



ANAS S.p.A.

DIREZIONE REGIONALE PER LA SICILIA

PA17/08

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 - Svincolo Manganaro incluso) compresi raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121

Bolognetta S.c.p.a.

- PERIZIA DI VARIANTE N.3 -

Il Responsabile Ambientale:
Dott. Maurizio D'Angelo



Titolo elaborato:

IDROLOGIA E IDRAULICA - OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE

Inalveazione su corso d'acqua minore_Svincolo Tumminia SF25 Relazione idrologica e studio idraulico

Codice Unico Progetto (CUP) : F41B03000230001

Codice elaborato:	OPERA	ARGOMENTO	DOC. E PROG.	FASE	REVISIONE
PA17/08	PV	ID	RT15	6	2

CARTELLA:	FILE NAME:	NOTE:	PROT.	SCALA:
	PVIDRT15_62_4137	1=1	4 1 3 7	-
5				
4				
3				
2	EMISSIONE A SEGUITO ISTRUTTORIA ANAS		Maggio 2021	Q. Napoleoni S. Fortino N. Behmann
1	EMISSIONE A SEGUITO ISTRUTTORIA D.L.		Maggio 2020	Q. Napoleoni S. Fortino D. Tironi
0	PRIMA EMISSIONE		Dicembre 2019	Q. Napoleoni S. Fortino D. Tironi
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

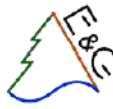
Progettisti :

F.A.C.E. S.r.l. - Società di ingegneria

FACTORY OF ARCHITECTURE CIVIL ENGINEERING
 via Flaminia 71 - 00196 Roma
 tel: 06 32609519
 e-mail: info@facesrl.com
 pec: pec.facesrl@pec.com

Direttore Tecnico: ing. Antonio Ambrosi

Consulenti:



E&G S.r.l.
 ENVIRONMENT & GEOTECHNIC
 STUDIO DI INGEGNERIA GEOTECNICA E AMBIENTALE

Direttore Tecnico: ing. Quintilio Napoleoni



Il Progettista Responsabile
Ing. Antonio Ambrosi



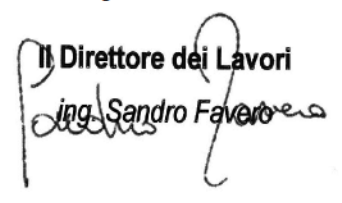
Il Geologo
Dott. Geol. Gualtiero Bellomo



Il Coordinatore per la Sicurezza
in fase di Esecuzione:
Arch. Francesco Rondelli



Il Direttore dei Lavori:
Ing. Sandro Favero



ANAS S.p.A.

DATA: _____ PROTOCOLLO: _____ VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

CODICE PROGETTO **LO410CE1101**

Dott. Ing. Luigi Mupo

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF25 – OPERE DI REGIMEAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

INDICE

1	PREMESSA	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3	DESCRIZIONE DELL'OPERA	4
4	DEFINIZIONE DELLA PORTATA DI PROGETTO	8
4.1	APPLICAZIONE DELLE LINEE GUIDA DEL PROGETTO VAPI.....	8
4.1.1	Determinazione del parametro CN	14
4.1.2	Calcolo del coefficiente di deflusso	18
4.1.3	Calcolo della portata di progetto.....	19
5	SOFTWARE UTILIZZATI	20
6	RISULTATI DELLE ANALISI.....	31
7	VERIFICA DEI TOMBINI.....	32
8	CONCLUSIONI	33
ALLEGATO 1- OUTPUT DI CALCOLO-		

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la “*Relazione Idrologica e Studio Idraulico*” relativa all’opera di regimazione fluviale SF25, in corrispondenza dello svincolo di Tumminia.

A seguito degli eventi alluvionali del Novembre 2018, l’area in esame è stata sede di fenomeni di dissesto che hanno portato al danneggiamento delle inalveazioni già realizzate.

Alla luce dei danni provocati dalle esondazioni del Novembre 2018, si propone, nel presente Progetto di Variante n. 3, la modifica di alcuni tratti dell’opera di regimazione fluviale SF 25 al fine di incrementare le capacità di deflusso e di contrastare l’acuirsi dei fenomeni erosivi causati dagli eventi metereologici.

Per una maggiore chiarezza espositiva, saranno riportate, nella presente relazione, le verifiche di tutte le inalveazioni e dei tombini afferenti a detta sistemazione, a valle della descrizione metodologica del calcolo delle portate di progetto.

Le verifiche proposte sono riferite alla portata avente tempo di ritorno pari a 100 anni, in accordo con quanto previsto nel CSA e dal Genio Civile di Palermo.

Per quanto concerne le verifiche delle inalveazioni, è stato utilizzato il codice di calcolo Macra Studio sviluppato da Officine Maccaferri S.p.a..



Figura 1 DANNEGGIAMENTI SF25 A SEGUITO DEGLI EVENTI DI NOVEMBRE 2018

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Nel presente studio, si è fatto riferimento alla seguente normativa:

- D.M. 27/01/2018 - “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare Consiglio Superiore dei LL.PP. n. 7 del 21 Gennaio 2019 - “Istruzioni per l’applicazione dell’aggiornamento delle Norme Tecniche”.
- P.A.I della Regione Siciliana , Relazione Generale 2004.
- P.A.I della Regione Siciliana, rapporti *“Bacino idrografico del fiume Milicia (n.0.34)”* *“Area territoriale tra il bacino del fiume Milicia e il bacino del fiume San Leonardo (n.0.35)”* *“Area territoriale tra il bacino del fiume Milicia ed il bacino del fiume Eleuterio (n.0.36)”* *“Bacino idrografico del fiume San Leonardo (PA)”* (2004 e successivi aggiornamenti).

3 DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'opera di regimazione fluviale SF 25 prevede la realizzazione di un reticolo di fossi, inalveazioni e di tombini di attraversamento del rilevato stradale per la raccolta delle acque del versante di monte e lo scarico delle stesse nel recettore finale a valle, rappresentato dal Torrente Buffa-Mulinazzo.

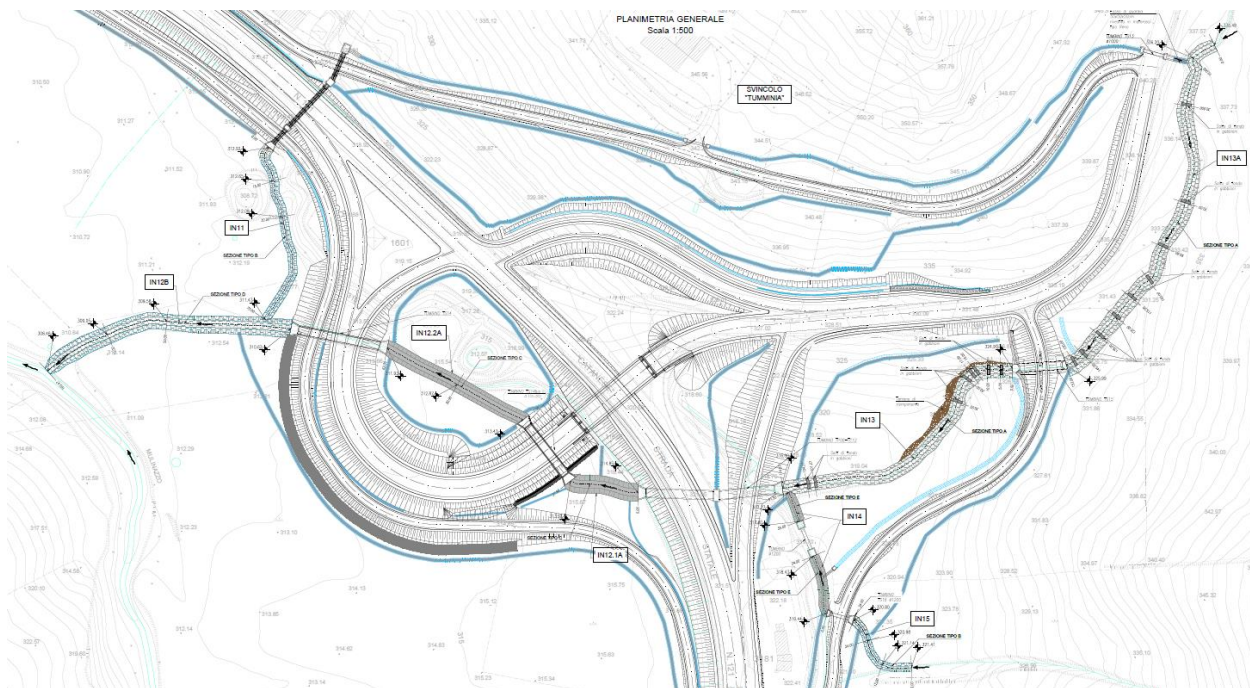


Figura 2 SRALCIO PLANIMETRICO SF 25

Si riportano nel seguito le caratteristiche delle inalveazioni oggetto di verifica.

- **IN13 e IN13A:** Sezione trapezia di base $B=3.00$ m e $H_{min}=1.40$ m rivestita in gabbioni di dimensioni $0.50 \times 1.00 \times 1.00$ (sezione tipo A) e riprofilatura dell'asta mediante la predisposizione di salti di fondo con gabbioni per ridurre la pendenza e di conseguenza la velocità della corrente per impedire fenomeni di erosione.

SEZIONE TIPO A
(pk 30.00 - IN13, pk 135.00 - IN13A)
Scala 1:100

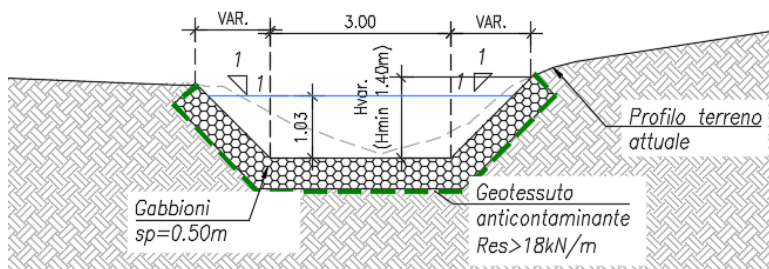


Figura 3 –SEZIONE TIPO A

SCHEMA PLANIMETRICO SALTO
Scala 1:100

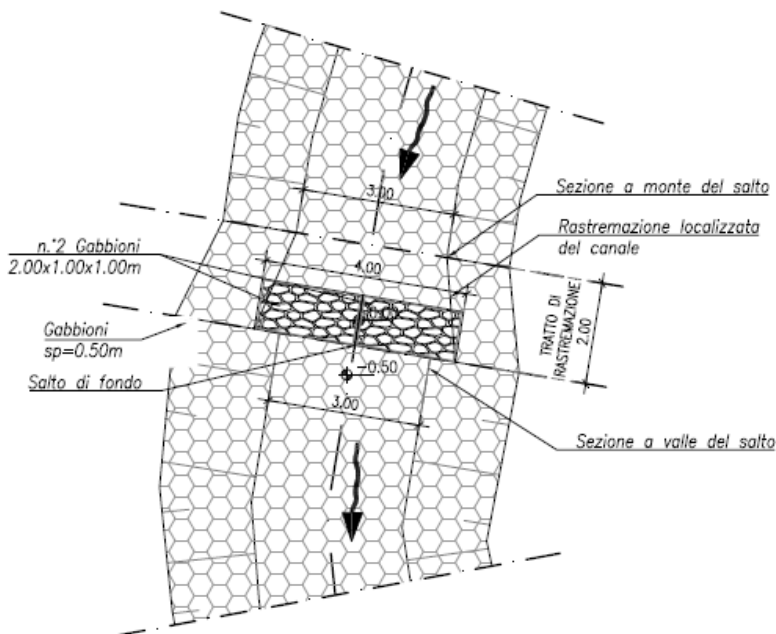


Figura 4 –SCHEMA SALTI DI FONDO

- IN15 e IN11: Sezione trapezia di base B=1.50 m e altezza Hmin=1.00 m rivestita in gabbioni di dimensioni 0.5X1.00X1.00 (sezione tipo B) e riprofilatura dell'asta.

SEZIONE TIPO B
(pk 30.00-IN11, pk 24.00-IN15)
Scala 1:100

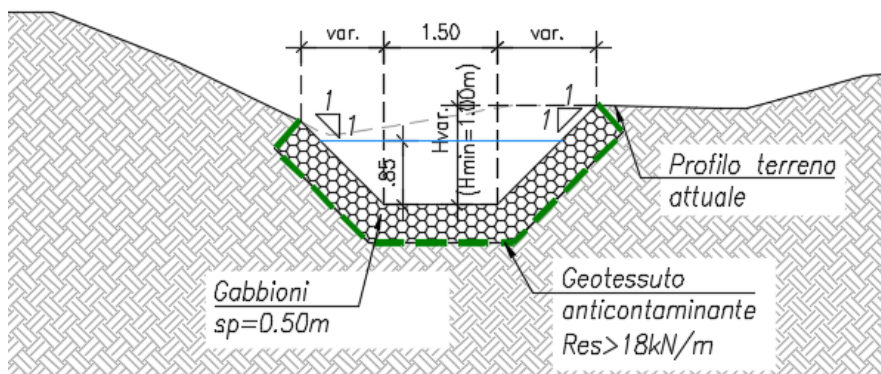
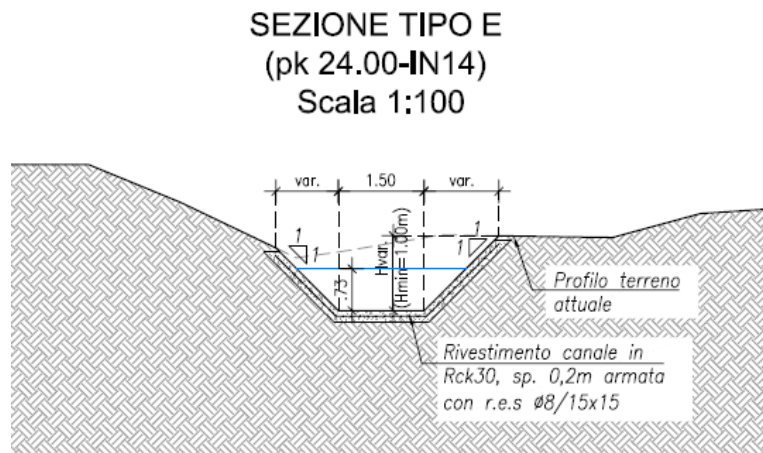
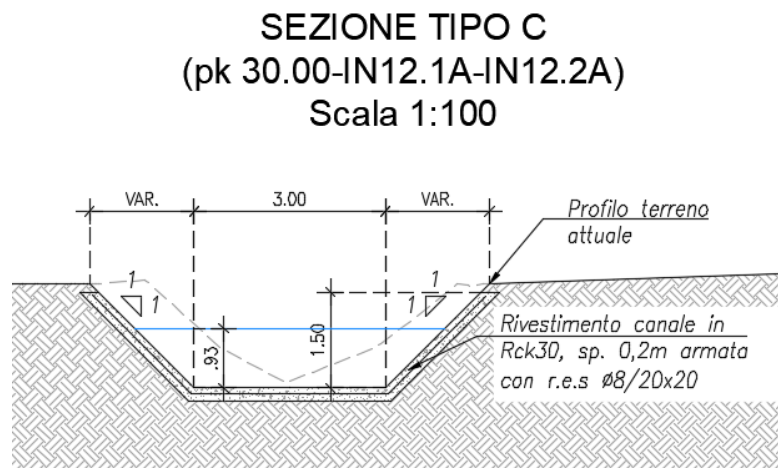


Figura 5 –SEZIONE TIPO B

- **IN14**: Sezione trapezia di base $B=1.5$ m e altezza $H=1.00$ m rivestita in cls con rete elettrosaldata $\Phi 8/15 \times 15$ (sezione tipo E) e riprofilatura dell'asta.



- **IN12A**: Sezione trapezia di base $B=3.00$ m e altezza $H=1.50$ m rivestita in cls con rete elettrosaldata $\Phi 8/15 \times 15$ (sezione tipo C) e riprofilatura dell'asta.



- **IN12B**: Sezione a forma trapezia di base $B=3.00$ m e altezza $H=1.70$ m rivestita in gabbioni di dimensioni $0.5 \times 1.00 \times 1.00$ (sezione tipo D) e riprofilatura dell'asta.

SEZIONE TIPO D (pk 50.00-IN12Bnew) Scala 1:100

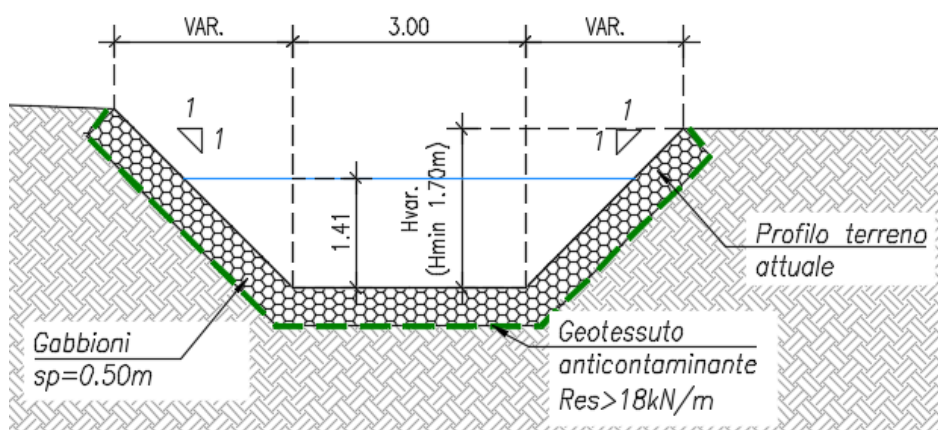


Figura 8 –SEZIONE TIPO D

A corredo della rivisitazione delle inalveazioni è stata oggetto del presente Progetto di Variante la verifica dei tombini ed il conseguente adeguamento alle portate di progetto.

Nel particolare, l'adeguamento alle nuove portate di progetto ha previsto la sostituzione dei tombini afferenti alle inalveazioni 14 e 15.

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF25 – OPERE DI REGIMEAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

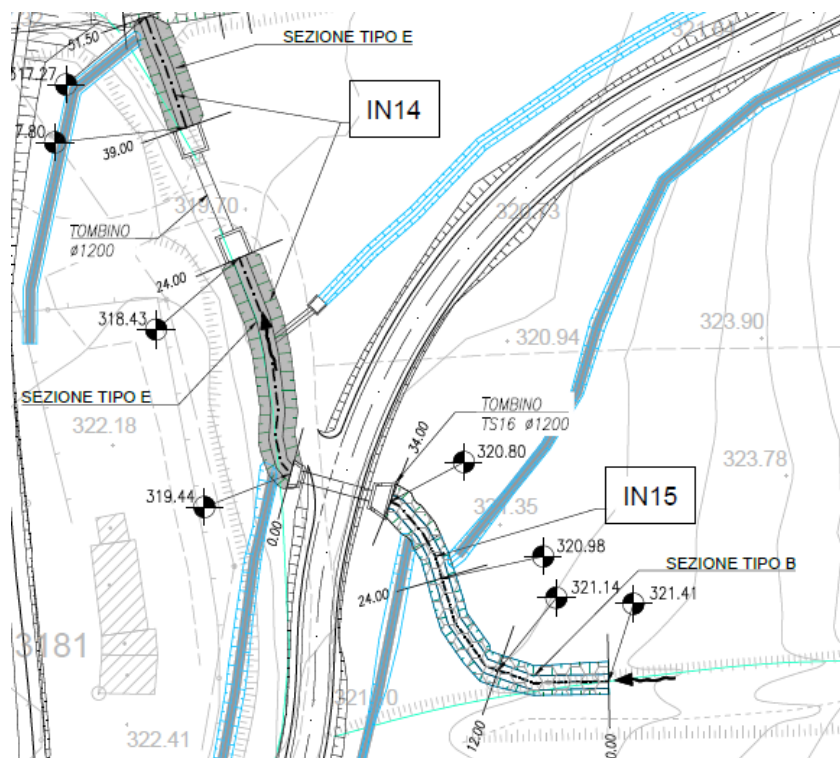


Figura 9 Stralcio planimetria SF25- particolare inalveazioni con adeguamento tombini

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici dell'opera in esame.

4 DEFINIZIONE DELLA PORTATA DI PROGETTO

Si riporta nel presente paragrafo la metodologia proposta per il calcolo di detta portata.

4.1 APPLICAZIONE DELLE LINEE GUIDA DEL PROGETTO VAPI

Con riferimento al bacino oggetto di studio, l'individuazione delle caratteristiche pluviometriche è stata determinata in conformità a quanto previsto dal progetto di valutazione Piene (VaPi) del gruppo Nazionale di Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI), mediante le procedure di regionalizzazione, secondo le procedure indicate nel rapporto della Regione Sicilia (Ferro e Carnozzo 1993).

La determinazione dell'altezza di pioggia (h), e le relative intensità (i) è stata condotta utilizzando il modello TCEV (Two Component Extreme Value Distribution).

La procedura gerarchica di regionalizzazione si articola in tre livelli successivi in ognuno dei quali è possibile ritenere costanti alcuni parametri statistici.

Nel primo livello di regionalizzazione si ipotizza che il coefficiente di asimmetria teorico della serie dei massimi annuali delle piogge di assegnata durata t sia costante per l'intera regione Sicilia. L'intera regione si ritiene pertanto una zona pluviometricamente omogenea ed i valori dei parametri sono costanti ed indipendenti dalla durata t .

Il secondo livello di regionalizzazione prevede l'individuazione di sottozone omogenee (SZO) all'interno di quella individuata al primo livello. In tali zone risulta costante, oltre al coefficiente di asimmetria, anche il coefficiente di variazione della legge teorica. Al secondo livello di regionalizzazione la Sicilia è suddivisa in cinque sottozone pluviometricamente omogenee.

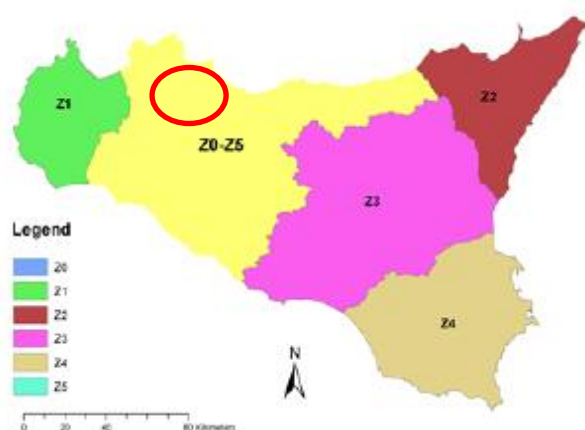


Figura 10 Sottozone pluviometricamente omogenee regione Sicilia. Cerchiata in rosso l'area di interesse.

In ogni sottozona la variabile adimensionale $h = h(t, T)$, valore dell'altezza di pioggia per fissata durata t e tempo di ritorno T rapportata alla media della legge TCEV, assume la seguente espressione:

$$K_T = a * \ln(T) + b$$

Dove:

K_T : coefficiente adimensionale di crescita per ogni SZO fissato il tempo di ritorno;

a, b : parametri per le differenti SZO definiti nella tabella seguente.

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF25 – OPERE DI REGIMEAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

<i>Sottozona</i> <i>Parametro</i>	$Z_0 - Z_5$	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
<i>a</i>	0.4485	0.4695	0.4799	0.5011	0.4946
<i>b</i>	0.5117	0.4889	0.4776	0.4545	0.4616

Tabella 4.2: Valori, per la regione Sicilia, dei coefficienti *a* e *b* per la definizione del fattore di crescita (Lo Conti et al., 2007).

Figura 11 Coefficienti *a*, *b* per la definizione del coefficiente di crescita. Cerchiata in rosso la zona di interesse.

Il terzo livello di regionalizzazione prevede, infine, la ricerca di relazioni regionali tra il parametro centrale della distribuzione di probabilità (μ) e le grandezze relative al sito di misura, dipendenti dai parametri geografici.

L'espressione della curva di probabilità pluviometria assume quindi la forma:

$$h(t, T) = K_T * \mu(t)$$

Dove:

$h(t, T)$: è l'altezza di pioggia per assegnata durata *t* e tempo di ritorno *T*;

$\mu(t)$: assume per le stazioni pluviografiche siciliane la seguente forma: $\mu(t) = a * t^n$, con *a*, *n* tabellati per ogni stazione pluviografica.

Nel presente caso, vista l'ubicazione dell'area oggetto del presente studio, sono stati utilizzati i valori di *a* ed *n* afferenti alla stazione pluviometrica di **Marineo**.

L'espressione analitica della legge di probabilità pluviometrica, per il tempo di ritorno pari a 100 anni assume quindi la seguente forma:

$$h(t, T = 100) = 70.7 * t^{0.2979}$$

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF25 – OPERE DI REGIMEAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

Tab. 5.III - Valori delle costanti a e n della (5.17) per le stazioni pluviografiche siciliane

Codice	Stazione	Bacino di appartenenza	a	n
1	Monforte S. Giorgio	Niceto	35.9	0.3391
2	Milazzo	Tra Muro e Mela	30.3	0.2208
3	Castroreale	Longano	27.4	0.4470
4	Montalbano Elicona	Mazzarrà	26.2	0.4255
5	Tindari	Tra Mazzarrà e Timeto	26.5	0.2977
6	S. Piero Patti	Timeto	28.3	0.3369
7	Capo d'Orlando	Tra Naso e Zappulla	20.5	0.2934
8	Tortorici	Zappulla	28.4	0.3347
9	Alcara Li Fusi	Rosmarino	23.2	0.3970
10	Sanfratello	Inganno	21.9	0.3723
11	S. Stefano di Camastra	S. Stefano	26.7	0.2560
12	Castelbuono	Pollina	25.6	0.3451
13	Isnello	Pollina	25.0	0.4109
14	Cefalù	Pollina	27.3	0.2827
15	Collesano	Roccella	28.1	0.3880
16	Caltavuturo	Imera Settentrionale	20.4	0.4252
17	Gioia (Fattoria)	Torto	20.5	0.3147
18	Termini Imerese	Tra Torto e S. Leonardo	30.5	0.2635
19	Imbriaca	S. Leonardo	22.6	0.3567
20	Vicari	S. Leonardo	22.5	0.3205
21	Campofelice di Fitalia	S. Leonardo	22.9	0.2244
22	Mezzoiuso	S. Leonardo	20.6	0.3415

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF25 – OPERE DI REGIMEAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

Codice	Stazione	Bacino di appartenenza	a	n
23	Sambuchi	S. Leonardo	19.5	0.3172
24	Caccamo	S. Leonardo	22.0	0.3414
25	Ciminna	S. Leonardo	20.8	0.3529
26	Monumentale	S. Leonardo	29.3	0.2608
27	Turdiepi (Fattoria)	Eleuterio	21.6	0.3511
28	Lupo	Eleuterio	24.9	0.2819
29	Ficuzza	Eleuterio	22.2	0.3088
30	Ficuzza Bosco	Eleuterio	24.1	0.3792
31	Marineo	Eleuterio	27.4	0.2979
32	Risalaimi	Eleuterio	24.9	0.3272
33	Misilmeri	Eleuterio	21.0	0.3054
34	Pioppo	Oreto	27.4	0.4032
35	Altofonte	Oreto	25.0	0.3567
36	Romitello	Tra Oreto e Giancaldara	30.1	0.2972
37	S. Martino delle Scale	Tra Oreto e Giancaldara	28.2	0.3327
38	Montepellegrino	Tra Oreto e Giancaldara	29.5	0.2733
39	Partinico	Tra Oreto e Giancaldara	21.2	0.3120
40	Palermo Ist. Zoot.	Tra Oreto e Giancaldara	25.1	0.2928
41	Palermo Serv. Idr.	Tra Oreto e Giancaldara	28.7	0.3143
42	Palermo Oss. Astr.	Tra Oreto e Giancaldara	22.2	0.2687
43	Palermo Ist. Castel.	Tra Oreto e Giancaldara	23.2	0.3119
44	Isola delle femmine	Tra Oreto e Giancaldara	21.7	0.2968
45	Ginestra	Giancaldara	27.9	0.3874

Figura 12: Parametri a, n delle curve CPP per le differenti stazioni pluviometriche.

All'analisi pluviometrica segue la valutazione della portata al colmo di piena istantanea. Per tale valutazione ci si è riferiti al modello di regionalizzazione proposto dal VaPi Sicilia al terzo livello di

regionalizzazione, utilizzando come metodo di trasformazione afflussi-deflussi la formula razionale per la quale:

$$Q = \frac{\psi * I(t_c) * A}{3.6} [mc/s]$$

Dove:

ψ : Coefficiente di deflusso;

$I(t_c)$: Intensità di precipitazione massima registrata in un intervallo orario pari al tempo di corrivazione del bacino;

A: Area del bacino.

L'area del bacino di pertinenza della zona di studio è stata posta pari a 56.3 km², coerentemente agli studi idrologici presentati nelle precedenti fasi progettuali, i cui contenuti sono stati verificati dallo scrivente a monte della redazione del presente elaborato.

Il tempo di corrivazione del bacino è stato ricavato utilizzando la metodologia indicata dal Vapi della regione Sicilia, per la quale:

$$t_c = 0.35\sqrt{A}$$

Nel caso in esame risulta pertanto:

	Area	t _c
	km ²	h
IN 13 A	1.422	0.4
IN 13	1.422	0.4
IN 14	0.224	0.2
IN 15	0.224	0.2
IN 12 A	1.652	0.4
IN 11	0.084	0.1
IN 12B	1.652	0.4
TS13	0.005	0.02

Tabella 1 Tempo di corrivazione per le inalveazioni di progetto

Il valore del coefficiente di deflusso è stato determinato mediante il metodo “Curve Number” proposto dal Soil Conservation Service (1972), metodologia indicata dai rapporti relativi al *P.A.I. per il “Bacino idrografico del fiume Milicia (n.0.34)”* “Area territoriale tra il bacino del fiume Milicia e

il bacino del fiume San Leonardo (n.0.35)” “Area territoriale tra il bacino del fiume Milicia ed il bacino del fiume Eleuterio (n.0.36)” “Bacino idrografico del fiume San Leonardo (PA)” (2004 e successivi aggiornamenti). La metodologia completa viene illustrata nel seguente paragrafo.

4.1.1 Determinazione del parametro CN

Il metodo del Curve Number si basa sull’assunzione che il volume specifico (altezza) di pioggia netta (efficace) risulti legato al volume specifico (altezza) di pioggia lorda (effettiva) caduta nel medesimo intervallo temporale secondo la relazione:

$$P_{net} = \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S} [mm] \quad (1)$$

Dove:

S: Massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizioni sature;

I_a: Perdita iniziale, equivalente al valore limite di altezza di pioggia che può essere trattenuta dal terreno senza che si origini il deflusso.

In assenza di adeguate osservazioni utili il parametro I_a può essere calcolato come:

$$I_a = 0.2 * S \quad (2)$$

La valutazione di S può invece essere ricondotta a quella dell’indice CN (Curve Number), secondo la seguente relazione:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) [mm] \quad (3)$$

Dove CN è un numero adimensionale, compreso fra 0 e 100, funzione della permeabilità della litologia superficiale, dell’uso del suolo e della condizione di saturazione del terreno prima dell’evento meteorico.

Il Soil Conservation Service (SCS), sulla base delle capacità di assorbimento del terreno, ha classificato i vari tipi di suolo n 4 gruppi (A,B,C,D) come indicato nella tabella che segue.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF25 – OPERE DI REGIMEAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

Tipo idrologico di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

Tabella 2: Metodo SCS-CN Classi di suolo

Per tali gruppi si riportano i valori del parametro CN corrispondenti a diverse tipologie di uso del suolo.

Tipologia di Uso del Territorio	Tipo idrologico Suolo			
	A	B	C	D
<u>Terreno coltivato</u>				
in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
<u>Terreno a pascolo</u>				
in cattive condizioni	68	79	86	89
in buone condizioni	39	61	74	80
<u>Terreni boscosi o forestati</u>				
in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
<u>Spazi aperti, prati rasati, parchi</u>				
con copertura erbosa superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
con copertura erbosa compresa tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
con copertura erbosa inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
<u>Aree commerciali (area impermeabile 85%)</u>	89	92	94	95
<u>Distretti industriali (area impermeabile 72%)</u>	81	88	91	93
<u>Aree residenziali</u>				
impermeabilità media 65%	77	85	90	92
impermeabilità media 38%	61	75	83	87
impermeabilità media 30%	57	72	81	86
impermeabilità media 25%	54	70	80	85
impermeabilità media 20%	51	68	79	84
impermeabilità media 12%	46	65	77	82
<u>Parcheggi, tetti, autostrade</u>	98	98	98	98
<u>Strade</u>				
pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
con letto in ghiaia	76	85	89	91
battute in terra	72	82	87	89

Tabella 3: Metodo SCS-CN ;CN per diversi tipi di uso del suolo per condizioni di umidità iniziale media (Classe II)

I valori di CN riportati in tabella si riferiscono ad una condizione di umidità del suolo intermedia secondo la classifica AMC (Antecedent Moisture Condition). Si assume pertanto che il valore di CN vari in relazione alle condizioni di imbibimento all'atto della piena. Tale stato di imbibimento viene espresso, dalla classificazione AMC, in base ad un indice di altezza di pioggia corrispondente all'altezza cumulata dei 5 giorni precedenti all'evento che si intende considerare (API5).

Noto il valore di CN per le condizioni medie (ACM II), è possibile ricavare il corrispondente valore per le condizioni di interesse secondo le curve di seguito riportate.

CLASSE AMC	Altezza di pioggia nei 5 giorni precedenti (mm)	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I - asciutta	< 12,7	< 35,5
II - media	12,7 - 28,0	35,5 - 53,3
III - umida	> 28,0	> 53,3

Tabella 4: Definizione della classe di umidità in base all'indice API_5

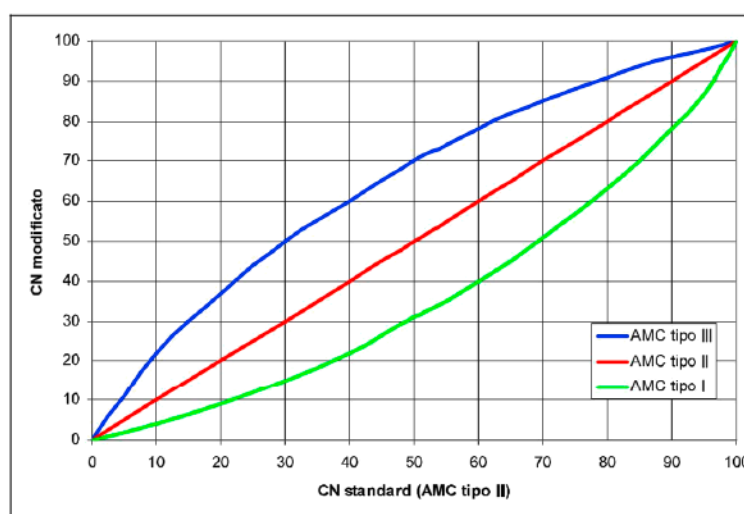


Figura 13: Curve di conversione dei valori di CN per le diverse condizioni iniziali

Considerando le caratteristiche geologiche del bacino idrografico oggetto del presente studio (vedasi relazione Geologica Generale allegata al presente progetto), si è considerata la tipologia idrologica di suolo **D**.

il valore del parametro CN è stato ricavato come media pesata dei valori CN_i attribuiti ai diversi usi del suolo.

A partire dalla carta di uso del suolo del 2018 della Regione Sicilia, le categorie di uso del suolo presenti nel bacino di competenza sono state ricondotte a 3 categorie principali, a ciascuna delle quali è stato attribuito un valore di CN stabilito sulla base di quanto riportato in Tabella 3.

Si riportano i valori di CN attribuiti a ciascuna categoria:

- 1- Spazi aperti, pascoli e terreni coltivati $CN_{SA}=85$

2- Aree boschive o forestali $CN_{AB}=82$

3- Aree impermeabilizzate, aree residenziali e commerciali $CN_{AI}=95$

Il valore del CN da attribuire al bacino o sottobacino è stato quindi calcolato come:

$$CN = \frac{\sum_i CN_i A_i}{A_{tot}}$$

Essendo le aree di pertinenza di ogni categoria per il bacino in esame:

- $A_{SA} = 1.5$ (km² Spazi aperti/pascoli e terreni coltivati)
- $A_{AB} = 0.1$ (km² Aree boscate e forestali)
- $A_{AI} = 0.0$ (km² Aree impermeabilizzate residenziali e commerciali)

Si ottiene quindi:

$$CN = \frac{\sum_i CN_i A_i}{A_{tot}} = \frac{85 * 1.5 + 82 * 0.1 + 95 * 0.0}{1.6} = 85$$

Dove l'area totale è rappresentata dall'area del bacino a monte della sistemazione.

Considerando una condizione di imbibimento del terreno media (classe AMC II) si è attribuito un valore di CN pari a 85.

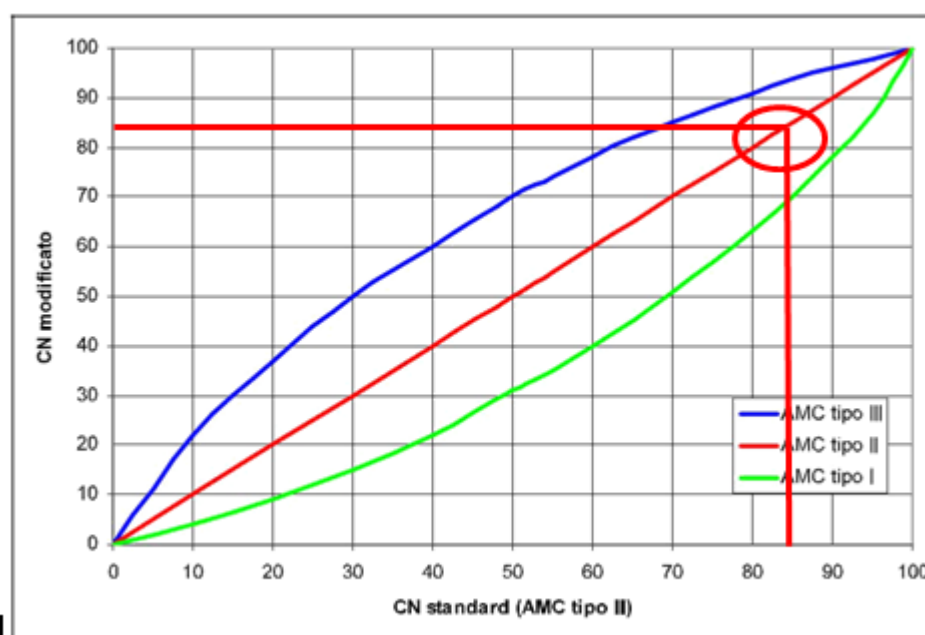


Figura 14: Procedura grafica per la stima di CN

Il valore di CN così ottenuto risulta in linea con i valori proposti dal rapporto relativo al P.A.I per l'area in esame.

4.1.2 Calcolo del coefficiente di deflusso

La determinazione della pioggia lorda è stata eseguita secondo la metodologia proposta dal VaPi Sicilia, come illustrato nel precedente paragrafo.

Il valore di pioggia lorda, per il tempo di ritorno pari a 100 anni, per le inalveazioni afferenti ai bacini in esame risulta pertanto:

	Area	t_c	$h(T_R, t_c)$
	km ²	h	mm
IN 13 A	1.422	0.4	54.43
IN 13	1.422	0.4	54.43
IN 14	0.224	0.2	41.33
IN 15	0.224	0.2	41.33
IN 12 A	1.652	0.4	55.66
IN 11	0.084	0.1	35.71
IN 12B	1.652	0.4	55.66
TS13	0.005	0.02	23.5

Tabella 5 Valore di pioggia lorda per le inalveazioni di progetto

Utilizzando le relazioni (1), (2), (3) del paragrafo 4.1.1, il valore del coefficiente di deflusso è quindi calcolabile come rapporto tra la pioggia effettiva e la pioggia netta calcolata con il metodo SCS-CN e pertanto pari a:

$$\psi = \frac{P_{net}}{P}$$

Si riportano nel seguito i risultati ottenuti per le inalveazioni di progetto. Per le inalveazioni per le quali il valore di ψ , ottenuto con il metodo SCS-SN, è risultato minore di 0.4, è stato

cautelativamente utilizzato il valore di 0.4 quale estremo inferiore per il calcolo delle portate di progetto.

	Area	t_c	CN	$h(T_R, t_c)$	S	la	P_{net}	ψ	ψ_p
	km ²	h	-	mm	-	-	mm		-
IN 13 A	1.422	0.4	85	54.43	44.8	9	22.9	0.42	0.42
IN 13	1.422	0.4	85	54.43	44.8	9	22.9	0.42	0.42
IN 14	0.224	0.2	85	41.33	44.8	9	13.6	0.33	0.40
IN 15	0.224	0.2	85	41.33	44.8	9	13.6	0.33	0.40
IN 12 A	1.652	0.4	85	55.66	44.8	9	23.8	0.43	0.43
IN 11	0.084	0.1	85	35.71	44.8	9	10.0	0.28	0.40
IN 12B	1.652	0.4	85	55.66	44.8	9	23.8	0.43	0.43
TS13	0.005	0.02	85	23.5	44.8	9	3.6	0.15	0.40

Tabella 6 Risultati del calcolo di applicazione del metodo SCS-

4.1.3 Calcolo della portata di progetto

La portata di progetto con tempo di ritorno pari a 100 anni è quindi stata calcolata sulla base delle metodologie e dei risultati illustrati nei precedenti paragrafi. Applicando pertanto la formula razionale, utilizzando i coefficienti di deflusso calcolati con il metodo SCS, si ottengono, per le opere di regimazione fluviale di progetto, i risultati riportati nella seguente tabella.

	Area	t_c	$h(T_R, t_c)$	$l(T_R, t_c)$	ψ_p	$Q_{(T_R=100)}$
	km ²	h	mm	mm/h	-	m ³ /s
IN 13 A	1.422	0.4	54.43	130.4	0.42	21.7
IN 13	1.422	0.4	54.43	130.4	0.42	21.7
IN 14	0.224	0.2	41.33	249.5	0.40	6.2
IN 15	0.224	0.2	41.33	249.5	0.40	6.2
IN 12 A	1.652	0.4	55.66	123.7	0.43	24.3
IN 11	0.084	0.1	35.71	352.1	0.40	3.3
IN 12B	1.652	0.4	55.66	123.7	0.43	27.3
TS13	0.005	0.02	23.5	941	0.4	0.55

Tabella 7 Risultati del calcolo della portata di progetto per le inalveazioni in esame

5 SOFTWARE UTILIZZATI

La verifica delle protezioni spondali dei corsi d'acqua è stata effettuata attraverso il programma MACRA 1/Protezioni spondali della Maccaferri S.p.a.

Il software permette infatti di eseguire l'analisi simulando diverse condizioni dei corsi d'acqua, come di seguito illustrato.

- Corrente a superficie libera, dovuta all'azione della gravità;



Figura 15: Analisi con corrente a pelo libero

- Flusso stazionario, quando la velocità rimane costante nel tempo in ogni sezione;



Figura 16: Confronto tra modello in condizioni non stazionarie e stazionarie

- Moto uniforme, nel quale il livello idrico rimane costante in ogni sezione del corso d'acqua;



Figura 17: Confronto tra modello in moto vario e uniforme

- Flusso turbolento, all'interno del quale le particelle si muovono in traiettorie caotiche;

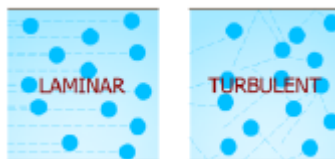


Figura 18: Confronto tra flusso laminare e flusso turbolento

- Flusso turbolento su superficie scabra, quando la scabrezza del fondo supera lo strato della corrente in condizioni laminari;

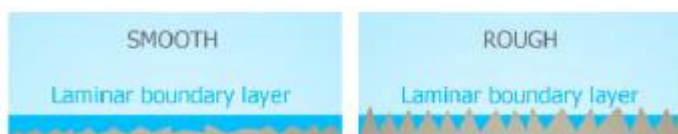


Figura 19: Confronto fra superficie liscia e scabra

Il software MACRA 1 quindi, utilizza la formula di Manning per definire la velocità media di moto uniforme:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

dove:

V = velocità media [m/s]

n = coefficiente di scabrezza

R = raggio idraulico

S = pendenza longitudinale [m/m]

In ciascuna condizione di flusso, la portata può essere espressa come:

$$Q = V \cdot A$$

dove A è l'area trasversale della sezione considerata. Se il flusso è stazionario ed uniforme, significa che in differenti sezioni del corso d'acqua la portata può essere espressa come:

$$Q = V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 = \dots = V_x \cdot A_x$$

Per quanto detto in precedenza, combinando le due equazioni, è possibile definire la portata come:

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

Il coefficiente di scabrezza n è un parametro funzione del tipo di materiale considerato. Quando il contorno bagnato della sezione è formato da più materiali, la scabrezza equivalente è determinata come stabilito da Horton e Einstein (Chow, 1959):

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF25 – OPERE DI REGIMEAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

$$n_{equivalente} = \left[\frac{\sum_1^N (P_N \cdot n_N^{1,5})}{P} \right]^{\frac{2}{3}}$$

dove:

P_N = lunghezza del sottosettore [m]

n_N = coefficiente di scabrezza del sottosettore

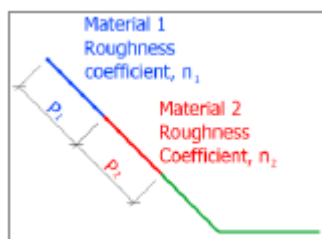


Figura 20: Calcolo della scabrezza equivalente

Alcuni valori del coefficiente di scabrezza sono stati tabellati ed integrati nel software a seconda del tipo di materiale presente.

Material	Allowable shear	
	Unvegetated	Vegetated
Fine sand	0.0200	~
Sand and gravel	0.0200	~
Coarse gravel	0.0250	~
Cobbles and shingles	0.0350	~
Stiff Clay (cohesive)	0.0250	~
Shales (cohesive)	0.0250	~
Silts w/cobbles (cohesive)	0.0300	~
Grass mats	0.0400	0.0800
Cutting Shrubs	0.0400	0.1200
Brush mats w/willow	0.0400	0.1500
Riparian wattles	0.0400	0.1100
Willow protections	0.0400	0.1400
GabionMats 0.30m - d50 = 15 cm	0.0301	0.1000
Gabions 0.50m - d50 = 21 cm	0.0301	0.1000
Gabions 1.00m - d50 = 21 cm	0.0301	0.1000
Reno mattress 0.17m - d50 = 10 cm	0.0277	0.1200
Reno mattress 0.23m - d50 = 12 cm	0.0277	0.1200
Reno mattress 0.30m - d50 = 15 cm	0.0277	0.1200
Macmat R1 6822	0.0303	0.1000
Macmat R1 8127	0.0303	0.1000
Riprap/Rock Wall	0.0400	0.1000
Articulated blocks	0.0200	0.0800

Tabella 8: Alcuni valori del coefficiente di scabrezza

Per sezioni irregolari, è noto dall'esperienza che il flusso ha un comportamento diverso tra l'alveo principale e le sponde laterali. Perciò, la portata in ciascun settore è calcolata separatamente dalle altre e successivamente viene fatta la somma di tutte le portate.

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

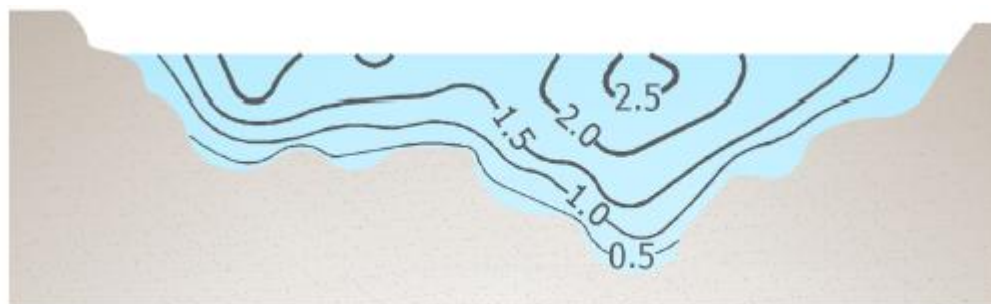


Figura 21: Distribuzione delle curve ad uguale velocità in una sezione irregolare



Figura 22: Suddivisione delle portate in una sezione tipo

Per ottenere la velocità media finale è necessario effettuare il rapporto tra la portata totale e l'area trasversale della sezione:

$$V = \frac{Q_T}{A}$$

La velocità così calcolata deve essere confrontata con la velocità ammissibile del materiale di rivestimento impiegato. Alcuni valori della velocità ammissibile possono essere ricavati dalle tabelle e dal grafico seguenti.

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF25 – OPERE DI REGIMEAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

Material	Allowable velocity [m/s]
Fine sand	0.76
Sand and gravel	1.50
Coarse gravel	1.82
Cobbles and shingles	1.67
Stiff Clay (cohesive)	1.52
Shales (cohesive)	1.80
Silts w/cobbles (cohesive)	1.67

Tabella 9: Velocità ammissibile di alcuni tipi di terreno (ripreso da Chow, 1959)

Material	Allowable velocity [m/s]
Gabions 0.50m - $d_{50} = 0.21$ m	7.60
Reno mattress 0.17m - $d_{50} = 0.10$ m	4.20
Reno mattress 0.23m - $d_{50} = 0.12$ m	5.50
Reno mattress 0.30m - $d_{50} = 0.15$ m	6.40
MacMat R	1.50 - 3.00(*)

* For duration less than 60 hours (Utah water research Laboratory)

Tabella 10: Velocità ammissibile per soluzioni MACCAFERRI

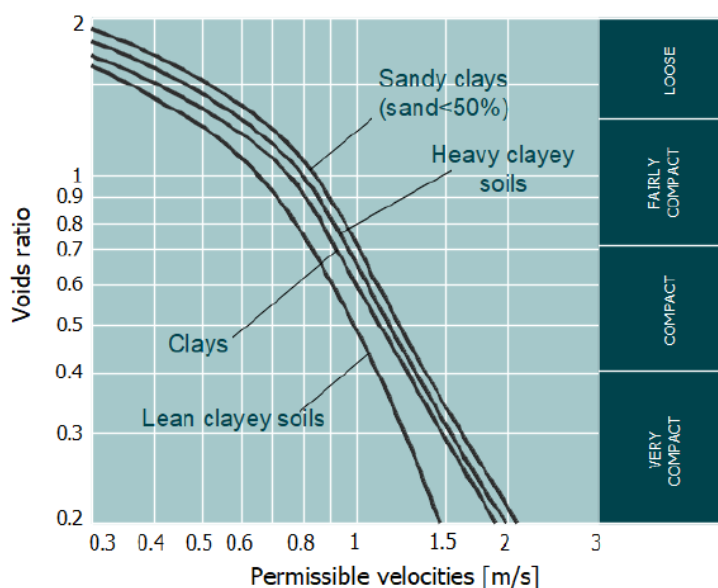


Figura 23: Velocità ammissibili per terreni coesivi (ripreso da Chow, 1959)

Allo scopo di determinare la velocità ammissibile per terreni granulari, può essere utilizzata la seguente equazione (Chen et al., 1984):

$$Va = 1,67 \cdot d_m^{0,5}$$

dove:

Va = velocità ammissibile [m/s]

d_m = diametro medio del materiale [mm]

Per i gabbioni e i sistemi riprap, deve essere calcolata la velocità del flusso residuale che passa tra il rivestimento e raggiunge il terreno. Questa velocità può essere stimata a partire dalla formula di Manning (Chen et al., 1984):

$$Vb = \frac{1}{n_f} \cdot \left(\frac{d_m}{2}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

dove:

Vb = velocità residua [m/s]

n_f = coefficiente di scabrezza medio (al di sotto del rivestimento)

d_m = diametro medio del riempimento [m]

S = pendenza longitudinale [m/m]

In presenza di geotessile, il valore del parametro Vb è diviso per tre per stimare la velocità in prossimità del geotessile e del terreno di interfaccia (da Chen et al., 1984).

La velocità residua deve essere inferiore a quella ammissibile del terreno, i cui valori sono stati mostrati in precedenza.

Oltre alla determinazione della velocità, è necessario definire lo sforzo di taglio in ogni sezione. Infatti, il flusso esercita una forza che agisce sul fondo alveo, in verso solidale alla direzione di scorrimento dell'acqua. Questa forza di trazione prende il nome di sforzo di taglio.

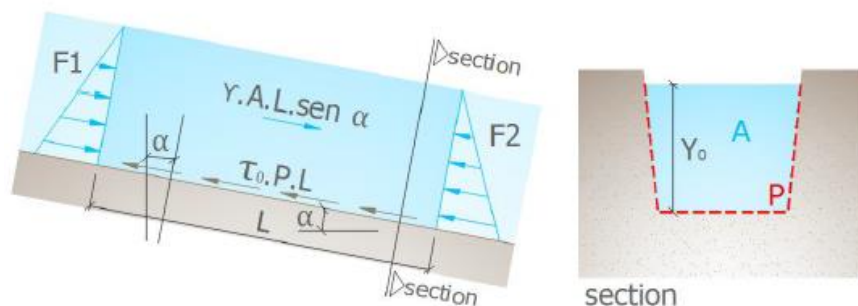


Figura 24: Forze agenti sulla massa di fluido (da Porto, 2006)

La figura precedente mostra lo schema delle forze, dove le forze agenti sono rappresentate dalla forza dell'acqua nella direzione del flusso ($F1$) a monte del blocco d'acqua considerato; la forza

peso del blocco stesso, calcolata come $\gamma \cdot A \cdot L \cdot \sin \alpha$, dove γ è il peso di volume dell'acqua, A è l'area trasversale della sezione, L è la lunghezza della massa di fluido considerato e α è l'inclinazione del fondo alveo rispetto all'orizzontale.

Le restanti forze sono rappresentate dalla forza dell'acqua in verso contrario alla direzione del flusso (F_2), a monte della massa di fluido considerata; lo sforzo resistente mobilitato dal fondo alveo e calcolato come $\tau_0 \cdot P \cdot L$, dove τ_0 è lo sforzo di taglio e P è il contorno bagnato (Porto, 2006).

Pertanto:

$$\sum F_x = F_1 + \gamma \cdot A \cdot L \cdot \sin \alpha - F_2 - \tau_0 \cdot P \cdot L$$

Se il moto è uniforme, allora $F_1 = F_2$:

$$\gamma \cdot A \cdot L \cdot \sin \alpha = \tau_0 \cdot P \cdot L \rightarrow \tau_0 = \frac{\gamma \cdot A \cdot \sin \alpha}{P} \rightarrow \tau_0 = \gamma \cdot R \cdot \sin \alpha$$

Inoltre, per un'inclinazione inferiore ai 6° può essere fatta la seguente approssimazione:

$$\sin \alpha \cong \tan \alpha \cong S$$

Pertanto:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot S$$

Dove γ è il peso di volume dell'acqua.

Tuttavia, lo sforzo di taglio non è uniformemente distribuito lungo il corso d'acqua. Infatti, può variare all'interno della stessa sezione.

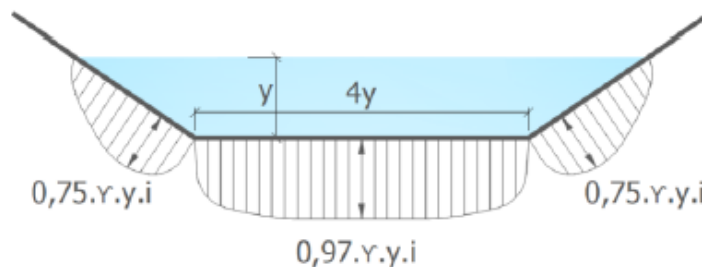


Figura 25: Distribuzione delle forze di trazione in un alveo a sezione trapezoidale (da Chow, 1994)

Allo scopo di determinare il massimo sforzo di taglio agente sui lati, può essere valutato un coefficiente di riduzione (K_m) a partire dal grafico sottostante, in funzione della geometria della sezione (dove Z è il rapporto di pendenza, $H:Z$; $V:1$). Per semplificare la progettazione con rivestimento uniforme, è possibile adottare un valore $K_m = 0,75$.

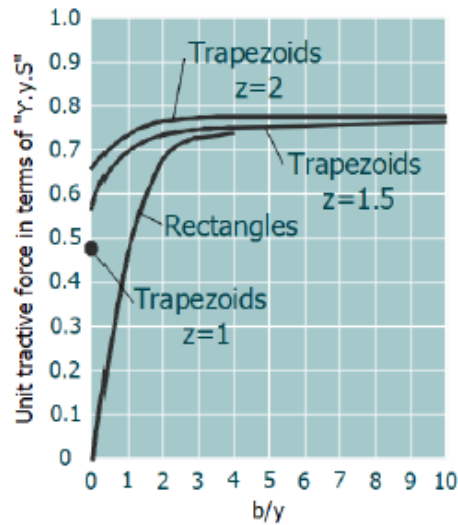


Figura 26: Sforzo di taglio sulle sponde dell'alveo (da Olsen e Florey, 1952)

Quindi, per ottenere lo sforzo di taglio sulle sponde:

$$\tau_m = \tau_0 \cdot Km$$

All'aumentare del battente idrico, lo sforzo di taglio agente è ridotto come mostrato in Figura 25. Quando i margini della sezione sono divisi in due o tre sotto-settori, è possibile stimare il nuovo coefficiente dello sforzo di taglio in proporzione all'altezza dell'acqua che è in contatto con essi.

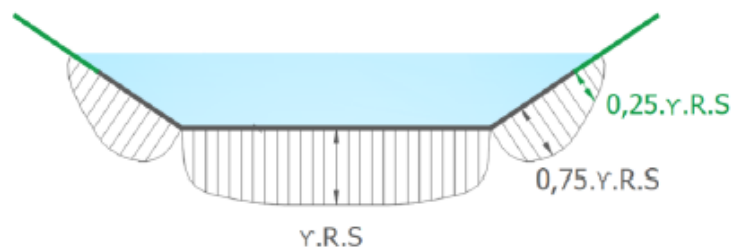


Figura 27: Esempio del coefficiente sullo sforzo di taglio proporzionale al livello idrico

Un'ulteriore differenza nello sforzo di taglio riguarda i corsi d'acqua lineari o tortuosi. Infatti, i canali con presenza di curve possono determinare uno sforzo di taglio maggiore rispetto ai corsi d'acqua rettilinei. Per definire il coefficiente amplificativo può essere impiegato il grafico sottostante.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF25 – OPERE DI REGIMEAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

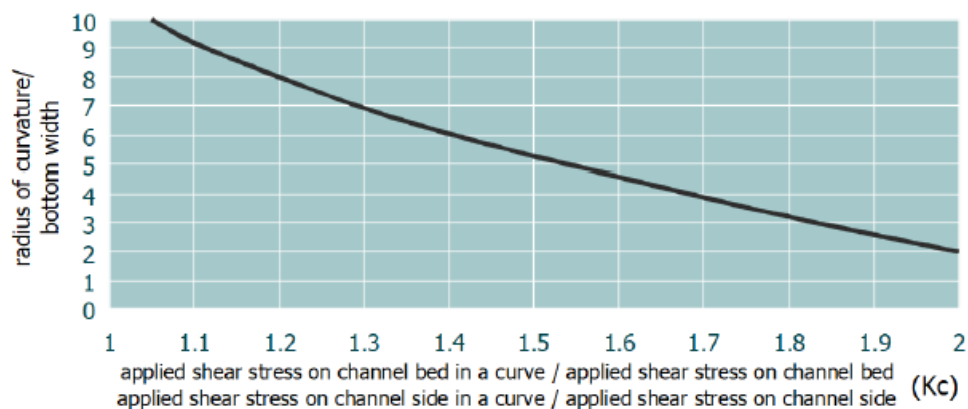


Figura 28: Coefficiente amplificativo dello sforzo di taglio in funzione del raggio di curvatura (S.C.S., 1977)

Il rapporto tra il raggio di curvatura e la larghezza del fondo alveo è moltiplicato per il valore di Kc:

$$\tau_{mc} = \tau_m \cdot Kc$$

$$\tau_{0c} = \tau_0 \cdot Kc$$

Dove τ_{mc} è lo sforzo di taglio agente sul lato esterno dell'alveo meandriforme e τ_{0c} è lo sforzo di taglio agente sul fondo del canale meandriforme.

Lo sforzo di taglio agente deve essere confrontato con quello ammissibile del materiale, il quale può essere dedotto dalla tabella seguente.

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF25 – OPERE DI REGIMEAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

Material	Allowable shear	
	Unvegetated	Vegetated
Fine sand	3.5	~
Sand and gravel	15.3	~
Coarse gravel	32	~
Cobbles and shingles	52.6	~
Stiff Clay (cohesive)	22	~
Shales (cohesive)	32	~
Silts w/cobbles (cohesive)	38	~
Grass mats	10	30
Cutting Shrubs	10	60
Brush mats w/willow	50	300
Riparian wattles	10	50
Willow protections	20	100
GabionMats 0.30m	336	450
Gabions 0.50m	470	500
Gabions 1.00m	470	500
Reno mattress 0.17m	224	400
Reno mattress 0.23m	268	450
Reno mattress 0.30m	336	450
Macmat R1 6822	171	332
Macmat R1 8127	188	349
Riprap/Rock Wall	300	350
Articulated blocks	250	350

Tabella 11: Sforzo di taglio ammissibile

Per gli interventi con gabbioni e materassi Reno è possibile trovare lo sforzo ammissibile attraverso l'adeguamento del parametro di Shields.

$$\tau_a = C_* \cdot (\gamma_s - \gamma) \cdot d_m$$

Dove C_* è il parametro di Shields (per i gabbioni e i materassi Reno $C_* \cong 0.14$) e γ_s è il peso di volume del materiale di riempimento.

Allo scopo di determinare lo sforzo ammissibile nella parte laterale dell'alveo rivestito con gabbioni o terreno granulare, può essere impiegata la seguente equazione:

$$\tau_{c,m} = \tau_c \cdot \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \varphi}}$$

dove θ è l'inclinazione della sponda e φ è l'angolo di attrito del materiale. Per sponde con inclinazione maggiore di 45° , lo sforzo ammissibile può essere stimato moltiplicando lo sforzo di taglio agente sul fondo per un fattore di 0,57.

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF25 – OPERE DI REGIMEAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

In presenza del prodotto MacMat R, è possibile definire lo sforzo di taglio critico attraverso le seguenti equazioni riassunte in tabella. Queste sono state definite sulla base di test con una durata massima di 60 ore.

Tabella 12: Calcolo dello sforzo critico del MacMat R

Material	Critical shear	
	Unvegetated	Vegetated
MacMat R 6822	$\tau_c = 0.011 t^2 - 2.567 t + 184$	$\tau_c = 0.0314 t^2 - 4.994 t + 356$
MacMat R 8127	$\tau_c = 0.0079 t^2 - 2.425 t + 201$	$\tau_c = 0.0414 t^2 - 5.638 t + 376$

Tabella 13: Calcolo dello sforzo critico del MacMat

6 RISULTATI DELLE ANALISI

I risultati delle analisi svolte con il codice di calcolo Macra Studio sono riportati nell'Allegato 1 della presente relazione.

Come già spiegato nel precedente paragrafo, il software utilizzato permette di svolgere sia la verifica in termini di deflusso della portata di progetto, che la verifica a trascinamento degli elementi di rivestimento dei canali.

Nella tabella che segue sono riportate le grandezze geometriche principali utilizzate nelle verifiche, ed i relativi risultati in termini di altezze idrometriche.

	Sezione tipo	Dimensioni		i	$Q_{(Tr=100)}$	H_w	Franco _{min}
		b(m)	$h_{MIN}(m)$	%	m^3/s	m	m
IN 13 A	A	3	1.4	4	21.7	1.03	0.37
IN 13	A	3	1.4	3	21.7	1.13	0.27
IN 14	E	1.5	1	1.5	6.2	0.75	0.25
IN 15	B	1.5	1	2	6.2	0.86	0.14
IN 12A	C	3	1.5	3	24.3	0.95	0.55
IN 11	B	1.5	1	1.5	3.3	0.67	0.33
IN 12B	D	3	1.7	2	27.3	1.42	0.28

Tabella 14 Risultati verifiche inalveazioni di progetto

Per un maggiore dettaglio circa le caratteristiche geometriche delle sistemazioni si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

7 VERIFICA DEI TOMBINI

Si riporta nel seguito la verifica dei tombini afferenti all'opera di regimazione fluviale SF25.

Per il calcolo delle portate in ingresso ai singoli tombini si è fatto riferimento al valore di portata delle relative inalveazioni in ingresso agli stessi. Fa eccezione il TS13 per il quale la portata è stata calcolata come mostrato nei precedenti paragrafi in quanto riferibile al solo fosso in ingresso (la cui area contributiva è già considerata all'interno dell'area totale di afferenza dell'IN13A).

Le verifiche sono state condotte considerando un grado di riempimento della condotta pari al 70%.

WBS	Q _p	Sezione	i	Dimensioni		scabrezza	Kst	Q _{canale(70%)}	
	m ³ /s		%	m		mm ^{1/2}	m ^{1/3} /s	m ³ /s	
TS13	0.5	circolare	5	D	1.0	-	80	4.6	verificato
TS14	27.3	scatolare	4	b	3	0.35	-	44.1	Verificato
				h	2				
TS14BIS	24.3	scatolare	2	b	3	0.35	-	31.0	Verificato
				h	2				
TS15	21.7	circolare	5	D	2.2	-	80	38.2	Verificato
TS16	6.2	circolare	5	D	1.2	-	120	7.0	Verificato
TP08-TC12	21.7	scatolare	4	b	3	0.35	-	44.1	Verificato
				h	2				
TIN14	6.2	circolare	5	D	1.2	-	120	7.0	Verificato

Tabella 15 Risultati verifiche tombini

8 CONCLUSIONI

Nella presente *Relazione Idrologica e Studio idraulico*, relativa all'opera di regimazione fluviale SF25, sono state condotte le verifiche relative alle inalveazioni ed i tombini afferenti all'opera in esame.

A valle di una breve panoramica circa i danneggiamenti causati dall'evento alluvionale del Novembre 2018, è stata descritta la metodologia per il calcolo delle portate di progetto.

La verifica delle opere in esame è stata condotta considerando la portata corrispondente al tempo di ritorno di 100 anni.

Il dimensionamento, e la conseguente verifica delle inalveazioni, sono stati condotti con l'ausilio del codice di calcolo Macra Studio sviluppato da Officine Maccaferri S.p.a.. Il codice di calcolo, per il quale approfondimento si rimanda al paragrafo 5 della presente relazione, ha consentito di verificare le sezioni di deflusso in termini di franco idraulico, ed allo stesso tempo di verificare gli interventi di protezione dei canali previsti dal presente Progetto di Variante n.3.

Sono state altresì presentate le verifiche idrauliche relative a i tombini previsti all'interno dell'opera di regimazione di progetto.

Alla luce dei risultati ottenuti, presentati nei precedenti paragrafi, gli interventi di regimazione relativi all'opera SF25 si ritengono pertanto verificati per il deflusso della piena di progetto.

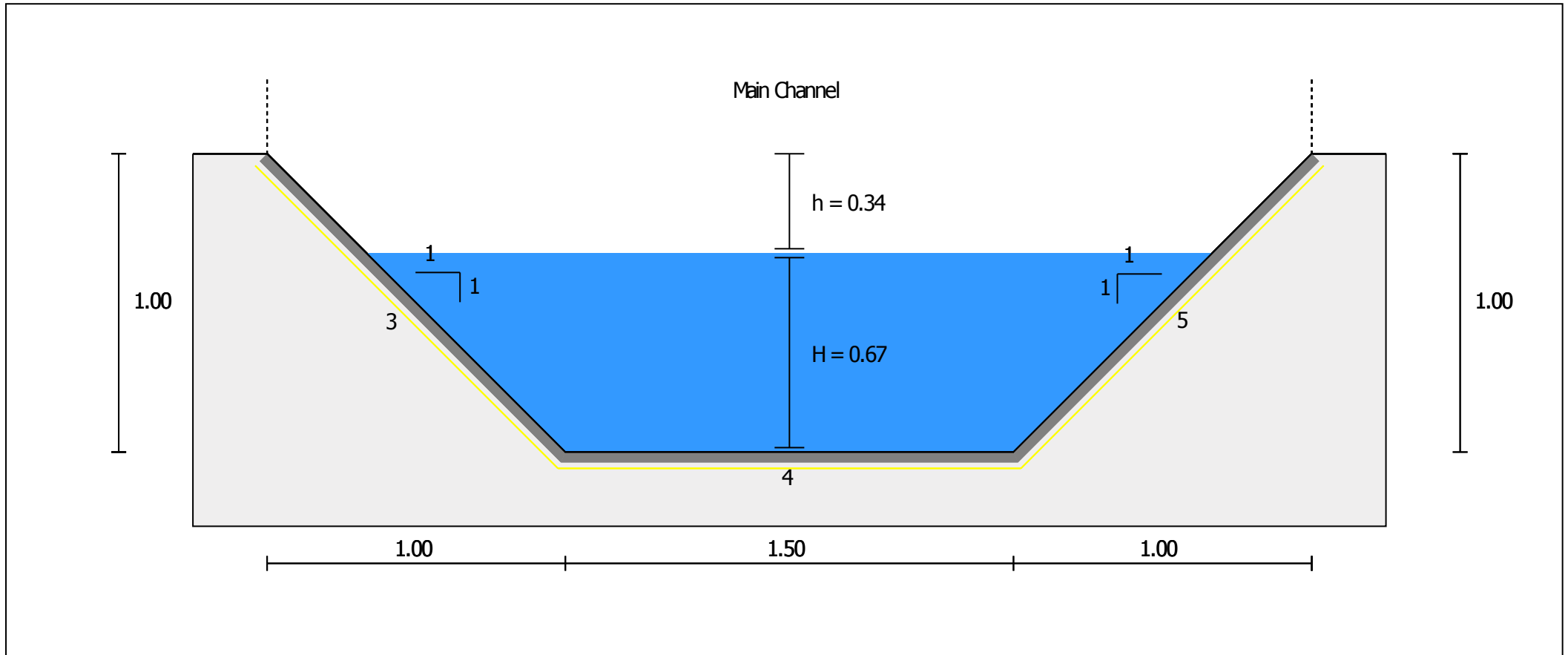
● Project Information

Date	Description
07/01/2020	
Title IN11	
Number	
Client	
Author/Designer	

● Input

Discharge [m ³ /s]	3.30
Longitudinal Slope [%]	1.5
Freeboard [m]	0.00
Bending Radius [m]	-
Bending Side	-

Channel Design



● Results

Freeboard [m]	0.34	Freeboard Satisfied
Longitudinal Slope [%]	1.5	
Water Depth [m]	0.67	
Froude Number	1.03	Supercritical Flow

Total

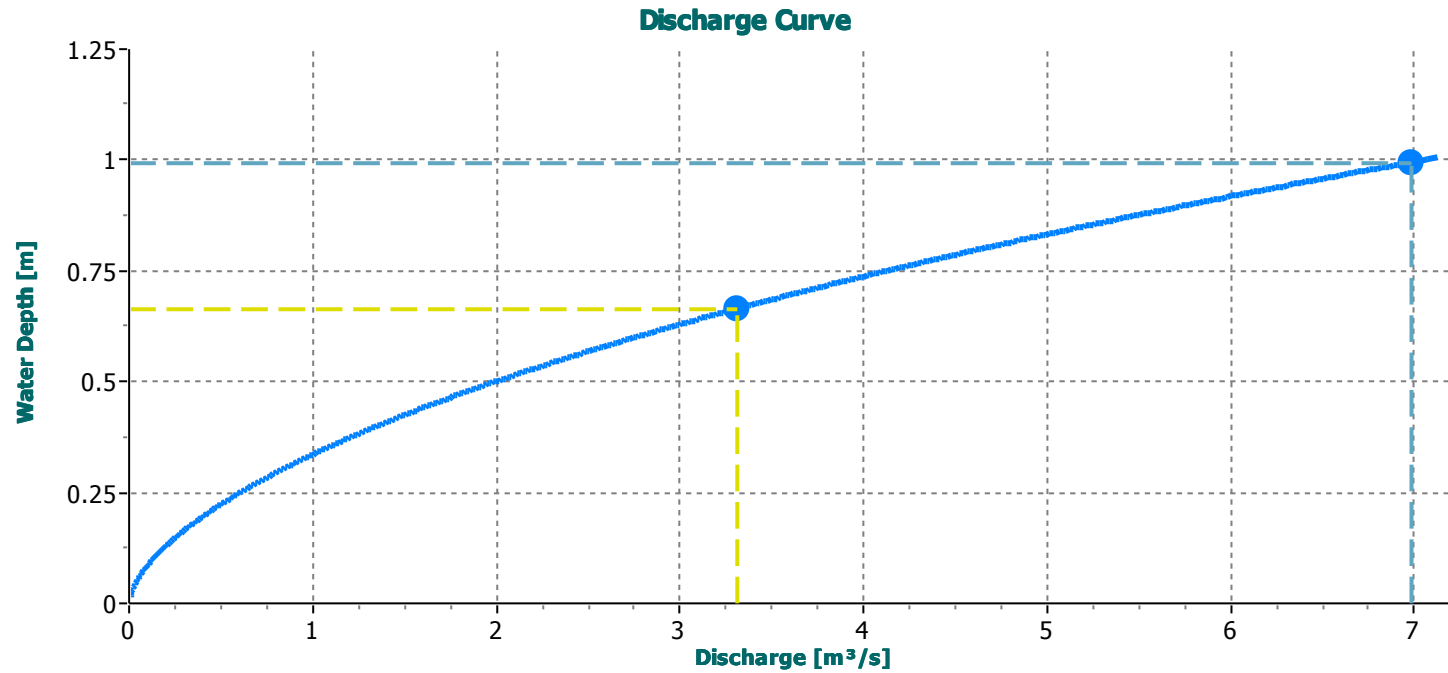
Main Channel

Discharge [m³/s]	3.30		3.30	
Cross Sectional Area [m²]	1.44		1.44	
Wetted Perimeter [m]	3.38		3.38	
Hydraulic Radius [m]	0.43		0.43	
Water Velocity [m/s]	2.3		2.3	
Average Roughness	-		0.0301	

Materials

	ID	Bed materials	Vegetated	Roughness	Shear Stress [N/m²]		Geotextile	Velocity Under Lining [m/s]		Length [m]	
					Allowed	Calculated					
Main Channel	3	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	271.59	47.91	✓	Yes	0.45	✓	1.41
Main Channel	4	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	470.40	63.88	✓	Yes	0.45	✓	1.50
Main Channel	5	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	271.59	47.91	✓	Yes	0.45	✓	1.41

Discharge Curve



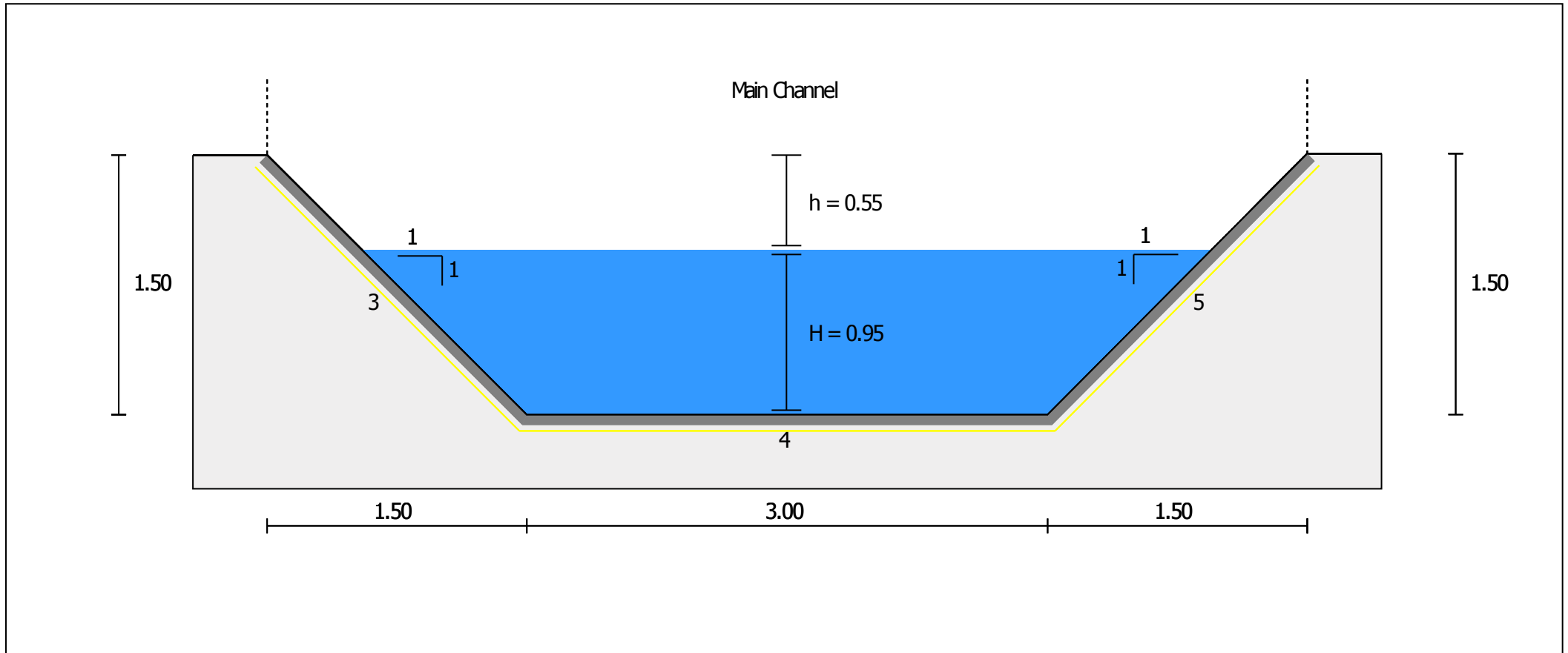
● Project Information

Date	Description
07/01/2020	
Title IN12A	
Number	
Client	
Author/Designer	

● Input

Discharge [m ³ /s]	24.30
Longitudinal Slope [%]	3
Freeboard [m]	0.00
Bending Radius [m]	-
Bending Side	-

Channel Design



● Results

Freeboard [m]	0.55	Freeboard Satisfied
Longitudinal Slope [%]	3	
Water Depth [m]	0.95	
Froude Number	2.39	Supercritical Flow

Total

Main Channel

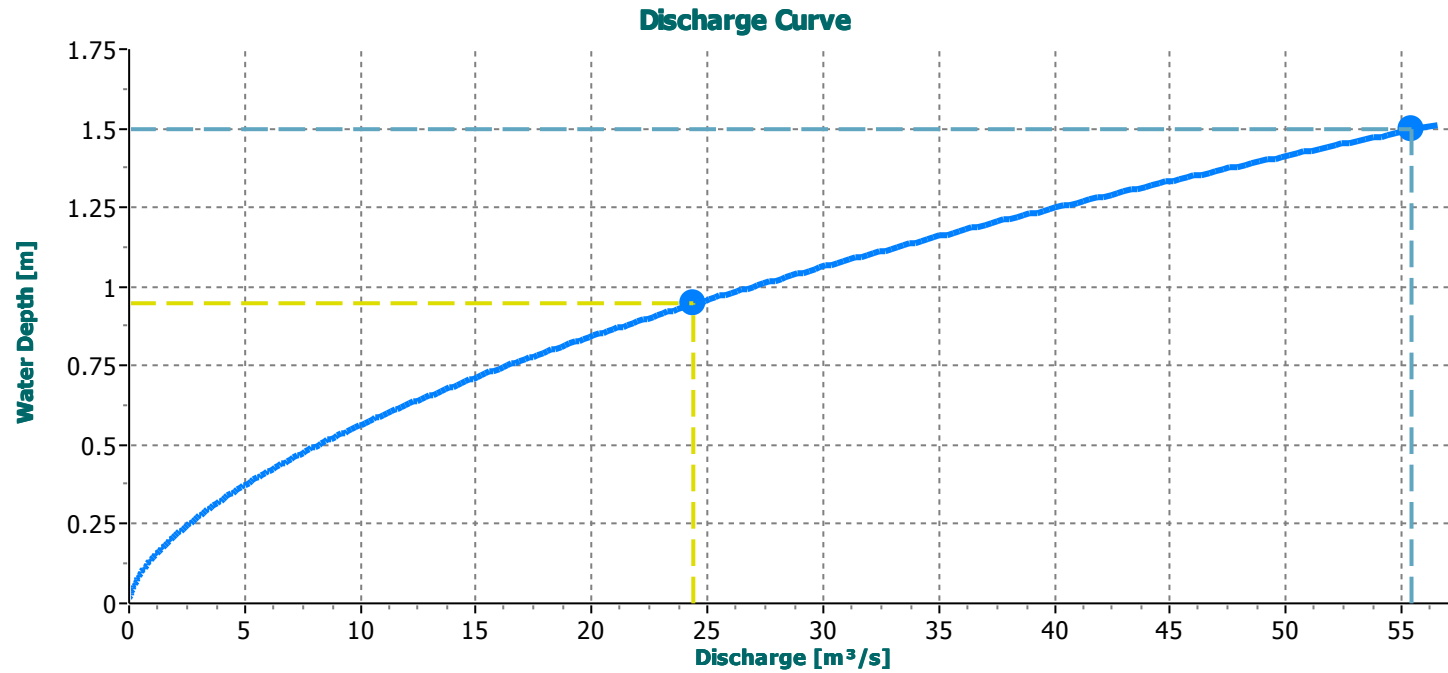
Discharge [m³/s]	24.30		24.30	
Cross Sectional Area [m²]	3.73		3.73	
Wetted Perimeter [m]	5.67		5.67	
Hydraulic Radius [m]	0.66		0.66	
Water Velocity [m/s]	6.55		6.55	
Average Roughness	-		0.02	

Materials

*The behavior of customized products is not responsibility of Maccaferri. These products have not been developed or tested by Maccaferri.

	ID	Bed materials	Vegetated	Roughness	Shear Stress [N/m²]		Geotextile	Velocity Under Lining [m/s]		Length [m]	
					Allowed	Calculated					
Main Channel	3	*Custom Concrete	-	0.02	600.00	147.86	✓	Yes	0	✓	2.12
Main Channel	4	*Custom concrete	-	0.02	400.00	197.15	✓	Yes	0	✓	3.00
Main Channel	5	*Custom Concrete	-	0.02	600.00	147.86	✓	Yes	0	✓	2.12

Discharge Curve



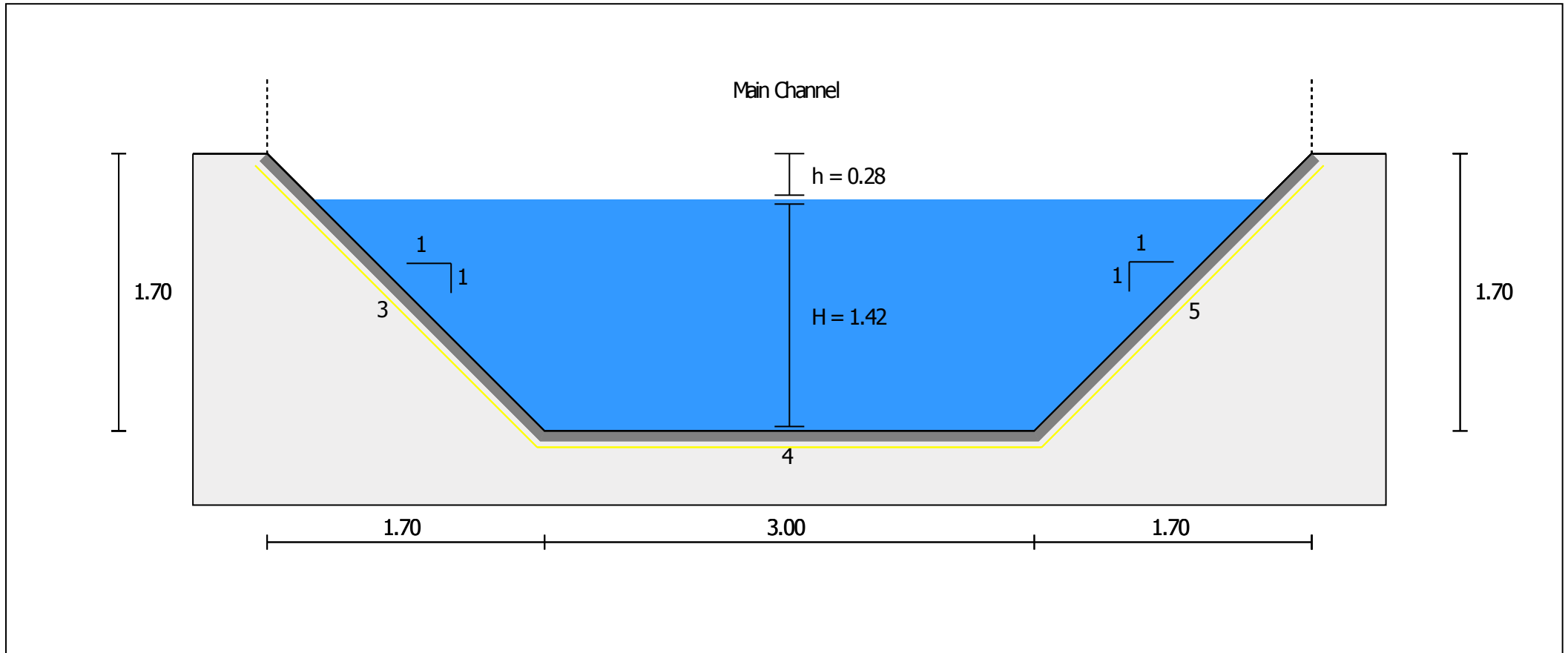
● Project Information

Date	Description
07/01/2020	
Title IN12_B	
Number	
Client	
Author/Designer	

● Input

Discharge [m ³ /s]	27.30
Longitudinal Slope [%]	2
Freeboard [m]	0.00
Bending Radius [m]	-
Bending Side	-

Channel Design



● Results

Freeboard [m]	0.28	Freeboard Satisfied
Longitudinal Slope [%]	2	
Water Depth [m]	1.42	
Froude Number	1.34	Supercritical Flow

Total

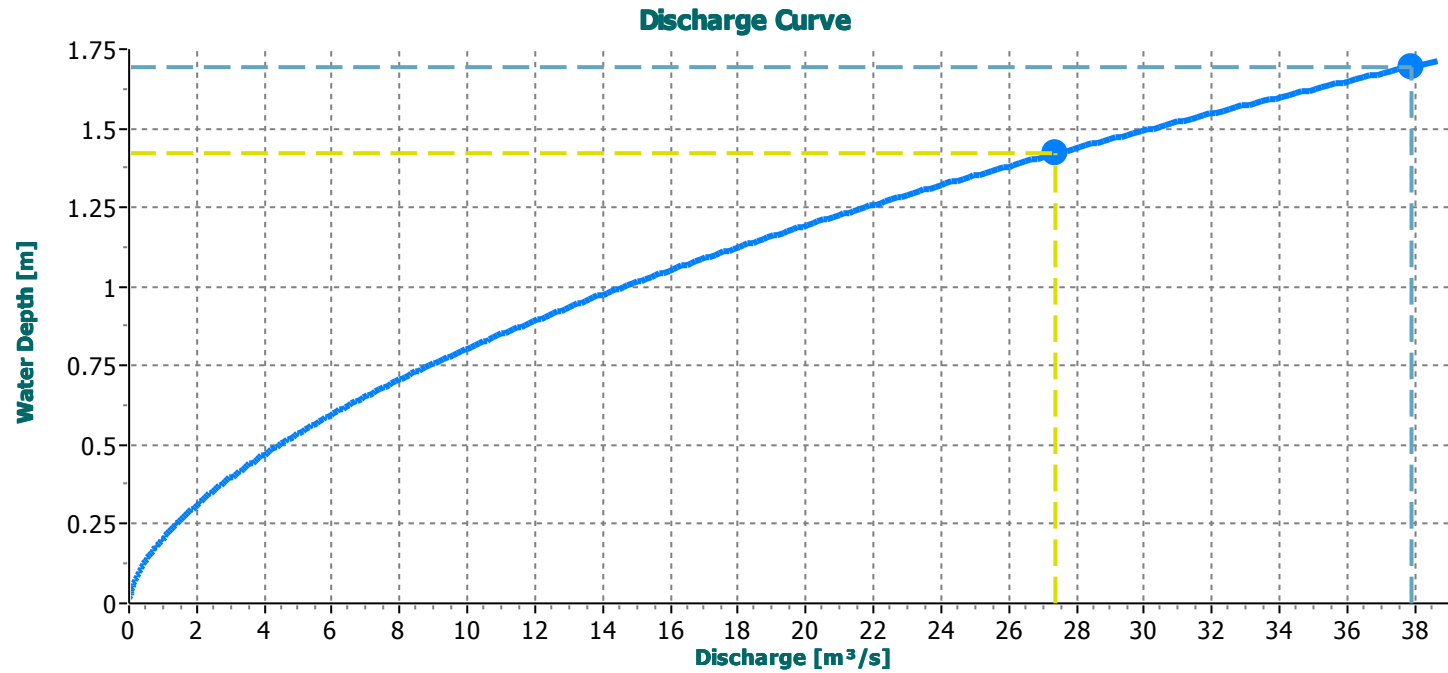
Main Channel

Discharge [m³/s]	27.30		27.30	
Cross Sectional Area [m²]	6.28		6.28	
Wetted Perimeter [m]	7.02		7.02	
Hydraulic Radius [m]	0.89		0.89	
Water Velocity [m/s]	4.36		4.36	
Average Roughness	-		0.0301	

Materials

	ID	Bed materials	Vegetated	Roughness	Shear Stress [N/m²]		Geotextile	Velocity Under Lining [m/s]		Length [m]	
					Allowed	Calculated					
Main Channel	3	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	271.59	134.18	✓	Yes	0.52	✓	2.40
Main Channel	4	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	470.40	178.91	✓	Yes	0.52	✓	3.00
Main Channel	5	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	271.59	134.18	✓	Yes	0.52	✓	2.40

Discharge Curve



● Results

Freeboard [m]	0.27	Freeboard Satisfied
Longitudinal Slope [%]	3	
Water Depth [m]	1.13	
Froude Number	1.61	Supercritical Flow

Total

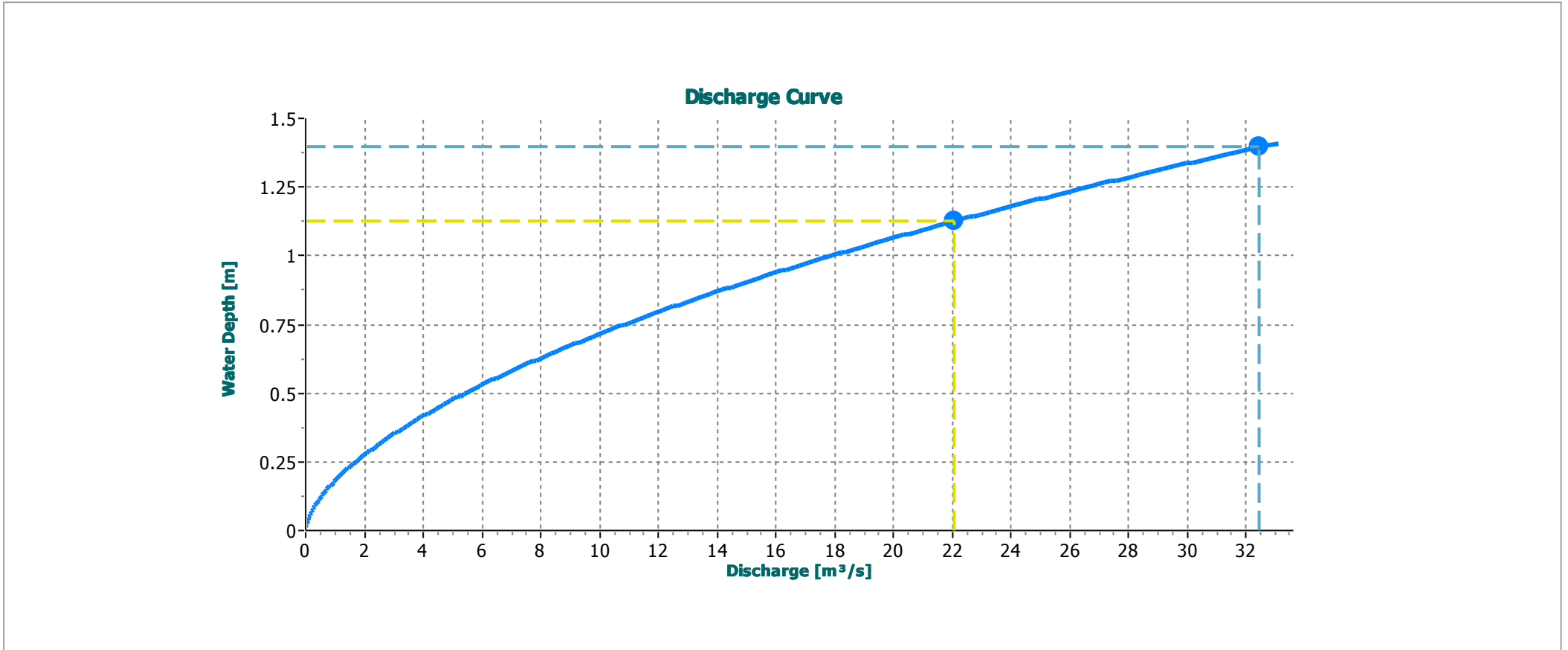
Main Channel

Discharge [m³/s]	22.00		22.00	
Cross Sectional Area [m²]	4.64		4.64	
Wetted Perimeter [m]	6.18		6.18	
Hydraulic Radius [m]	0.75		0.75	
Water Velocity [m/s]	4.75		4.75	
Average Roughness	-		0.0301	

Materials

	ID	Bed materials	Vegetated	Roughness	Shear Stress [N/m²]		Geotextile	Velocity Under Lining [m/s]		Length [m]	
					Allowed	Calculated					
Main Channel	3	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	271.59	168.90	✓	Yes	0.64	✓	1.98
Main Channel	4	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	470.40	225.20	✓	Yes	0.64	✓	3.00
Main Channel	5	Gabions (1.00m) PoliMac™	-	0.0301	288.68	168.90	✓	Yes	0.64	✓	1.98

Discharge Curve



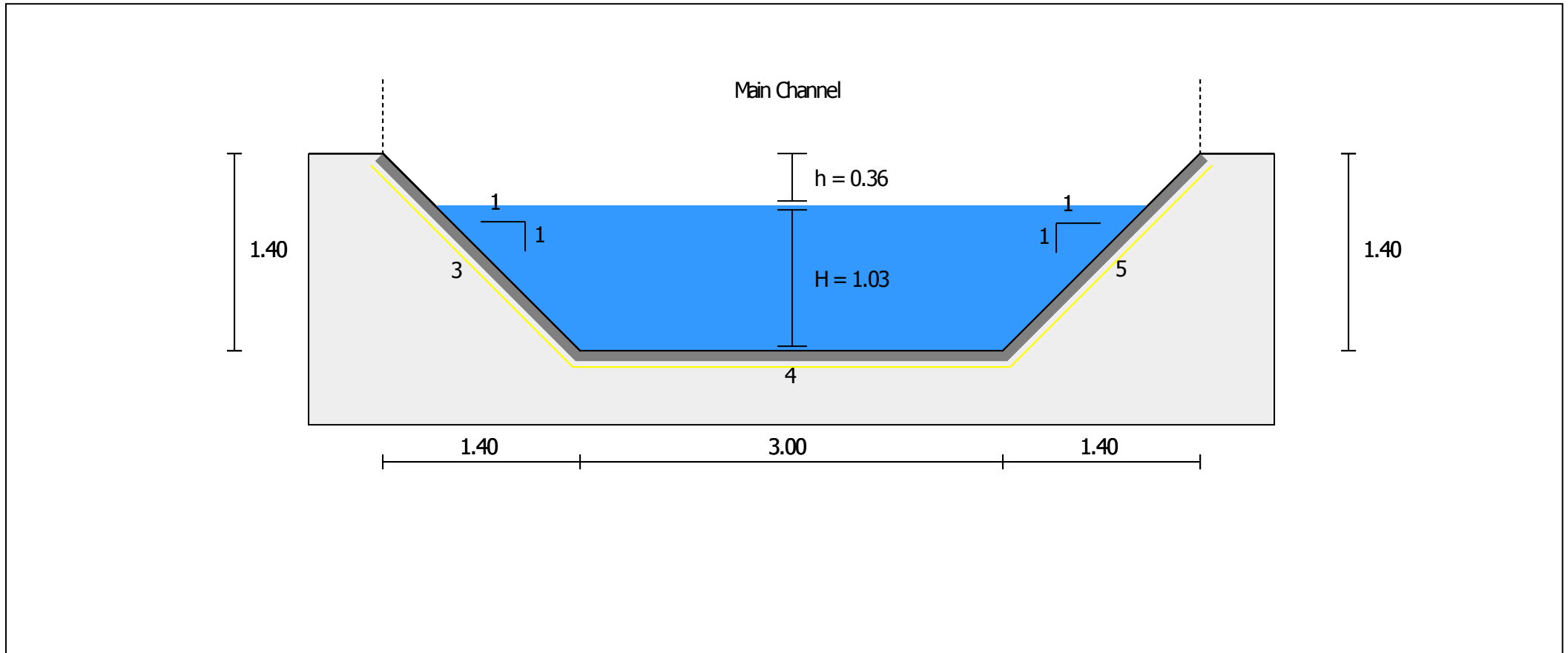
● Project Information

Date	Description
07-Jan-20	
Title IN13 A	
Number	
Client	
Author/Designer	

● Input

Discharge [m ³ /s]	22
Longitudinal Slope [%]	4
Freeboard [m]	0.00
Bending Radius [m]	-
Bending Side	-

Channel Design



● Results

Freeboard [m]	0.36	Freeboard Satisfied
Longitudinal Slope [%]	4	
Water Depth [m]	1.03	
Froude Number	1.85	Supercritical Flow

Total

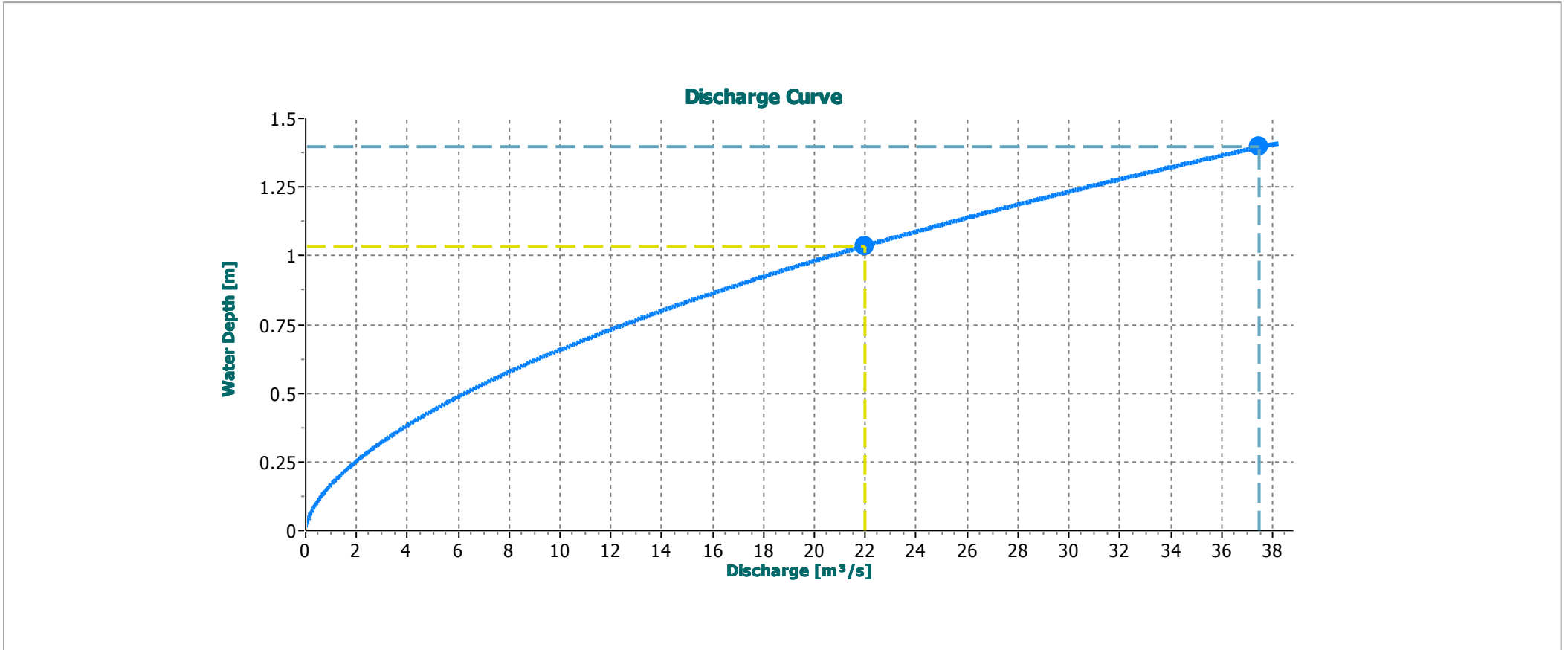
Main Channel

Discharge [m³/s]	22.00		22.00	
Cross Sectional Area [m²]	4.18		4.18	
Wetted Perimeter [m]	5.93		5.93	
Hydraulic Radius [m]	0.7		0.7	
Water Velocity [m/s]	5.26		5.26	
Average Roughness	-		0.0301	

Materials

	ID	Bed materials	Vegetated	Roughness	Shear Stress [N/m²]		Geotextile	Velocity Under Lining [m/s]		Length [m]	
					Allowed	Calculated					
Main Channel	3	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	271.59	211.37	✓	Yes	0.74	✓	1.98
Main Channel	4	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	470.40	281.82	✓	Yes	0.74	✓	3.00
Main Channel	5	Gabions (1.00m) PoliMac™	-	0.0301	288.68	211.37	✓	Yes	0.74	✓	1.98

Discharge Curve



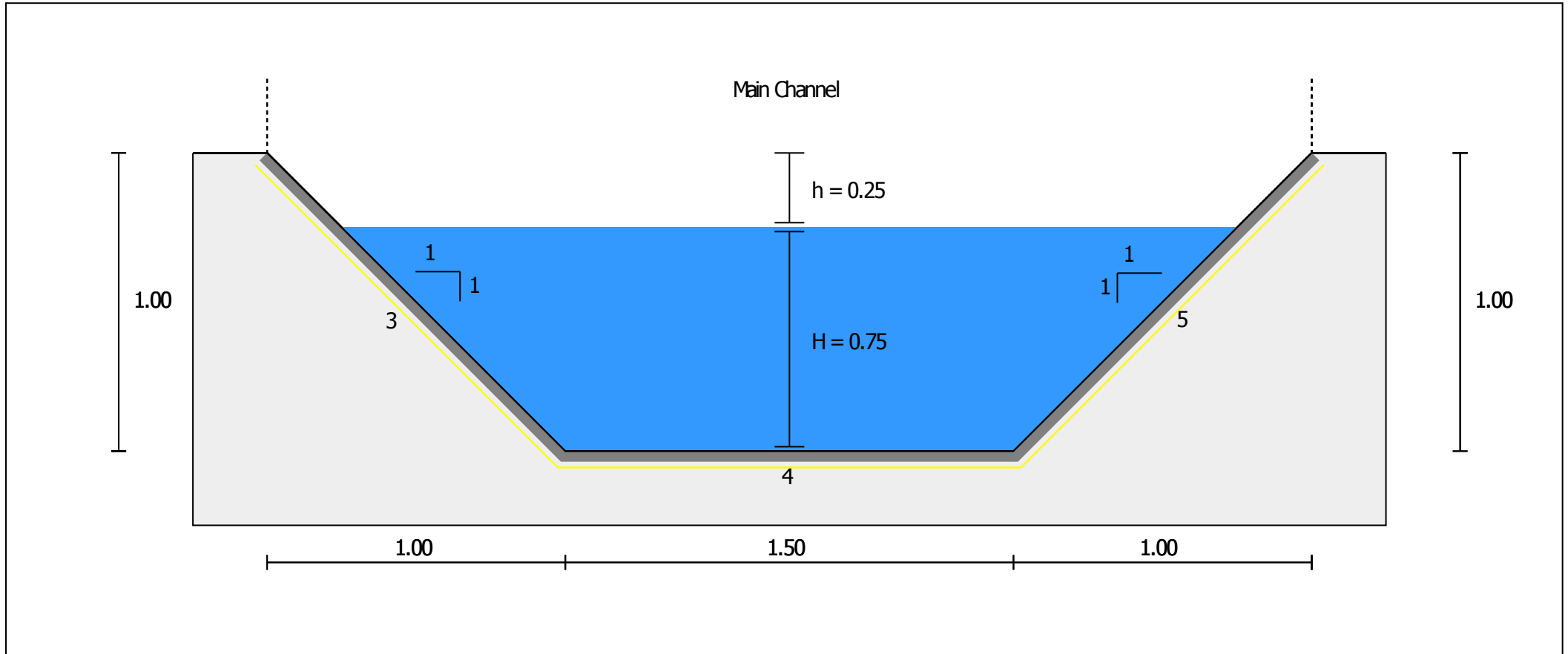
● Project Information

Date	Description
07/01/2020	
Title IN14	
Number	
Client	
Author/Designer	

● Input

Discharge [m ³ /s]	6.20
Longitudinal Slope [%]	1.5
Freeboard [m]	0.00
Bending Radius [m]	-
Bending Side	-

Channel Design



● Results

Freeboard [m]	0.25	Freeboard Satisfied
Longitudinal Slope [%]	1.5	
Water Depth [m]	0.75	
Froude Number	1.57	Supercritical Flow

Total

Main Channel

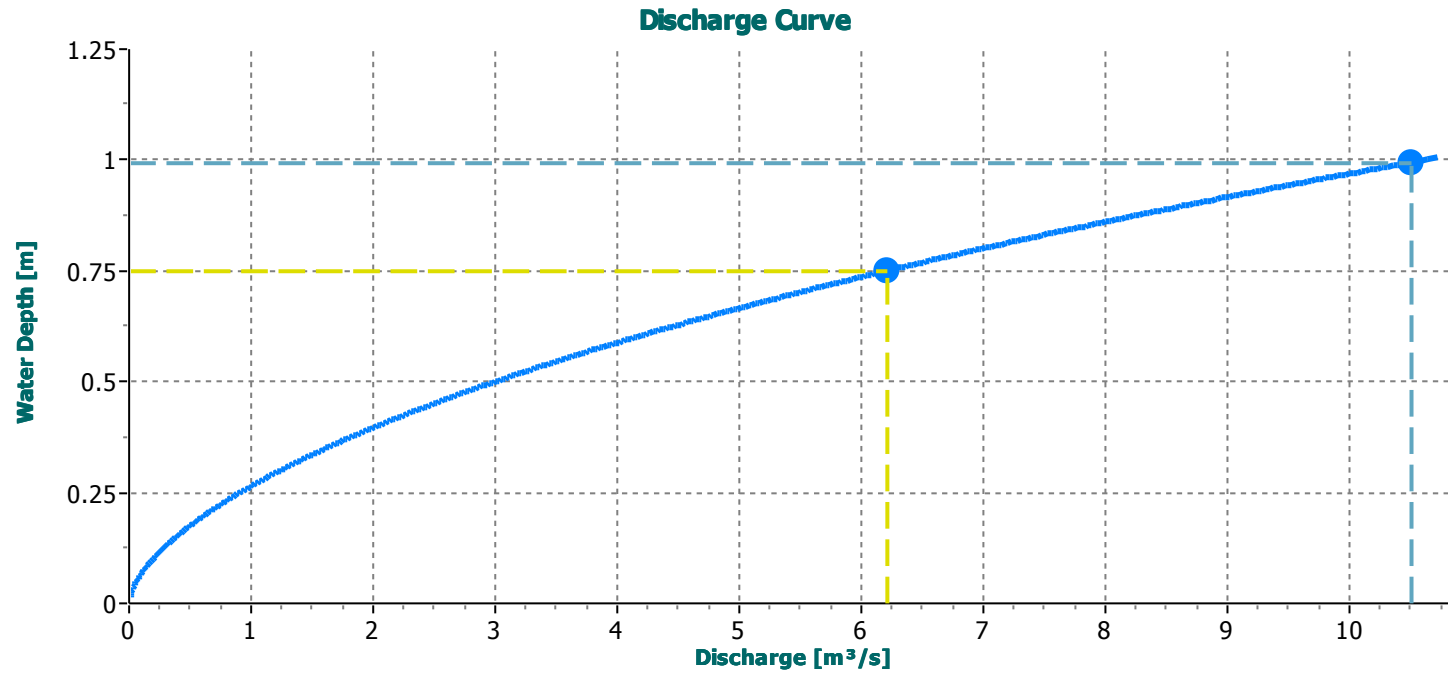
Discharge [m³/s]	6.20		6.20	
Cross Sectional Area [m²]	1.69		1.69	
Wetted Perimeter [m]	3.62		3.62	
Hydraulic Radius [m]	0.47		0.47	
Water Velocity [m/s]	3.68		3.68	
Average Roughness	-		0.02	

Materials

*The behavior of customized products is not responsibility of Maccaferri. These products have not been developed or tested by Maccaferri.

	ID	Bed materials	Vegetated	Roughness	Shear Stress [N/m²]		Geotextile	Velocity Under Lining [m/s]		Length [m]	
					Allowed	Calculated					
Main Channel	3	*Custom Concrete	-	0.02	600.00	52.42	✓	Yes	0	✓	1.41
Main Channel	4	*Custom Concrete	-	0.02	600.00	69.90	✓	Yes	0	✓	1.50
Main Channel	5	*Custom Concrete	-	0.02	600.00	52.42	✓	Yes	0	✓	1.41

Discharge Curve



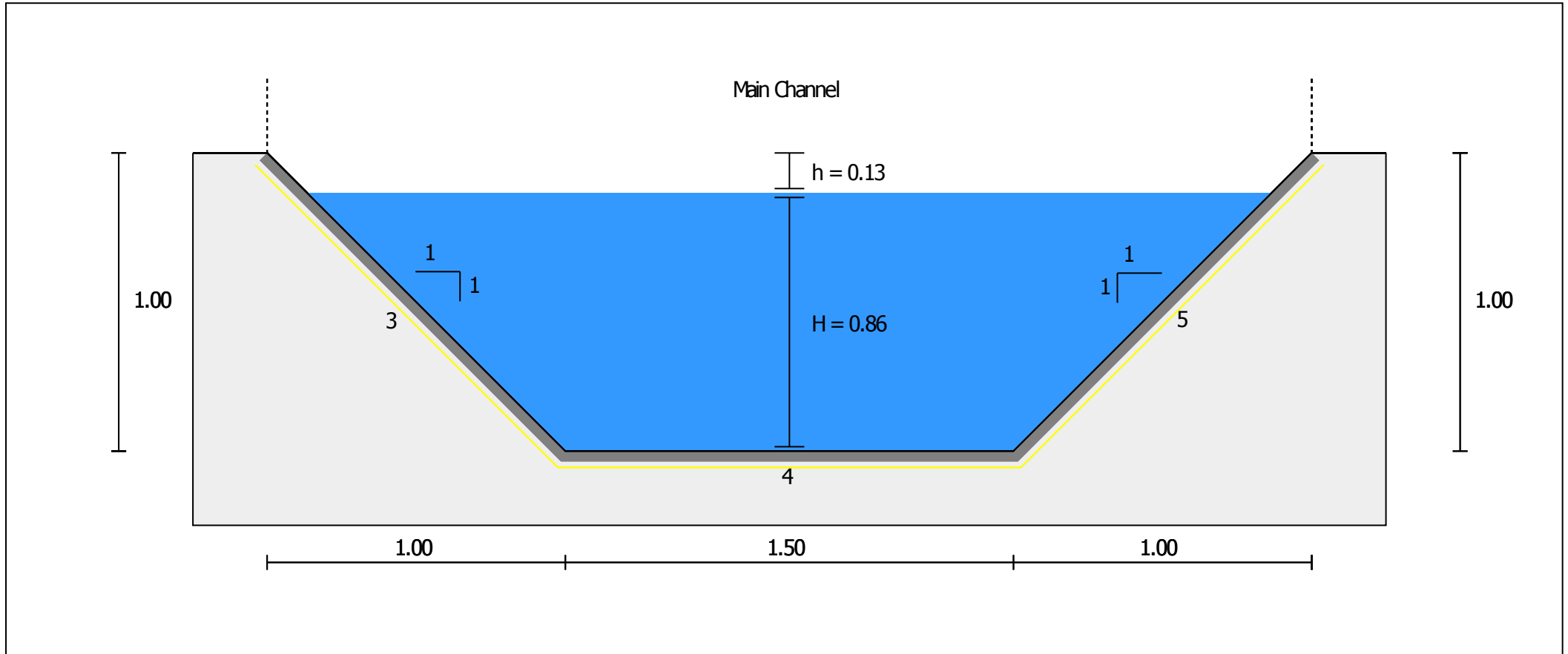
● Project Information

Date	Description
07/01/2020	
Title IN15	
Number	
Client	
Author/Designer	

● Input

Discharge [m ³ /s]	6.20
Longitudinal Slope [%]	2
Freeboard [m]	0.00
Bending Radius [m]	-
Bending Side	-

Channel Design



● Results

Freeboard [m]	0.13	Freeboard Satisfied
Longitudinal Slope [%]	2	
Water Depth [m]	0.86	
Froude Number	1.22	Supercritical Flow

Total

Main Channel

Discharge [m³/s]	6.20		6.20	
Cross Sectional Area [m²]	2.05		2.05	
Wetted Perimeter [m]	3.95		3.95	
Hydraulic Radius [m]	0.52		0.52	
Water Velocity [m/s]	3.03		3.03	
Average Roughness	-		0.0301	

Materials

	ID	Bed materials	Vegetated	Roughness	Shear Stress [N/m²]		Geotextile	Velocity Under Lining [m/s]		Length [m]	
					Allowed	Calculated					
Main Channel	3	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	271.59	77.75	✓	Yes	0.52	✓	1.41
Main Channel	4	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	470.40	103.67	✓	Yes	0.52	✓	1.50
Main Channel	5	Gabions (0.50m) PoliMac™	-	0.0301	271.59	77.75	✓	Yes	0.52	✓	1.41

Discharge Curve

