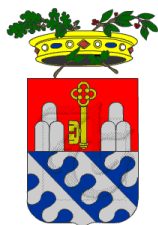


REGIONE PIEMONTE



PROVINCIA DEL VERBANO
CUSIO OSSOLA



COMUNE DI
PIEVE VERGONTE



COMMITTENTE:

EDIFICA S.r.l.
Via Marconi 14, 28845 DOMODOSSOLA - VB

OGGETTO DEI LAVORI:

NUOVO IMPIANTO IDROELETTRICO CON DERIVAZIONE
DELL'ACQUA DALLO SCARICO DI CENTRALI ESISTENTI
SUL RIO ARSA

ANALISI IDROLOGICA E VERIFICA IDRAULICA DEL
BACINO DEL TORRENTE ARSA PER IL TRATTO IN
FREGIO ALLA CENTRALE DI PRODUZIONE

ANALISI IDROLOGICA DEL BACINO E VERIFICA
IDRAULICA TORRENTE ARSA

RELAZIONE
D.Lgs 387/2003 - art.10 del PAI

Località:

RUMIANCA



STUDIO GEOLOGICO ASSOCIATO
Bossalini dott. Germano & Cattin dott. Marco

Via Marzabotto, 26
28845 DOMODOSSOLA (VB)
tel/fax. 0324 243689

E.mail: germano.bossalini@geologipiemonte.it
marco.cattin@geologipiemonte.it

DATA : Luglio 2016

REV.0

INDICE

1. PREMESSA.....	3
1.1 RILIEVO TOPOGRAFICO.....	3
2. ANALISI IDROLOGICA.....	4
2.1 ELEMENTI DI MORFOMETRIA DEL BACINO.....	4
2.1.1 Parametri esprimanti le dimensioni planimetriche del bacino.....	4
2.1.2 Parametri che definiscono la forma del bacino.....	4
2.1.3 Parametri che definiscono il rilievo del bacino.....	5
2.1.4 Parametri che definiscono la pendenza del bacino.....	5
2.1.5 Parametri esprimanti l'organizzazione del reticolo fluviale.....	6
2.2 CURVA IPSOMETRICA.....	8
2.3 EQUAZIONE DELLA CURVA DI POSSIBILITA' CLIMATICA E DETERMINAZIONE DEGLI AFFLUSSI.....	8
2.4 AFFLUSSI SUI BACINI IMBRIFERI.....	9
2.5 CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA SUI BACINI IDROGRAFICI.....	10
2.5.1 Tempo di corrivazione t_c	11
2.5.2 Coefficiente di deflusso c	12
2.6 VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA PER IL TORRENTE ARSA.....	14
3. CARATTERIZZAZIONE GRANULOMETRICA DELL'ALVEO.....	15
3.1 I VARI TIPI DI TRASPORTO SOLIDO.....	15
3.2 VALUTAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO.....	16
3.2.1 Sintesi dei risultati.....	17
4. VERIFICHE IN CONDIZIONE DI MOTO PERMANENTE.....	17

1. PREMESSA

Le indagini idrologiche ed idrauliche sono state svolte alla luce di quanto indicato nel Progetto di Piano per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Po Norme di attuazione – Allegato 1- “Direttiva sulla piena da assumere per la progettazione e le verifiche di compatibilità idraulica.

La direttiva, in attuazione dell'art. 10 del PAI, contiene i valori delle precipitazioni intense nelle diverse aree del bacino e quelli delle portate di piena sui corsi d'acqua principali, interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali (nell'ambito del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali - PSFF e del PAI) e, per gli stessi corsi d'acqua, il profilo della piena di progetto.

Per i corsi d'acqua interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali, i dati idrologici forniti costituiscono riferimento per le procedure di valutazione della compatibilità idraulica delle opere pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle Fasce A e B, di cui all'art. 38 delle Norme di attuazione del PAI, che sono definite dalla specifica “*Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle Fasce A e B*”.

1.1 RILIEVO TOPOGRAFICO

Il rilievo topografico di dettaglio, è stato eseguito da Delta Engineering che ha fornito le sezioni su cui eseguire la verifica idraulica.

Per eseguire lo studio idraulico delle caratteristiche energetiche medie della corrente è stato impiegato il programma HEC-RAS che ha richiesto l'inserimento delle caratteristiche geometriche dell'alveo lungo tutta la tratta indagata, di circa 700 m di alveo in parte arginato.

Sono state restituite un totale di 16 sezioni, perpendicolari all'asse del torrente ed integrate automaticamente dall'operatore nei punti dell'alveo utili allo studio.

2. ANALISI IDROLOGICA

2.1 ELEMENTI DI MORFOMETRIA DEL BACINO

2.1.1 Parametri esprimanti le dimensioni planimetriche del bacino

L'area A del bacino è l'area (misurata generalmente in kmq) della proiezione orizzontale del bacino delimitato dallo spartiacque topografico. Si ricava da opportune carte topografiche, nel caso la CTR scala 1:10.000 ed è risultato di circa 18,71 kmq.

Il perimetro P è la lunghezza (misurata generalmente in km) del contorno del bacino che è pari a 18,85 km.

Per esprimere la dimensione longitudinale del bacino si assume in genere la lunghezza dell'asta fluviale principale L , misurata (normalmente in km) dallo spartiacque fino alla sezione di chiusura del bacino. Nel caso in esame è risultata pari a 7,2 km.

2.1.2 Parametri che definiscono la forma del bacino

Per caratterizzare la forma dei bacini idrografici sono stati proposti diversi parametri, detti *fattori di forma o coefficienti di forma*. Tutti questi parametri sostanzialmente misurano, in un modo o nell'altro, il grado di allungamento del bacino.

Il *rapporto di circolarità* R_c (Miller, 1953; Gregory e Walling, 1973) è il rapporto tra l'area A del bacino e l'area del cerchio di uguale perimetro P :

$$R_c = \frac{4A}{P^2} = 12.6 \frac{A}{P^2}.$$

Il *coefficiente di uniformità* (o fattore di compattezza) R_u è il rapporto tra il perimetro P del bacino e la circonferenza del cerchio di uguale area A (Gregory e Walling, 1973):

$$R_u = \frac{P}{2\sqrt{A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}.$$

Tra il rapporto di circolarità e il coefficiente di uniformità esiste una relazione funzionale. Si verifica infatti, immediatamente che è

$$R_c = \frac{1}{R_u^2}.$$

Il *fattore di forma* R_f (Horton, 1932; Gregory e Walling, 1973) è il rapporto tra l'area A del bacino e il quadrato della lunghezza L dell'asta fluviale principale:

$$R_f = \frac{A}{L^2}.$$

Al fattore di forma R_f è legato funzionalmente il rapporto di allungamento R_a (Schumm, 1956; Gregory e Walling, 1973), definito come il rapporto tra il diametro del cerchio di uguale area A e la lunghezza L dell'asta fluviale principale:

$$R_a = \frac{2\sqrt{A}}{L} = 1.13 \sqrt{\frac{A}{L^2}}.$$

2.1.3 Parametri che definiscono il rilievo del bacino

L'andamento altimetrico di un bacino è descritto dalla curva ipsografica, che si ottiene riportando in un diagramma cartesiano i punti le cui ordinate e ascisse rappresentano, rispettivamente, la quota e l'area totale delle porzioni di bacino che si trovano a quota superiore a questa. Generalmente le quote si riferiscono, alla sezione di chiusura.

Dalla curva ipsografica si determinano facilmente l'altezza media z e l'altezza mediana Z . L'altezza media z è definita dalla relazione (in cui A_b è l'area del bacino)

$$\bar{z} = \frac{1}{A_b} \int z dA$$

L'area del rettangolo con base A_b e altezza z è dunque equivalente all'area sottesa dalla curva ipsografica. L'altezza mediana Z è l'altezza alla quale corrisponde, nella curva ipsografica, la metà dell'area del bacino.

Un altro parametro caratteristico, che prende il nome di rilievo del bacino, è la differenza $\Delta z_{\max}$ tra la quota del punto più elevato dello spartiacque e quella della sezione di chiusura (Gregory e Walling, 1973).

2.1.4 Parametri che definiscono la pendenza del bacino

Per caratterizzare la pendenza media dei versanti di un bacino idrografico sono stati proposti diversi indici, caratterizzati da una maggiore o minore precisione.

Un primo indice della pendenza media del bacino è quello che si ricava adoperando il metodo di Alvord-Horton (Horton, 1914; Tonini, 1959). Il metodo consiste nel misurare la lunghezza totale L delle linee di livello (di assegnata equidistanza Δz) comprese nel bacino e quindi nel calcolare la pendenza media i_m per mezzo della relazione

$$i_m = \frac{\Delta z L}{A}$$

dove A è, al solito, l'area del bacino.

Nel nostro caso la pendenza media del bacino è calcolata automaticamente utilizzando un modello digitale del terreno DTM a maglia triangolare:

$$i_m = \frac{\sum_i (p_i \times A_i)}{A}$$

dove p_i è la massima pendenza di un triangolo del DTM e A_i è l'area del triangolo.

Oltre a questi due indici della pendenza del bacino, se ne hanno altri uno, detto rapporto di rilievo, è il rapporto i_{max} tra il rilievo Δz_{max} del bacino e la lunghezza L dell'asta principale (Horton, 1932; Gregory e Walling, 1973)

$$i_{max} = \frac{\Delta z_{max}}{L}$$

Altro parametro è la *pendenza media dei versanti* i_v :

$$i_v = \frac{h_{max} - h_{min}}{\frac{A}{L_i}}$$

dove h_{max} è la quota del punto più elevato dello spartiacque e h_{min} quella della sezione di chiusura A è l'area del bacino ed L_i la lunghezza planimetrica della rete idrografica complessiva.

Un altro indice sempre relativo a alla pendenza di un bacino è *la pendenza media dell'asta principale*, definita come la pendenza della retta di compenso tracciata sopra un grafico in cui è riportato il profilo longitudinale del corso d'acqua principale (Tonini, 1959).

2.1.5 Parametri esprimenti l'organizzazione del reticolo fluviale.

Un primo semplicissimo parametro che caratterizza l'organizzazione della rete idrografica, ricavato dalla descrizione che precede, è *l'ordine del bacino*, definito come l'ordine del corso d'acqua che termina alla sezione di chiusura. L'ordine del bacino dipende naturalmente dal rilievo topografico adoperato, che a seconda della scala risulta più o meno ricco di dettagli.

Un altro parametro che caratterizza l'organizzazione del reticolo fluviale è il numero delle aste di primo ordine N_1 .

L'ordine del bacino e il numero delle aste di primo ordine dipendono evidentemente in modo diretto dall'estensione del bacino, e quindi non si prestano bene per fare confronti tra bacini diversi. Per questa ragione si introducono altri parametri, in cui si tiene conto anche dell'area.

La frequenza di drenaggio (misurata in km al km quadrato) F_d è il rapporto tra il numero totale di segmenti N del reticolo idrografico e l'area del relativo bacino idrografico A :

$$F_d = \frac{N}{A}$$

La densità di drenaggio è definita come il rapporto

$$D = \frac{L}{A}$$

(misurata in km al km quadrato) tra la lunghezza totale L di tutti i corsi d'acqua e l'area A del bacino (Horton, 1932; Gregory e Walling, 1973; Tonini, 1959). In bacini impermeabili, sottoposti a un regime di precipitazioni elevate, D può essere uguale a $0,93 \div 1,24 \text{ km/km}^2$ (Gregory e Walling, 1973).

Nel complesso la forma del bacino del torrente Arsa è discretamente regolare anche se può essere suddiviso in due sottobacini. Dall'apice conoide (247 m s.l.m.) fino alla zona di testata (Mazza dell'Inferno) si individua un sottobacino di forma approssimativamente triangolare, a sua volta composto da due testate; il corso principale del torrente Arsa devia invece verso occidente a partire dalla confluenza di quota 490 m s.l.m. fino a P.ta dell'Usciole 2186,40 m s.l.m., dove ha la sua origine, dando luogo ad un sottobacino di forma triangolare, più regolare rispetto al primo.

Il reticolato idrografico è ben sviluppato, presentando numerosi rami secondari che si estendono fino alla linea di spartiacque: gli impluvi risultano ben delineati ed incisi, soprattutto quelli di I° e II° ordine che hanno formato vallecole a "V"; la forma del reticolo idrografico è di tipo dendritico con tendenza al subparallelo nel ramo occidentale.

Il reticolo idrografico presenta caratteri tipici di una zona con controllo strutturale, infatti il torrente Arsa scorre in una la zona caratterizzata dal grande lineamento tettonico regionale, rappresentato dalla linea del Canavese.

I due parametri R_c e R_u , discostandosi dall'unità, sono indice di bacini dalla forma poco raccolta e quindi con tempi di corrivazione mediamente elevati.

La delimitazione del confine idrografico è stata effettuata sulla cartografia CTR alla scala 1:10.000. Il bacino idrografico del torrente Arsa alla sezione di chiusura considerata, ha le seguenti caratteristiche morfometriche:

Area planimetrica di drenaggio	Kmq	18,71
Perimetro planimetrico del bacino	Km	18,85
Lunghezza planimetrica dell'asta fluviale principale	Km	7,20
Rapporto di circolarità		0,66
Coefficiente di uniformità		1,229
Fattore di forma		6,974
Rapporto di allungamento		0,678
Altezza massima del bacino idrografico	m	2186,40
Altezza minima del bacino idrografico	m	240
Altezza media	m	1103,88
Quota alla sezione di chiusura.	m	240
Dislivello del bacino idrografico sulla sezione di chiusura	m	1860,00

Tutti i valori sopra riportati sono stati ricavati mediante analisi automatica del modello digitale del terreno del bacino del torrente Arsa.

2.2 CURVA IPSOMETRICA

L'analisi dell'assetto morfologico del bacino viene riassunta nella curva ipsometrica (o ipsografica percentuale). La curva si traccia in base alle altezze e alle rispettive aree cumulate, suddividendo il bacino in intervalli di quota (per es. 10), dalla quota minima a quella massima, e valutando l'area del bacino che ricade in ogni intervallo. Si devono quindi eseguire i rapporti tra le aree dei singoli intervalli (a) e l'area totale del bacino (A), e quelli tra i dislivelli degli intervalli rispetto al piano di base (h) ed il dislivello totale del bacino (H). La funzione della curva che si ottiene è del tipo:

$$y = f(x) \text{ dove: } y=h/H \text{ e } x=a/A.$$

Per integrale della curva ipsometrica s'intende l'area sottesa dalla curva rispetto all'asse delle X.

Dalla curva ipsometrica si ricava l'altezza media del bacino, impiegando la relazione:

$$H_m = (1 / A) \times \sum a_i \times h_i.$$

con A = area totale del bacino;

a_i = area del bacino compresa nell'intervallo i -esimo di quota;

h_i = altitudine media dell'intervallo di quota i -esimo.

$$H_m = 1103,88$$

2.3 EQUAZIONE DELLA CURVA DI POSSIBILITA' CLIMATICA E DETERMINAZIONE DEGLI AFFLUSSI

La previsione quantitativa delle piogge intense in un determinato punto si effettua attraverso la determinazione della curva di probabilità pluviometrica, cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno.

La curva di probabilità pluviometrica è comunemente espressa da una legge esponenziale potenza del tipo:

$$h(t) = a t^n$$

in cui i parametri a e n dipendono dallo specifico tempo di ritorno considerato.

Le precipitazioni brevi ed intense quali quelle che possono determinare le massime piene del torrente Arsa sono riportate negli Annali Idrologici in modo irregolare pertanto, per la determinazione con vari tempi di ritorno dei parametri a e n è stata utilizzato il reticolo di 2 km di

lato, contenuto nel Progetto di Piano per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Po - Norme di attuazione – Allegato 1- “Direttiva sulla piena da assumere per la progettazione e le verifiche di compatibilità idraulica”, nel quale si analizza la frequenza delle piogge intense attraverso l'interpolazione spaziale eseguita con il metodo di kriging dei parametri a e n delle linee segnalatrici. L'elaborato consente il calcolo delle linee segnalatrici in ciascun punto del bacino, a meno dell'approssimazione derivante dalla risoluzione spaziale della griglia di discretizzazione, per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni.

Al fine di determinare i parametri di a e n per il bacino del Torrente Arsa è stata calcolata la media pesata dei valori di “ a ” e di “ n ” delle celle di quadrate di 2 km di lato in cui è suddiviso il bacino, ottenendo i seguenti valori:

Tr	a	n
Tr = 20 anni	54,9231	0,5325
Tr = 100 anni	69,9881	0,5344
Tr = 200 anni	76,4296	0,5344
Tr = 500 anni	84,9348	0,5353

2.4 AFFLUSSI SUI BACINI IMBRIFERI

Le equazioni rappresentative delle curve di probabilità pluviometrica non possono essere utilizzate direttamente per il calcolo degli afflussi effettivi sui bacini imbriferi in quanto l'intensità di precipitazione durante un certo evento all'interno di un'area assegnata varia da punto a punto, in misura spesso rilevante. Questa variabilità è tanto più accentuata quanto maggiore è l'estensione dell'area esaminata.

Per questa ragione si usa in pratica fare riferimento a curve di possibilità pluviometrica areali, esprimenti cioè il legame, per un assegnato tempo di ritorno, tra l'altezza media di pioggia che in un assegnata durata cade su una superficie di area A (altezza di pioggia ragguagliata all'area) e la durata stessa.

I metodi per ottenere il ragguaglio delle piogge all'area sono numerosi, ma non sempre di facile applicazione.

Nel caso del bacino del torrente Arsa si ritiene valida l'applicazione del coefficiente di ragguaglio di 0,99 ricavato dal grafico proposto da Merlo (1973).

2.5 CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA SUI BACINI IDROGRAFICI

Le procedure adottabili per stima della portata di piena in un corso d'acqua si differenziano in relazione alla disponibilità di serie storiche di dati idrologici rappresentativi.

Il caso più favorevole si ha quando nella sezione di interesse sono disponibili valori di portata misurati per un periodo di osservazione sufficientemente lungo; in queste condizioni sarebbe possibile l'applicazione del metodo del confronto fra ietogrammi e idrogrammi.

Purtroppo mentre la rete delle stazioni meteorologiche può definirsi sufficiente, le stazioni idrometrografiche sono installate solo sui corsi d'acqua maggiori come il fiume Toce e i torrenti S. Bernardino, S. Giovanni, Erno, Cannobino e anche in essi non è mai stata eseguita una correlazione fra ietogrammi e idrogrammi di eventi massimi inferiori alle 24 ore.

In carenza di dati sperimentali occorre procedere alla scelta di un modello idrologico che consenta una valutazione delle portate di piena in funzione di alcuni parametri fissi del bacino stesso definibili come idrogeomorfici (forma e caratteristiche meteorologiche del bacino) e di altri fattori variabili da evento a evento (caratteristiche meteorologiche dell'evento e sua distribuzione).

I modelli disponibili sono numerosi e di vario livello di complessità e raffinatezza. Il più semplice di essi, è il metodo razionale, che consente di valutare la massima portata di un corso d'acqua in relazione ad un evento critico attraverso la seguente relazione:

$$Q_c = 0,277 C i_T A$$

dove:

Q_c = portata al colmo m^3/s

C = coefficiente di deflusso (-)

i_T = intensità critica della precipitazione per un assegnato tempo di ritorno T in mm/hr

A = superficie del bacino (km^2)

L'applicazione della formula razionale richiede, oltre alla stima di C in funzione delle caratteristiche morfologiche, tessiturali e di copertura vegetale, la determinazione dell'intensità critica della precipitazione cioè l'intensità costante di quella pioggia, supposta anche uniformemente distribuita sul bacino, che determina la portata massima nell'idrogramma di piena nel tempo di ritorno T .

L'intensità critica è quella che si deduce dalla curva di probabilità pluviometrica dell'equazione:

$$h(t) = a t^n$$

di tempo di ritorno T in corrispondenza a una durata t pari al tempo di corrivazione t_c del bacino. Infatti, se la durata della pioggia è $t < t_c$, non tutto il bacino contribuirà contemporaneamente alla formazione del deflusso: alla fine della precipitazione tutte le parti più distanti del bacino non avranno ancora contribuito al deflusso e quando questo avverrà (dopo un intervallo di tempo $t_c - t$) le zone più vicine alla sezione di chiusura avranno cessato di contribuire.

Viceversa se la pioggia ha una durata $t > t_c$, tutto il bacino contribuirà contemporaneamente al deflusso per un intervallo di tempo $t - t_c$ in cui la portata resterà costante e pari al valore massimo. Pertanto, la pioggia critica è quella di durata pari al tempo di corrivazione dato che, se per un solo istante, tutto il bacino contribuisce alla formazione del deflusso di piena con una pioggia che, avendo la minima durata capace di determinare il contributo di tutta la superficie, è la più intensa. Da qui l'importanza nell'applicazione del metodo, della determinazione del tempo di corrivazione che, a seconda che venga valutato in eccesso o in difetto, produce valutazioni delle portate rispettivamente in difetto o in eccesso.

2.5.1 Tempo di corrivazione t_c

Innanzitutto occorre dare una definizione del termine “tempo di corrivazione”.

Esso esprime, in ore, il tempo necessario perché, in un dato bacino di area A , tutte le particelle di acqua defluenti giungano alla sezione sottesa.

Tale valore, dipende dalle caratteristiche morfologiche e geometriche del bacino, può essere calcolato con diverse formule fra le quali sono state scelte le più frequentemente usate per i calcoli del presente studio.

Assumendo quindi:

A = area del bacino in Km^2 ;

L = lunghezza dell'arteria collettoria principale, a partire dal punto più lontano, in Km ;

H_m = altitudine media del bacino in metri m s.l.m.;

H_o = altitudine del punto di chiusura del bacino, in metri m s.l.m.;

i_m = pendenza media dell'alveo principale (adimensionale).

Il tempo di corrivazione può essere ottenuto con le seguenti formule:

$$\text{- secondo Pezzoli} \quad T_c = 0,055 \frac{L}{\sqrt{i_m}}$$

formula valida per piccoli bacini alpini con area $< 50 Km^2$ e con forti pendenze (5%).

$$\text{- secondo Giandotti} \quad T_c = \frac{4(\sqrt{A}) + 1,5 L}{\dots}$$

$$0,8 \sqrt{(H_m - H_o)}$$

formula valida per bacini medi e grandi dell'Italia settentrionale e centrale con aree comprese fra 100 e 1000 Km² e con pendenze < 1%.

$$\text{- secondo Kirpich} \quad T_c = 0,066 \left(\frac{L}{\sqrt{i_m}} \right)^{0,77}$$

formula simile a quella del Pezzoli, ma valida per bacini con area > 500 Km². e con pendenze < 1,50%.

Nessuna delle formule è esente da critiche ed è noto che, soprattutto negli alvei a regime torrentizio, è possibile ottenere risultati fortemente discordi da una formula all'altra.

Spesso viene utilizzata la media dei valori ottenuti con le varie formule, oppure quello di accettare il risultato più cautelativo che spesso è rappresentato dalla formula di Pezzoli, atteggiamento che tuttavia porta ad un dimensionamento eccessivo delle opere.

Per tali motivi si ritiene più accettabile l'uso della formula di Giandotti che, tarata su numerose esperienze reali sulla base di parametri più facilmente misurabili è, tra l'altro, consigliata nello Schema Previsionale e Programmatico per il Risanamento del Bacino del fiume Toce e nelle Norme di Attuazione del PAI.

2.5.2 Coefficiente di deflusso c

Il coefficiente di deflusso si definisce come il rapporto fra il volume dell'acqua che defluisce attraverso una data sezione e il corrispondente afflusso reale in un certo arco di tempo, depurato delle perdite per evapotraspirazione.

Trattandosi di piogge di elevatissima intensità che avvengono in genere nell'ambito di precipitazioni intense della durata di qualche ora e che determinano condizioni di umidità relativa dell'area prossime al 100%, si può ritenere trascurabile la percentuale di pioggia evaporata durante la durata critica, e pertanto il coefficiente di evaporazione $\varepsilon = 1$.

Negli eventi di piena e su bacini come quelli analizzati vengono spesso utilizzati un po' arbitrariamente valori del coefficiente compresi fra 0,7 e 0,9. Poiché, la differenza tra i due valori comporta differenze rilevanti nelle valutazioni delle portate di piena si è optato per un approccio analitico alla valutazione del coefficiente.

Il coefficiente di deflusso φ può essere considerato come il prodotto di numerosi coefficienti, tra i cui principali sono i seguenti (Gabella):

$$\varphi = \varphi_c \cdot \varphi_p \cdot \varphi_j$$

dove:

φ_c : coefficiente dipendente dalla copertura vegetale

φ_p : coefficiente dipendente dalla permeabilità dei terreni

φ_j : coefficiente dipendente dalla pendenza del terreno

Per quanto riguarda il coefficiente dipendente dalle coperture vegetali φ_c , si possono assumere i seguenti valori cautelativi (superiori di 0,05 rispetto quelli usati da Gabella):

- aree coperte da bosco ceduo o perenne $\varphi_c = 0,75$
- prati, pascoli e aree coltivate $\varphi_c = 0,85$
- aree urbanizzate e aree degradate con scarsa vegetazione $\varphi_c = 0,95$
- aree rocciose denudate $\varphi_c = 1,00$

Una volta stabilita per ciascuna delle n zone omogenee la superficie A_i di competenza, il coefficiente φ_c complessivo si ottiene dalla media ponderata a dei vari coefficienti di competenze delle singole aree:

$$\varphi_c = \left(\frac{\sum_{i=1,n} A_i \varphi_{ci}}{A} \right)$$

Per quanto concerne il coefficiente φ_p dipendente dalla permeabilità si possono assumere i seguenti valori (superiori di 0,05 rispetto quelli usati da Gabella):

- detriti di falda e i depositi alluvionali recenti $\varphi_p = 0,90$
- coltri moreniche, eluvio – colluviali, prati, pascoli e aree coltivate $\varphi_p = 0,95$
- substrato roccioso affiorante e aree completamente edificate $\varphi_p = 1,00$

Risulterà anche in questo caso:

$$\varphi_p = \left(\frac{\sum_{i=1,n} A_i \varphi_{pi}}{A} \right)$$

Per il coefficiente φ_j dipendente dalla pendenza, si può utilizzare la formula proposta da Gabella:

$$\varphi_j = (i^{\circ}\% + 1) / (i^{\circ}\% + 3)$$

dove φ_j è la pendenza media del bacino.

Il calcolo complessivo per il bacino del torrente Arsa è il seguente:

$$\varphi = \varphi_c \cdot \varphi_p \cdot \varphi_j = 0,65 \cdot 0,95 \cdot 0,89 = 0,55$$

Tale approccio non è esente da critiche in quanto ci si chiede quale spessore dei depositi diventa ininfluenza nei confronti del calcolo del coefficiente di deflusso.

A tale proposito è noto che la permeabilità è la capacità di un materiale di lasciarsi attraversare da un fluido, la permeabilità all'acqua in un mezzo poroso, omogeneo e isotropo è uguale al rapporto tra la velocità di filtrazione e il gradiente idraulico. La permeabilità ha le dimensioni di una velocità è per miscele di ghiaia e sabbia come quelle che caratterizzano i terreni di copertura del bacino variano da 10^{-3} a 10^{-4} cm/sec che corrispondono a 10^{-5} a 10^{-6} m/sec questo significa che l'acqua nel tempo di un'ora percorre distanze variabili da pochi cm a alcune decine di cm.

Questa considerazione permette di affermare che spessori anche esigui della copertura costringono comunque l'acqua a percolare nel sottosuolo per un tempo significativamente lungo prima di giungere al substrato impermeabile e nella fattispecie più lungo del tempo di corrivazione che per bacino in esame è di circa un'ora e mezza.

Pertanto si ritengono e corretti i coefficienti di deflusso calcolato (0,55) anche in presenza di spessori limitati dei depositi di copertura.

2.6 VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA PER IL TORRENTE Arsa

Il calcolo delle portate di massima piena è stato effettuato tenendo conto dei parametri morfometrici del bacino, degli afflussi e del tempo di corrivazione.

Come già accennato il tempo di corrivazione è stato determinato con la formula di Giandotti, con tale formula il tempo di corrivazione del torrente Arsa risulta di circa **1,20 ore** alla sezione di chiusura in corrispondenza dell'edificio centrale.

Successivamente al calcolo del tempo di corrivazione si è proceduto al calcolo delle portate di massima piena con la seguente relazione:

$$Q_{\max} = (0.277 * H_{tc} * A * c_d * f) / T_c \quad \text{in mc/sec}$$

dove :

A = area del bacino in Km² ;

H_{tc} = altezza della pioggia in mm caduta in un tempo t = tempo di corrivazione T_c ;

T_c = tempo di corrivazione in ore ;

c_d = coefficiente di deflusso dipendente dalle caratteristiche del bacino ;

f = coefficiente di ragguaglio delle precipitazioni puntuali funzione dell'area del bacino (da Merlo).

Si sono quindi ottenuti i valori di portata di massima piena con T_r = 20 – 100 - 200 – 500 anni

PORTATE LIQUIDE IN ARRIVO ALLA SEZIONE DI CHIUSURA 240 m s.l.m.				
Tempo di ritorno in anni	20	100	200	500
Q _{max} formula cinematica	142,17	181,23	197,91	219,96

3. CARATTERIZZAZIONE GRANULOMETRICA DELL'ALVEO

3.1 I VARI TIPI DI TRASPORTO SOLIDO

Nel materiale in arrivo ed in transito nel corso d'acqua si può distinguere (Chang, 1992):

- una componente che contribuisce alla "costruzione" dell'alveo (*bed material*);
- una componente che viene trasportata dal corso d'acqua ma che non partecipa ai processi di erosione e deposito (*wash-load*) Questa rappresenta la porzione più fine del materiale trasportato in alveo (diametro inferiore a 0,0064 mm) e che ha origine sui versanti durante un periodo piovoso e si muove direttamente fino al recapito finale (lago, aree di esondazione ecc) senza intervenire nella dinamica d'alveo.

Le varie modalità di trasporto solido sono:

- Trasporto solido al fondo (*bed-load*): è costituito dai sedimenti che sono responsabili del modellamento dell' alveo, questi si muovono restando mediamente a contatto con il fondo per saltazione, rotolamento o trascinarsi come elementi singoli o come movimento generalizzato di tutti i granuli di ogni dimensione .

- Trasporto solido in sospensione (*suspended-load*): è costituito a sua volta da altri due tipi di trasporto solido, il trasporto in sospensione del materiale costituente il letto che viene portato in sospensione per particolari condizioni della corrente (sospensione da *bed-material*) e il *wash load*. Il trasporto solido in sospensione, non presente nell'alveo (*wash-load*) non interessa i bilanci sedimentologico che rendono conto dei processi di erosione e deposito, in quanto il materiale solido rimane sospeso nella corrente senza interagire con l'alveo, qualunque bilancio di volumi solidi riferiti all'alveo stesso non risente di tale tipo di trasporto solido.
- Trasporto solido in soluzione: può rappresentare una porzione importante in corsi d'acqua che drenano rocce solubili ma non è il nostro caso.
- Trasporto solido per fluitazione (o flottazione): è costituito prevalentemente da materiali vegetali galleggianti, a seguito dello sradicamento di arbusti e di tronchi da parte della corrente. Il trasporto di materiali vegetali può essere causa di ostruzioni delle luci dei ponti o di altri manufatti. La valutazione del trasporto solido per flottazione può essere solo di tipo qualitativo, basandosi sull'osservazione della vegetazione e di ciò che accade durante eventi di piena che asportano materiale vegetale dalle rive o dovuto a fenomeni franosi che in prossimità dell'alveo del corso d'acqua principale o di suoi affluenti

E' importante sottolineare che, la suddivisione del trasporto nelle fasi sopra descritte non va intesa in senso rigoroso ma semplicemente con riferimento a condizioni "prevalenti" con cui il trasporto stesso si può manifestare. Per esempio, nei tratti montani come il Torrente Anza, o in quelli in pianura con basse portate, il trasporto solido è essenzialmente al fondo, pur potendo coesistere una frazione più o meno piccola di trasporto in sospensione. In generale, intensità e modalità del trasporto sono condizionate dalla mutua interazione tra caratteristiche della corrente e caratteristiche dei sedimenti.

3.2 VALUTAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO

Nel caso in esame si è scelto di non eseguire un'indagine sul terreno delle granulometrie mobilizzate dalla corrente ma di adottare un criterio maggiormente cautelativo. Analogamente a quanto riportato nella relazione generale del "Progetto di Piano di Assetto Idrogeologico Provinciale" (Servizio Difesa del Suolo 2005) si è scelto di incrementare le portate liquide del 15% in quanto *"incrementare del 15% le portate di riferimento definite dall'analisi idrologica è stata dettata dall'esigenza di tenere in considerazione cautelativamente nelle simulazioni idrodinamiche i possibili di innalzamento dei livelli che in corso di piena il trasporto solido può determinare negli alvei torrentizi oggetto di studio, caratterizzati da pendenze elevate (alta energia motrice) e notevoli quantitativi di sedimenti disponibili, prodotti nella zona di testata del bacino e/o apportati dai tributari secondari. L'incremento del 15% della*

portata liquida costituisce un riferimento comune per l'analisi idraulica e la progettazione in ambiti torrentizi montani, in quanto è generalmente ritenuto sufficientemente cautelativo. Valori più elevati del 15% si riscontrano generalmente in campi di pendenza superiori a quelli delle aste in esame, in condizioni di correnti ipercritiche ovvero fenomeni di transizione verso debris-flow e colate di detrito”.

E' comunque importante sottolineare che, nei torrenti, il trasporto solido è un fenomeno estremamente irregolare, che solo con approssimazioni grossolane può essere valutato numericamente.

3.2.1 Sintesi dei risultati

Pertanto le portate comprensive dell'aliquota solida diventano le seguenti:

PORTATE LIQUIDE+SOLIDE IN ARRIVO ALLA SEZIONE DI CHIUSURA 240 m s.l.m.				
Tempo di ritorno in anni	20	100	200	500
Qmax formula cinematica	163,50	208,41	227,59	252,96

A seguito di tutte le considerazioni fatte nella verifica idraulica si utilizzerà una portata di progetto di 227,59 mc/s

4. VERIFICHE IN CONDIZIONE DI MOTO PERMANENTE.

La verifica in condizioni di moto permanente viene eseguita quando è presumibile che la linea piezometrica abbia un'inclinazione differente rispetto a quella dell'alveo e che nel tratto di corso d'acqua verificato la portata sia costante, cioè senza immissioni o perdite significative.

Ambedue le condizioni si realizzano per il tratto di torrente Arsa interessato compreso tra la zona di apice di conoide e quella sulla quale sarà costruito l'edificio di produzione.

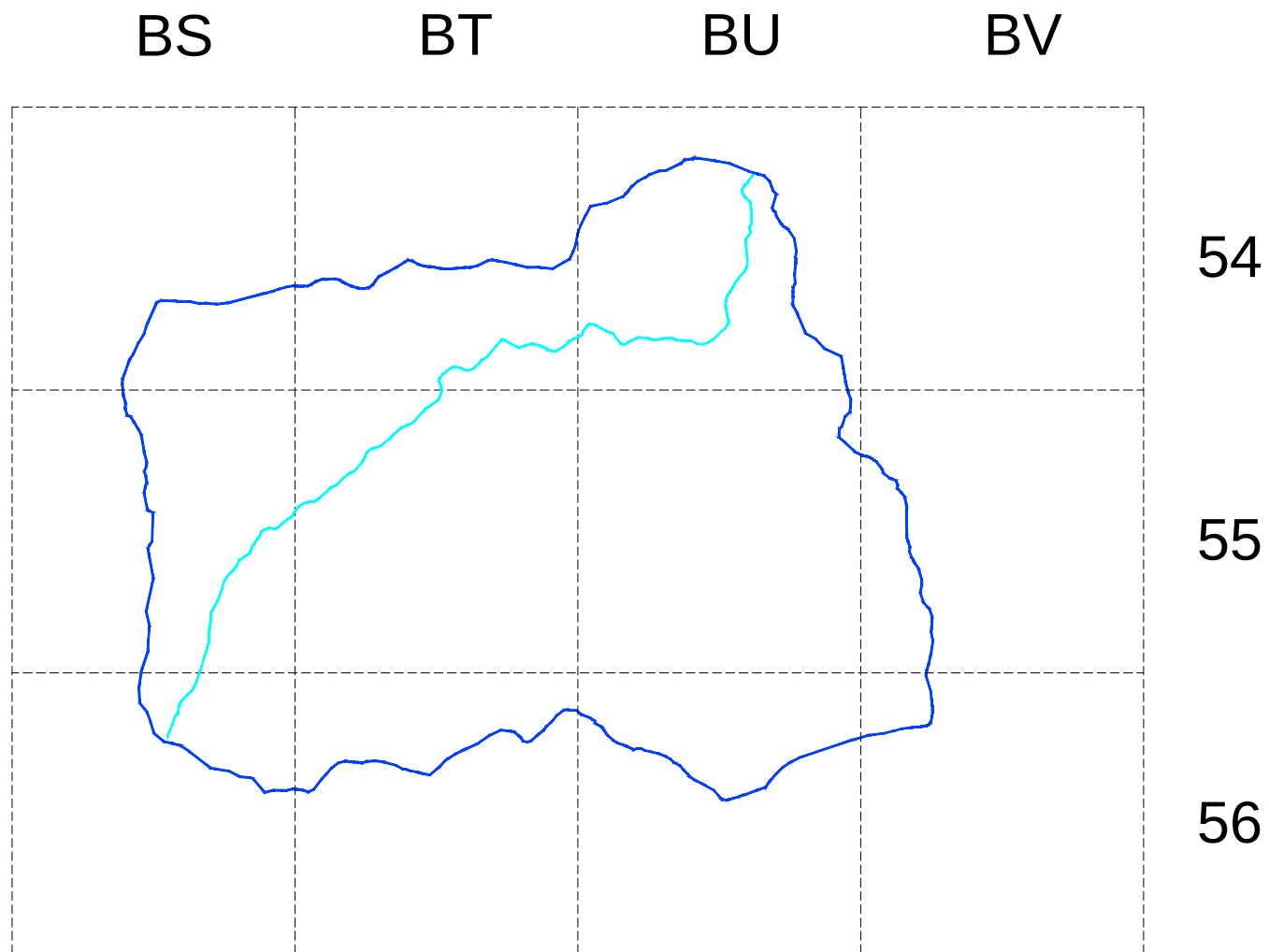
La verifica idraulica è stata eseguita con HEC-RAS, il sistema d'analisi dei fiumi dell'Hydrologic Center (HEC), del Corpo degli Ingegneri dell'Esercito degli Stati Uniti d'America.

Il programma permette di analizzare le reti di canali naturali ed artificiali, calcolando i profili del pelo libero basandosi su di un'analisi a moto permanente e/o moto vario monodimensionale.

La verifica è stata eseguita sulle sezioni di progetto in condizioni miste e dai risultati ottenuti riportati negli allegati si osserva tutte le sezioni sono idonee a smaltire la piena liquido solida bicentenaria calcolata tranne la sezione 16 tracciata in corrispondenza della vasca di carico. Tale situazione è probabilmente dovuta alla mancanza di sezioni a monte della 16 che consentirebbero una più corretta valutazione delle velocità in questo punto. Infatti una delle condizioni per una corretta valutazione delle condizioni di deflusso delle portate di piena è quella che vi sia una certa distanza tra la prima sezione di monte ed il tratto oggetto di analisi, lo stesso discorso vale per la prima sezione di valle.

Stralcio dell'allegato 3 alle norme di attuazione del PAI - Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense
Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20,100,200 e 500 anni.
Scala 1:50.000

-  Delimitazione del bacino idrografico del torrente Arsa
-  Asta del torrente Arsa
-  Cella quadrata con lato pari a 2 km



**Piano stralcio per l'Assetto
Idrogeologico (PAI)
Interventi sulla rete idrografica e sui versanti**

Legge 18 Maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6ter

Adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 in data 26 aprile 2001
7. Norme di attuazione

**Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni
e le verifiche di compatibilit  idraulica**

Allegato 3 : Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense

LEGENDA



Delimitazione sottobacino idrografico elementare

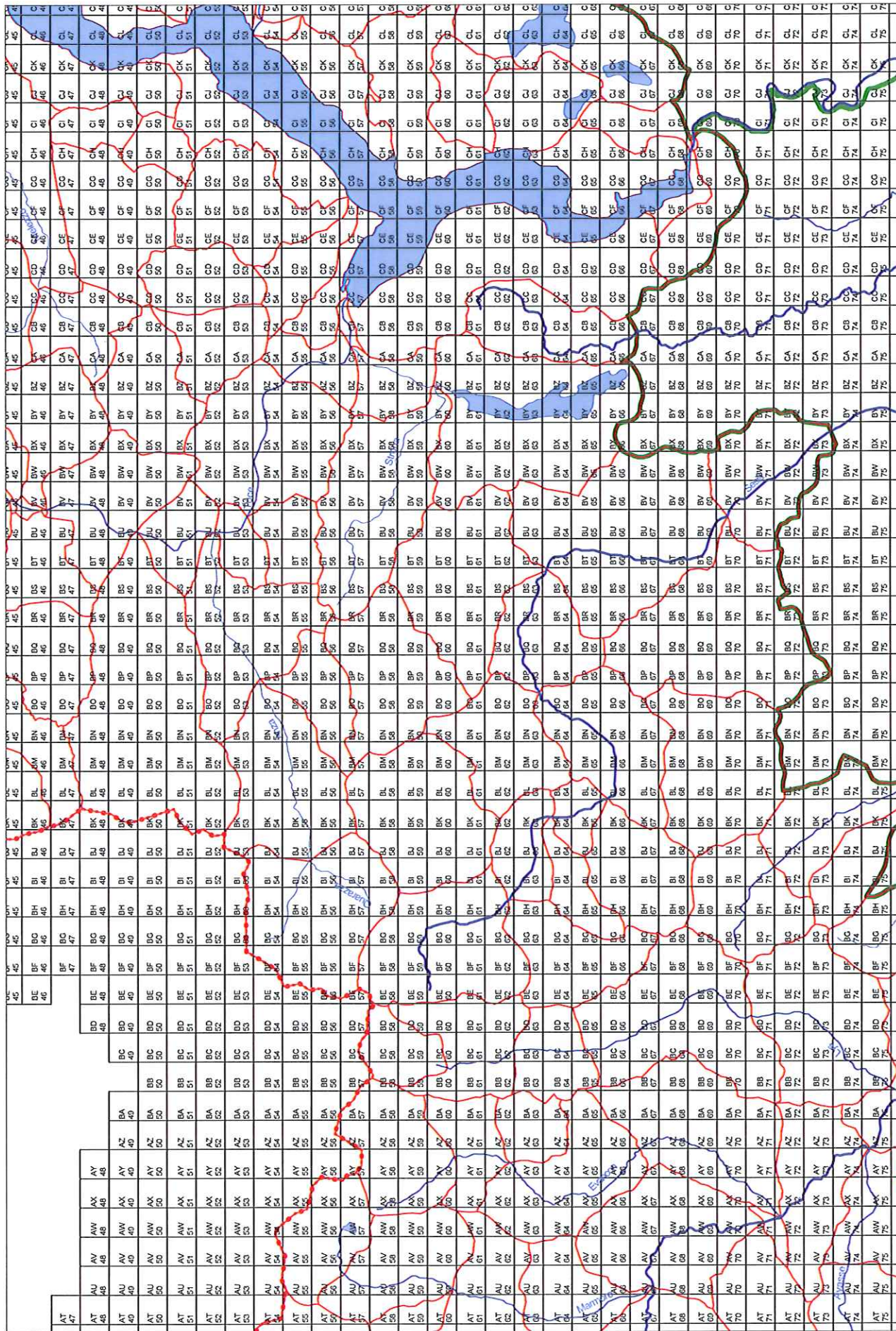


Delimitazione ambito idrografico di pianura

FK64

Codice e ubicazione cella del reticolo
chilometrico di riferimento

Tavola 05



Valori celle PAI

Cella	a Tr 20	n Tr 20	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200	a Tr 500	n Tr 500	Area	Peso
BS54	50.5300	0.5370	64.3400	0.5380	70.2400	0.5380	78.0400	0.5380	718445.0900	0.1796
BS55	52.1200	0.5390	66.3600	0.5410	72.4500	0.5410	80.4800	0.5410	2120317.9200	0.5301
BS56	53.4400	0.5400	68.0200	0.5420	74.26	0.542	82.5	0.543	703579.3300	0.1759
BT54	52.7500	0.5320	67.2300	0.5330	73.4100	0.5330	81.5800	0.5340	1687979.7800	0.4220
BT55	54.4700	0.5340	69.4000	0.5360	75.7900	0.5360	84.2200	0.5370	4000000.0000	1.0000
BT56	55.7400	0.5360	71.0000	0.5370	77.5200	0.5380	86.1400	0.5380	1140542.5200	0.2851
BU54	55.2000	0.5270	70.3900	0.5290	76.8800	0.5290	85.4600	0.5300	2366077.6900	0.5915
BU55	56.6700	0.5300	72.2400	0.5320	78.9000	0.5320	87.6900	0.5330	3954991.2300	0.9887
BU56	57.8400	0.5310	73.7100	0.5330	80.4900	0.5330	89.4500	0.5340	1242758.8800	0.3107
BV55	59.1600	0.5240	75.4500	0.5270	82.4200	0.5270	91.6200	0.5290	576171.2500	0.1440
BV56	60.1800	0.5250	76.7200	0.5280	83.8000	0.5280	93.1400	0.5300	201992.3900	0.0505
									18712856.0800	4.6782

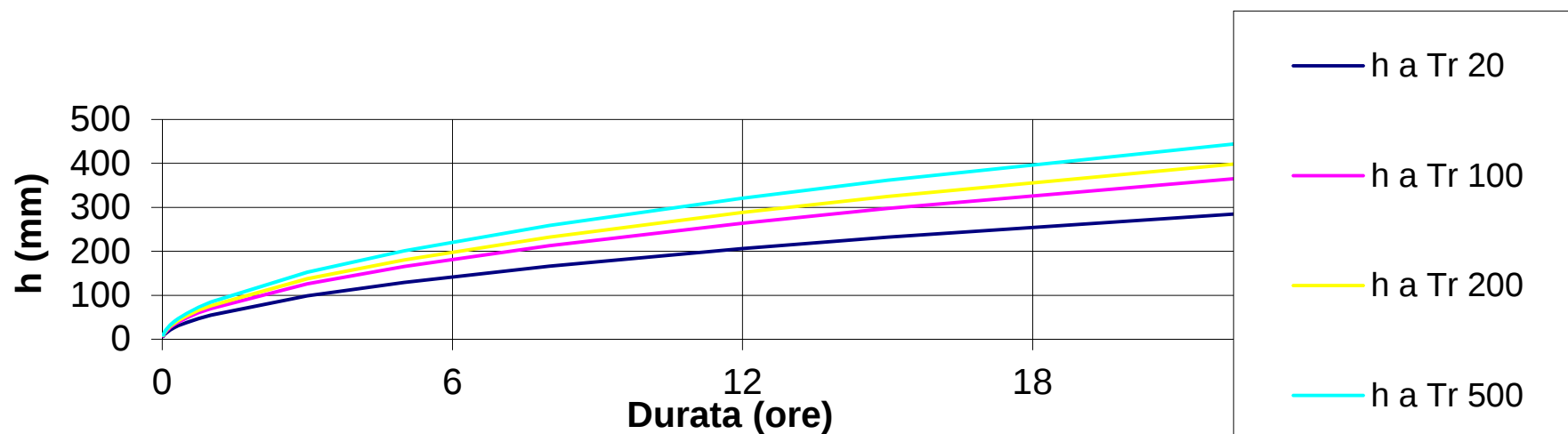
Valori pesati

A Tr 20	n Tr 20	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200	a Tr 500	n Tr 500
9.0758	0.0965	11.5562	0.0966	12.6159	0.0966	14.0169	0.0966
27.6277	0.2857	35.1761	0.2868	38.4043	0.2868	42.6608	0.2868
9.3998	0.0950	11.9644	0.0953	13.0620	0.0953	14.5113	0.0955
22.2602	0.2245	28.3707	0.2249	30.9786	0.2249	34.4263	0.2253
54.4700	0.5340	69.4000	0.5360	75.7900	0.5360	84.2200	0.5370
15.8935	0.1528	20.2446	0.1531	22.1037	0.1534	24.5616	0.1534
32.6519	0.3117	41.6371	0.3129	45.4760	0.3129	50.5512	0.3135
56.0323	0.5240	71.4271	0.5260	78.0122	0.5260	86.7033	0.5270
17.9703	0.1650	22.9009	0.1656	25.0074	0.1656	27.7912	0.1659
8.5216	0.0755	10.8680	0.0759	11.8720	0.0759	13.1972	0.0762
3.0390	0.0265	3.8742	0.0267	4.2317	0.0267	4.7034	0.0268
Somma A Tr20	Somma n Tr20	Somma A Tr100	Somma n Tr100	Somma A Tr200	Somma n Tr200	Somma A Tr500	Somma n Tr500
256.9421	2.4912	327.4194	2.4999	357.5538	2.5002	397.3433	2.5040

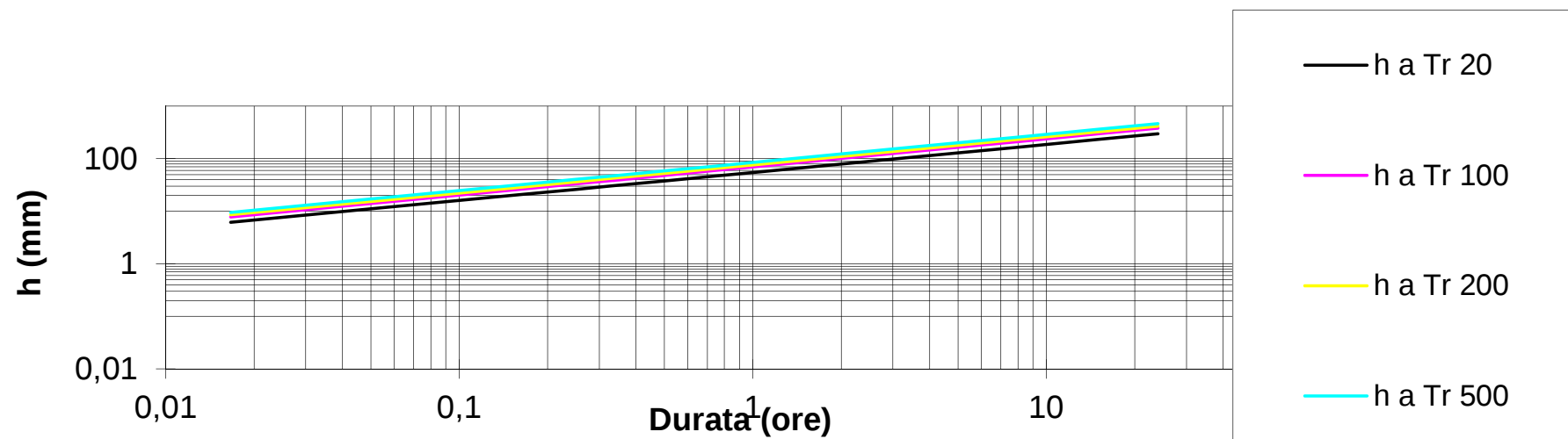
Valori di A e n per il bacino del Rio sotto mondelli

A Tr 20	n Tr 20	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200	a Tr 500	n Tr 500
54.92311	0.53251	69.98811	0.53437	76.42956	0.53443	84.93482	0.53526

CURVE DI PROBABILITA' PLUVIOMETRICA RIFERITE AL BACINO DEL TORRENTE ARSA



CURVE DI PROBABILITA' PLUVIOMETRICA RIFERITE AL BACINO DEL TORRENTE ARSA



portate

A kmq	L km	Hm m	Ho m	im	iv	cd	f	M	d
18.710	7.20	1103.88	240	0.26	0.00	0.55	0.99	0.218	0.818

Tempo di corrivazione (ore)

Tournon	Pezzoli	Giandotti	Kirpich	Aronica e Paltrinieri
4.96	0.78	1.20	0.51	1.49

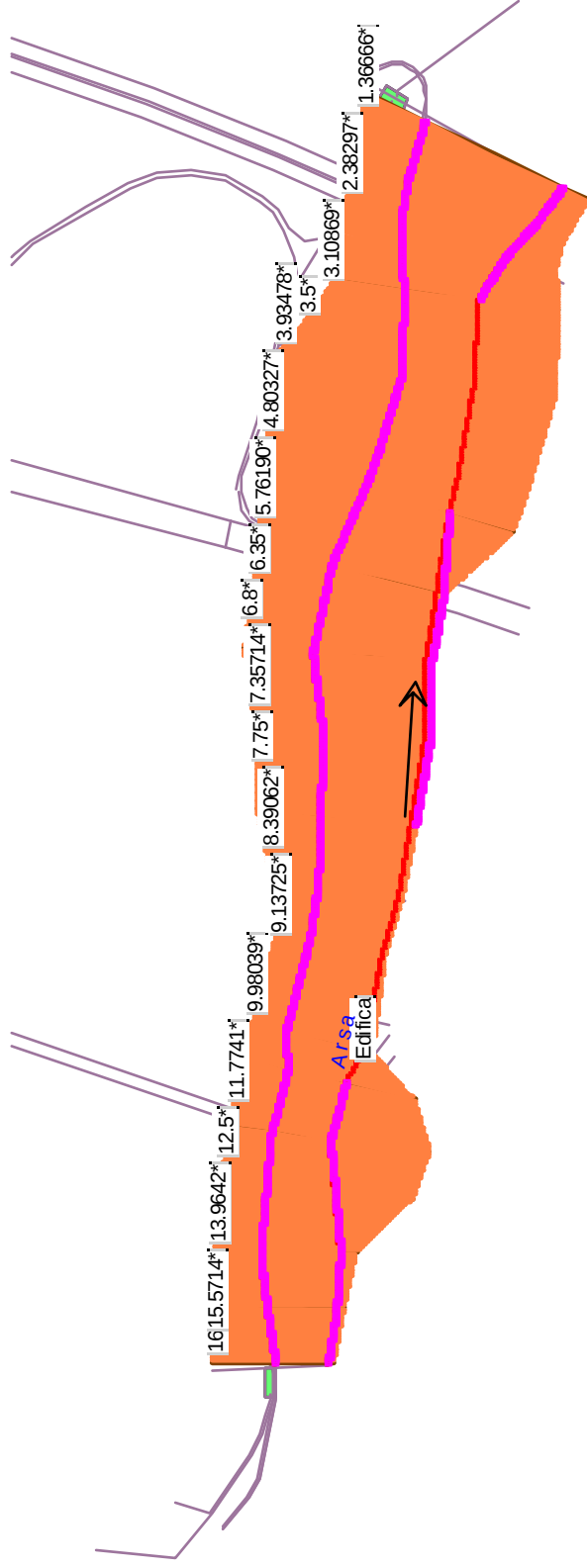
media tc	1.859474493
----------	-------------

Tempo di ritorno in anni		20	100	200	500
Tournon	tc(ore)	4.9560863	4.956086	4.956086	4.9560863
	Htc (mm)	128.80	164.62	179.79	200.06
	Q max cinematica	73.12	93.45	102.06	113.57
Pezzoli	tc(ore)	0.77880	0.77880	0.77880	0.77880
	Htc (mm)	48.08	61.24	66.87	74.30
	Q max cinematica	173.67	221.21	241.57	268.39
Giandotti	tc(ore)	1.19502	1.19502	1.19502	1.19502
	Htc (mm)	60.39	76.98	84.06	93.43
	Q max cinematica	142.17	181.23	197.91	219.96
Kirpich	tc(ore)	0.50800	0.50800	0.50800	0.50800
	Htc (mm)	38.29	48.74	53.22	59.11
	Q max cinematica	212.07	269.90	294.73	327.35
Aronica e Paltrinieri	tc(ore)	1.48931	1.48931	1.48931	1.48931
	Htc (mm)	67.90	86.59	94.56	105.12
	Q max cinematica	159.85	203.85	222.62	247.47

A = Superficie in kmq
 L = lunghezza asta principale in km
 Hm = Altitudine media in m s.l.m.
 Ho = Altitudine sez di chiusura in m s.l.m.
 im = Pendenza alvo principale in m/m

 iv = pendenza dei versanti in m/m
 cd = Coefficiente di deflusso (da Gabella)
 f = coefficiente di ragguaglio (da USB Weather-1958 o Merlo-1973 o Moisello-1986)
 Qmax= Portata di massima piena calcolata con Formula cinematica in mc/sec

VERIFICA IDRAULICA

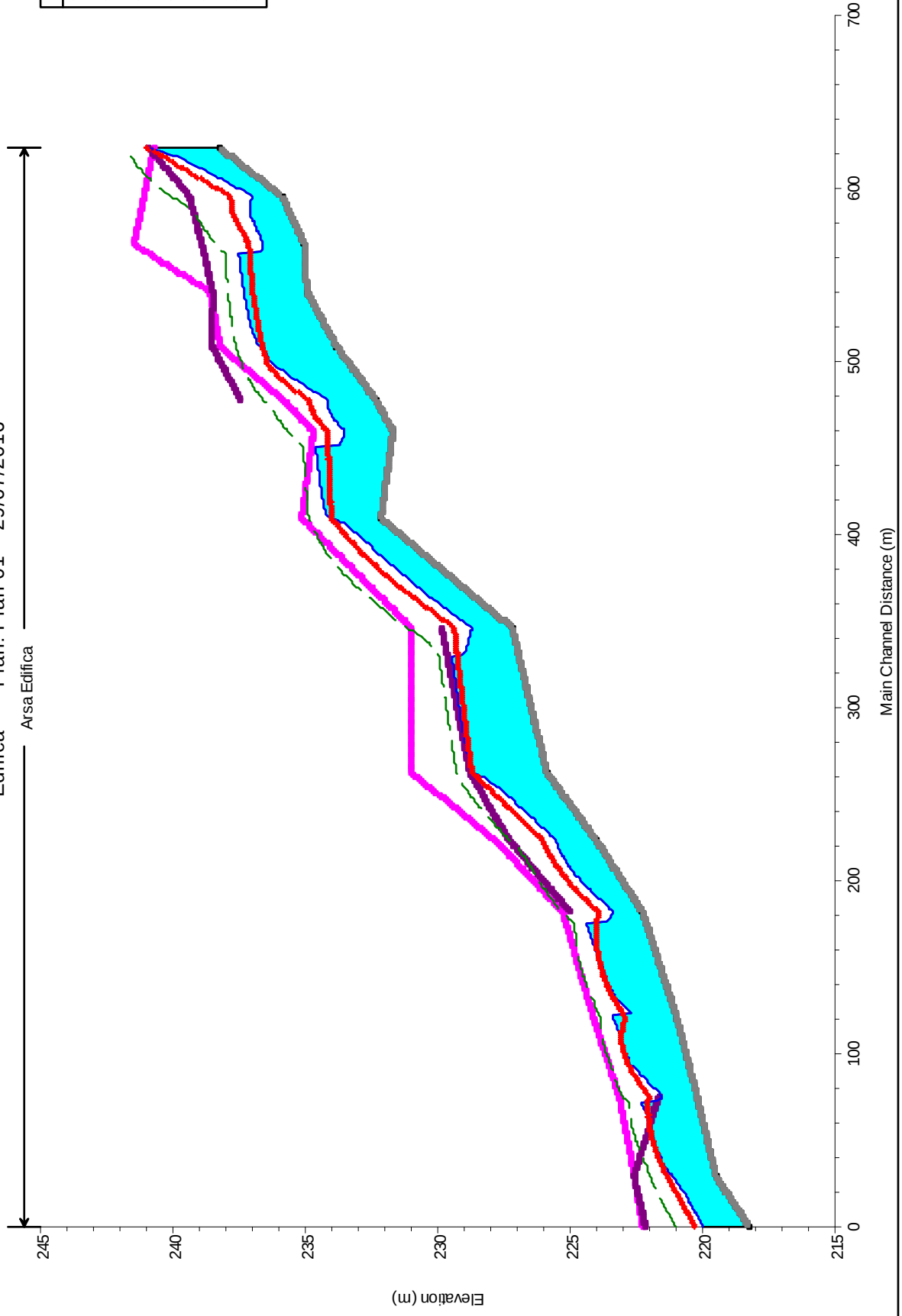


None of the XS's are Geo-Referenced (Geo-Ref user entered XS Geo-Ref interpolated XS Non Geo-Ref user entered XS Non Geo-Ref interpolated XS)

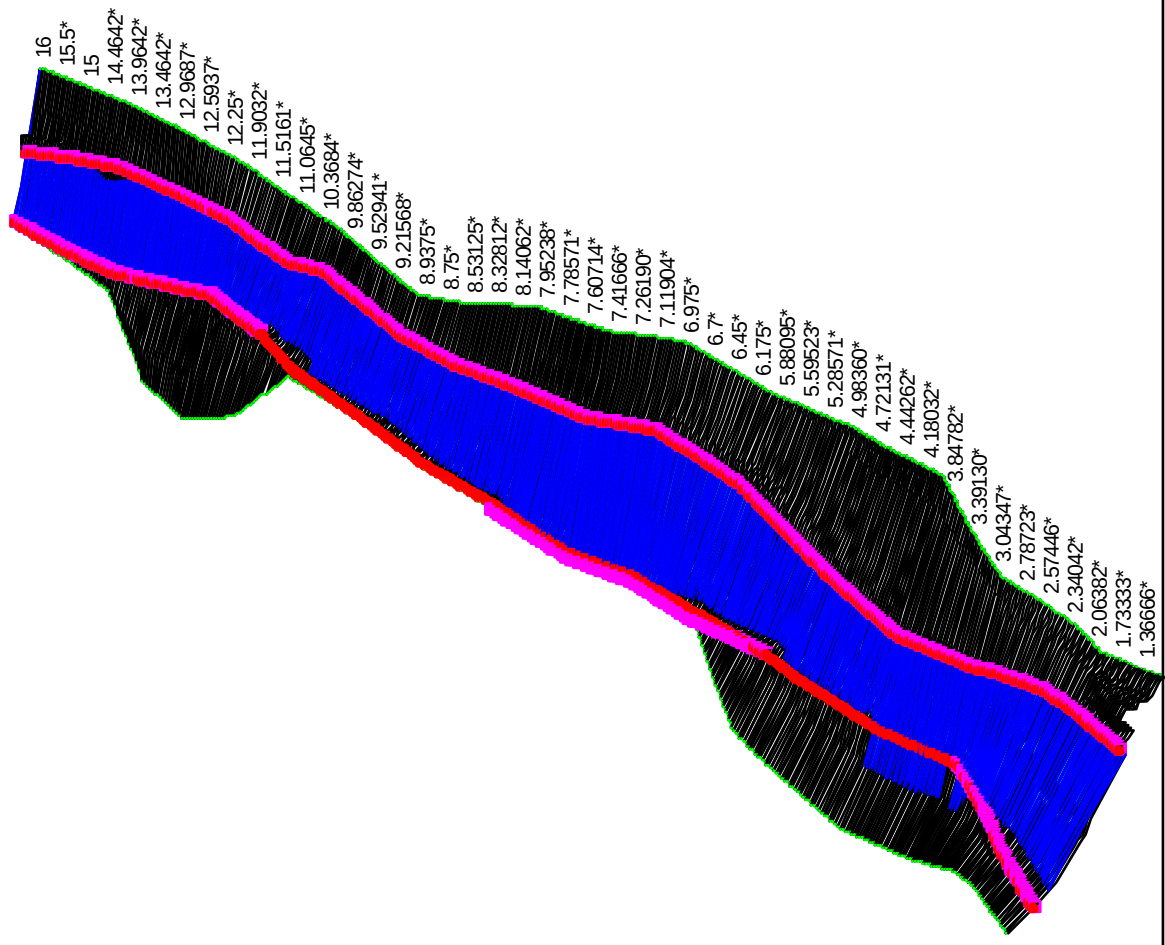
Edifica Plan: Plan 01 29/07/2016

Arsa Edifica

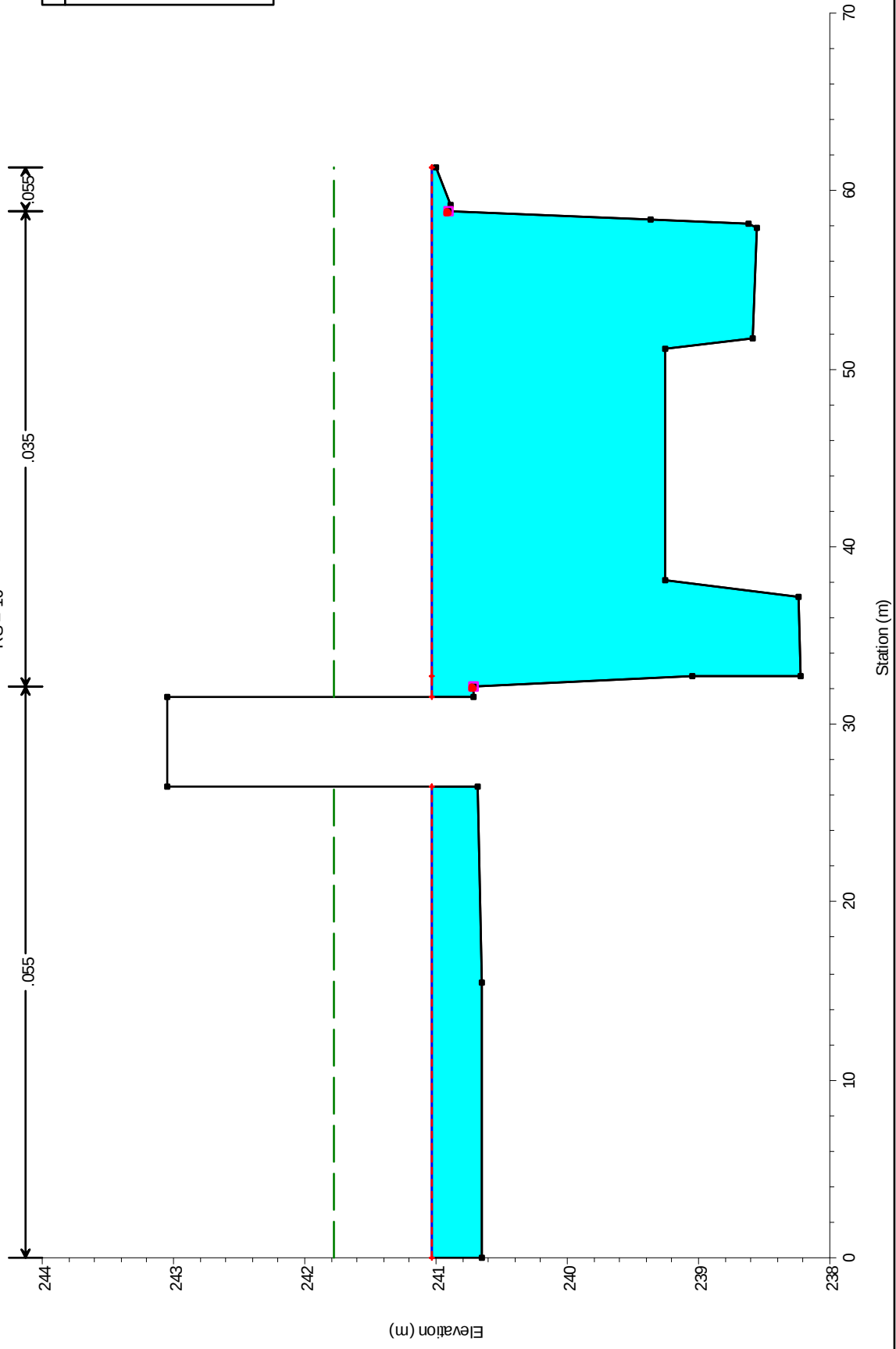
Legend	
EG Tr 200	—
Crit Tr 200	- - -
WS Tr 200	—
Ground	●
Left Levee	—
Right Levee	—

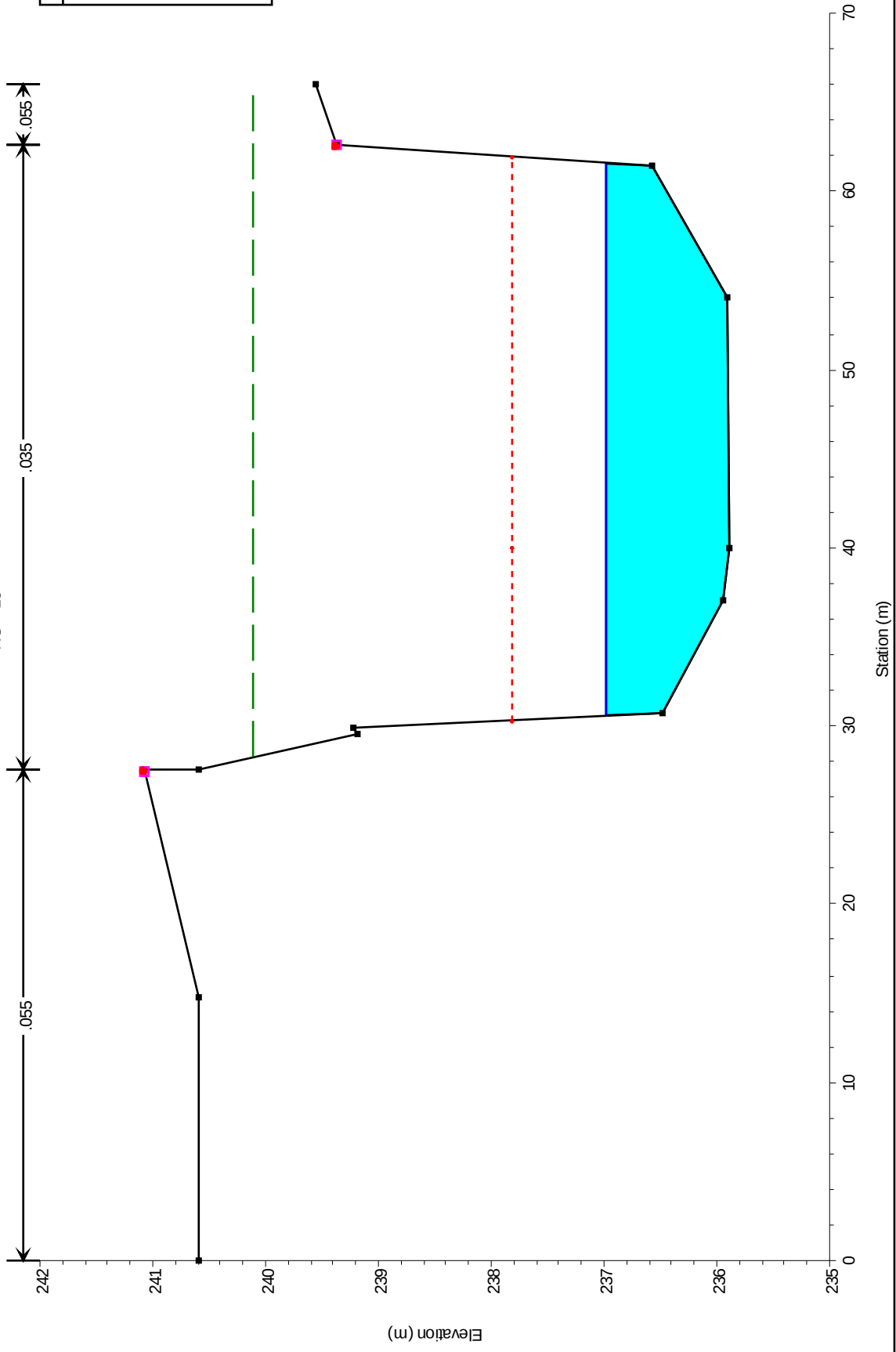


Legend	
	WS Tr 200
	Ground
	Levee
	Bank Sta
	Ground

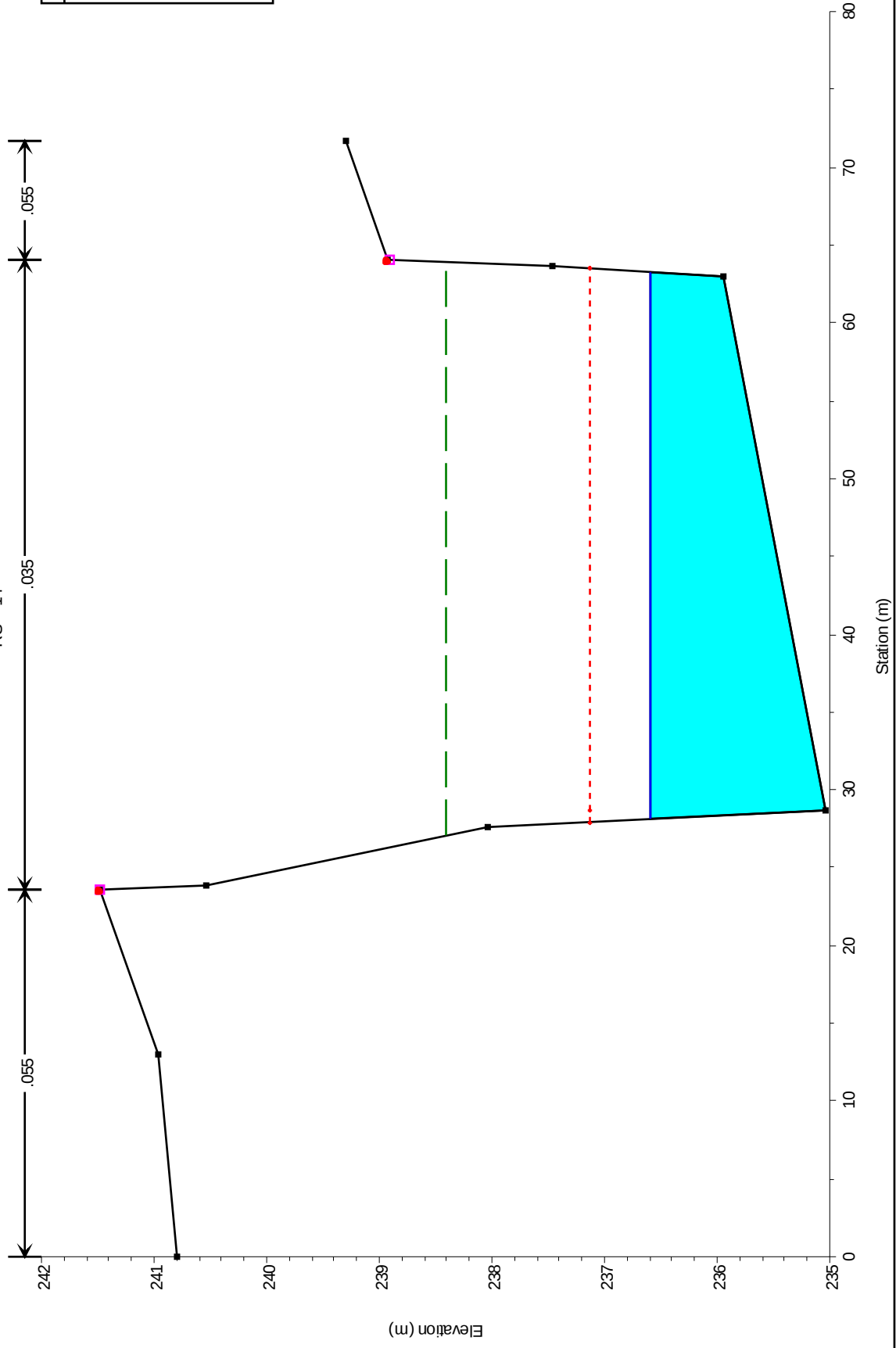


Edifica Plan: Plan 01 29/07/2016
RS = 16



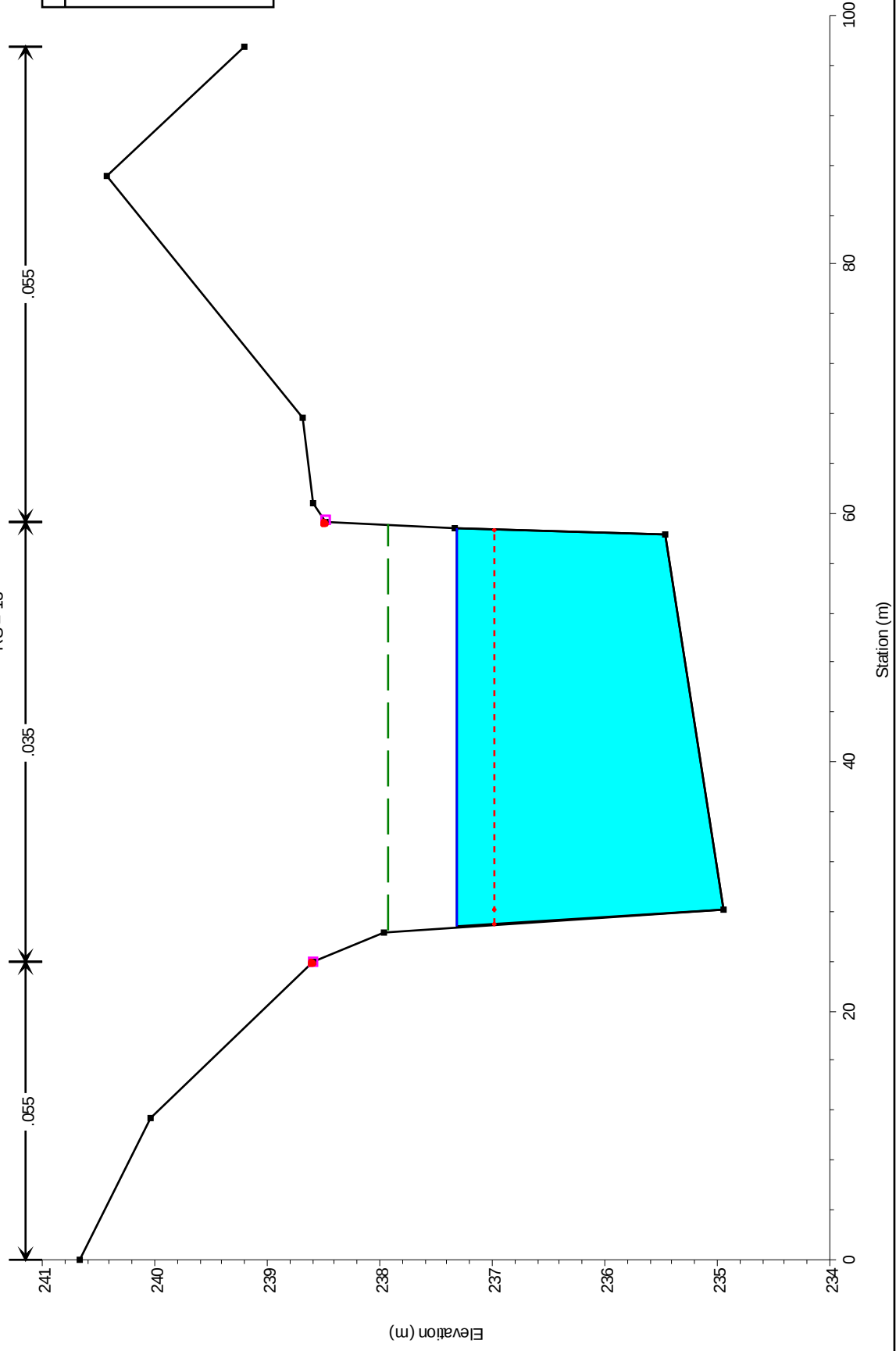


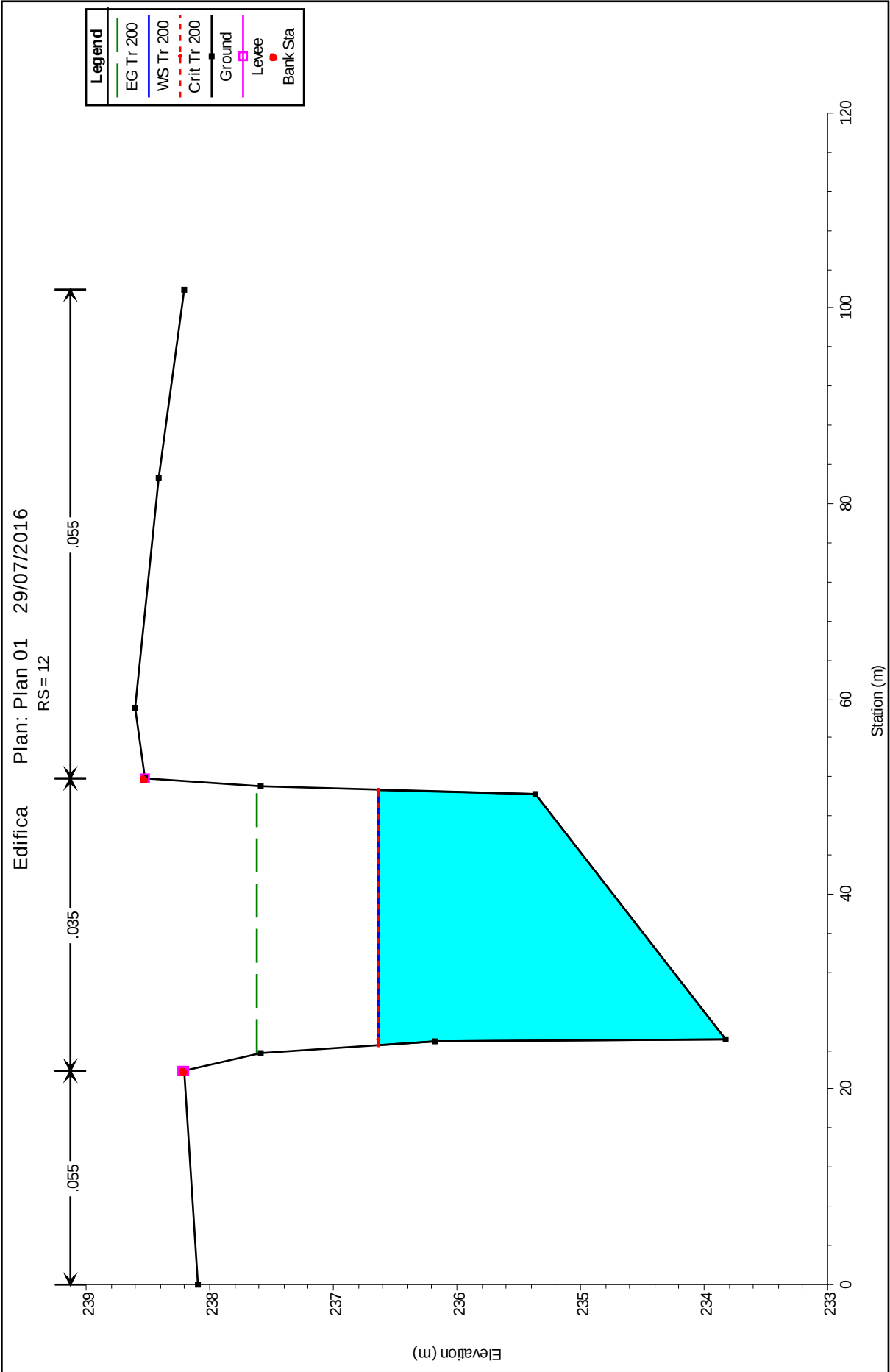
Edifica Plan: Plan 01 29/07/2016
RS = 14

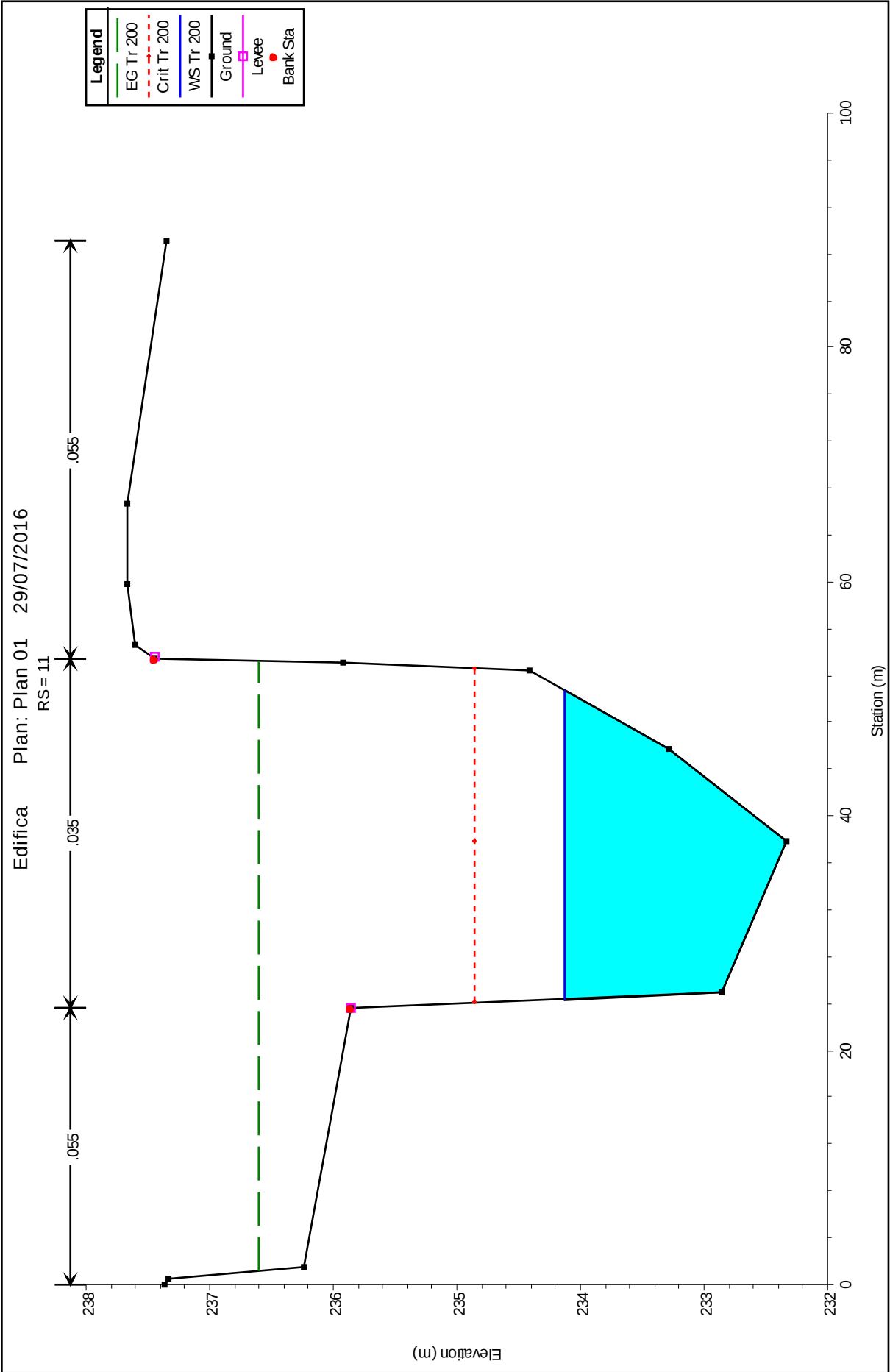


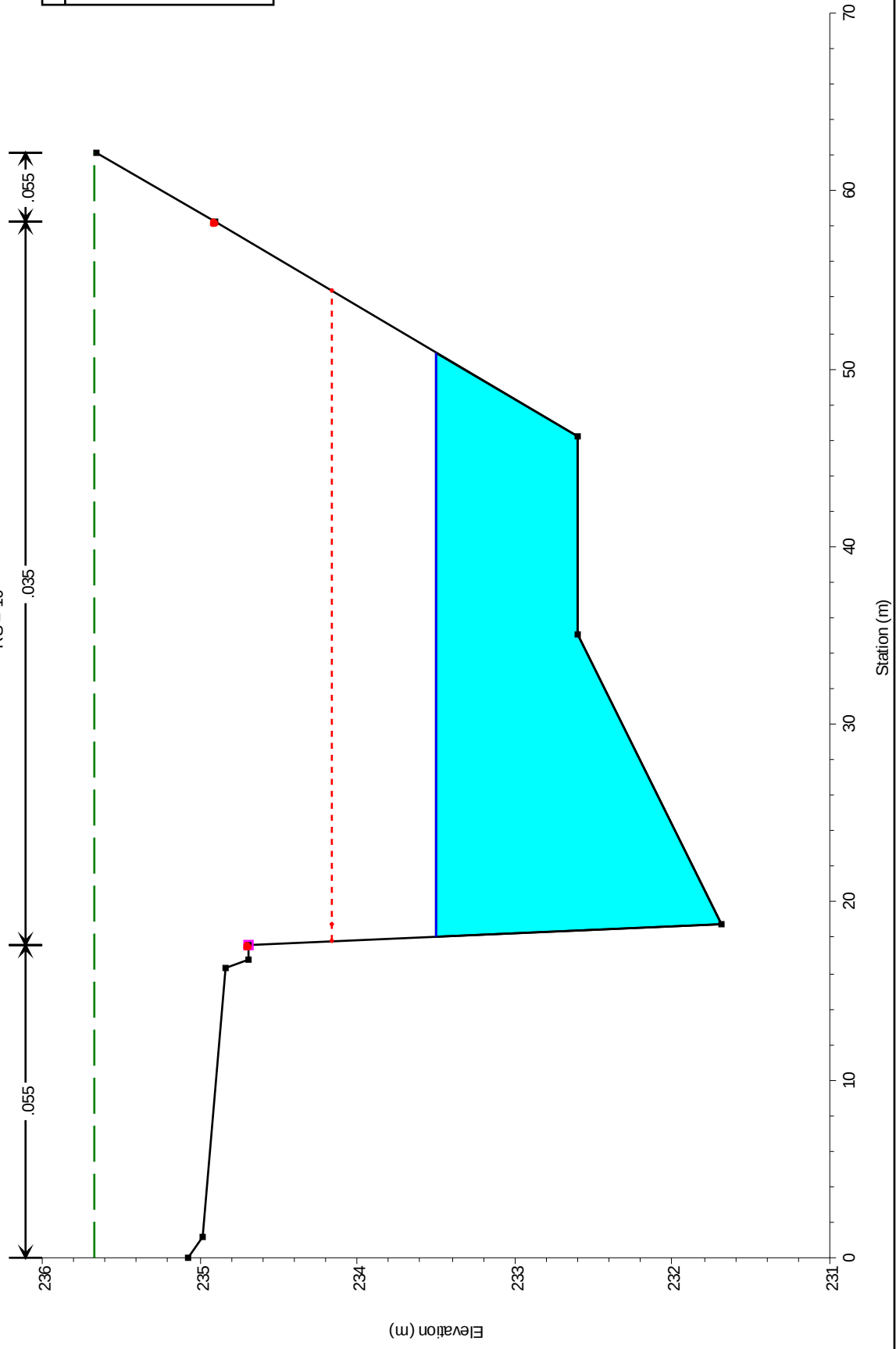
Edifica Plan: Plan 01 29/07/2016
RS = 13

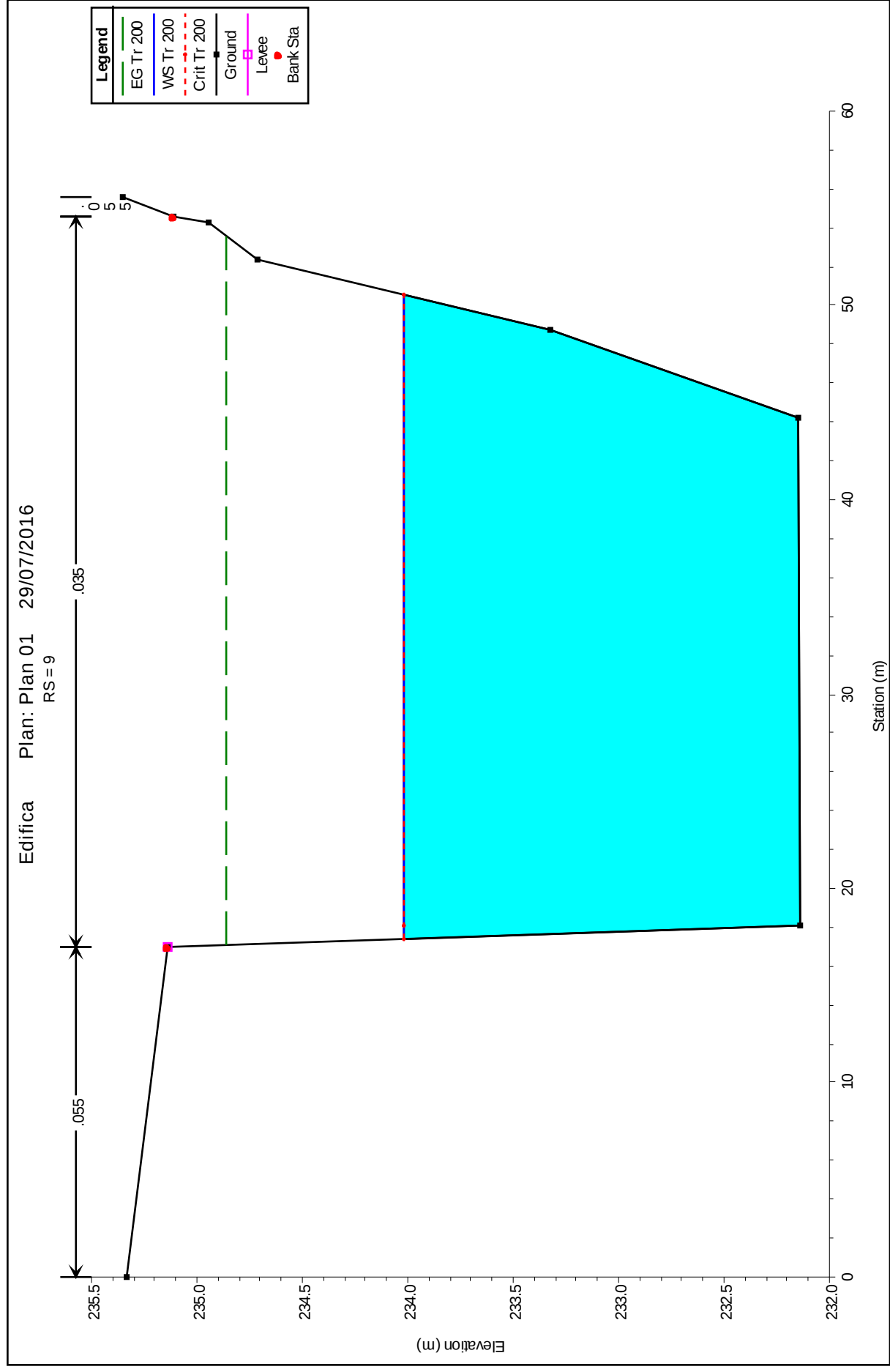
Legend	
EG Tr 200	—
WS Tr 200	—
Crit Tr 200	- - -
Ground	—
Levee	—
Bank Sta	•



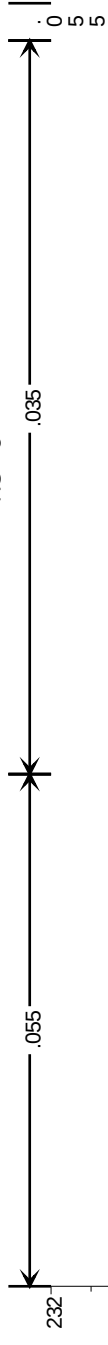




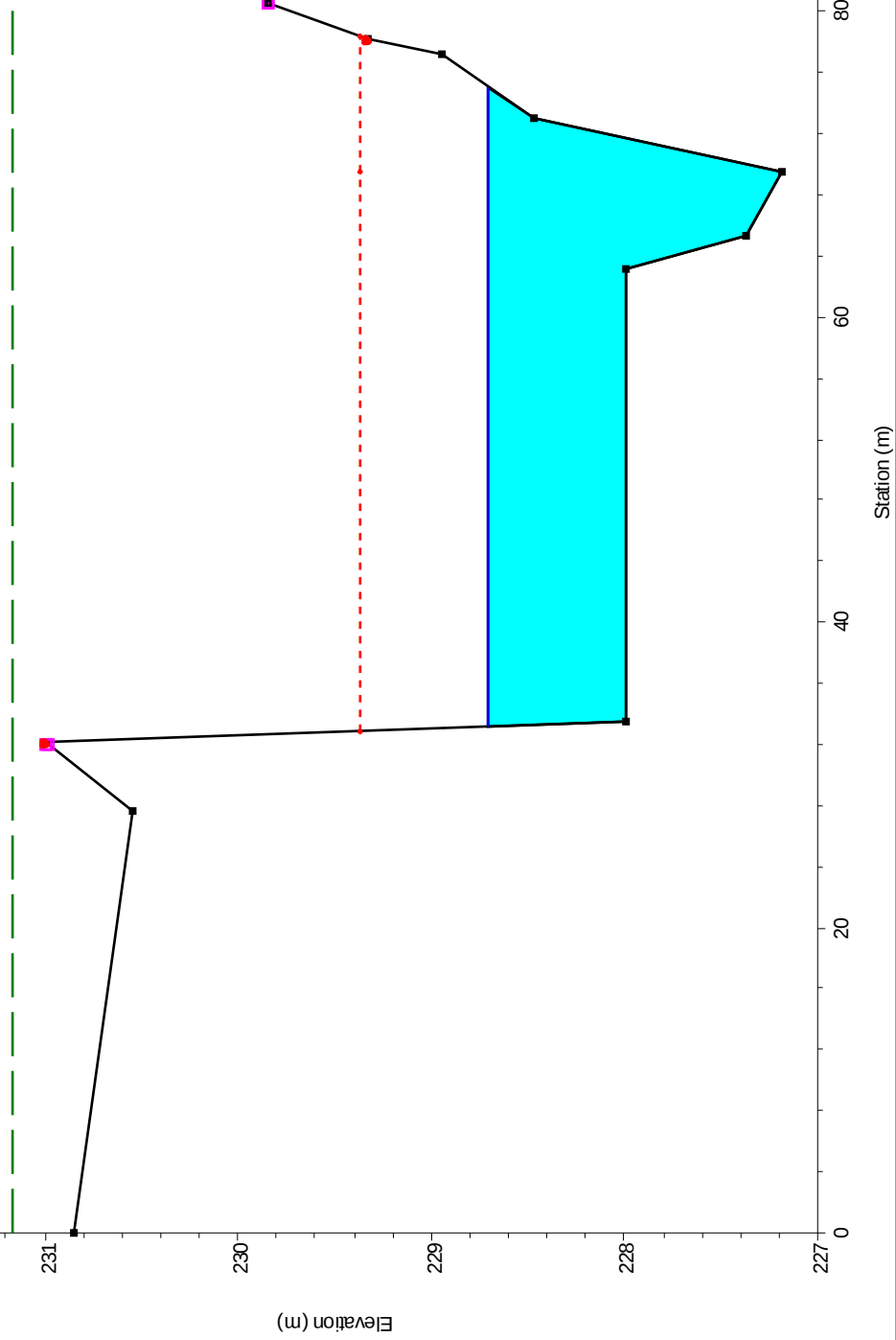




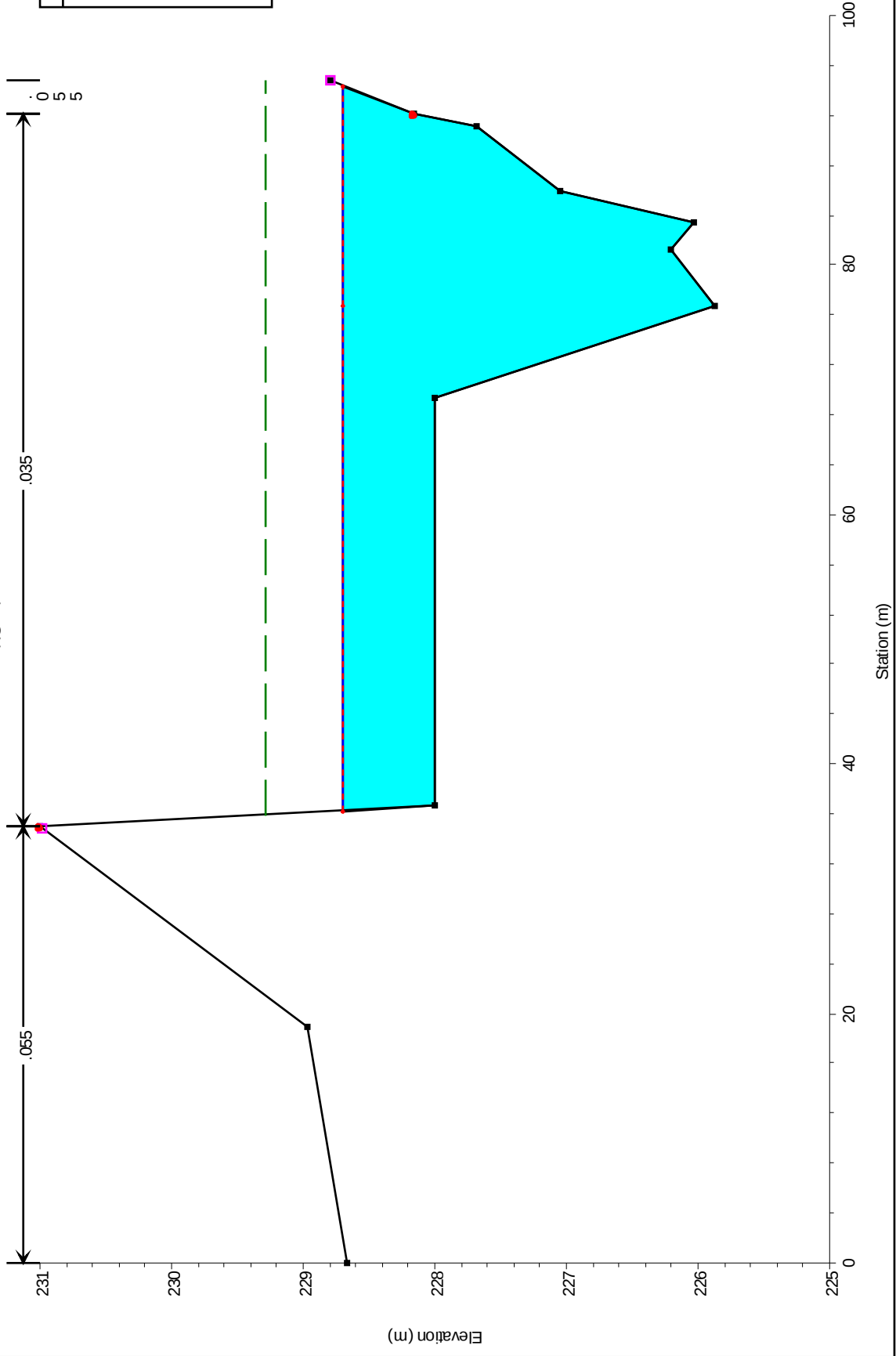
Edifica Plan: Plan 01 29/07/2016
RS = 8



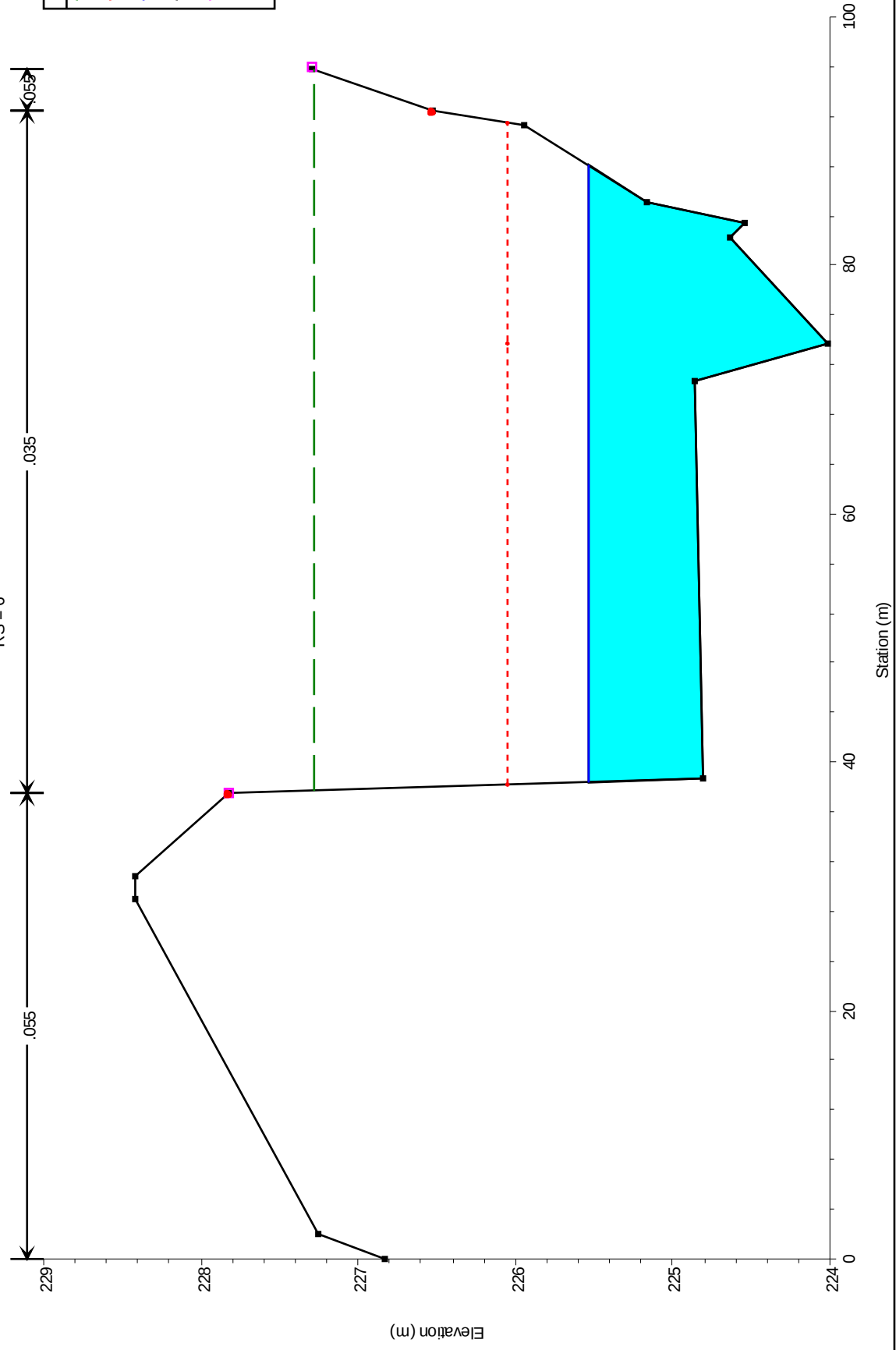
Legend	
EG Tr 200	—
Crit Tr 200	- - -
WS Tr 200	—
Ground	—
Levee	—
Bank Sta	•

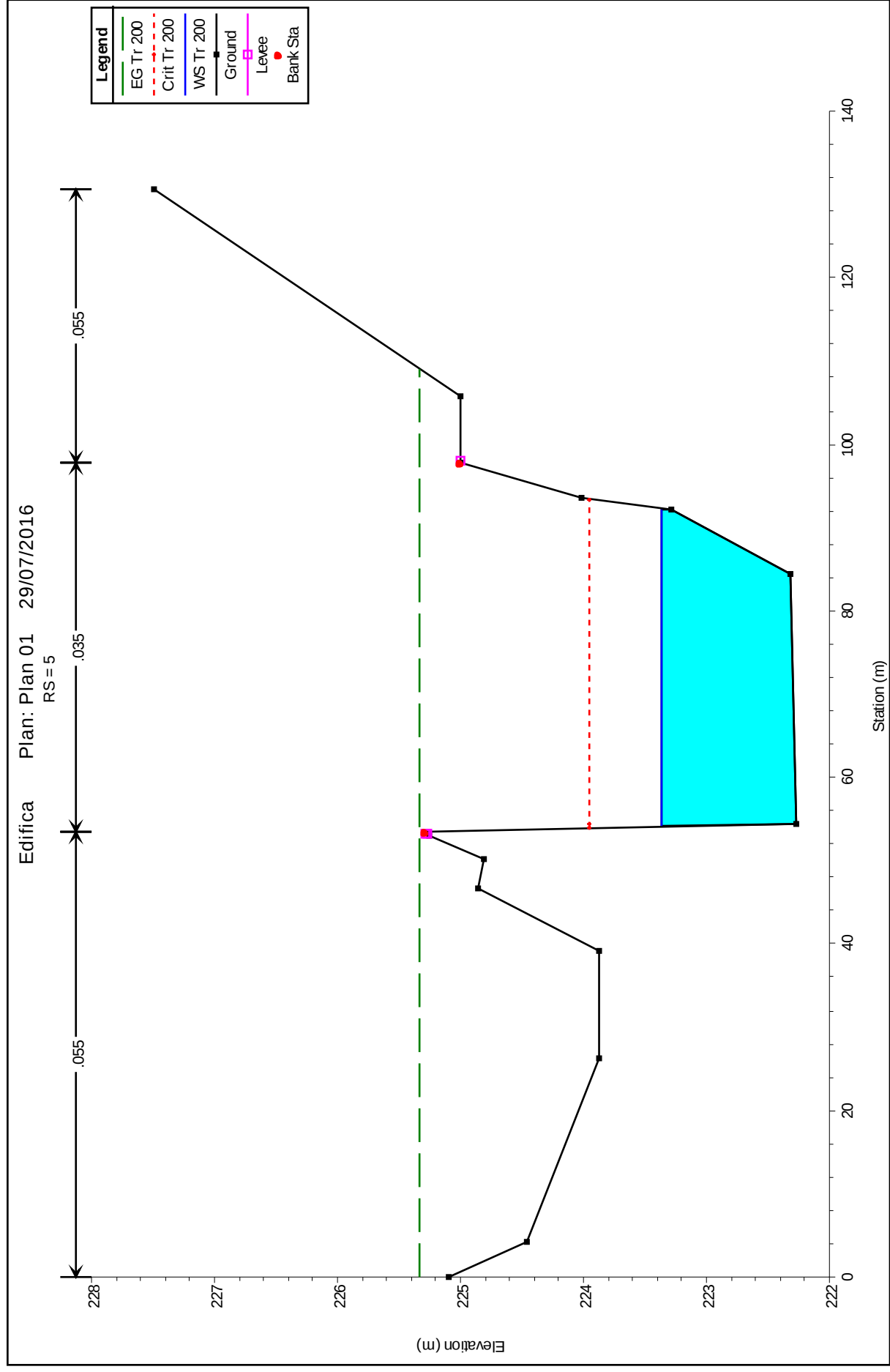


Edifica Plan: Plan 01 29/07/2016
RS = 7

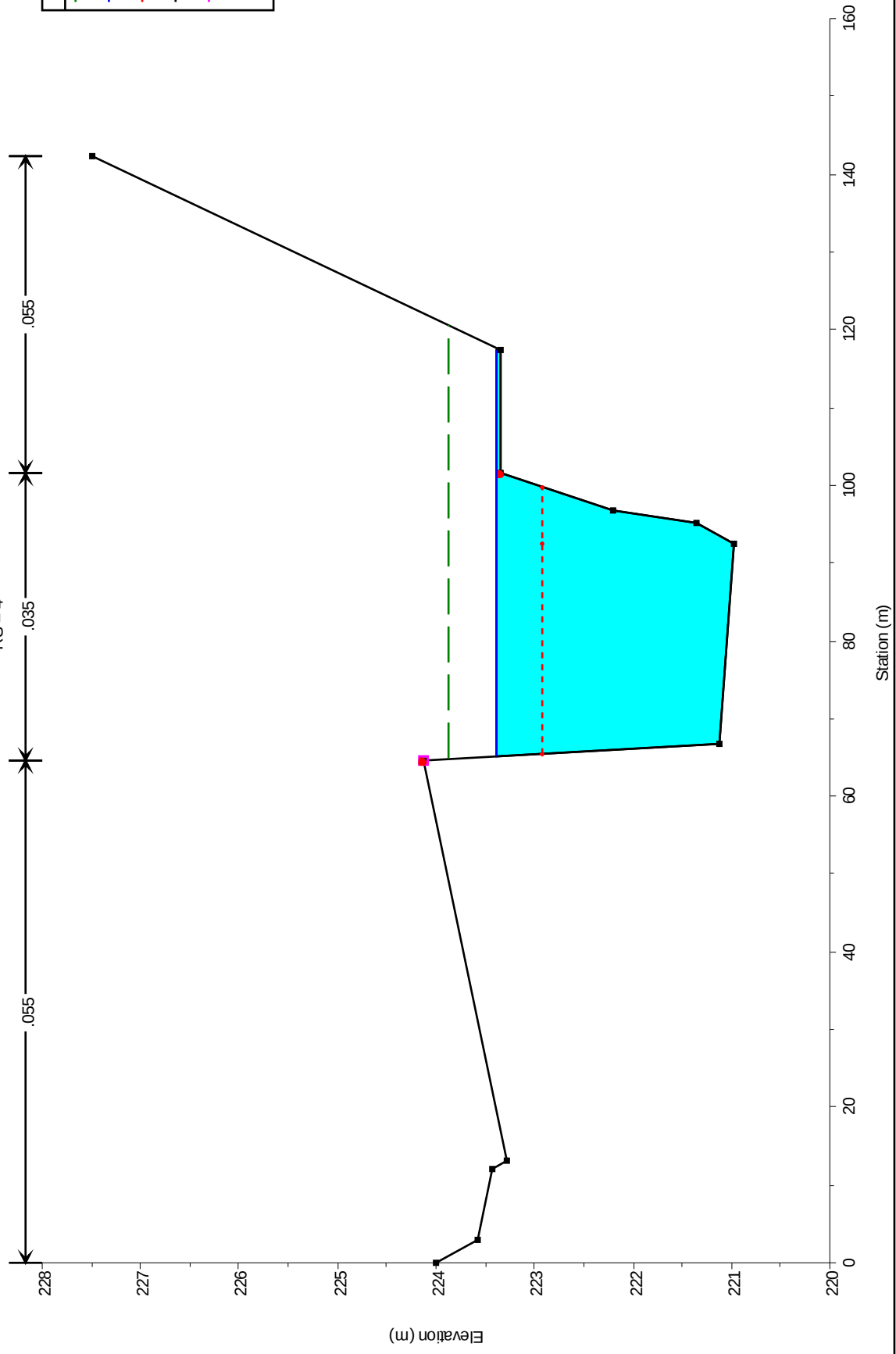


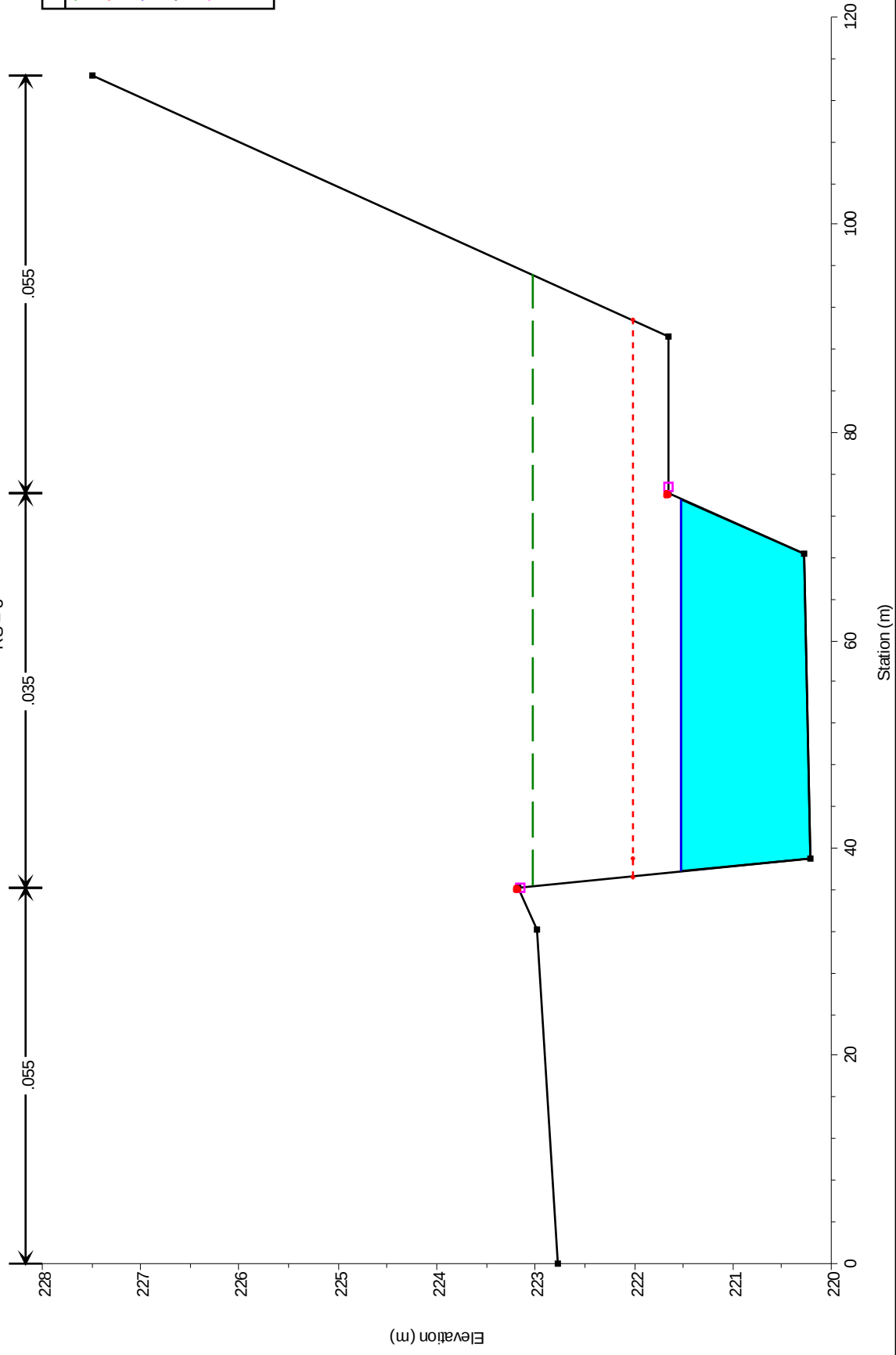
Legend	
EG Tr 200	WS Tr 200
WS Tr 200	Crit Tr 200
Crit Tr 200	Ground
Ground	Levee
Levee	Bank Sta

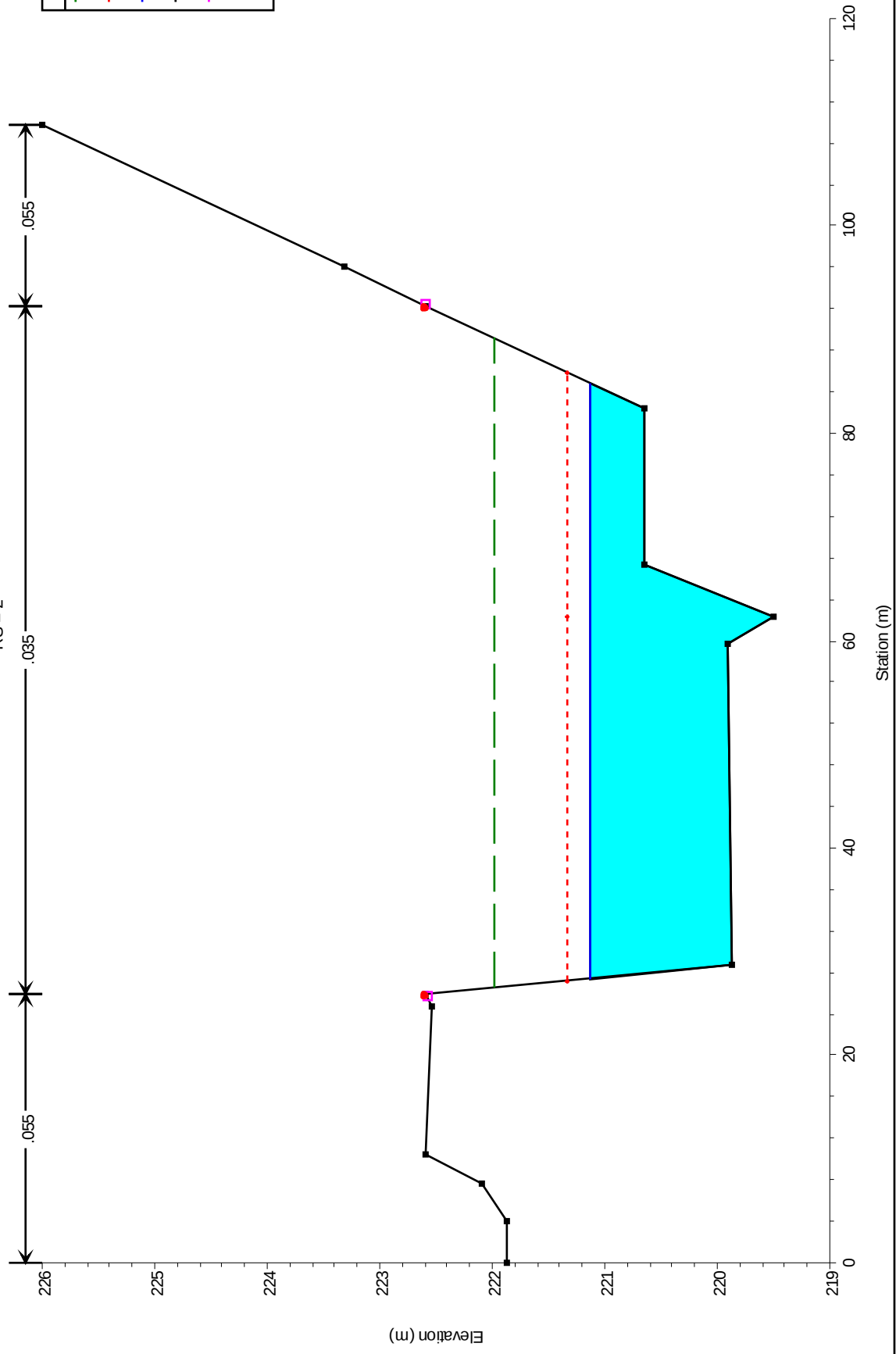




Edifica Plan: Plan 01 29/07/2016
RS = 4







Edifica Plan: Plan 01 29/07/2016
RS = 1 Sezione centrale

