

COMUNE DI PIANORO  
Provincia di Bologna

*Discarica per rifiuti inerti "Ca' Cirenaica" con finalità di  
recupero geomorfologico*

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
5					
4					
3					
2					
1	12/11/21	Prima emissione	CDL	FO	GL
0					

COMMITTENTE:



PROGETTISTI:



Lungotevere delle Navi, 19 - 00196 - ROMA  
Tel. 0636010314 - e-mail main@studiosperi.it

GRUPPO DI LAVORO:

Fabio Oliva

Stefano Orlandi

Vincenzo Battistini

Stefano Leo

Giovanni Cuomo

Chiara Tersigni

Fabrizio Cassone


Gianluca Boninsegni

Silvia Poli

Integrazioni prestazioni specialistiche: Giorgio Lupoi

## PROGETTO DEFINITIVO DELL'IMPIANTO

Categoria documento	Codice Elaborato	Scala
Rapporto di Testo	1.3.1	-
Titolo	Data di emissione	
Relazione Idraulica	12 Novembre 2021	

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

## SOMMARIO

<b>PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>DESCRIZIONE DEL PROGETTO .....</b>	<b>3</b>
Il sistema di drenaggio superficiale .....	3
Vasca di sedimentazione .....	7
<b>STUDIO IDROLOGICO.....</b>	<b>11</b>
Il bacino imbrifero contribuente .....	11
Piogge di progetto.....	11
Determinazione delle piogge di progetto mediante la Procedura VAPI .....	11
Determinazione delle piogge di progetto a partire dalle misurazioni del pluviometro di Pianoro .....	20
Definizione delle piogge di progetto .....	23
Tempo di corrivazione del bacino.....	24
Metodologie di calcolo delle portate di progetto.....	26
Metodo cinematico .....	26
Metodo del Curve Number CN .....	28
Definizione delle portate di progetto .....	32
<b>VERIFICHE IDRAULICHE.....</b>	<b>34</b>
Rete di drenaggio superficiale.....	34
Vasca di sedimentazione .....	36
Verifica degli elementi costitutivi la vasca .....	38
<b>Canalizzazioni.....</b>	<b>44</b>
<b>Tombini .....</b>	<b>45</b>


	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

## PREMESSA

La presente Relazione contiene la descrizione e verifica idraulica del sistema di drenaggio superficiale a servizio dell'ampliamento dell'esistente impianto di messa a dimora definitiva dei rifiuti inerti denominato PREVAM Ca' Cirenaica.

La Relazione si articola nei seguenti capitoli:

- Descrizione del progetto e della rete di drenaggio
- Studio idrologico finalizzato alla definizione delle portate di progetto
- Studio idraulico contenente le verifiche idrauliche della rete di drenaggio prevista e delle opere connesse.

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

## DESCRIZIONE DEL PROGETTO

L'intervento in progetto "Discarica per Rifiuti Inerti Ca' Cirenaica" consiste nella realizzazione di un abbancamento in pendio che ha il piede sul limite superiore del PREVAM, a quota 210 m circa, e si accresce sino quota 290 m circa nella parte più interna della Vallecola del Rio delle Pecore nell'ambito di un circo calanchivo attivo caratterizzato dalle tipiche fenomenologie d'erosione.

Il rilevato di nuova progettazione si imposterà sulla testa del deposito PREVAM, a quota 210-220 m s.l.m; la banca di testa si raccorderà al crinale calanchivo a quota circa 290,00 m s.l.m. tramite una serie di gradoni mistilinei, formati da scarpate di 26°, alte 10 m, interrotte da berme di larghezza dieci metri alla base.

## IL SISTEMA DI DRENAGGIO SUPERFICIALE

Il D. Lgs. 121/2020 stabilisce, per le discariche per inerti, che si adottino tutti gli accorgimenti finalizzati a - limitare la quantità di acqua di origine meteorica che penetra nel corpo della discarica e impedire che le acque superficiali e sotterranee entrino nel corpo della discarica.

Il sistema di drenaggio superficiale previsto per l'ampliamento della discarica è stato concepito per recepire tali prescrizioni, favorendo l'allontanamento delle acque meteoriche dal deposito, mediante la realizzazione di un sistema di canalizzazioni.

Come detto, il deposito di progetto costituisce l'estensione dell'esistente deposito PREVAM Ca' Cirenaica.

Il sistema di drenaggio del deposito PREVAM esistente si compone di canalizzazioni perimetrali in materassi/gabbioni o in cls a sezione rettangolare che scendono sui due lati dell'abbancamento, fino a convergere nel punto di chiusura del bacino ove avviene l'immissione nel Rio Pecore.

Il sistema di drenaggio per l'allontanamento delle acque superficiali dal sito di progetto prevede la realizzazione di canalizzazioni al piede delle scarpate di progetto, realizzate in terra con sezione trapezia e protette da biostuoia. Tali canalizzazioni corrono al piede delle scarpate e convogliano le acque raccolte all'interno di canali perimetrali che scendono lungo i due lati del deposito di progetto, fino ad immettersi nelle esistenti canalizzazioni realizzate nell'ambito del progetto PREVAM.

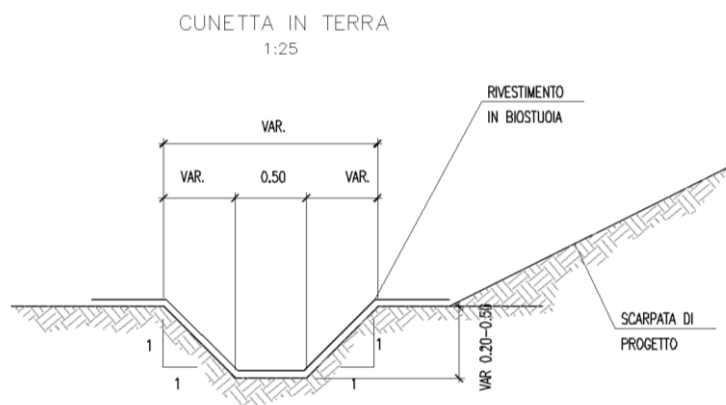


FIGURA 1: CUNETTA TRAPEZIA IN TERRA AL PIEDE DELLE SCARPATE

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

Le canalizzazioni perimetrali sono realizzate, in analogia con la sistemazione esistente, in calcestruzzo a sezione rettangolare, con dimensioni interne 1.00x1.00 m o 1.50x1.50 m. La scelta del calcestruzzo deriva dalla necessità di non avere infiltrazione di acque provenienti dall'esterno dell'abbancamento nel corpo della discarica, come richiesto dal cogente D.Lgs. 121/2020. L'altezza interna delle canalizzazioni può essere aumentata per conferire al fondo una pendenza motrice utile al deflusso delle portate nei lunghi tratti in corrispondenza delle banche orizzontali.

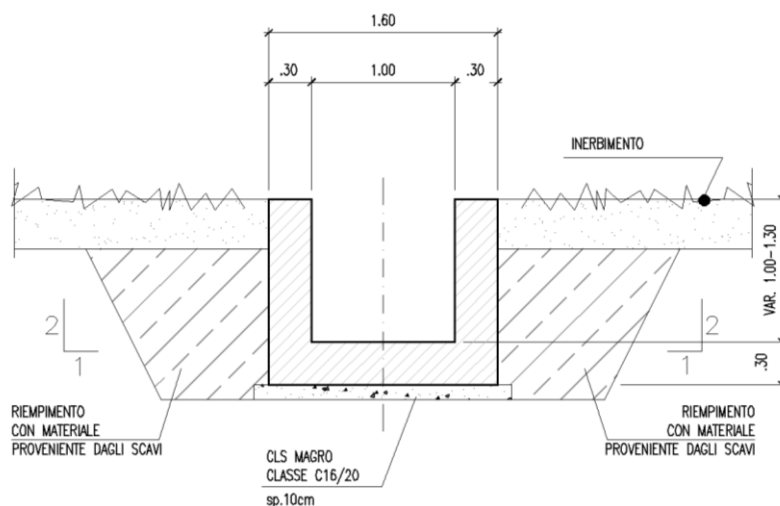


FIGURA 2: CANALE RETTANGOLARE IN CLS 1.00X1.00 M

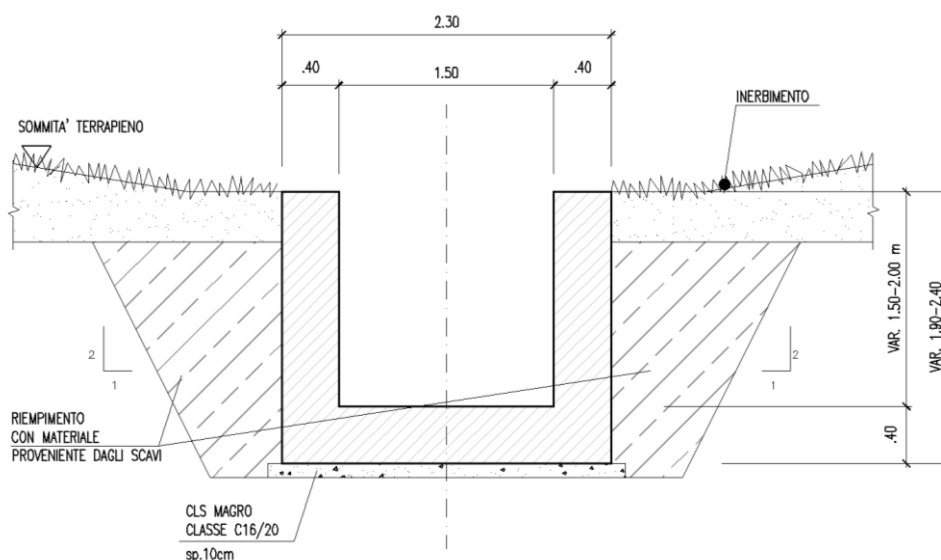


FIGURA 3: CANALE RETTANGOLARE IN CLS 1.50X1.50 M

Inoltre, lungo i tratti in corrispondenza delle scarpate di progetto, la corrente può raggiungere elevate velocità, che potrebbero portare all'erosione del fondo del canale: per ovviare a questo inconveniente, lungo le scarpate è prevista la gradonatura del canale, mediante la realizzazione di salti di fondo di altezza 1.00 m, che contribuiscono a dissipare parte dell'energia cinetica di cui la corrente è dotata.

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

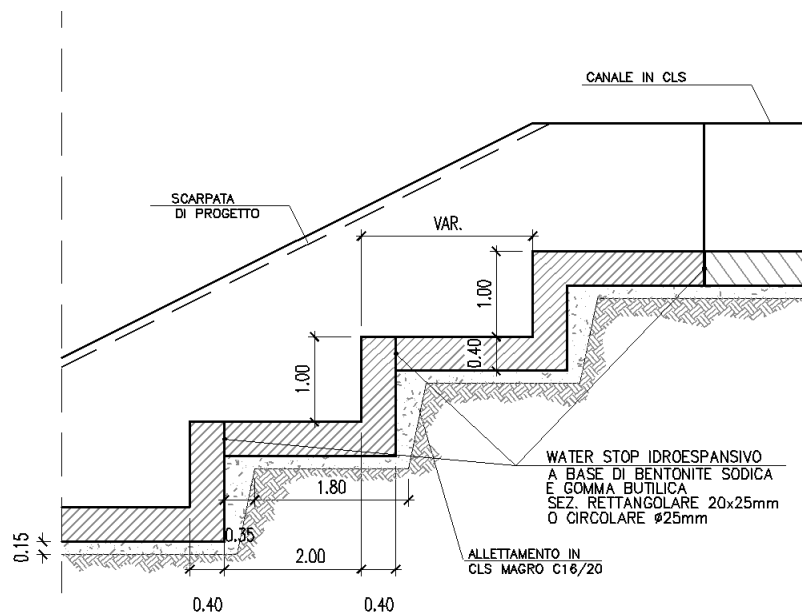


FIGURA 4: GRADONATURA DEL CANALE SULLE SCARPATE

In corrispondenza dei cambi di sezione e di bruschi cambi di direzione, sono ubicati pozzetti in cls a pianta quadrata 2.50x2.50 m.

Il canale rettangolare in cls può però costituire un ostacolo al passaggio della fauna locale che, in caso di caduta all'interno del canale, difficilmente riuscirebbe ad uscirne. Per ovviare a questo inconveniente, in alcuni tratti di canale è stata proposta una sezione ibrida in cls e legname, in cui la sponda lato monte viene realizzata con tronchi di diametro 15-20 cm di larice o castagno, inclinati di 34° sull'orizzontale, pendenza che ne rende possibile la scalata da parte anche di animali di piccole dimensioni.

CANALE RETTANGOLARE IBRIDO IN CLS E LEGNO — 1.00x1.00 m  
1:25

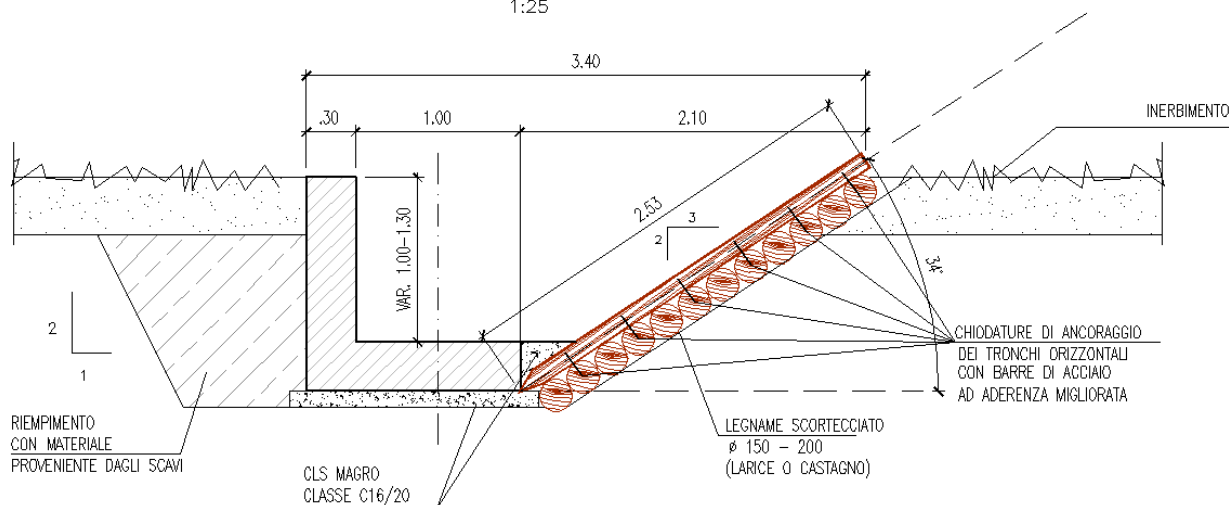


FIGURA 5: CANALE IBRIDO IN CLS E LEGNAME

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

A protezione delle piste di cantiere che si arrampicano lungo le scarpate del deposito di progetto, sono ubicate canalette semicircolari in lamiera zincata ondulata, che intercettano le acque ruscellanti sul pendio prima che arrivino sulla pista e le convogliano verso le canalizzazioni poste sulle banche.

#### CANALETTA DI GUARDIA LUNGO LE VIABILITA' DI CANTIERE

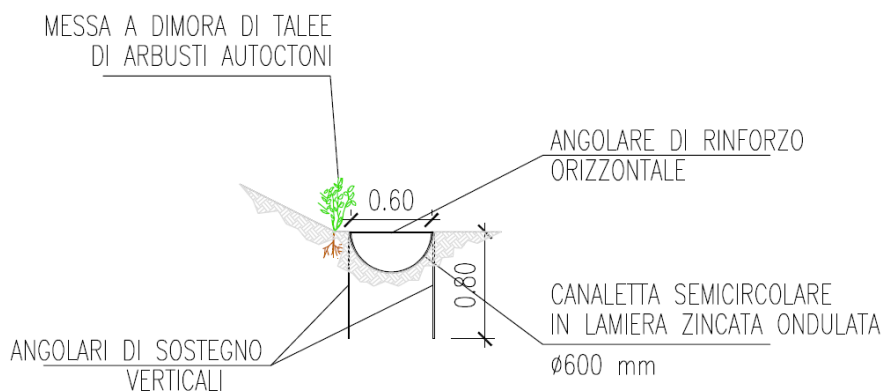


FIGURA 6: CANALETTA METALLICA A PROTEZIONE DELLE VIABILITÀ DI CANTIERE

Laddove le viabilità di cantiere interferiscono con i fossi al piede delle scarpate, si prevede l'inserimento di collettori in c.a.v. di diametro 500 mm, calottati con cls per consentire il passaggio dei mezzi di cantiere.

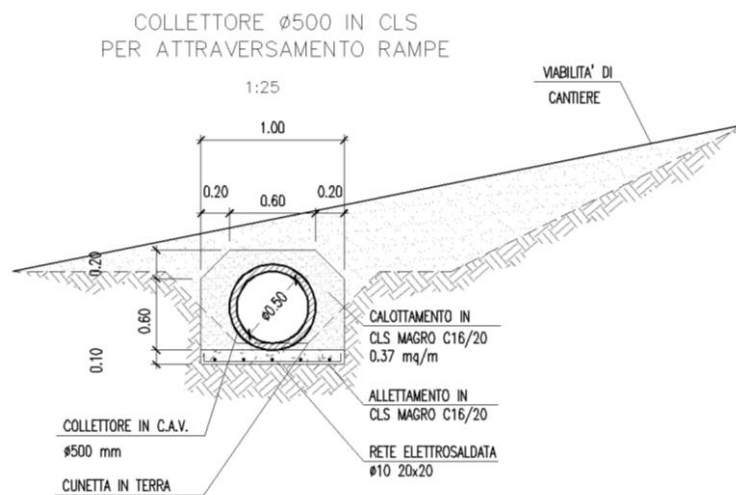



FIGURA 7: COLLETORE D500 MM PER ATTRAVERSAMENTO PISTE DI CANTIERE

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

### VASCA DI SEDIMENTAZIONE

La legislazione regionale dell'Emilia Romagna (DGR 1860/2006 e DGR 286/2005) prevede, per le discariche di inerti, la realizzazione di bacini di sedimentazione in continuo in cui far precipitare il particolato solido in sospensione nelle acque proveniente dai piazzali di stoccaggio dei materiali in attesa della messa a dimora. Le acque meteoriche di dilavamento provenienti da superfici soggette a dilavamento per l'intera durata dell'evento meteorico, possono infatti trasportare nel reticolo idrografico naturale sostanze inquinanti e polveri provenienti dai materiali abbancati. E' pertanto necessario creare un sistema di vasche all'interno delle quali creare le condizioni idrauliche necessarie alla separazione del particolato solido in sospensione da eliminare.

Nel caso in esame, la vasca di sedimentazione è stata progettata per essere realizzata nella cosiddetta "Area Logistica 1", considerando una geometria in pianta di forma irregolare, avente superficie totale pari a 2580 m<sup>2</sup> e profondità massima di 3.0 m. A monte viene fatta confluire la canalizzazione proveniente dal deposito PREVAM, mentre a valle un'ulteriore canalizzazione permette alla portata uscente di immettersi nell'alveo del Rio Pecore.

All'interno della vasca è stato previsto un sistema di muri a mensola in c.a. con lo scopo di aumentare il percorso idraulico e il tempo di permanenza delle portate in entrata favorendo la precipitazione dei sedimenti contenuti nell'acqua in arrivo dal deposito PREVAM. Le sponde laterali della vasca sono invece realizzate in gabbioni di ferro zincato a doppia torsione riempiti con materiale inerte opportunamente dimensionato, poggiati su una base in magrone realizzata con una inclinazione di 10° rispetto all'orizzontale e impermeabilizzati tramite due strati di tessuto impermeabile sovrapposti.

La vasca verrà costruita seguendo la pendenza del terreno e il sistema di setti andrà a realizzare una suddivisione della superficie totale in porzioni a debole pendenza separate da stramazzi a larga soglia di altezza pari a 0.5m e larghezza compresa tra 5m e 7m. La quota di fondo della vasca è variabile e diversa per ogni porzione.

La vista planimetrica della vasca nel contesto delle opere esistenti è mostrata di seguito in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**<sup>8</sup>, mentre in Figura 9 e 10 vengono riportate la planimetria di dettaglio e la sezione tipo della vasca di sedimentazione.

In Figura 11, infine, una rappresentazione tridimensionale del manufatto.



	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

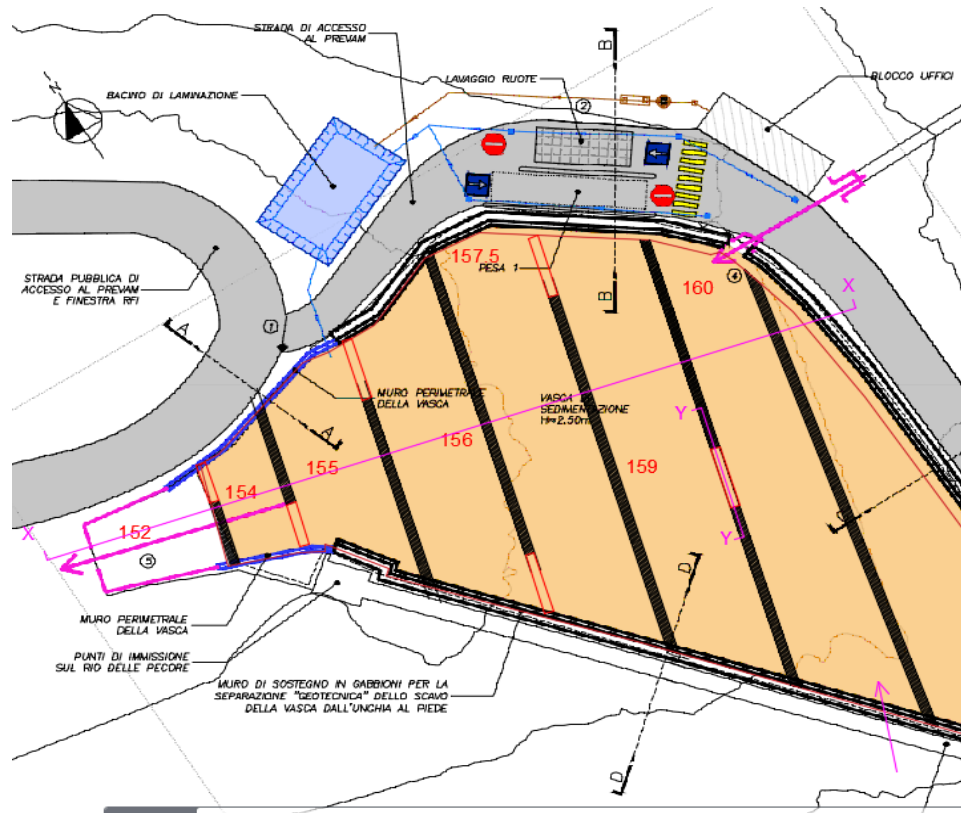


FIGURA 8: UBICAZIONE VASCA DI SEDIMENTAZIONE

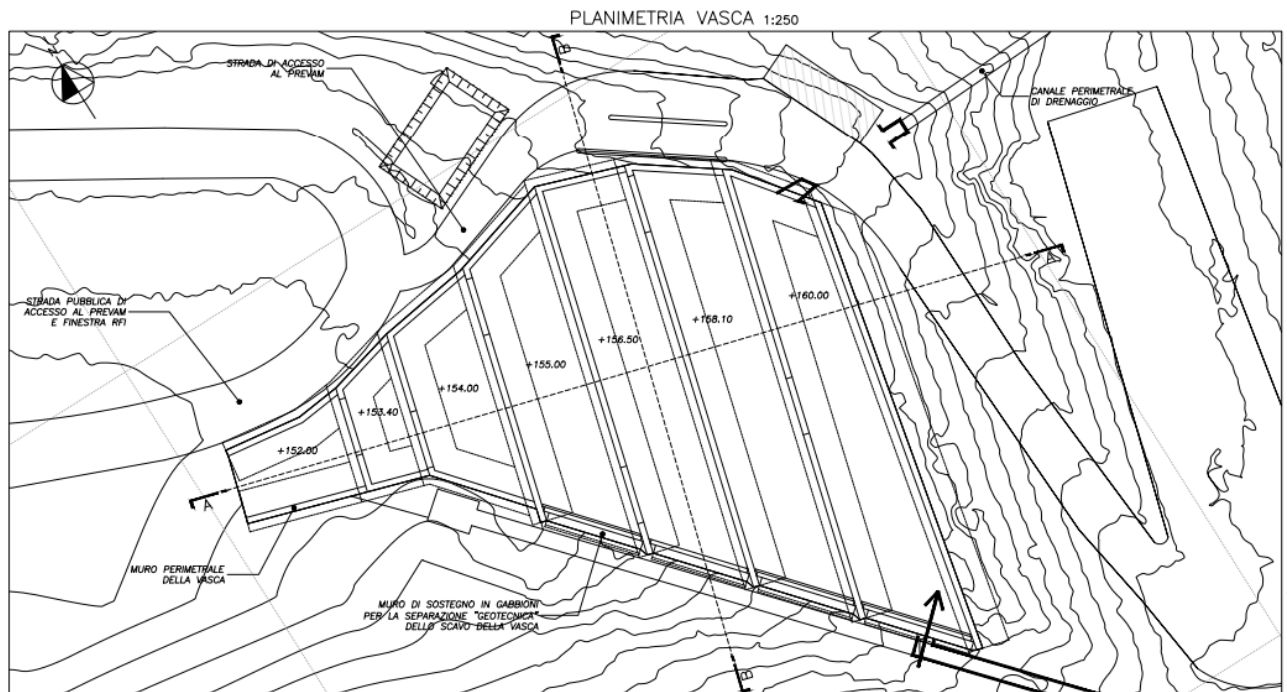


FIGURA 9: PLANIMETRIA VASCA DI SEDIMENTAZIONE

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

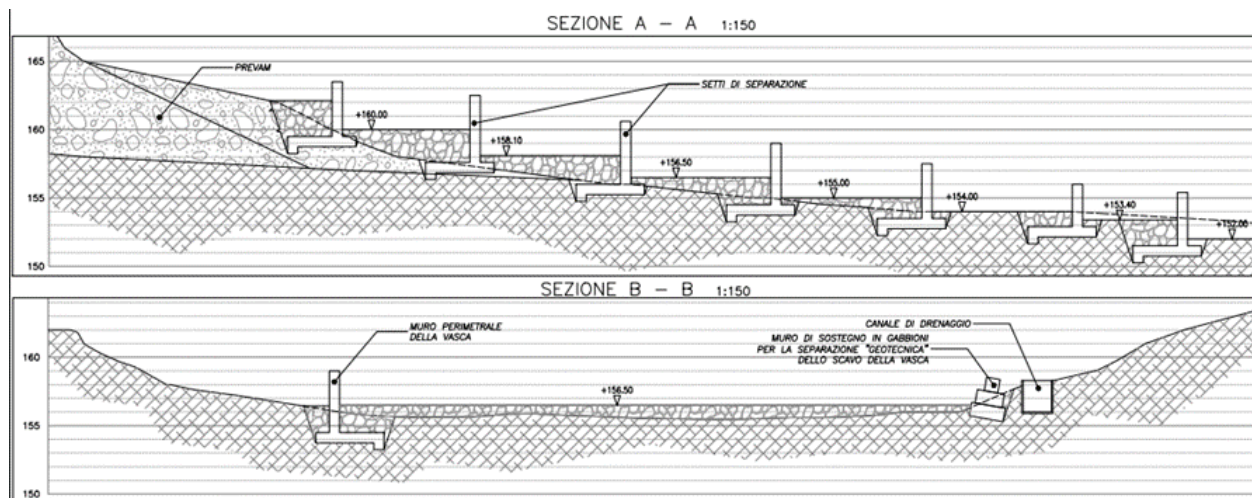


FIGURA 10: SEZIONE TIPO DELLA VASCA DI SEDIMENTAZIONE

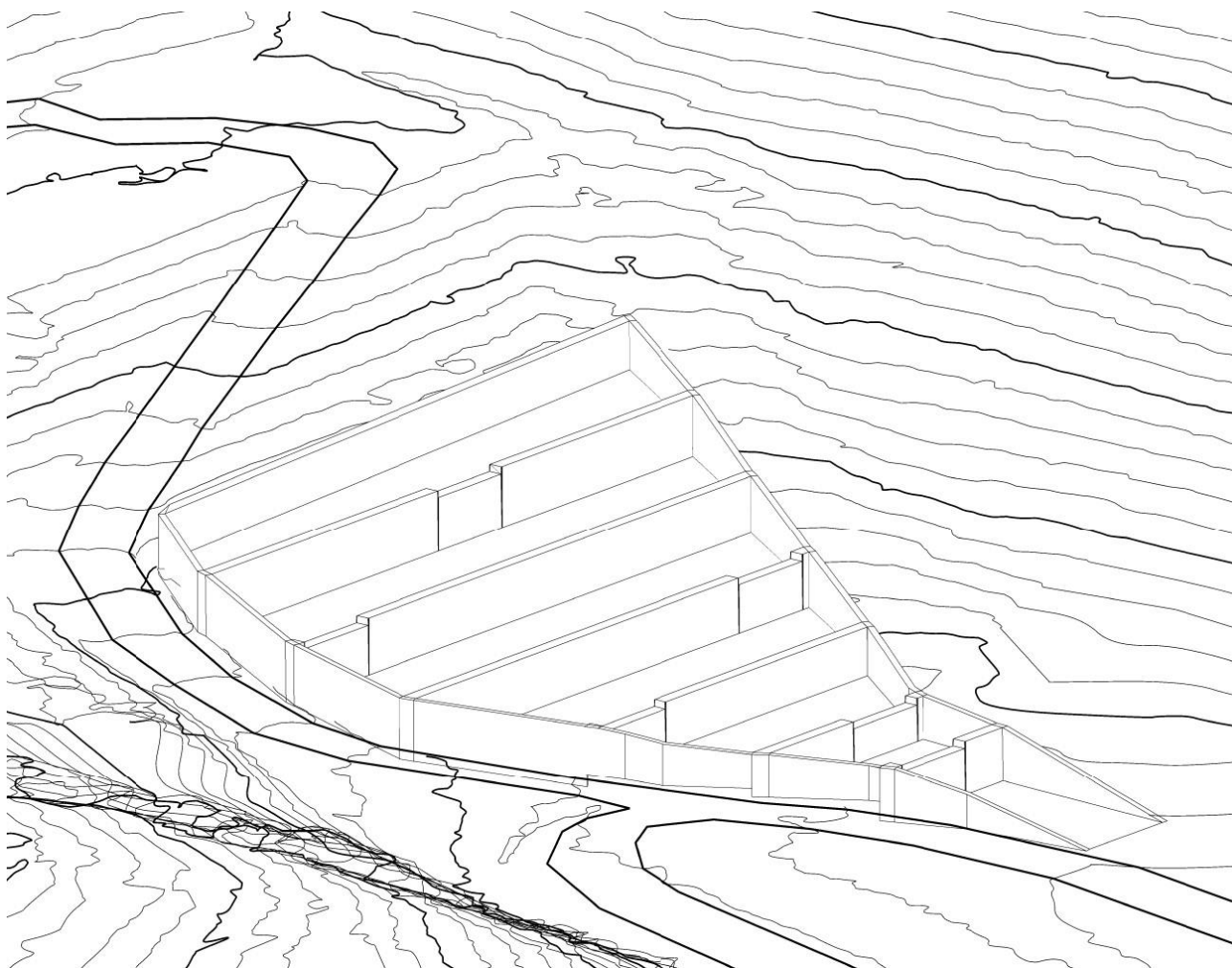



FIGURA 11: PROFILO TRIDIMENSIONALE DELLA VASCA DI SEDIMENTAZIONE

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

Il fondo della vasca sarà reso impermeabile attraverso uno strato di argilla compattata al di sotto del quale sarà installato un tessuto geocomposito bentonitico. Infine, per facilitare le operazioni di rimozione dei sedimenti, verrà installato un ulteriore telo in LDPE.

La vasca verrà alimentata tramite due canalizzazioni in cls a sezione rettangolare 2.5m x 1.5 m. Una analoga soluzione verrà adottata per le portate in uscita che affluiranno nell'alveo del Rio Pecore.

Per facilitare lo svuotamento della vasca, un sistema di trincee drenanti verrà installato lungo i lati delle stesse, in corrispondenza della base dei gabbioni, ovvero lungo il tratto di muro sottostante gli sfioratori.

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

## STUDIO IDROLOGICO

Il deposito di progetto interessa il bacino del Rio Pecore, incisione naturale di modesta entità a carattere torrentizio, non dotato di stazioni di misura. Pertanto per il calcolo delle portate si deve fare riferimento a metodi indiretti, basati sulla determinazione delle piogge di progetto o sulla valutazione di contributi di portata per unità di superficie. Nel seguito saranno descritte e messe a confronto le diverse metodologie impiegate per la valutazione delle portate di progetto. Il tempo di ritorno utilizzato per le verifiche è 200 anni.

### IL BACINO IMBRIFERO CONTRIBUENTE

La sistemazione di progetto costituisce, come detto, una estensione del precedente deposito PREVAM di Ca' Cirenaica. Dall'analisi della cartografia, si evince come il deposito di progetto interessi un bacino avente la medesima estensione (circa 366000 m<sup>2</sup>) di quello considerato per il deposito esistente, limitato esternamente dalla linea di cresta delle alture circostanti. La quota massima si attesta sui 310 m s.m. mentre la quota all'inserzione sul deposito esistente è 220 m s.m.. La quota allo scarico nel reticolo naturale è circa 175 m s.m.

Dei circa 366000 m<sup>2</sup>, circa 213000 sono occupati dai versanti naturali del vallone, mentre i restanti circa 153000 m<sup>2</sup> sono occupati dal deposito PREVAM esistente e da quello di progetto. La gran parte dei versanti esistenti interessa la porzione di deposito già realizzata, mentre il deposito di progetto va a colmare la parte più elevata del vallone, riducendo l'estensione dei ripidi versanti naturali. Ciò assumerà una notevole rilevanza nella determinazione dei parametri necessari al calcolo delle portate di progetto.

### PIOGGE DI PROGETTO

Le piogge di progetto possono essere ricavate su base statistica a partire dalle precipitazioni osservate nei decenni passati nell'area di interesse. Nel presente studio sono state adottate due differenti metodologie per la determinazione delle curve di probabilità pluviometrica di progetto.

---

### DETERMINAZIONE DELLE PIOGGE DI PROGETTO MEDIANTE LA PROCEDURA VAPI

---

La prima procedura utilizzata parte dai risultati ricavati nell'ambito dello studio *"La valutazione delle piogge intense su base regionale"* (A. Brath, M. Franchini, 1998) di seguito descritto.

Lo studio citato ha come oggetto la definizione del Metodo VAPI-piogge al territorio appartenente alle regioni amministrative Emilia-Romagna e Marche.

I modelli regionali VAPI si basano sull'ipotesi di esistenza di regioni compatte e idrologicamente omogenee all'interno delle quali le piogge intense normalizzate rispetto ad una pioggia di riferimento – la pioggia indice – siano descrivibili da una stessa distribuzione di probabilità, denominata curva di crescita.

In particolare l'area in esame è stata suddivisa in 5 zone omogenee, come mostrato in Figura , per le quali valgono i seguenti valori dei parametri della curva di crescita:

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

TABELLA 1: PARAMETRI DELLE CURVE DI CRESCITA RELATIVE AL MODELLO TCEV PER LE VARIE DURATE

Zona	$\lambda$	$\theta$	$\lambda_1$	$\eta$	Note
Zona A	0.109	2.361	24.70	4.005	Valida per tutte le durate
Zona B	1.528	1.558	13.65	4.651	Valida per d = 1 ora
			19.35	5.000	Valida per d = 3 ore
			26.20	5.303	Valida per d = 6 ore
			39.20	5.706	Valida per d ≥ 12 ore ed 1 giorno
Zona C	1.528	1.558	13.65	4.615	Valida per d = 1 ora
			14.70	4.725	Valida per d = 3 ore
			20.25	5.046	Valida per d = 6 ore
			25.70	5.284	Valida per d ≥ 12 ore ed 1 giorno
Zona D	0.361	2.363	29.00	4.634	Valida per tutte le durate
Zona E	0.044	3.607	13.60	3.328	Valida per d = 1 ora
			19.80	3.704	Valida per d = 3 ore
			23.65	3.882	Valida per d = 6 ore
			30.45	4.135	Valida per d ≥ 12 ore ed 1 giorno

L'area oggetto dell'intervento ricade all'interno della Zona B.

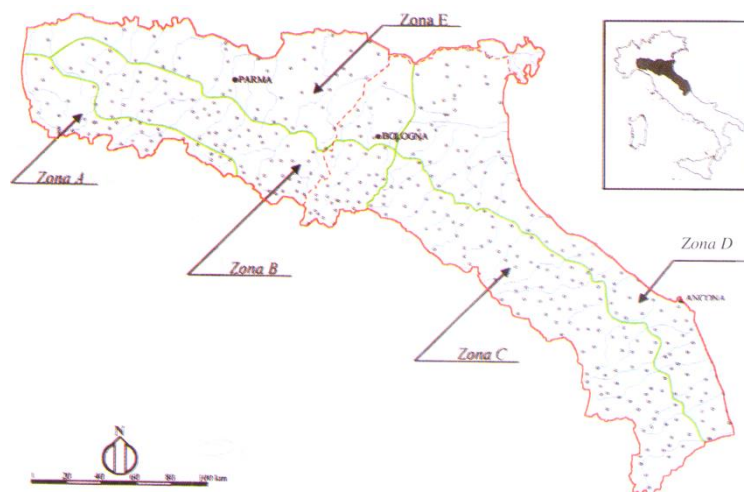


FIGURA 12: ZONE OMOGENEE CON RIFERIMENTO REGIME DI FREQUENZA DELLE PIOGGE INTENSE

La curva di crescita si ricava invertendo l'espressione (3.1) scritta in funzione del tempo di ritorno, mentre la pioggia indice viene calcolata mediante la (3.2):

$$P(x) = \exp\left[-\lambda_1 \exp(-x \eta) - \lambda \lambda_1^{1/\theta} \exp(-x \eta/\theta)\right] \quad (3.1)$$

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

$$\mu = m_1 \cdot d^{\frac{\ln(m_G) - \ln(\gamma) - \ln(m_1)}{\ln(24)}} \quad (3.2)$$

$m(h24)$  = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione di durata d(24 ore);

$m_G$  = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione giornaliera;

$m_1$  = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione in 1 ora;

$\gamma = m_G / m(h24) = 0.89$  nella regione esaminata.

Per la determinazione dei parametri  $m_1$  e  $m_G$  si fa riferimento alle isolinee riportate in Figura 13.

In conclusione, si ricava che il parametro  $a$  delle LSPP è pari al prodotto del coefficiente  $m_1$  per la curva di crescita, mentre il parametro  $n$  è pari a:

$$n = \frac{\ln(m_G) - \ln(\gamma) - \ln(m_1)}{\ln(24)} \quad (3.3)$$



	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

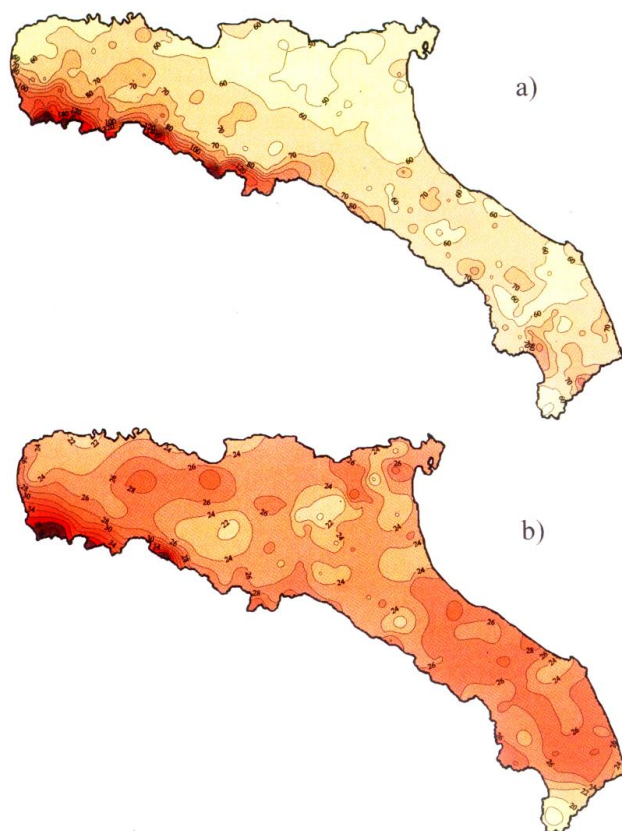


FIGURA 13: ISOLINEE DELLE ALTEZZE MEDIE DI PIOGGIA MASSIME ANNUALI DELLA DURATA DI 1 GIORNO (A) E 1 ORA (B)

Per l'area in esame, appartenente alla "zona omogenea B", sono stati stimati valori dei parametri  $m_1$  e  $m_G$  pari rispettivamente a 25 e 60, mentre il parametro  $\gamma$ , che, come dimostrato da numerosi studi, risulta poco variabile da sito a sito, assume il valore di 0.89.

La Tabella 2 riporta i valori calcolati per i parametri  $a$  e  $n$  delle LSPP ricavati.

TABELLA 2: VALORI DEI PARAMETRI DELLE LSPP PER DIVERSI TR

a (TR25) anni	A (TR50) anni	a (TR100) anni	a (TR200) anni	n
42.35	47.64	52.15	58.03	0.312

La definizione delle piogge di breve durata, tipicamente inferiore all'ora, è stata definita in base ai rapporti  $r_d$  tra le altezze di durata  $d$  molto breve e l'altezza oraria.

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

Questa metodologia è utilizzata nelle zone in cui non sono disponibili osservazioni dirette per durate inferiori all' ora, come ancora oggi nella maggior parte delle stazioni pluviometriche italiane. La metodologia (cfr. AAVV, Sistemi di fognatura, Manuale di progettazione, 1997, ed. HOEPLI), parte dall'osservazione che i rapporti  $r_d$  fra le altezze di pioggia di durata  $d$  inferiori all'ora e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località. In questo studio si è fatto riferimento ai dati disponibili per il pluviografo di Milano Monviso dove, su un campione di 17 anni di osservazioni sono stati calcolati i rapporti  $r_d$  dei valori medi delle massime altezze di pioggia annue di diversa durata  $h'$  rispetto al valor medio della massima altezza annua oraria  $h1$ .


TABELLA 3: RAPPORTI RD TRA LE ALTEZZE DI DURATA D MOLTO BREVE E L'ALTEZZA ORARIA

	$h1/h1ora=$	$h2/h1ora=$	$h3/h1ora=$	$h4/h1ora=$	$h5/h1ora=$	$h10/h1ora=$	$h15/h1ora=$	$h30/h1ora=$	$h45/h1ora=$
<b>rd</b>	0.130	0.180	0.229	0.272	0.322	0.490	0.601	0.811	0.913

TABELLA 4: ALTEZZE DI PIOGGIA PER DIFFERENTI TR

	<b>h(t; Tr)</b>			
<b>t</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>
1'	5.51	6.19	6.78	7.54
2'	7.62	8.57	9.39	10.45
3'	9.70	10.91	11.94	13.29
4'	11.52	12.96	14.18	15.78
5'	13.64	15.34	16.79	18.69
15'	25.45	28.63	31.34	34.88
20'	27.95	31.44	34.42	38.30
30'	34.35	38.63	42.29	47.06
45'	38.67	43.49	47.61	52.98
1 h	42.35	47.64	52.15	58.03
3 h	59.68	67.12	73.48	81.77
6 h	74.09	83.33	91.23	101.52
12 h	91.99	103.46	113.27	126.05
24 h	114.21	128.45	140.62	156.49



	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

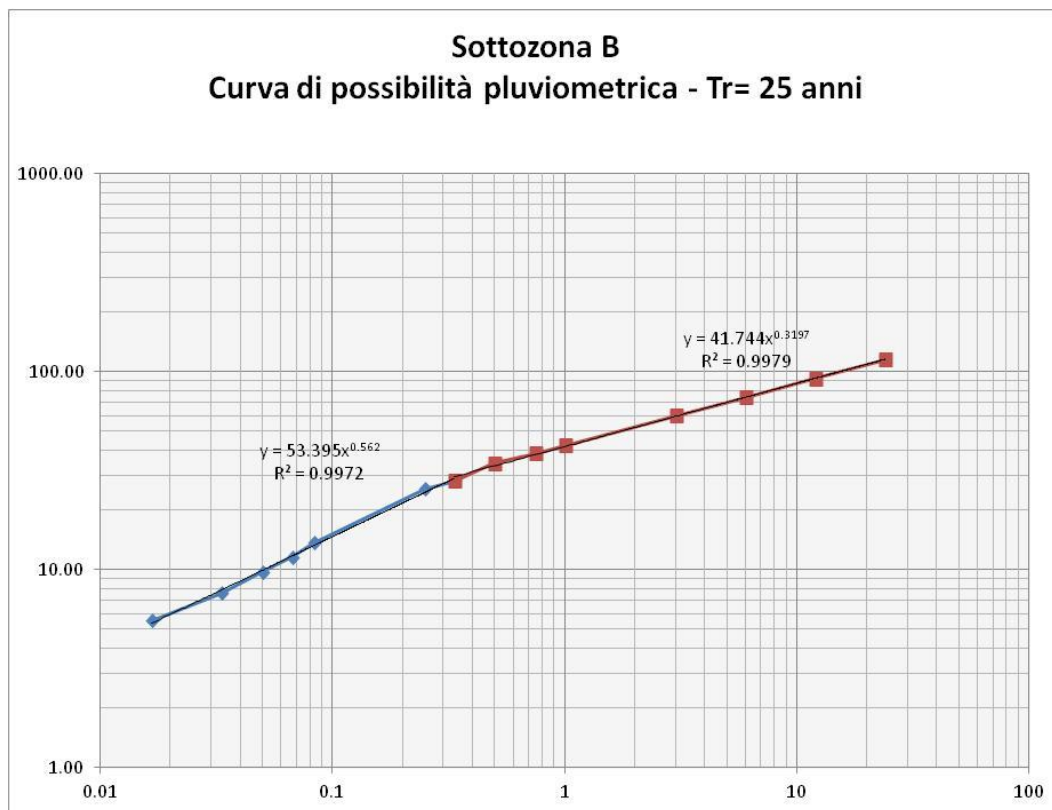


FIGURA 14: CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA TR 25

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

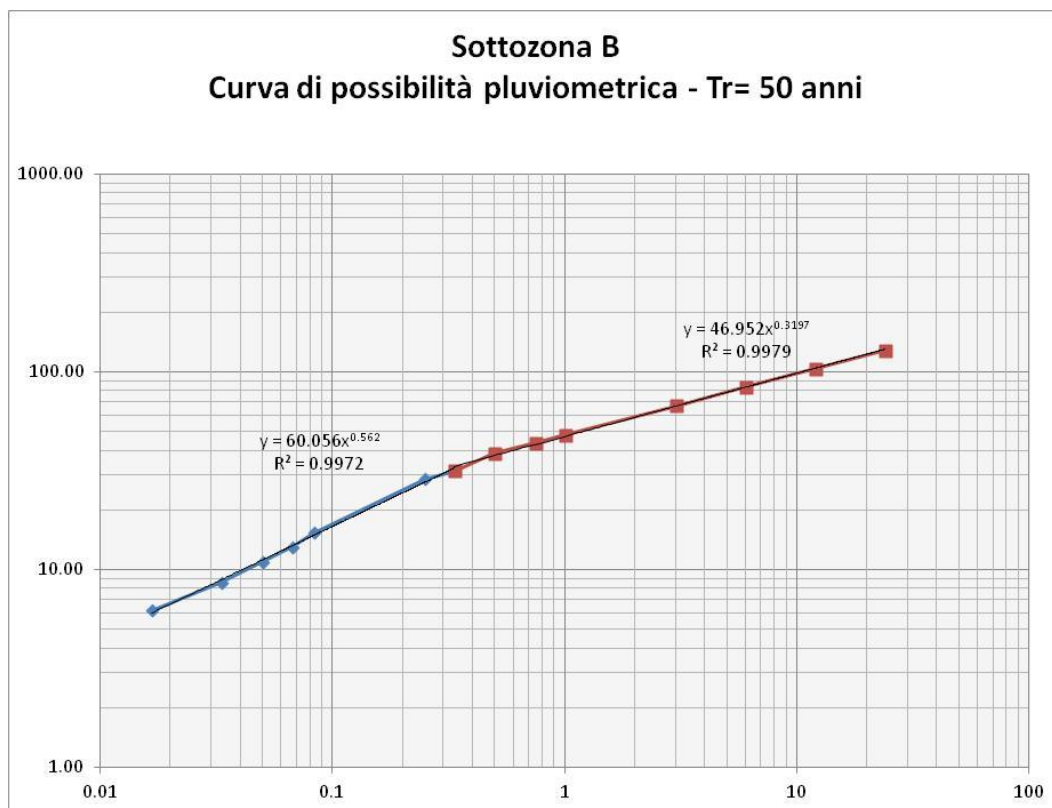


FIGURA 15: CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA TR 50

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

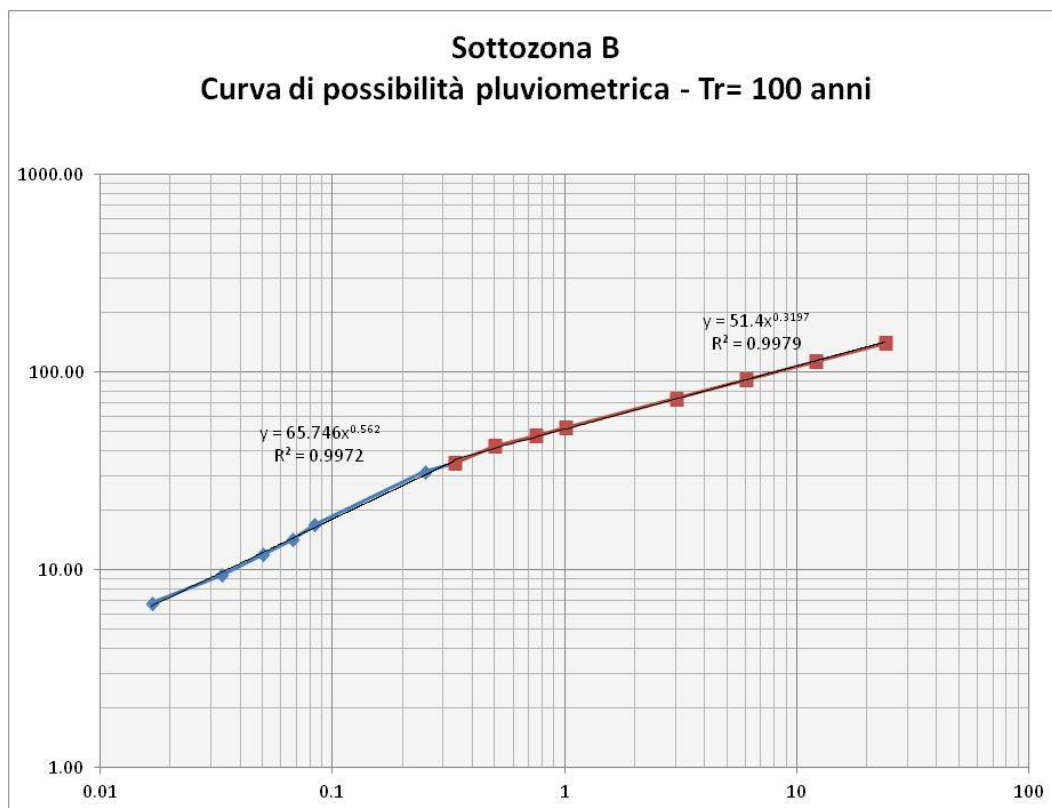



FIGURA 16: CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA TR 100

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

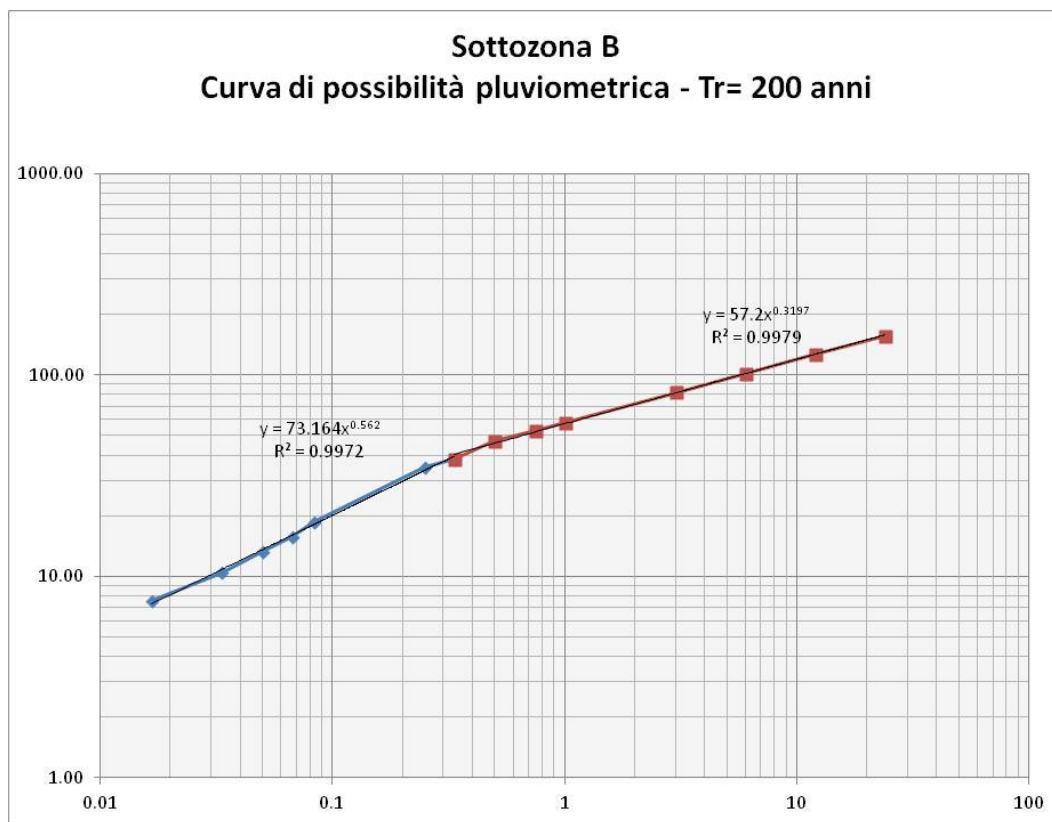


FIGURA 17: CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA TR 200

Si riporta la sintesi delle curve di possibilità pluviometrica desunte attraverso interpolazione in funzione del tempo di ritorno e della durata dell'evento considerato.

TABELLA 5: PARAMETRI CARATTERISTICI DELLE CPP

t < 20min			t > 20min		
TR	A	n	TR	a	n
25	53.39	0.56	25	41.74	0.32
50	60.06	0.56	50	46.95	0.32
100	65.75	0.56	100	51.40	0.32
200	73.16	0.56	200	57.20	0.32

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

## DETERMINAZIONE DELLE PIOGGE DI PROGETTO A PARTIRE DALLE MISURAZIONI DEL PLUVIOMETRO DI PIANORO

La seconda procedura utilizzata per la valutazione delle piogge di progetto parte dalle registrazioni eseguite dalla stazione di misura di Pianoro.

La stazione di misura ha registrato, a partire dal 1919 (N= 92 osservazioni), le precipitazioni cumulate giornaliere, dato sul quale è possibile eseguire una elaborazione statistica per ottenere una legge di distribuzione dei massimi annuali di precipitazione con durata 24 ore.

Nella tabella seguente sono riportati i massimi annuali delle piogge giornaliere registrate alla stazione di Pianoro.

N	ANNO	MAX hd	N	ANNO	MAX hd	N	ANNO	MAX hd	N	ANNO	MAX hd
1	1919	45.3	24	1943	90.4	47	1967	62.8	70	1990	73.8
2	1920	53.8	25	1944	35.0	48	1968	59.1	71	1991	57.0
3	1921	70.0	26	1946	65.3	49	1969	80.0	72	1992	85.0
4	1922	44.3	27	1947	64.0	50	1970	30.8	73	1993	62.2
5	1923	49.6	28	1948	132.0	51	1971	44.5	74	1994	90.6
6	1924	48.8	29	1949	65.0	52	1972	71.7	75	1995	87.2
7	1925	28.9	30	1950	41.1	53	1973	73.2	76	1996	91.0
8	1926	56.0	31	1951	82.3	54	1974	56.2	77	1997	47.8
9	1927	70.0	32	1952	64.5	55	1975	68.4	78	2002	80.4
10	1928	94.0	33	1953	87.4	56	1976	77.8	79	2003	54.4
11	1929	47.0	34	1954	90.6	57	1977	76.6	80	2004	64.0
12	1931	73.5	35	1955	64.8	58	1978	70.0	81	2005	101.6
13	1932	72.4	36	1956	85.4	59	1979	127.2	82	2006	75.6
14	1933	48.0	37	1957	46.4	60	1980	52.8	83	2007	64.6
15	1934	87.0	38	1958	84.8	61	1981	88.5	84	2008	42.2
16	1935	72.1	39	1959	84.9	62	1982	69.0	85	2009	40.0
17	1936	52.0	40	1960	80.6	63	1983	48.1	86	2010	49.2
18	1937	75.4	41	1961	76.1	64	1984	64.8	87	2011	38.2
19	1938	37.3	42	1962	41.3	65	1985	33.4	88	2012	29.6
20	1939	79.0	43	1963	68.2	66	1986	62.2	89	2013	49.0
21	1940	64.3	44	1964	58.2	67	1987	51.0	90	2014	64.0
22	1941	61.6	45	1965	45.7	68	1988	39.0	91	2015	55.6
23	1942	80.7	46	1966	101.0	69	1989	77.0	92	2016	48.2

Il dato di precipitazione giornaliera cumulata non fornisce alcuna informazione circa gli eventi occorsi a cavallo di 2 giorni consecutivi, pertanto è necessario adottare una procedura di downscaling temporale per estrapolare le intensità di pioggia di progetto.

Diversi studi scientifici hanno definito un legame tra l'altezza di pioggia giornaliera  $h_d$  e quella delle 24 ore  $h_{24}$ . Con riferimento alla pubblicazione "Rainfall Frequency Atlas of the United States for Durations from 30

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

Minutes to 24 Hours and Return Periods from 1 to 100 Years," (D. M. Hershfield, US Weather Bureau Technical Paper 40, Washington DC, 1962), è stato adottato un rapporto teorico di 1.13 fra l'altezza di pioggia delle 24 ore e la pioggia giornaliera:

$$h_{24h}=1.13 h_d$$

A partire dalla serie di valori  $h_{24h}$ , è stata sviluppata una analisi statistica volta ad estrapolare una legge di distribuzione delle piogge di 24 ore che ben approssimasse i valori registrati. La legge di distribuzione prescelta è la Gumbel:

$$P(x; \alpha; \beta) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

Dove  $x$  è la variabile indipendente (massimo annuale dell'altezza di pioggia delle 24 ore) e  $\alpha, \beta$  sono parametri della distribuzione dipendenti dalla media  $\mu$  e dallo deviazione standard  $\sigma$  del campione di dati considerato:

$$\alpha = \frac{1.283}{\sigma} = 0.056699611$$

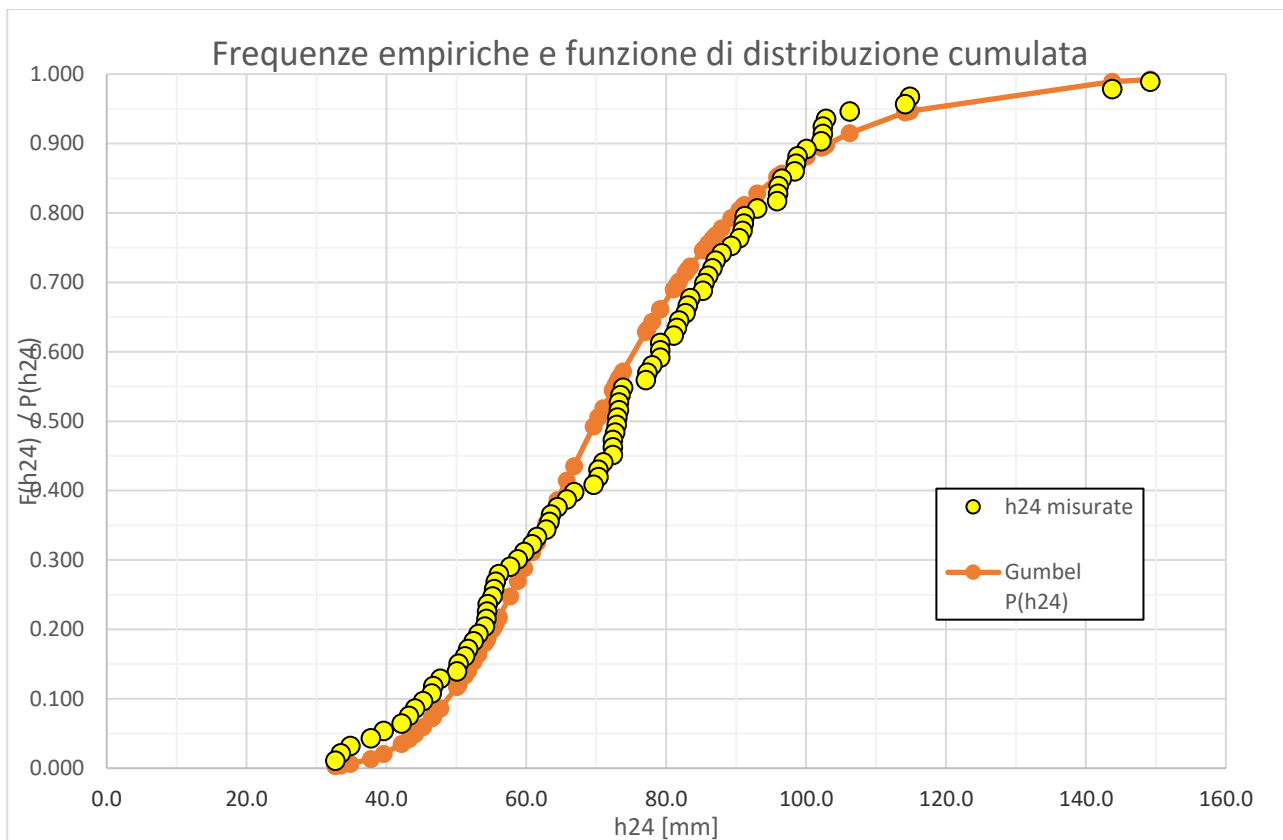
$$\beta = \mu - 0.450\sigma = 63.535182956$$

La legge di distribuzione di probabilità diventa allora:

$$P(x; \alpha; \beta) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} = P(h_{24}; \alpha; \beta) = e^{-e^{-0.056699611*(h_{24}-63.535182956)}}$$

Il grafico seguente mostra il confronto fra le frequenze empiriche  $F_i(h_{24})$  e la frequenza cumulata ottenuta mediante la funzione di distribuzione considerata  $P(h_{24})$ : il confronto mostra che la prescelta legge tipo Gumbel fornisce una buona approssimazione dei dati misurati, pertanto può essere adottata per rappresentare l'andamento delle precipitazioni intense nell'area.

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)



Invertendo la legge di Gumbel, ricordando che


$$P = 1 - \frac{1}{T_R}$$

è possibile ricavare, per i diversi tempi di ritorno  $T$  considerati, le corrispondenti altezze di pioggia delle 24 ore:

$T_R$	$P(T_R)$	$h_{24}(T_R)$
5	0.800	89.989
10	0.900	103.224
25	0.960	119.947
50	0.980	132.353
100	0.990	144.667
200	0.995	156.936
500	0.998	173.123

Una volta determinata la legge di distribuzione dei massimi annuali di precipitazione con durata 24 ore  $P(h_{24})$ , sono state implementate procedure di downscaling temporale per poter ricavare le altezze di pioggia di durata inferiore.

In primo luogo è stata applicata la trasformazione da piogge delle 24 ore a piogge di 1 ora mediante la formula messa a punto dall' Indian Meteorological Department (IMD).

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

L'IMD ha adottato una formula empirica di riduzione delle altezze di pioggia ("Rainfall Intensity Duration Frequency Relationship for the N-E Region of Bangladesh", Matin M. A. and Ahmed S. M. U, Journal of Water Resource Research 5(1), 1984) per durate 1 ora – 8 ore a partire dai valori delle piogge di 24 ore. La formula è la seguente:

$$h_t = h_{24} \left( \frac{t}{24} \right)^{1/3}$$

Dove  $h_t$  è l'altezza di pioggia di durata  $t$ -ore e  $h_{24}$  l'altezza di pioggia delle 24 ore.

Pertanto, riprendendo la curva di probabilità pluviometrica relativa alle piogge di 24 ore, si ottiene:

$$h(t, T) = h_{24} \left( \frac{t}{24} \right)^{\frac{1}{3}} = \left( \frac{t}{24} \right)^{1/3} \left\{ 63.535182956 - \frac{1}{0.056699611} \left[ \ln \left( -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right] \right\}$$

Per durate inferiori all'ora, di interesse per il progetto in esame, va quindi applicata la procedura già adottata nel paragrafo precedente, tramite i rapporti  $r_d$  dei valori medi delle massime altezze di pioggia annue di diversa durata  $h'$  rispetto al valor medio della massima altezza annua oraria  $h1$

	h1/h1ora=	h2/h1ora=	h3/h1ora=	h4/h1ora=	h5/h1ora=	h10/h1ora=	h15/h1ora=	h30/h1ora=	h45/h1ora=
<b>rd</b>	0.130	0.180	0.229	0.272	0.322	0.490	0.601	0.811	0.913

## DEFINIZIONE DELLE PIOGGE DI PROGETTO


Le procedure per la determinazione delle piogge di progetto illustrate nei paragrafi precedenti sono state messe a confronto per verificare i risultati forniti.

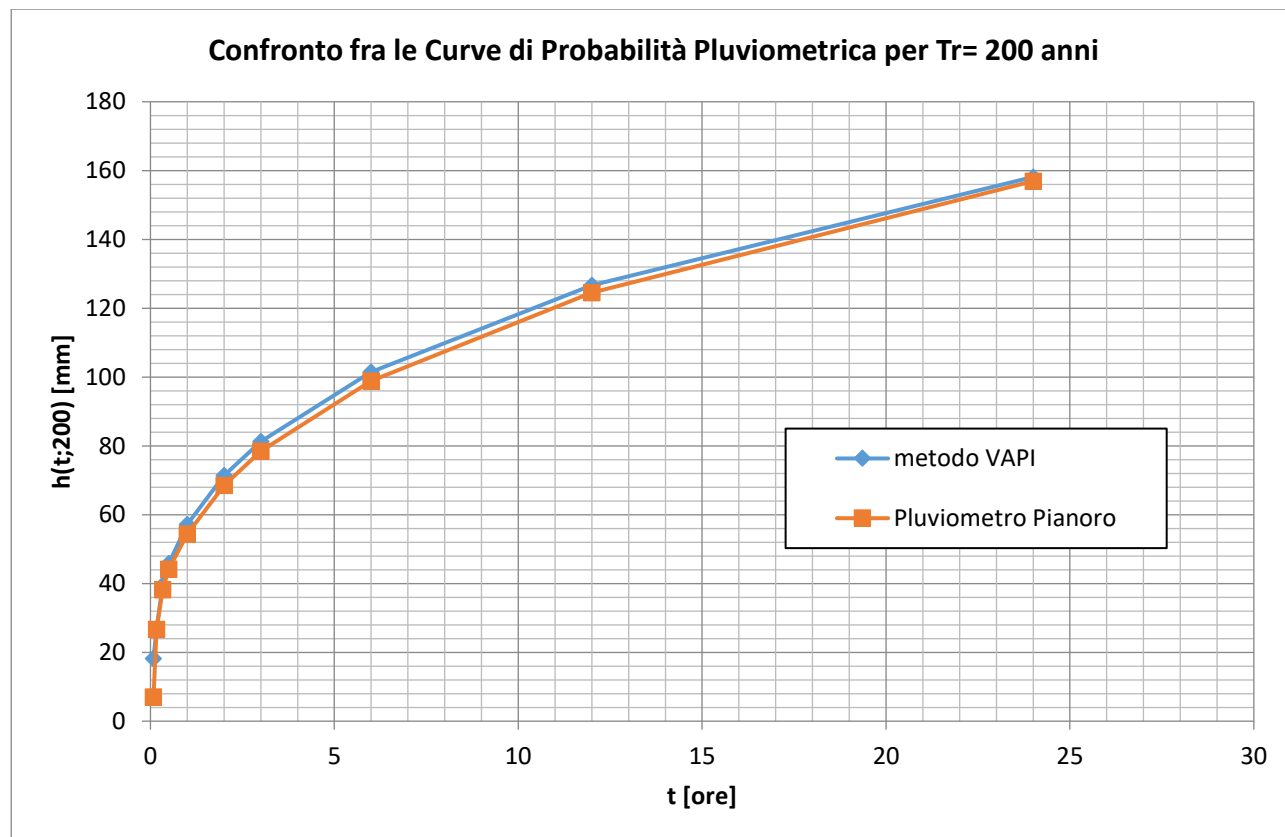
Sono state calcolate le altezze di pioggia per diverse durate  $t$ , per il tempo di ritorno  $Tr = 200$  anni richiesto per il presente progetto.

I risultati sono di seguito riportati in forma tabellare e grafica.

T		VAPI	Pianoro	$\Delta\%$
minuti	Ore	mm	mm	
10	0.167	26.82	26.66	1%
20	0.333	39.54	38.19	3%
30	0.5	45.82	44.12	4%
60	1	57.20	54.41	5%
120	2	71.40	68.55	4%
180	3	81.30	78.47	3%
360	6	101.49	98.86	3%
720	12	126.69	124.56	2%
1440	24	158.15	156.94	1%



	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)



La tabella mostra un generale buon accordo fra i due metodi proposti, lo scarto fra le altezze di pioggia ottenute è compreso fra 1% e 5% a seconda della durata considerata. Le altezze di pioggia ottenute col metodo VAPI si mantengono leggermente superiori a quelle ricavate dalle misurazioni della stazione di Pianoro per tutte le durate considerate. Per questo motivo, a favore di sicurezza, ai fini del presente progetto si assume come curva pluviometrica di riferimento quella fornita dalla metodologia VAPI.

	t<20'		t>20'	
TR	A	n	a	n
200	73.16	0.56	57.20	0.32

### TEMPO DI CORRIVAZIONE DEL BACINO

La durata critica del bacino è stata ottenuta come media tra i valori derivanti dalle tre seguenti formule empiriche, comunemente adottate per bacini di estensione inferiore a 1 km<sup>2</sup>:

- Pezzoli:

$$T_c^{Pezzoli} = 0.055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i}}$$

Dove:

$T_c^{Pezzoli}$  [ore] = tempo di corrivazione del bacino secondo la formulazione di Pezzoli;

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

$L$  [km] = lunghezza dell'asta;

$i$  [m/m] = pendenza media del bacino.

- Ventura

$$T_c^{Ventura} = 0.127 \cdot \sqrt{\frac{S}{i}}$$

Dove:

$T_c^{Ventura}$  [ore] = tempo di corrivazione del bacino secondo la formulazione di Ventura;

$S$  [km<sup>2</sup>] = superficie del bacino scolante;

$i$  [m/m] = pendenza media del bacino.

- Pasini

$$T_c^{Pasini} = 0.108 \cdot \frac{(S \cdot L)^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{i}}$$

Dove:

$T_c^{Pasini}$  [ore] = tempo di corrivazione del bacino secondo la formulazione di Pasini;

$S$  [km<sup>2</sup>] = superficie del bacino scolante;

$L$  [km] = lunghezza dell'asta;

$i$  [m/m] = pendenza media del bacino.

Al fine di confrontare le portate di progetto per la sistemazione futura con quelle considerate per il progetto PREVAM (la ridotta estensione del bacino consente di ipotizzare che le canalizzazioni esistenti e di progetto possano andare in crisi per la medesima durata di pioggia), il calcolo del tempo di corrivazione viene eseguito considerando come sezione di chiusura il punto di immissione delle canalizzazioni nel Rio Pecore.

I dati di input sono:

$S = 0.366$  kmq

$L = 0.95$  km

$Z_{min} = 150$  m s.m.

$Z_{max} = 301$  m s.m.

$i = 0.159$

Si ottiene

TABELLA 6: CALCOLO TEMPO DI CORRIVAZIONE

Formula	t [h]	t [min]
Pezzoli	0.13	7.86
Ventura	0.19	11.56
Pasini	0.19	11.43
<b>MEDIA</b>	<b>0.17</b>	<b>10.29</b>

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

Il tempo di corrivazione critico per il bacino in esame viene pertanto preso pari a 10'.

Ricordando la curva di pioggia di progetto ricavata nel paragrafo precedente, si ottiene che la pioggia di progetto vale:

$$h(t;T)=h(10';200)=73.16\left(\frac{10}{60}\right)^{0.562}=26.82\text{ mm}$$

$$i(t;T)=i(10';200)=73.16\left(\frac{10}{60}\right)^{0.562-1}=160.37\text{ mm/h}$$

### METODOLOGIE DI CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO

Il dimensionamento della rete di drenaggio del sito PREVAM esistente è stato eseguito considerando un tempo di ritorno  $Tr=200$  anni, adottando un contributo specifico di portata pari a  $27\text{ m}^3/\text{s kmq}$ , come indicato dal Servizio Idrografico di Bologna per bacini di estensione inferiore a  $3\text{ kmq}$ .

Sotto questa ipotesi, il valore della portata in arrivo al Rio Pecore, vale:

$$Q=q A=27 \times 0.366=9.88\text{ m}^3/\text{s}$$

In questa sede, si è voluto confrontare tale valore con quello proveniente da uno studio idrologico condotto per l'area in esame a partire dalle piogge registrate.

A questo scopo, sono state adottate due procedure alternative, i cui risultati sono stati messi a confronto per ottenere il dato maggiormente significativo. Trattasi del cosiddetto Metodo Cinematico e del Metodo del Curve Number CN, che sono descritti nei paragrafi seguenti.

---

### METODO CINEMATICO

---

La prima metodologia adottata consiste nella valutazione delle portate di progetto tramite l'applicazione di un modello di trasformazione afflussi-deflussi, partendo cioè dalle precipitazioni in arrivo sul bacino in esame e calcolando la portata corrispondente.

Nel caso in esame, viene applicato il modello di trasformazione Cinematico, tramite la formula Razionale:

$$Q(t; Tr)=0.278 C A i(t;Tr) [\text{m}^3/\text{s}]$$

Con


$Q(t; Tr)$ = portata corrispondente alla pioggia di durata  $t$  e tempo di ritorno  $Tr$

$C$ = coefficiente di deflusso del bacino

$A$ = superficie scolante del bacino [ $\text{km}^2$ ]

$i(t; Tr)$ = intensità di pioggia di progetto per un evento di durata  $t$  e Tempo di ritorno  $Tr$  [ $\text{mm/h}$ ]

L'applicazione di tale metodologia richiede pertanto la determinazione, oltre che delle piogge di progetto e del tempo di corrivazione del bacino ricavati nei paragrafi precedenti, del parametro  $C$ , che verrà definito nel paragrafo seguente.

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

### COEFFICIENTE DI DEFLUSSO DEL BACINO

Il coefficiente di deflusso C è un parametro adimensionale compreso tra 0 e 1 che tiene conto della quota parte di precipitazione che contribuisce al deflusso di piena. Il parametro dipende da diversi fattori, quali la permeabilità della superficie che ricopre il bacino, la pendenza del bacino, il tipo di terreno ed il grado di imbibizione dello stesso.

Il Regolamento Urbanistico Edilizio del Comune di Pianoro, per un "terreno coltivato pendente con o senza interventi di conservazione", stabilisce un parametro  $C = 0.45$ .

Esistono in letteratura diverse metodologie che consentono di definire con maggiore precisione il valore del coefficiente di deflusso.

Una delle più diffusamente applicate nella pratica progettuale è quella proposta da Chow (Chow, Maidment, Mays, "Applied Hydrology" (1988), che indica il valore del coefficiente di deflusso sulla base della pendenza del terreno, del tipo di copertura e del tempo di ritorno. La tabella riassuntiva dei valori di C proposti da Chow è la seguente:

Table 8. Rational C and Return Period								
		T-r (yr)						
		2	5	10	25	50	100	500
Lawn and Impervious								
< 50% grass cover	< 0.02	0.31	0.34	0.37	0.41	0.44	0.48	0.57
	0.02-0.07	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
	> 0.07	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
50-75% grass cover	< 0.02	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
	0.02-0.07	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
	> 0.07	0.36	0.39	0.42	0.45	0.48	0.52	0.60
> 75% grass cover	< 0.02	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
	0.02-0.07	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
	> 0.07	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.59
Asphalt		0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concrete, Roofs		0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Undeveloped Land								
Cultivated	< 0.02	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
	0.02-0.07	0.35	0.38	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
	> 0.07	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pasture, Range, Meadow	< 0.02	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
	0.02-0.07	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.57
	> 0.07	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Woodland, Forest	< 0.02	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
	0.02-0.07	0.30	0.33	0.35	0.39	0.42	0.46	0.55
	> 0.07	0.36	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.59
Source: Chow, Maidment and Mays, 1988, p. 498								

Come detto, il bacino del Rio Pecore si può suddividere in due tipologie di terreni con diverse caratteristiche idrologiche. La parte più estesa (circa il 58%) è costituita dai versanti naturali del vallone, con accentuata acclività e bassa permeabilità dovuta alla litologia (terreni argillosi), mentre l'area dell'abbancamento si presenta, al termine delle lavorazioni, come una zona inerbita, con successioni di aree pianeggianti e scarpate con pendenze >7% (all'incirca di uguale estensione).

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

Per la prima tipologia, la tabella indica valori di C compresi fra 0.55 e 0.62 (Aree impervie con scarsa copertura vegetale), mentre per l'area di deposito la tabella riporta valori del coefficiente C compresi fra 0.41 (TR=100, area pianeggiante) e 0.60 (TR=500, area con forte pendenza).

Introduciamo allora il parametro  $C_{eq}$ , coefficiente di deflusso equivalente, definito come la media pesata dei diversi valori di C rispetto alle estensioni delle relative superfici:

$$C_{eq} = \frac{\sum_i C_i A_i}{\sum_i A_i}$$

Considerando a favore di sicurezza i valori della tabella per il tempi di ritorno 500 anni si ottiene:

$$C_{eq} = \frac{\sum_i C_i A_i}{\sum_i A_i} = \frac{(0.62 * 213000) + (0.53 * 76000) + (0.60 * 77000)}{366000} = 0.597$$

Il coefficiente di deflusso equivalente per il bacino considerato vale  $C_{eq}=0.597$ .

Tale valore è sicuramente cautelativo ai fini del dimensionamento della rete di drenaggio a servizio del nuovo deposito. Infatti si può notare come la maggior parte della superficie occupata dai versanti insiste sul tratto di canalizzazioni esistenti, mentre nell'area del nuovo deposito la maggior parte della superficie è occupata dagli abbancamenti che, come visto, forniscono valori inferiori del coefficiente C.

---

#### METODO DEL CURVE NUMBER CN

---

Altra metodologia utilizzata per la determinazione della portata di progetto è quella del Numero di Curva CN, sviluppata dal Soil Conservation Service del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti.

La metodologia parte dall'assunto che la precipitazione non contribuisce per intero alla formazione della portata/volume di piena, una parte di essa non raggiunge il reticolo idrografico superficiale: ciò è principalmente dovuto all'infiltrazione nel sottosuolo, all'immagazzinamento in porzioni depresse del terreno e alla ritenzione da parte della vegetazione, tutti fattori che riducono il quantitativo di acqua che raggiunge il reticolo superficiale. La riduzione dipende da diversi fattori, quali il tipo di suolo, l'uso del suolo, la percentuale di saturazione del terreno. La pioggia netta  $h_e$  è la parte della pioggia ricavata con le curve di probabilità pluviometrica che raggiunge il reticolo idrografico superficiale e contribuisce alle portate di progetto.

Per valutare la pioggia netta, si adotta il metodo del Curve Number, messo a punto dallo U.S. Soil Conservation Service (SCS) (SOIL CONSERVATION SERVICE, (1972) National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., U.S.A.). Il metodo si basa sulla definizione del numero di curva o Curve Number CN, un parametro che descrive le condizioni del suolo (tipo, uso, saturazione).

La pioggia netta può essere determinate mediante la seguente espressione

$$h_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$

dove:

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

- $h_e$  (mm) è l'altezza di pioggia netta corrispondente alla durata  $t$  considerata;
- $P$  (mm) è la pioggia complessiva caduta nel medesimo intervallo di tempo;
- $I_a$  (mm) rappresenta le perdite iniziali;
- $S$  (mm) è la capacità idrica massima del suolo o volume specifico di saturazione (mm), descrive il volume di pioggia potenzialmente trattenuto date le condizioni del suolo (tipologia, uso, copertura vegetale, saturazione)

Il parametro  $S$  è determinato mediante la seguente relazione:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

in cui  $CN$  è il cosiddetto Numero di Curva (Curve Number), un indice che considera le condizioni e l'uso del suolo. Il Soil Conservation Service degli Stati Uniti ha predisposto tabelle con i valori di  $CN$  per differenti tipologie e usi del suolo.

Le perdite iniziali ( $I_a$ ) sono costituite da alcuni processi quali l'intercettazione della pioggia da parte delle chiome della vegetazione, dall'accumulo nelle locali depressioni del terreno e dall'imbibizione iniziale del terreno. Il parametro  $I_a$  dipende da  $S$  tramite la seguente relazione (raccomandata dal SCS per l'ambiente agrario statunitense):

$$I_a = 0.2 \times S$$

Per la realtà italiana, si adotta un valore delle perdite iniziali pari alla decima parte della capacità idrica massima del suolo ( $S$ ), pertanto:

$$I_a = 0.1 \times S$$

I parametri  $CN$  e  $S$  sono inversamente correlati in modo non lineare: la capacità idrica massima del suolo ( $S$ ) varia teoricamente da 0 a infinito e con tale equazione si ottiene un campo di variazione del parametro  $CN$ , compreso tra 0 e 100. Il parametro  $CN$  esprime le condizioni, dal punto di vista della formazione del deflusso, del complesso suolo-soprassuolo considerate le condizioni di umidità nei cinque giorni antecedenti l'evento di piena. In altri termini riassume l'attitudine propria e specifica del bacino a produrre deflusso.

Con valori di  $CN$  uguali o prossimi allo 0, si è in presenza di una superficie assimilabile alla perfetta "spugna" cioè viene assorbita e trattenuta la totalità o quasi della precipitazione. Con valori di  $CN$  uguali o prossimi a 100, siamo in presenza di terreni o superfici impermeabili dove la precipitazione si trasforma interamente o quasi in deflusso creando l'evento di piena.


Tale situazione si verifica per la precipitazione che direttamente cade nella rete idrografica o nei pressi della stessa. L'acqua è infatti assimilabile ad una superficie impermeabile dove l'afflusso si trasforma istantaneamente in deflusso.

La seguente tabella riporta i valori di  $CN$  per diverse tipologie di suolo e di uso del medesimo:

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

Land Use Description	Hydrologic Soil Group			
	A	B	C	D
Cultivated land <sup>1</sup> : without conservation treatment	72	81	88	91
with conservation treatment	62	71	78	81
Pasture or range land: poor condition	68	79	86	89
good condition	39	61	74	80
Meadow: good condition	30	58	71	78
Wood or forest land: thin stand, poor cover, no mulch	45	66	77	83
good cover <sup>2</sup>	25	55	70	77
Open Spaces, lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.				
good condition: grass cover on 75% or more of the area	39	61	74	80
fair condition: grass cover on 50% to 75% of the area	49	69	79	84
Commercial and business areas (85% impervious)	89	92	94	95
Industrial districts (72% impervious)	81	88	91	93
Residential <sup>3</sup> :				
Average lot size      Average % impervious <sup>4</sup>				
1/8 acre or less      65	77	85	90	92
1/4 acre      38	61	75	83	87
1/3 acre      30	57	72	81	86
1/2 acre      25	54	70	80	85
1 acre      20	51	68	79	84
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. <sup>5</sup>	98	98	98	98
Streets and roads:				
paved with curbs and storm sewers <sup>5</sup>	98	98	98	98
gravel	76	85	89	91
dirt	72	82	87	89

TABELLA 7: VALORI DI CN PER DIVERSE TIPOLOGIE DI USO DEL SUOLO

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

I valori di CN mostrati in tabella fanno riferimento a differenti tipologie idrologiche di suolo, dipendenti dalla permeabilità del terreno. La classificazione proposta dal SCS è la seguente:

Tipo di Suolo	Descrizione
<b>A</b>	Suoli con elevata infiltrazione, anche se inumiditi in profondità. Per esempio, suoli con strati ghiaiosi, sabbiosi o loess profondi, a siltosi aggregate (diametro 0.002-0.05 mm)
<b>B</b>	Suoli con infiltrazione moderata se molto inumiditi. Ad esempio, suoli con tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana, quail limi sabbiosi.
<b>C</b>	Suoli con infiltrazione lenta, tessitura fine quali argille limose, deboli strati di limo sabbioso, suoli con debole contenuto organico.
<b>D</b>	Suoli con infiltrazione molto lenta, quail argille plastiche e compatte.

TABELLA 8: TIPOLOGIE IDROLOGICHE DI SUOLO (CLASSIFICAZIONE SCS)

Le condizioni di umidità del suolo nel bacino prima che inizi il ruscellamento costituiscono un ulteriore importante fattore che può condizionare il valore finale del CN. Nel metodo del CN, la condizione iniziale di umidità è classificata in 3 classi di AMC - Antecedent Moisture Condition:

1. **AMC I:** i suoli costituenti il bacino sono pressoché asciutti
2. **AMC II:** condizioni di umidità media
3. **AMC III:** I suoli costituenti il bacino sono pressoché saturi in conseguenza di precedent eventi meteorici

Per tenere in considerazione anche le condizioni di umidità iniziale del terreno (i valori di CN della precedente tabella si riferiscono alla classe AMC II), il SCS suggerisce la seguente tabella di conversione:

AMC Classes			AMC Classes		
I	II	III	I	II	III
100	100	100	40	60	78
87	95	98	35	55	74
78	90	96	31	50	70
70	85	94	22	40	60
63	80	91	15	30	50
57	75	88	9	20	37
51	70	85	4	10	22
45	65	82	0	0	0

TABELLA 9: TABELLA DI CONVERSIONE DEI VALORI DI CN IN DIFFERENTI CLASSI AMC

Il calcolo della portata di progetto deve essere eseguito nelle condizioni più gravose di saturazione del terreno, vale a dire nella condizione AMCIII. La conversione fra CN(II) e CN(III) si può ottenere analiticamente per mezzo della seguente relazione che ben riproduce i valori della Tabella 9:



	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

$$CN(III) = \frac{23 \times CN(II)}{10 + 0,13 \times CN(II)}$$

Sulla base delle caratteristiche dei terreni costituenti il bacino in esame si ha:

- versanti: suolo argilloso appartenente al gruppo D, pascoli in condizioni degradate, CN(II)= 89, cui corrisponde CN(III)=95
- deposito: i terreni abbancati nel sito in esame appartengono al gruppo B della Tabella 8, considerata la sistemazione finale dell'area (aree a verde), si può attribuire al bacino, in via cautelativa, un valore medio del parametro CN(II) pari a 79 (pascoli in cattive condizioni), cui corrisponde un valore del CN(III) pari a 90.

Mediando rispetto all'estensione delle aree, si ottiene un valore del CN(III) equivalente:

$$CN(III)_{eq} = \frac{\sum_i CN(III)_i A_i}{\sum_i A_i} = 93$$

Dal valore di CN derivano le seguenti grandezze:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 = 19.79 \text{ mm}$$

$$Ia = 0.1 \times S = 1.98 \text{ mm}$$

$$h_e = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia) + S} = 14.47 \text{ mm}$$

#### DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO

Come descritto nei paragrafi precedenti, la portata di progetto ai fini del presente studio è stata valutata con differenti metodologie:

- contributo specifico di portata adottato per il dimensionamento della rete di drenaggio dell'esistente deposito Prevam di Ca'Cirenaica:

$$Q_{PREVAM} = q A = 27 \times 0.366 = 9.88 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_{PREVAM} = 27 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$$

- valutazione della portata mediante trasformazione afflussi-deflussi e metodo cinematico

$$Q_{Cinematico}(t; Tr) = 0.278 C A i(10'; 200) = 0.278 \times 0.597 \times 0.366 \times 160.37 = 9.74 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_{Cinematico} = 26.61 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$$

- valutazione della portata per mezzo del metodo del Curve Number

$$Q_{CN}(t; Tr) = h_e(10'; 200) A / (3.6 t) = 8.82 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_{CN} = 24.10 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$$

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

Le tre metodologie utilizzate forniscono risultati in buon accordo fra di loro. In particolare, il metodo cinematico fornisce un valore di  $q$  molto prossimo a quello utilizzato per il progetto dell'esistente deposito PREVAM di Ca' Cirenaica ( $26.61 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$  contro  $27 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ ). A favore di sicurezza, si considera il valore maggiore fra quelli ottenuti pertanto, ai fini del dimensionamento delle canalizzazioni di progetto, le portate saranno calcolate con la seguente relazione:

$$Q = q A = 27 \times A \text{ [m}^3/\text{s]}$$

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

## VERIFICHE IDRAULICHE

### RETE DI DRENAGGIO SUPERFICIALE

La verifica del sistema di drenaggio superficiale viene condotta sotto l'ipotesi che il moto nelle canalizzazioni sia di tipo uniforme. In questa condizione, la legge che descrive il moto è la legge di Chezy:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} \sqrt{p}$$

Dove

$Q$ = portata [ $m^3/s$ ]

$n$ = parametro di scabrezza secondo Manning [ $s/m^{1/3}$ ], vale 0.0167 per il calcestruzzo e 0.025 per le cunette in terra. Per i canali ibridi, si considera una scabrezza pesata di  $0.025 s/m^{1/3}$

$A$ = sezione bagnata della canalizzazione [ $m^2$ ]

$R$ = raggio idraulico della canalizzazione [ $m$ ]

$p$ = pendenza longitudinale della canalizzazione [ $m/m$ ]

La verifica consiste nel calcolare, per ogni tratto di canalizzazione considerato, il tirante idrico corrispondente alla portate di progetto, confrontandolo con il tirante massimo ammissibile per la canalizzazione, pari alla massima altezza interna della canalizzazione stessa.

I tratti di canale considerati sono quelli a minore pendenza, sulle banche orizzontali (ove è stata conferita una minima pendenza del fondo alle canalizzazioni). Nel seguito, si indicheranno come lato Sinistro e Destro i lati dell'abbancamento che si vedrebbero guardando da monte verso valle.

I risultati sono elencati nella tabella seguente

lato	quota banca	$A$	$Q$	canale	$p\%$	$h$	$v$	$r\%$
	<i>m s.m.</i>	$m^2$	$m^3/s$			$m$	$m/s$	-
Sinistro	290.00	2960	<b>0.08</b>	IBRIDO	0.13	0.18	0.38	18
Sinistro	280.00	9675	<b>0.26</b>	1.00x1.00	1.43	<b>0.15</b>	1.70	15
Sinistro	270.00	16590	<b>0.45</b>	1.00x1.00	0.91	<b>0.26</b>	1.76	26
Sinistro	260.00	24470	<b>0.66</b>	IBRIDO	0.53	<b>0.43</b>	1.18	43
Sinistro	250.00	26480	<b>0.71</b>	1.00x1.00	1.25	<b>0.32</b>	2.26	32
Sinistro	240.00	30000	<b>0.81</b>	1.00x1.00	0.67	<b>0.44</b>	1.87	44
Sinistro	230.00	34970	<b>0.94</b>	1.00x1.00	0.77	<b>0.46</b>	2.03	46

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

<i>lato</i>	<i>quota banca</i>	<i>A</i>	<i>Q</i>	<i>canale</i>	<i>p%</i>	<i>h</i>	<i>v</i>	<i>r%</i>
	<i>m s.m.</i>	<i>m<sup>2</sup></i>	<i>m<sup>3</sup>/s</i>			<i>m</i>	<i>m/s</i>	-
Sinistro	220.00	137020	<b>3.70</b>	1.50x1.50	0.25	<b>1.34</b>	1.84	89
Destro	290.00	7740	<b>0.21</b>	IBRIDO	0.10	<b>0.35</b>	0.47	35
Destro	280.00	12745	<b>0.34</b>	1.00x1.00	0.22	<b>0.35</b>	0.98	35
Destro	270.00	13260	<b>0.36</b>	1.00x1.00	0.50	<b>0.27</b>	1.33	27
Destro	260.00	19230	<b>0.52</b>	1.00x1.00	0.34	<b>0.41</b>	1.30	41
Destro	250.00	23275	<b>0.63</b>	1.00x1.00	0.50	<b>0.41</b>	1.57	41
Destro	240.00	33150	<b>0.90</b>	IBRIDO	0.50	<b>0.52</b>	1.25	52
Destro	230.00	34090	<b>0.92</b>	1.00x1.00	1.25	<b>0.38</b>	2.41	38
Destro	220.00	36690	<b>0.99</b>	1.00x1.00	1.11	<b>0.42</b>	2.36	42

Per quanto concerne le cunette in terra, esse drenano porzioni ridotte di superficie. La cunetta maggiormente sovraccaricata è quella che corre sulla banca a quota 280 sul lato Sinistro dell'abbancamento, che sottende un'area di circa 6720 m<sup>2</sup> con una pendenza media dello 0.22%. I risultati della verifica sono i seguenti:

<i>lato</i>	<i>quota banca</i>	<i>A</i>	<i>Q</i>	<i>canale</i>	<i>p%</i>	<i>h</i>	<i>v</i>	<i>r%</i>
	<i>m s.m.</i>	<i>m<sup>2</sup></i>	<i>m<sup>3</sup>/s</i>			<i>m</i>	<i>m/s</i>	-
Sinistro	280	6720	<b>0.181</b>	0.50x0.50	0.22	<b>0.34</b>	0.63	57

I risultati nelle tabelle mostrano come il sistema di canalizzazioni di progetto risulti verificato per gli eventi meteorici considerati.

La rete di drenaggio superficiale di progetto, immettendosi nella rete di drenaggio del progetto PREVAM determina le seguenti portate all'immissione nel Rio Pecore

Lato	Area drenata (m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	Area progetto PREVAM (m <sup>2</sup> )	Q PROGETTO PREVAM (m <sup>3</sup> /s)	Δ%
Sinistro	265000	7.16	274000	7.40	-3.3%
Destro	101000	2.73	92000	2.48	+9.8%

Il nuovo schema di rete alleggerisce leggermente i carichi sul canale maggiormente sollecitato (lato sinistro) e aumenta in misura modesta quelli sul lato destro dell'abbancamento, non determinando alterazioni apprezzabili al regime idraulico previsto nello schema originario del progetto PREVAM. Ricordando che l'area drenata dalla nuova rete (e di conseguenza la portata totale) coincide con il bacino considerato dal progetto PREVAM, si può affermare che la rete di progetto è pienamente compatibile con la rete esistente.

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

## VASCA DI SEDIMENTAZIONE

La legislazione regionale dell'Emilia Romagna (DGR 1860/2006 e DGR 286/2005) prevede, per le discariche di inerti, la realizzazione di bacini di sedimentazione in continuo in cui far precipitare il particolato solido in sospensione nelle acque proveniente dai piazzali di stoccaggio dei materiali in attesa della messa a dimora. Le acque meteoriche di dilavamento provenienti da superfici soggette a dilavamento per l'intera durata dell'evento meteorico, possono infatti trasportare nel reticolo idrografico naturale sostanze inquinanti e polveri provenienti dai materiali abbancati. E' pertanto necessario creare un sistema di vasche all'interno delle quali creare le condizioni idrauliche necessarie alla separazione del particolato solido in sospensione da eliminare.

Nel caso in esame, la vasca di sedimentazione è stata progettata per essere realizzata nella cosiddetta "Area Logistica 1", considerando una geometria in pianta di forma irregolare, avente superficie totale pari a 2580 m<sup>2</sup> e profondità massima di 3.0 m. A monte viene fatta confluire la canalizzazione proveniente dal deposito PREVAM, mentre a valle un'ulteriore canalizzazione permette alla portata uscente di immettersi nell'alveo del Rio Pecore.

All'interno della vasca è stato previsto un sistema di muri a mensola in c.a. con lo scopo di aumentare il percorso idraulico e il tempo di permanenza delle portate in entrata favorendo la precipitazione dei sedimenti contenuti nell'acqua in arrivo dal deposito PREVAM. Le sponde laterali della vasca sono invece realizzate in gabbioni di ferro zincato a doppia torsione riempiti con materiale inerte opportunamente dimensionato, poggiati su una base in magrone realizzata con una inclinazione di 10° rispetto all'orizzontale e impermeabilizzati tramite due strati di tessuto impermeabile sovrapposti.

La vasca verrà costruita seguendo la pendenza del terreno e il sistema di setti andrà a realizzare una suddivisione della superficie totale in porzioni a debole pendenza separate da stramazzi a larga soglia di altezza pari a 0.5m e larghezza compresa tra 5m e 7m. La quota di fondo della vasca è variabile e diversa per ogni porzione.

La vista planimetrica della vasca nel contesto delle opere esistenti è mostrata di seguito in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**<sup>8</sup>.

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

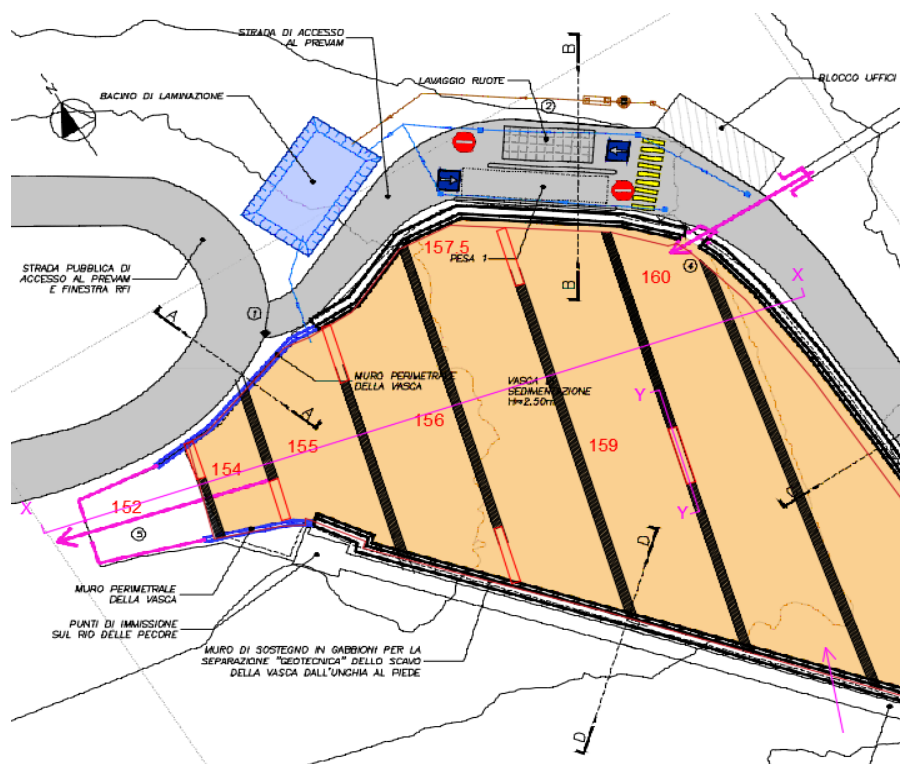


FIGURA 18: VISTA PLANIMETRICA DELLA VASCA DI SEDIMENTAZIONE

Il fondo della vasca sarà reso impermeabile attraverso uno strato di argilla compattata al di sotto del quale sarà installato un tessuto geocomposito bentonitico. Infine, per facilitare le operazioni di rimozione dei sedimenti, verrà installato un ulteriore telo in LDPE.

La vasca verrà alimentata tramite due canalizzazioni in cls a sezione rettangolare 2.5m x 1.5 m. Una analoga soluzione verrà adottata per le portate in uscita che affluiranno nell'alveo del Rio Pecore.

Per facilitare lo svuotamento della vasca, un sistema di trincee drenanti verrà installato lungo i lati delle stesse, in corrispondenza della base dei gabbioni, ovvero lungo il tratto di muro sottostante gli sfioratori.

La portata in ingresso alla vasca è stata calcolata sulla base degli input forniti dalle "Linee Guida della Direzione Tecnica – Criteri di applicazione DGR286/05 e 1860/06 - acque meteoriche e di dilavamento". Al capitolo 5.4.1, per le vasche di sedimentazione in continuo si indica come intensità di pioggia di progetto il valore  $i=200$  l/s/ha e come tempo di ritenzione un periodo compreso fra 30 e 45 minuti. Il coefficiente di afflusso  $C_a$ , per superfici non impermeabilizzate è preso pari a 0.3.

Nel caso in esame, il bacino contribuente si estende per circa 40 ettari, considerando il sito PREVAM e i versanti afferenti il primo tratto del Rio Pecore. Conseguentemente, la portata di progetto vale:

$$Q_p = i * A * C_a = 200 * 40 * 0.3 = 2400 \text{ l/s} = 2.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Il volume  $W$  della vasca di trattamento in continuo è pari alla somma dei volumi di separazione e di sedimentazione:

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

$$W_{tot} = W_{sep} + W_{sed}$$

Con

$$W_{sep} = Q * t_s = 2.4 * 1800 = 4320 \text{ m}^3$$

$$W_{sed} = Q * C_f = 2.4 * 300/1000 = 720 \text{ m}^3$$

In cui  $C_f$  è il coefficiente di fango, posto pari a 300 (quantità di fango elevata). Si ottiene pertanto

$$W_{tot} = W_{sep} + W_{sed} = 4320 + 720 = 5040 \text{ m}^3$$

Applicando la formula di Gaukler-Strickler con una portata di ingresso di  $2.4 \text{ m}^3/\text{s}$ , sezione rettangolare larga 10m e fondo piatto è stato ricavato un tirante idraulico di 2.4m.

Nella vasca, la sezione utile al deflusso, considerando un tirante in vasca di 2.4m (corrispondente alla portata di progetto  $Q_p$  e a una sezione del canale rettangolare di larghezza 10m), è pari a  $S = 24.0 \text{ m}^2$ , conseguentemente, la lunghezza minima della vasca sarà

$$L = W_{tot}/S = 5040/24 = 210 \text{ m}$$

Tale lunghezza risulta inferiore alla lunghezza del percorso che l'acqua seguirà all'interno della vasca e, quindi, soddisfa le caratteristiche geometriche previste dalla normativa vigente.

## VERIFICA DEGLI ELEMENTI COSTITUTIVI LA VASCA

### VERIFICA A SCORRIMENTO

Viene eseguita, confrontando la risultante delle forze orizzontali che tendono a far slittare il muro in gabbioni (forze destabilizzanti) e la risultante delle forze resistenti, che si oppongono a tale movimento (forze stabilizzanti).

$$FS = \frac{\sum Fx_{stab} + \sum Fy_{stab} * \tan \varphi' + c' * B}{\sum Fx_{instab} + \sum Fy_{instab} * \tan \varphi'} > 1.1$$

Dove:

- $Fx_{stab}$ : risultante delle forze orizzontali stabilizzanti;
- $Fy_{stab}$ : risultante delle forze verticali stabilizzanti;
- $Fx_{instab}$ : risultante delle forze orizzontali instabilizzanti;
- $Fy_{instab}$ : risultante delle forze verticali instabilizzanti;
- $\varphi'$ : angolo di attrito del terreno;
- $c'$ : coesione drenata del terreno;

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

- Larghezza della base del muro.

### VERIFICA RIBALTAMENTO

La verifica al ribaltamento consiste nello stimare i momenti ribaltanti e quelli stabilizzanti agenti sull'opera in gabbioni, calcolati rispetto ad un punto (generalmente individuato alla base del muro).

$$FS = \frac{\sum F_{stab} * b_{stab}}{\sum F_{instab} * b_{instab}} > 1.15$$

#### Dove:

- $F_{stab}$ : risultante delle forze stabilizzanti;
- $F_{instab}$ : risultante delle forze instabilizzanti;
- $b_{stab}$ : braccio delle forze stabilizzanti;
- $b_{instab}$ : braccio delle forze instabilizzanti.

### VERIFICA DI STABILITÀ INTERNA

Tale verifica risulta necessaria per controllare che gli sforzi normali  $\sigma$  e tangenziali  $\tau$  indotti all'interno delle sponde laterali in gabbioni risultino inferiori ai corrispondenti valori ammissibili  $\sigma_{amm}$  e  $\tau_{amm}$ , in modo da scongiurare la possibilità di avere deformazioni eccessive in grado di influire sulla stabilità dell'opera.





	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

### Verifica ribaltamento

$R_d$ [kNm/m]	$E_d=M_{rib}$ [kNm/m]	$FS=R_d/E_d$
1193.92	765.93	1.56

In Condizioni Statiche e combinazione GEO (A1+M1+R3) la verifica a ribaltamento risulta soddisfatta, con Fattore di Sicurezza maggiore di 1.15, pari a  $FS=1.56$

Si raccomanda inoltre di utilizzare almeno i minimi di armatura longitudinale e trasversale fissati dall'NTC 2018, si riporta in FIGURA 20: SEZIONE TIPO POSIZIONE ARMATURE TESE una sezione tipo del posizionamento delle armature tese.

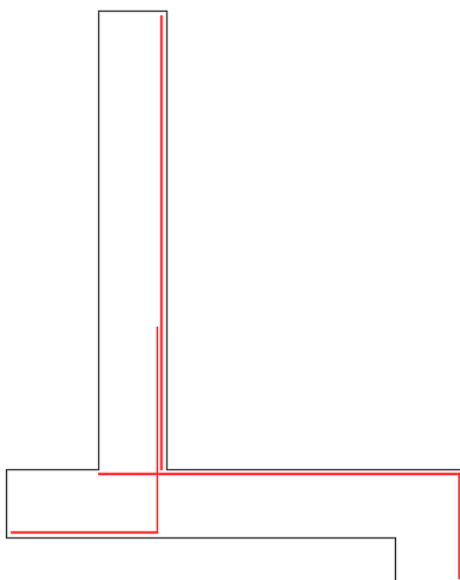


FIGURA 20: SEZIONE TIPO POSIZIONE ARMATURE TESE

### SPONDE LATERALI IN GABBIONI SU FONDO IN MAGRONE

#### Verifica a scorrimento

$\phi$ [°]	26	$=\phi'$ [rad]	0.45
$\delta$ [°]	17.3	$=\delta'$ [rad]	0.31

W fav ( $\gamma_{G1} = 1/0.8$ ) – Sa sfav ( $\gamma_{G1} = 1.3/1.5$ )

$R_d$ [kN/m]	$E_d=T_{tot}$ [kN/n]	$SF=R_d/E_d$
91.77	82.10	1.12

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

La verifica a scorrimento risulta soddisfatta, con fattore di sicurezza maggiore di 1.1, pari a  $FS=1.12$  in Condizioni Statiche, combinazione GEO (A1+M1+R3).

#### Verifica ribaltamento

$R_d$ [kNm/m]	$E_d=M_{rib}$ [kNm/m]	$FS=R_d/E_d$
310.99	145.97	2.13

La verifica a ribaltamento risulta soddisfatta, con fattore di sicurezza maggiore di 1.15, pari a  $FS=2.13$  in Condizioni Statiche, combinazione GEO (A1+M1+R3).

#### Verifica a stabilità interna

Interfaccia	$\tau_{amm}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{amm}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{min}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{max}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\tau$ [kN/m <sup>2</sup> ]
1	180.24	610.00	46.92	59.05	52.98
2	112.20	610.00	29.23	38.53	33.88
3	57.15	610.00	11.80	16.69	14.24

La verifica a instabilità interna risulta soddisfatta, in particolare:

- $\sigma_{max} < \sigma_{amm}$ ;
- $\sigma_{min} > 0$ ;
- $\tau < \tau_{amm}$ .

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

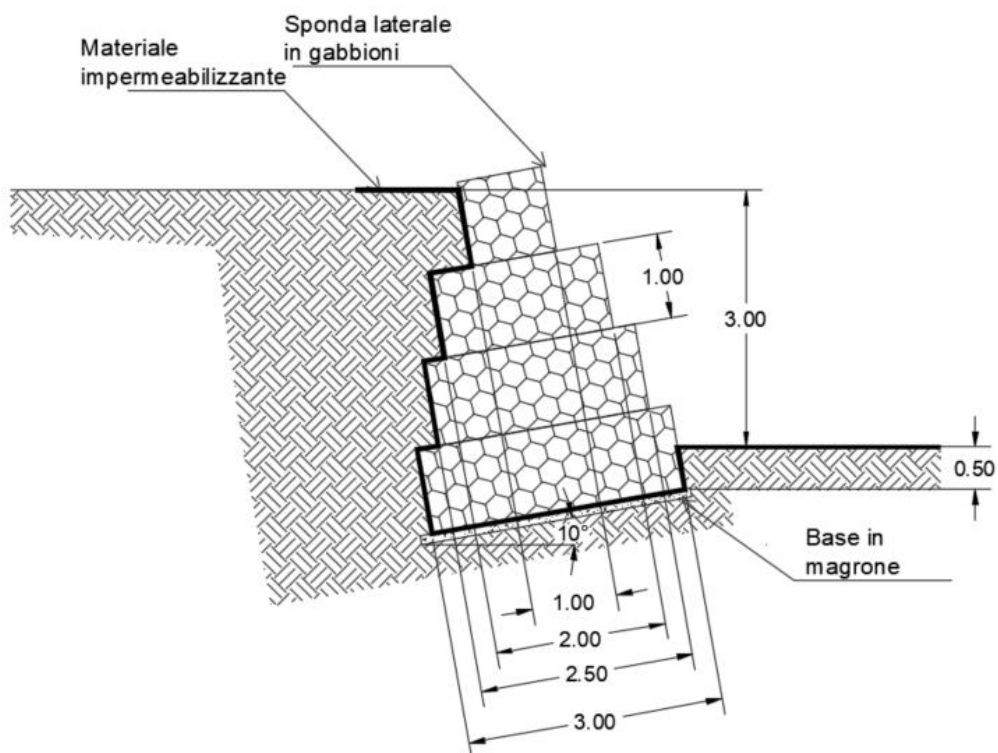


FIGURA 21: SEZIONE SPONDA LATERALE IN GABBIONI

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

## CANALIZZAZIONI

Le canalizzazioni in ingresso e uscita possono essere verificate analogamente alle canalizzazioni perimetrali del deposito, mediante la legge di Chezy:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} \sqrt{p}$$

Considerando un bacino drenato di estensione 400.000 m<sup>2</sup>, la portata di progetto vale:

$$Q_p = 0.4 \cdot 27 = 10.8 \text{ m}^3/\text{s}$$

Assumendo come pendenza motrice di verifica la pendenza minima di tutti i tratti in progetto, ovvero  $p=0.67\%$ , e come scabrezza  $n=0.0167 \text{ s/m}^{1/3}$ , si ottiene che la  $Q_p=10.8 \text{ m}^3/\text{s}$  transita nella sezione di progetto con un tirante di 1.22 m, una velocità di 3.56 m/s ed un riempimento del 81%. La portata di progetto risulta contenuta in alveo lungo tutta la canalizzazione, la verifica è pertanto soddisfatta.

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

## TOMBINI

Il funzionamento idraulico dei manufatti di attraversamento a sezione chiusa dipende da numerosi fattori quali:

- la pendenza;
- la sezione;
- la forma;
- la scabrezza ;
- i livelli liquidi a monte e a valle del collettore.

Il comportamento idraulico dei tombini è piuttosto complesso perché può ricadere sia nel campo dell'idraulica a pelo libero che in quello delle condotte in pressione, in funzione della portata transitante.

Le verifiche idrauliche compiute sono finalizzate a determinare che l'altezza d'acqua agli imbocchi siano compatibili con il funzionamento delle opere di attraversamento (inferiori al 70% dell'altezza della canna) senza interessare l'infrastruttura stradale.

La verifica dei tombini è stata condotta mediante il software HY-8 sviluppato dalla Federal Highway Administration. Il software consente di automatizzare la verifica di attraversamenti stradali definita nella pubblicazione FHWA-NHI-01-020 "Hydraulic design of Highway Culverts" (settembre 2001, aggiornata a maggio 2005) della medesima FHWA.

La verifica proposta dalla FHWA intende stabilire il tipo di funzionamento del tombino, che può essere controllato da monte (inlet control) o da valle (outlet control) e ricavare in base ad esso il grado di riempimento della sezione.

Il "controllo da monte" si realizza quando il tombino può convogliare più portata di quanta transiti attraverso l'ingresso. La sezione di controllo si localizza appena oltre l'ingresso come sezione ad altezza critica e prosegue in regime supercritico.

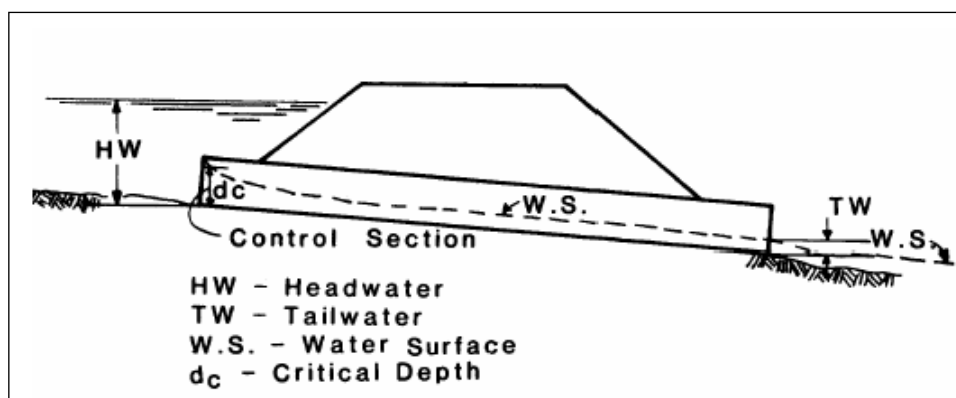


FIGURA 22: ESEMPIO DI MOTO CONTROLLATO DALLA SEZIONE DI INGRESSO

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

Il “controllo da valle” si verifica quando il tombino non è in grado di convogliare tanta portata quanta ne accetta l’ingresso. La sezione di controllo si localizza all’uscita del tombino o più a valle. In queste condizioni il moto può essere sia a pelo libero che in pressione.

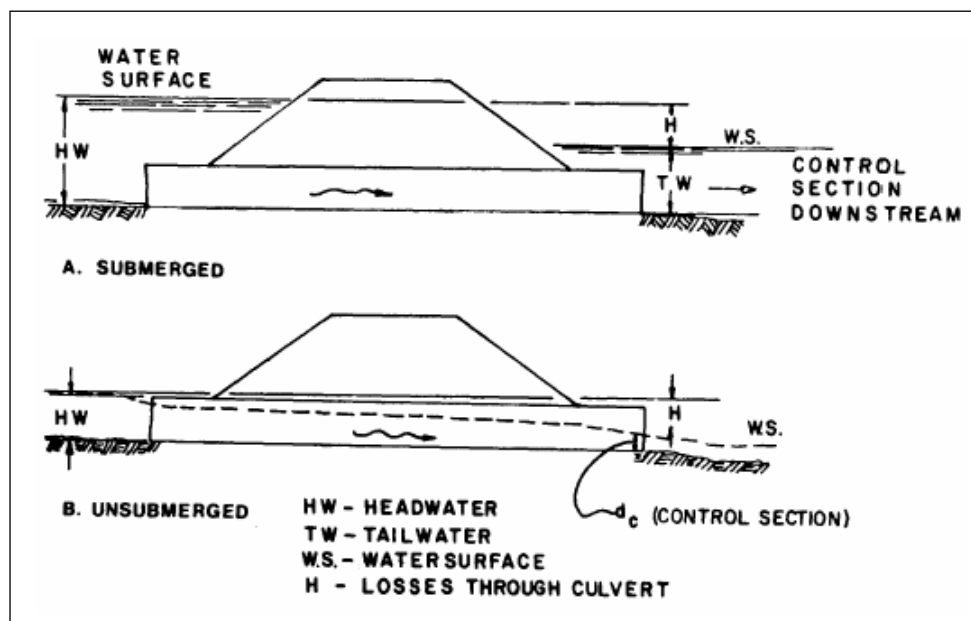


FIGURA 23: ESEMPI DI MOTO CONTROLLATO DA SEZIONI A VALLE DEL TOMBINO

Il livello idrico a monte è stato valutato sulla base dei diagrammi sperimentali di figg. 24-25-26-27 (Hydraulic Charts for the selection of highway culverts – Bureau of Public Roads – 1964, USA).

I diagrammi nelle figg. 24 e 25 forniscono tale livello in condizioni di “controllo da monte” rispettivamente per tombini scatolari e circolari, prendendo in considerazione la portata di progetto e la geometria dell’ingresso (forma e area della sezione);

I diagrammi nelle figg. 26 e 27, nel caso di funzionamento per “controllo da valle”, consentono di valutare il livello idrico tenendo conto della scabrezza, della lunghezza della canna e di eventuali livelli idrici a valle.

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

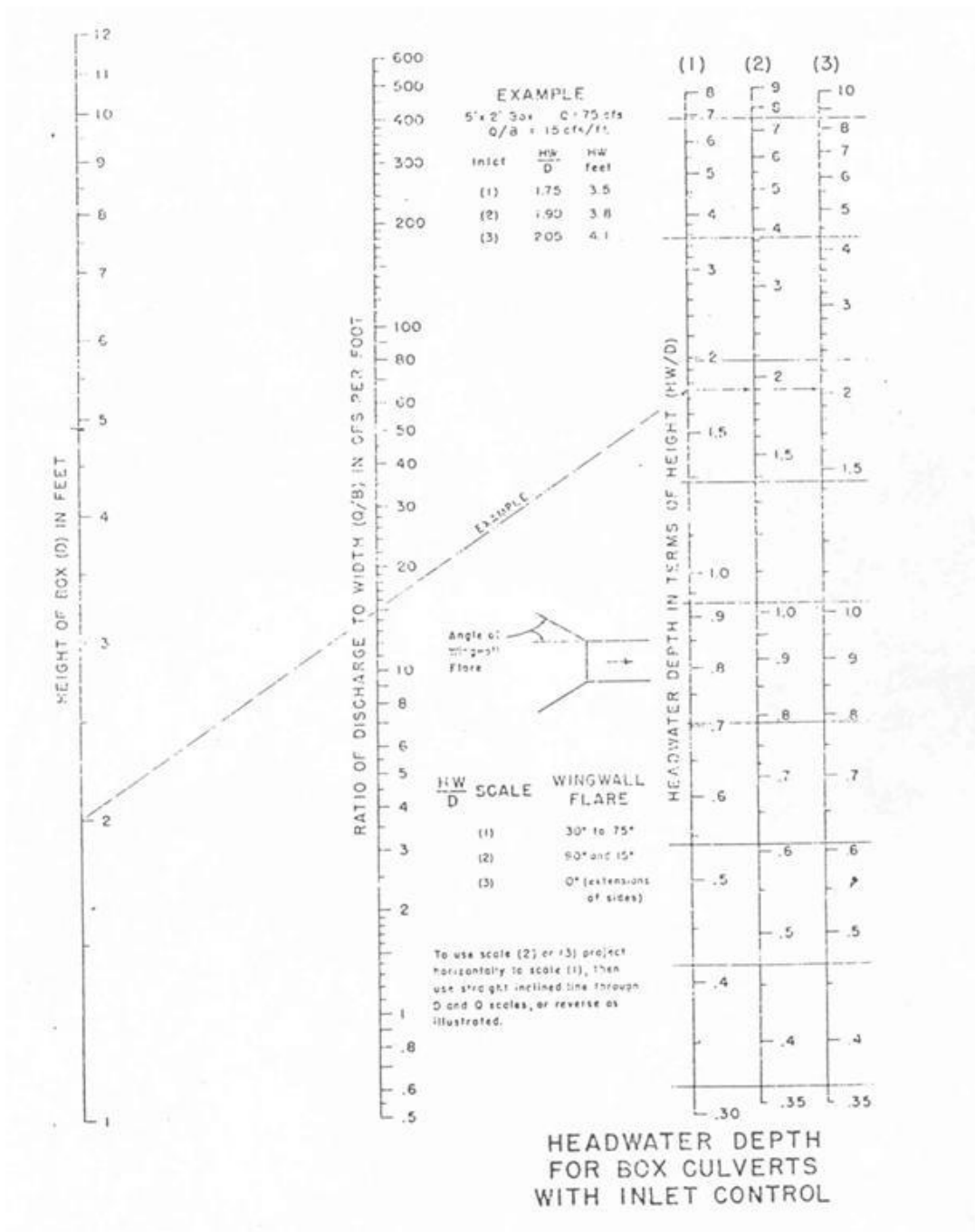


FIGURA 24: VERIFICA DEL RIEMPIMENTO DI TOMBINI SCATOLARI CON CONTROLLO DA MONTE (HYDRAULIC CHARTS FOR THE SELECTION OF HIGHWAY CULVERTS – BUREAU OF PUBLIC ROADS – 1964, USA)



	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

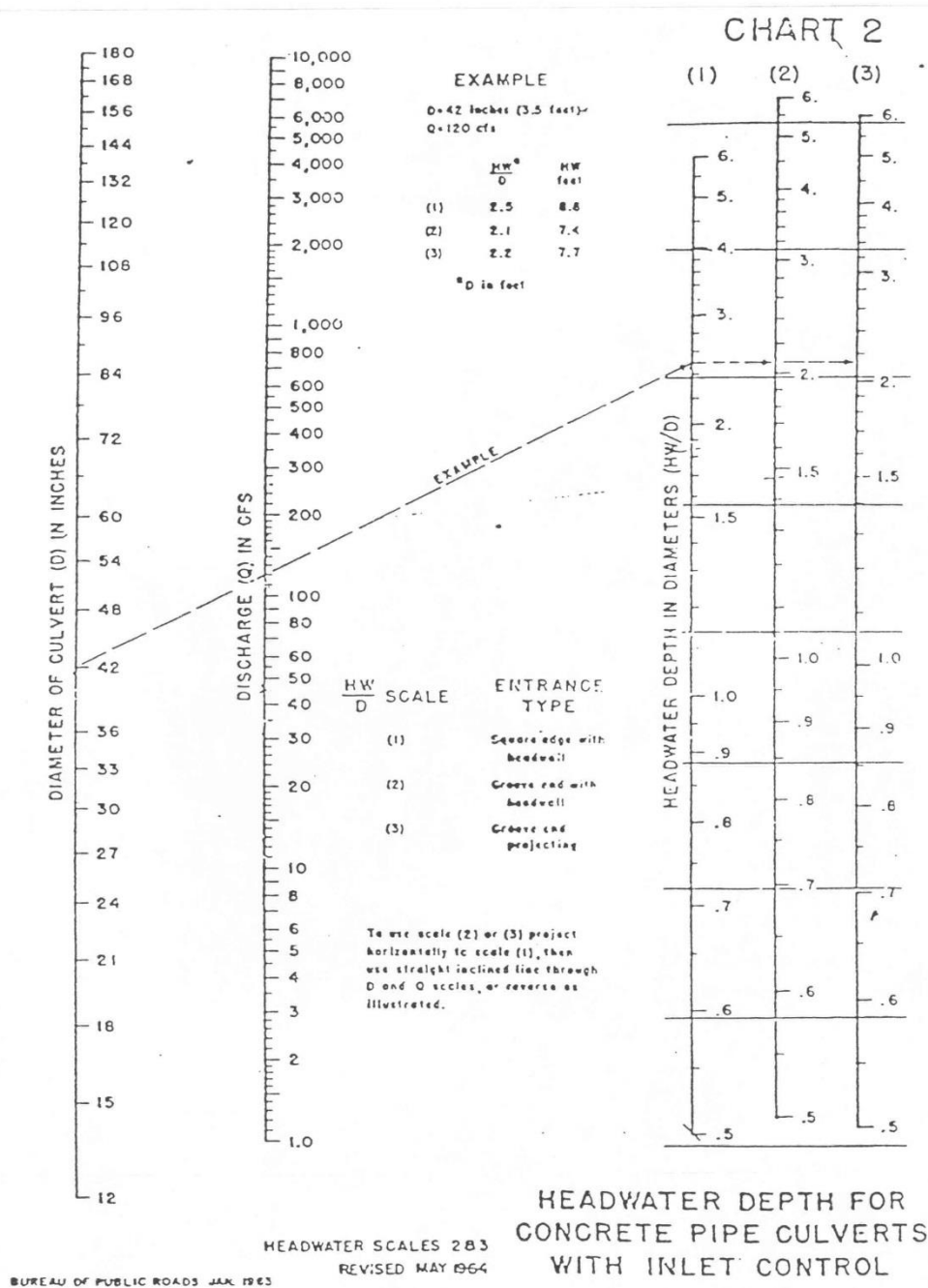


FIGURA 25: VERIFICA DEL RIEMPIMENTO DI TOMBINI CIRCOLARI CON CONTROLLO DA MONTE (HYDRAULIC CHARTS FOR THE SELECTION OF HIGHWAY CULVERTS – BUREAU OF PUBLIC ROADS – 1964, USA)

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

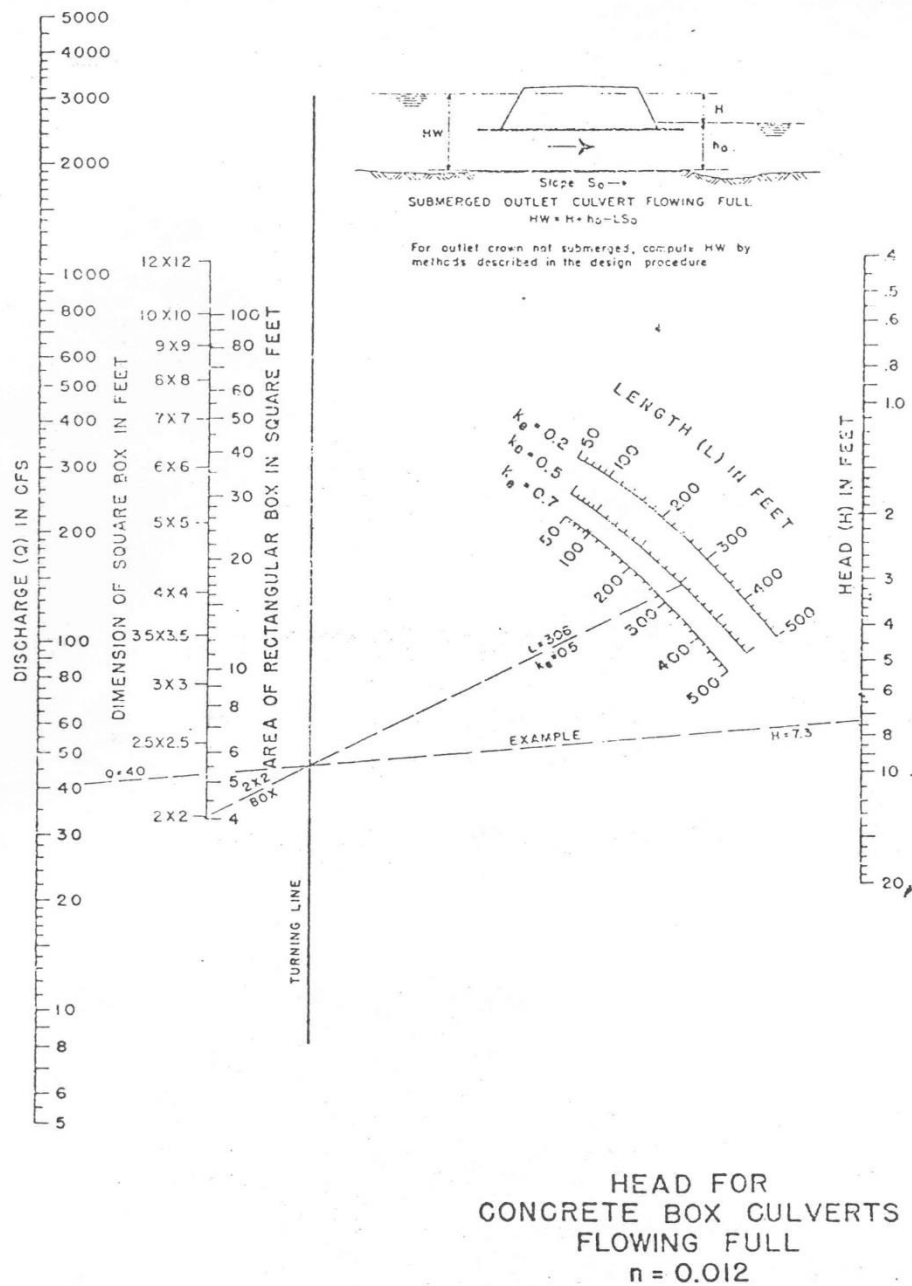


FIGURA 26: VERIFICA DEL RIEMPIMENTO DI TOMBINI SCATOLARI CON CONTROLLO DA VALLE (HYDRAULIC CHARTS FOR THE SELECTION OF HIGHWAY CULVERTS – BUREAU OF PUBLIC ROADS – 1964, USA)

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

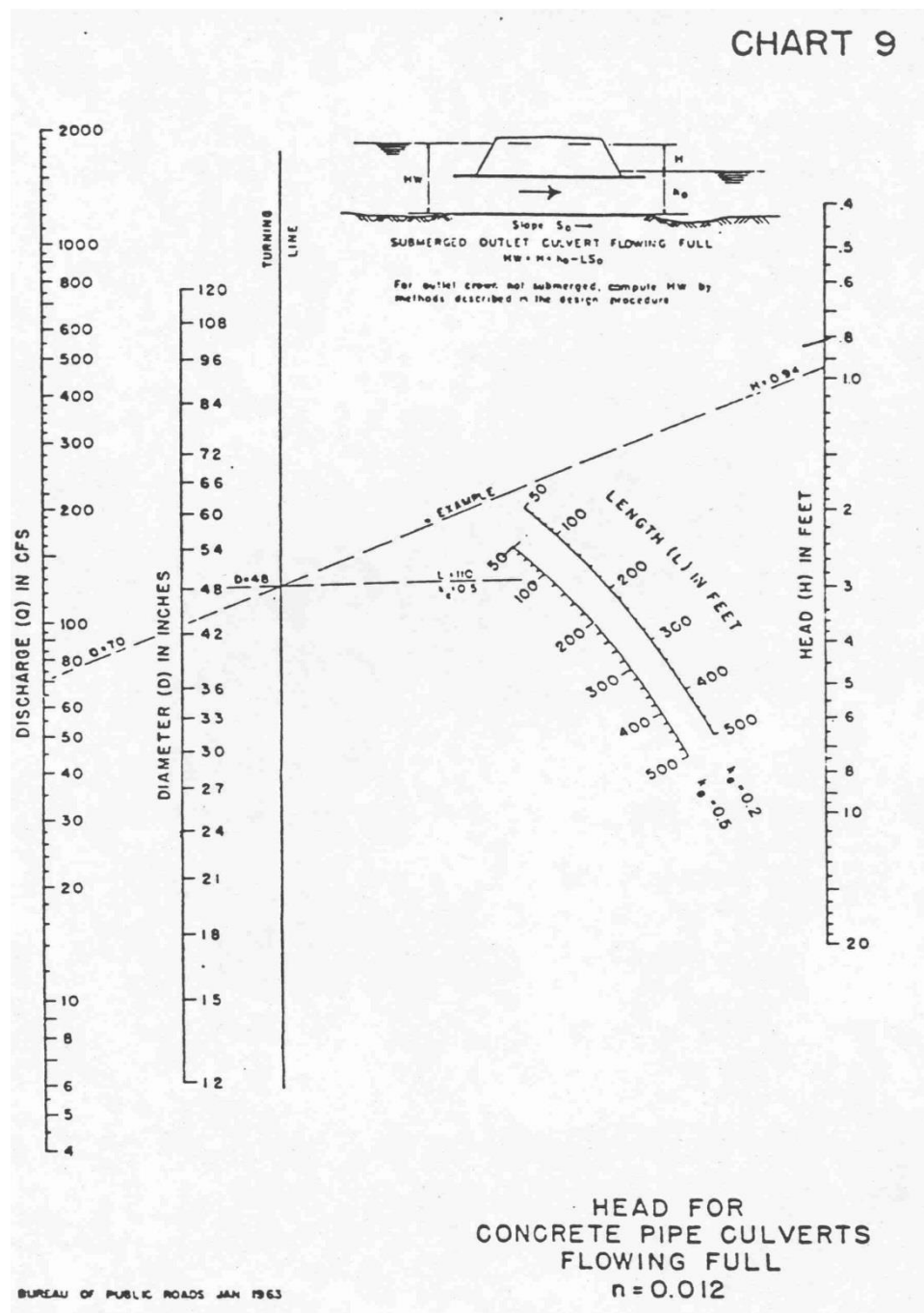


FIGURA 27: VERIFICA DEL RIEMPIMENTO DI TOMBINI CIRCOLARI CON CONTROLLO DA VALLE (HYDRAULIC CHARTS FOR THE SELECTION OF HIGHWAY CULVERTS – BUREAU OF PUBLIC ROADS – 1964, USA)

Il software HY-8 determina, per diversi valori della portata, il tipo di controllo (inlet/outlet) che si instaura nella canna e fornisce per esso il profilo della superficie idrica lungo la canna e il tirante all'imbocco e allo sbocco.

Per essere verificato, il riempimento della canna deve essere inferiore al 70% della sezione per la portata di progetto bicentenaria.

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO COMUNE DI PIANORO (BO)

### RISULTATI DELLE VERIFICHE

E' previsto n. 1 tombino con sezione 2.5x2.0 m e lunghezza 15 m. La scabrezza della canna viene posta pari a  $n = 0.0167 \text{ s/m}^{1/3}$ .

Nella seguente tabella sono riportati i risultati delle verifiche:

tombino n.	L	zin	Zout	Canale di valle	P% canale di valle	Q	Inlet control	Outlet control	Tirante imbocco	Tirante sbocco	riempimento
	<i>m</i>	<i>m s.m.</i>	<i>m s.m.</i>	<i>m x m</i>	%	<i>m³/s</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>M</i>	<i>m</i>	%
1	15	136.0	135.5	2.5x2.0	0.67%	10.8	2.04	0.64	1.24	0.72	62.0

Il tombino di progetto presenta un controllo da monte ed un riempimento inferiore al 70%. La verifica risulta pertanto soddisfatta.