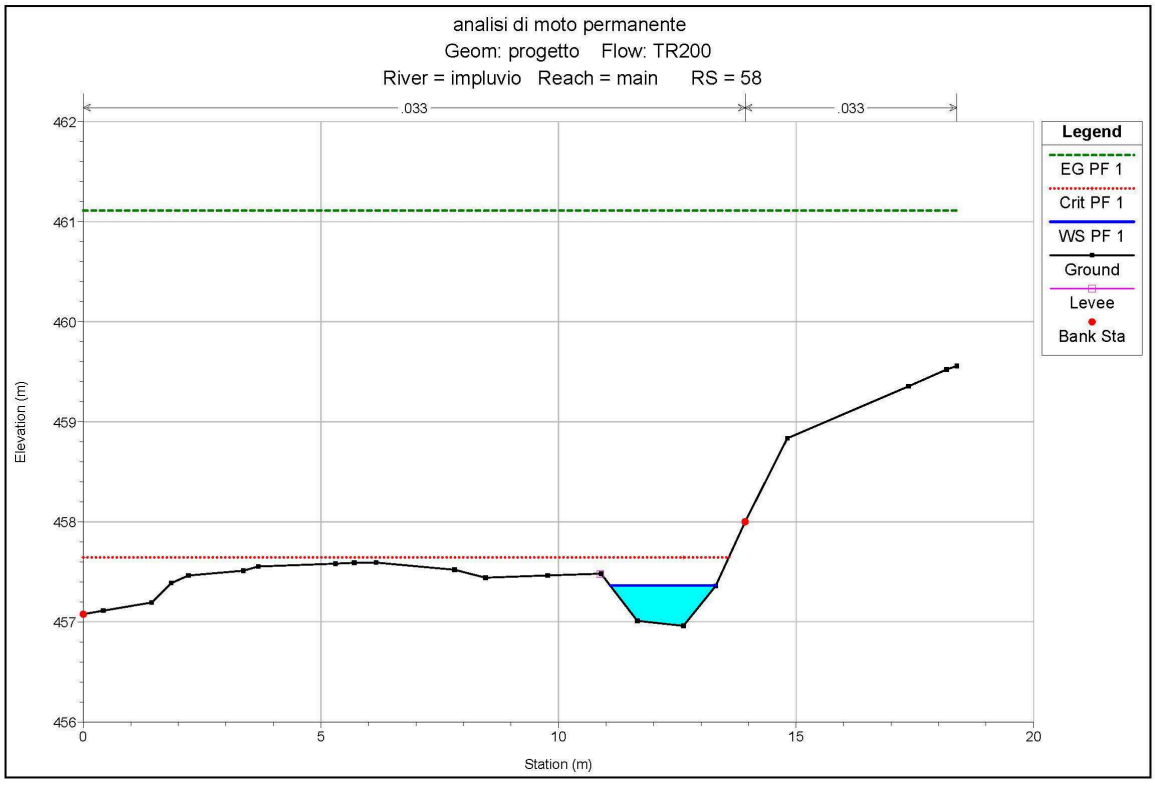

analisi di moto permanente
Geom: progetto Flow: TR200
River = impluvio Reach = main RS = 76
.033
.033
.033
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)

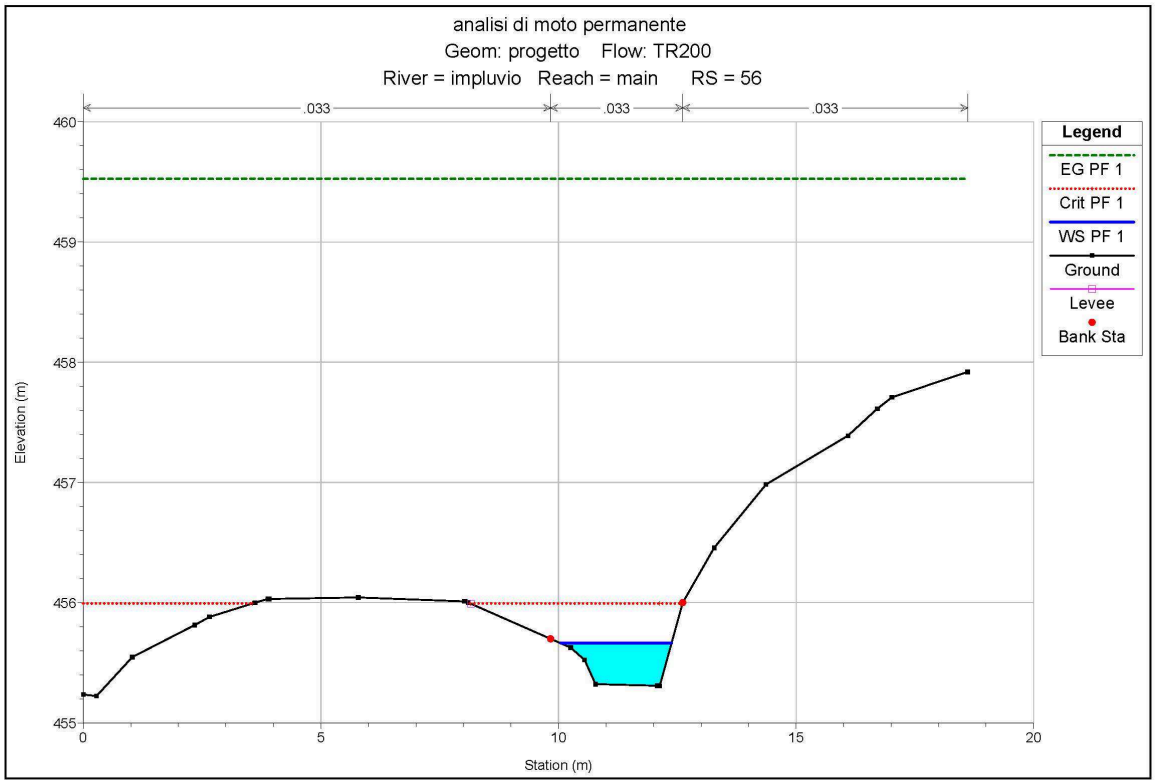

analisi di moto permanente
Geom: progetto Flow: TR200
River = impluvio Reach = main RS = 72
.033
.033
.033
Legend
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 1
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)

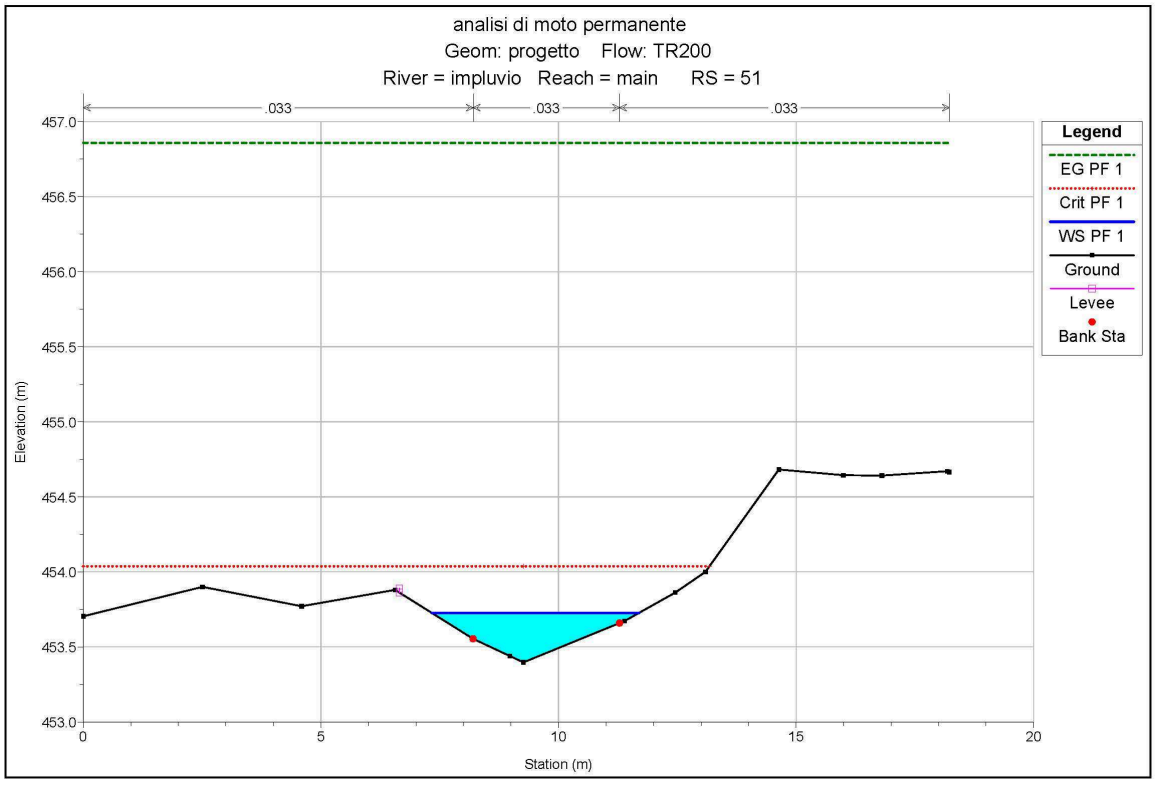

analisi di moto permanente
Geom: progetto Flow: TR200
River = impluvio Reach = main RS = 69
.033
.033
.033
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
465.0
464.5
464.0
463.5
463.0
462.5
462.0
461.5
0
5
10
15
20

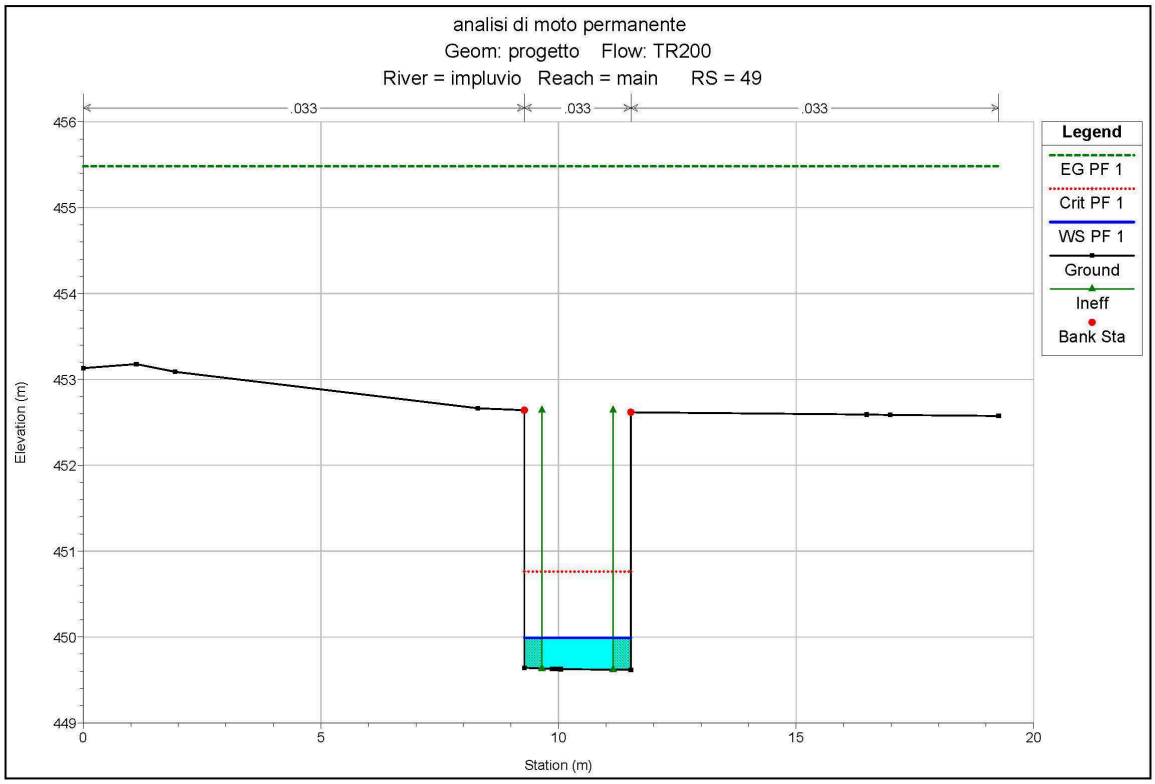

analisi di moto permanente
Geom: progetto Flow: TR200
River = impluvio Reach = main RS = 66
.033
.033
.033
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
463.5
463.0
462.5
462.0
461.5
461.0
460.5
0
5
10
15
20

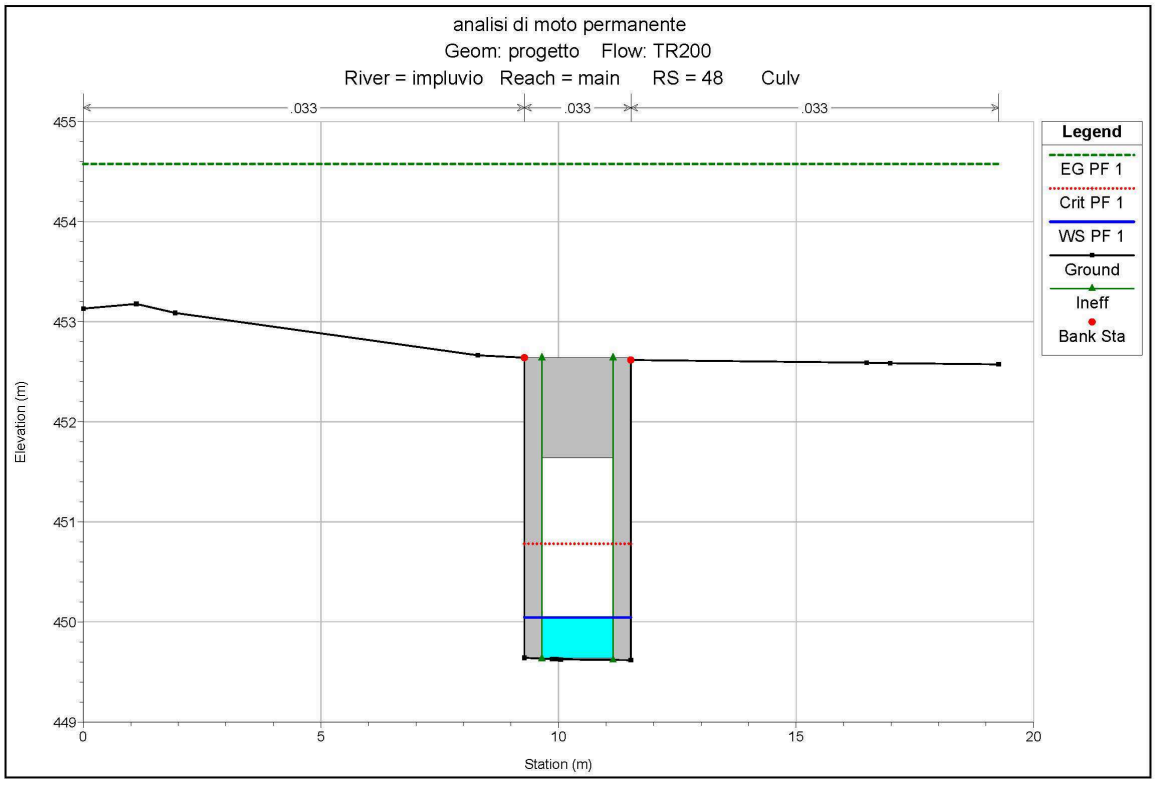

analisi di moto permanente
Geom: progetto Flow: TR200
River = impluvio Reach = main RS = 63
.033
.033
.033
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
463.0
462.5
462.0
461.5
461.0
460.5
460.0
459.5
459.0
0
5
10
15
20

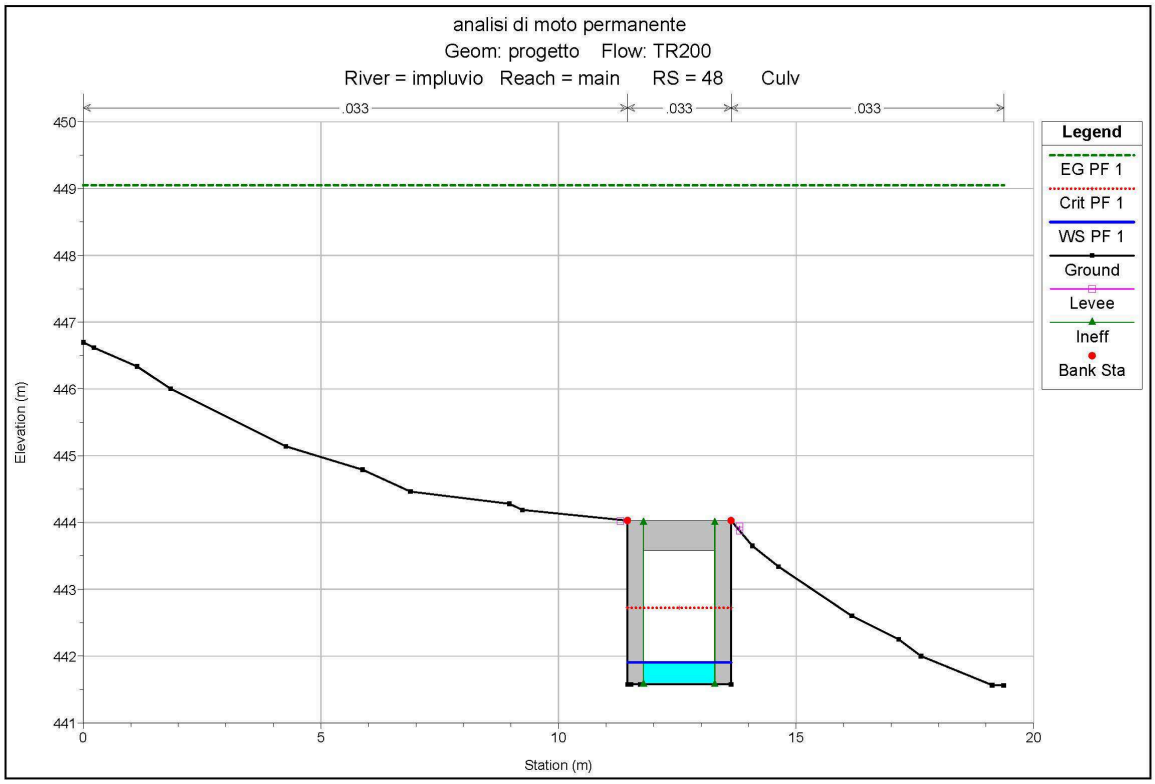

analisi di moto permanente
Geom: progetto Flow: TR200
River = impluvio Reach = main RS = 58
.033
.033
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
462
461
460
459
458
457
456
0
5
10
15
20

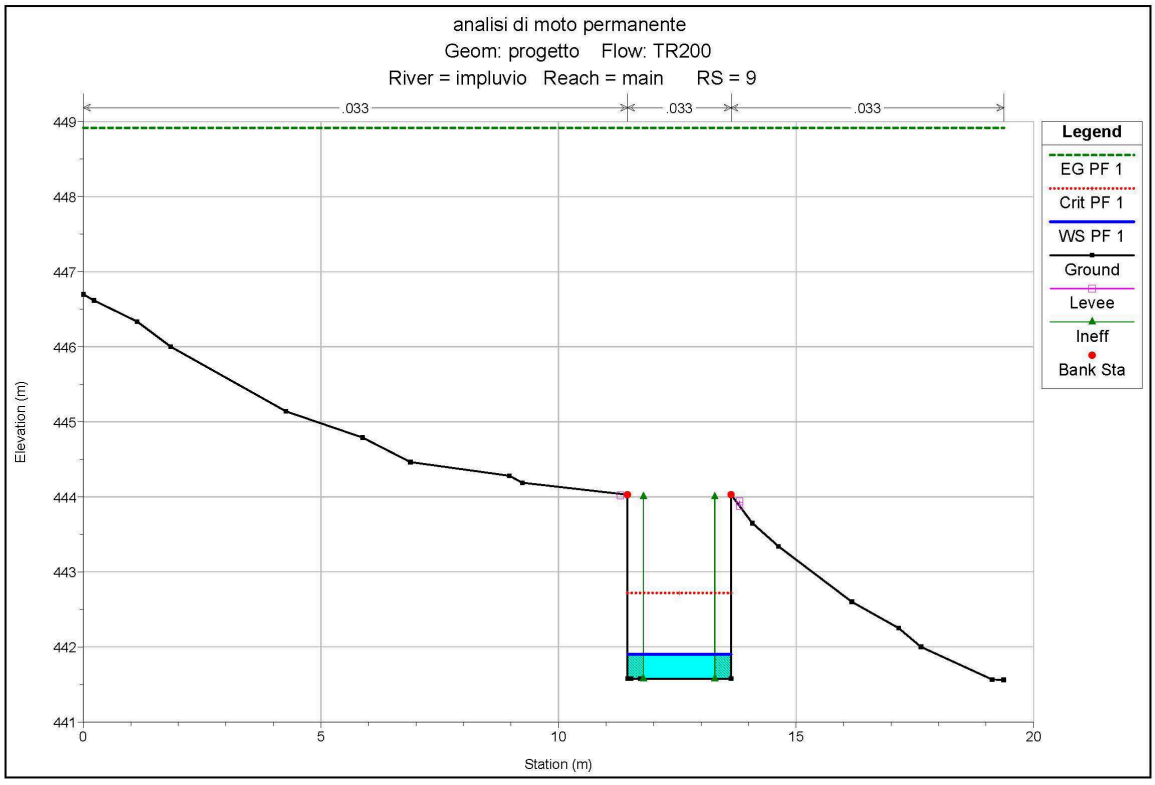

analisi di moto permanente
Geom: progetto Flow: TR200
River = impluvio Reach = main RS = 56
.033
.033
.033
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
460
459
458
457
456
455
0
5
10
15
20

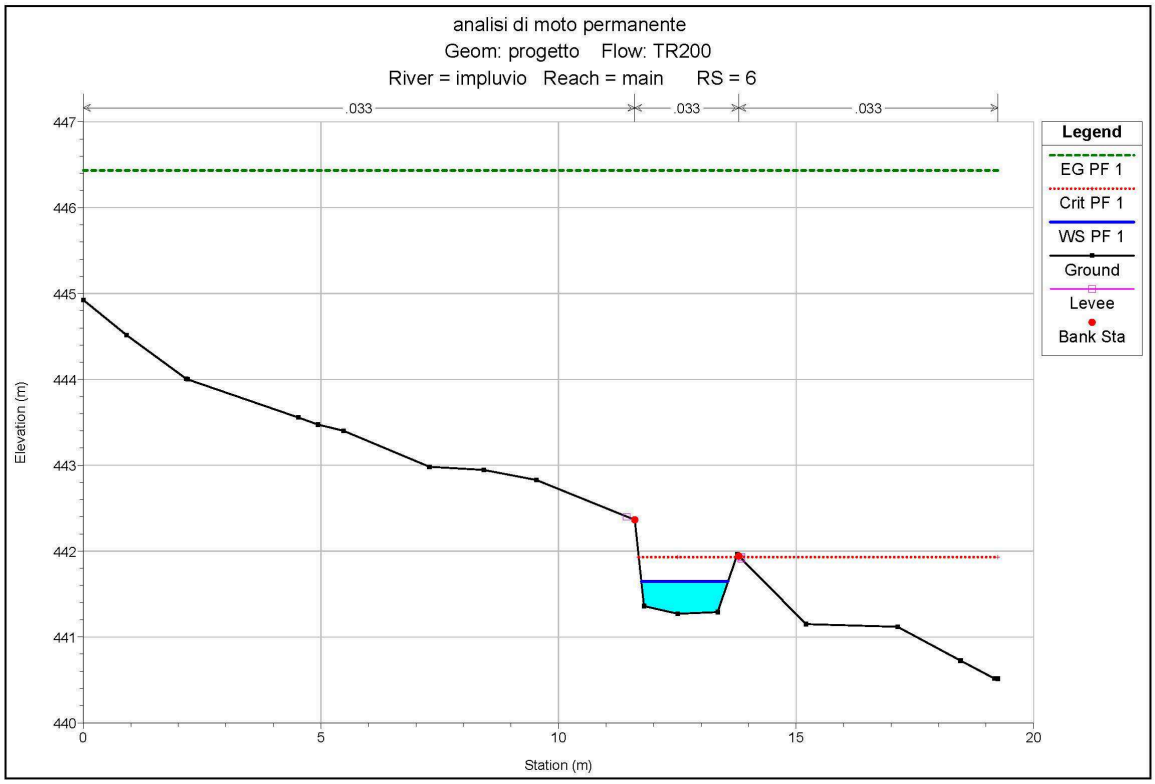

analisi di moto permanente
Geom: progetto Flow: TR200
River = impluvio Reach = main RS = 51
.033
.033
.033
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
457.0
456.5
456.0
455.5
455.0
454.5
454.0
453.5
453.0
0
5
10
15
20

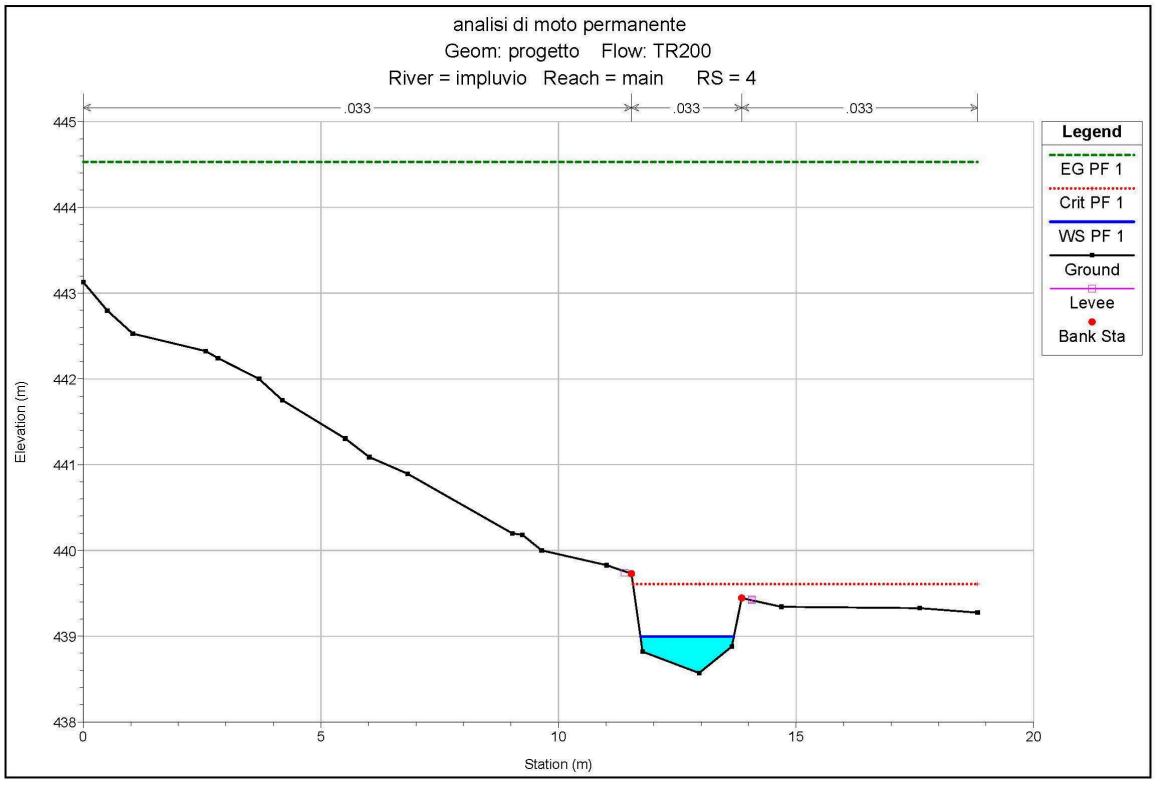

analisi di moto permanente
Geom: progetto Flow: TR200
River = impluvio Reach = main RS = 49
.033
.033
.033
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Ineff
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
456
455
454
453
452
451
450
449
0
5
10
15
20

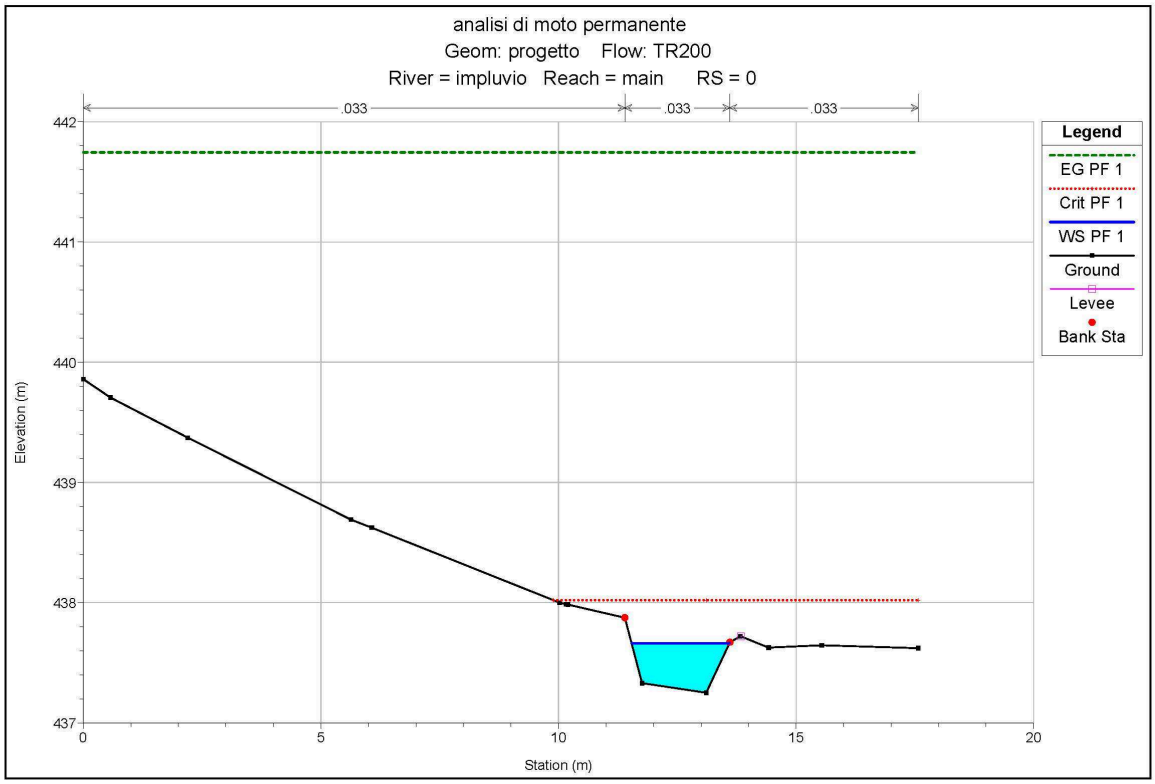

analisi di moto permanente
Geom: progetto Flow: TR200
River = impluvio Reach = main RS = 48 Culv
.033
.033
.033
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Ineff
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
455
454
453
452
451
450
449
0
5
10
15
20

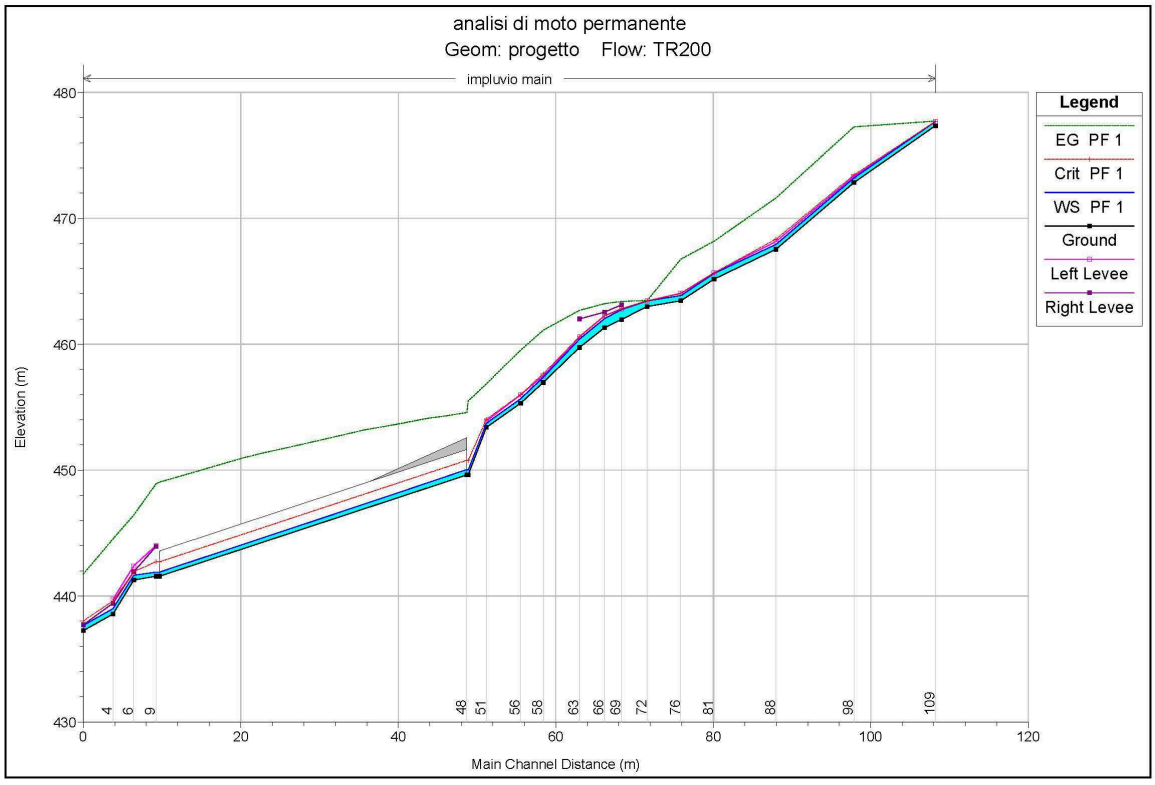

analisi di moto permanente
Geom: progetto Flow: TR200
River = impluvio Reach = main RS = 48 Culv
.033
.033
.033
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Levee
Ineff
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
450
449
448
447
446
445
444
443
442
441
0
5
10
15
20


analisi di moto permanente
Geom: progetto Flow: TR200
River = impluvio Reach = main RS = 9
.033
.033
.033
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Levee
Ineff
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
449
448
447
446
445
444
443
442
441
0
5
10
15
20


analisi di moto permanente
Geom: progetto Flow: TR200
River = impluvio Reach = main RS = 6
.033
.033
.033
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
447
446
445
444
443
442
441
440
0
5
10
15
20


analisi di moto permanente
Geom: progetto Flow: TR200
River = impluvio Reach = main RS = 4
.033
.033
.033
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
445
444
443
442
441
440
439
438
0
5
10
15
20


analisi di moto permanente
Geom: progetto Flow: TR200
River = impluvio Reach = main RS = 0
.033
.033
.033
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)


analisi di moto permanente
Geom: progetto Flow: TR200
impluvio main
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Left Levee
Right Levee
Elevation (m)
Main Channel Distance (m)

APPENDICE 1
ALLEGATI HEC-RAS