

ASSE VIARIO MARCHE-UMBRIA
 E QUADRILATERO DI PENETRAZIONE INTERNA
 MAXILOTTO 1

PROGETTO ESECUTIVO

CONTRAENTE GENERALE



IL RESPONSABILE DEL CONTRAENTE GENERALE

IL PROGETTISTA

GRUPPO DI PROGETTAZIONE DEL PROGETTO ESECUTIVO APPROVATO

ATI: TECHNITAL s.p.a. (mandataria)
 EGIS STRUCTURES & ENVIRONNEMENT S.A.
 SICS s.r.l. Società Italiana Consulenza Strade
 S.I.S. Studio di Ingegneria Stradale s.r.l.
 SOIL Geologia Geotecnica Opere in sotterraneo Difesa del territorio

INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE *Dott. Ing. M. Raccosta*

IL GEOLOGO
Dott. Geol. F. Ferrari

IL GEOLOGO

IL RESPONSABILE DELLA CONGRUENZA FUNZIONALE
 CON IL PROGETTO ESECUTIVO APPROVATO
 (ATI: TECHNITAL-EGIS-SOIL-SIS-SICS)

VISTO:IL RESPONSABILE
 DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Vincenzo Lomma

VISTO:IL COORDINATORE DELLA
 SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE

LA DIREZIONE LAVORI

SUBLOTTO 2.1: S.S. 77 "VAL DI CHIEN TI" TRONCO PONTELATRAVE – FOLIGNO
 TRATTO VALMENOTRE – GALLERIA MUCCIA (esclusa galleria)

RIPRISTINO DELLE AREE DI CANTIERE – PC1: CASENOVE

PROGETTO
 RELAZIONE IDROLOGICO IDRAULICA

Codice Unico di Progetto (CUP) F12C03000050010 (Delibera CIPE 13/2004)

REVISIONE

FOGLIO

SCALA

CODICE ELAB. e FILE	Opera	Lotto	Stato	Settore	WBS	Disciplina	Tipo Doc.	N. Progress.
	L0703	A2	E	P	CA40100	IDR	REL	004

B

□ □ □ □

D

C

B REVISIONE

10/09/15

FALCONE

PELLEGRINI

RASIMELLI

A EMISSIONE

01/08/14

FALCONE

PELLEGRINI

RASIMELLI

REV. DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

APPROVATO RESP.
 TECNICO ANAS

0	Premessa	2
1	Inquadramento	2
2	Analisi pluviometrica	6
3	Calcolo delle portate	7
4	Descrizione e dimensionamento degli interventi.....	12

0 Premessa

La presente Relazione Idrologica e Idraulica si pone l'obiettivo di descrivere e dimensionare le opere di sistemazione idraulica che rientrano nel piano di recupero ambientale dell'area PC1, situata in località Casenove del Comune di Foligno. Le prescrizioni tecniche impartite nel Progetto Esecutivo Approvato e le delibere CIPE prevedono infatti che l'area in oggetto recuperi l'assetto morfologico preesistente all'insediamento del cantiere. Diversamente dall'area di betonaggio Beton 2, insediata nella stessa valle e quasi adiacente all'area di stoccaggio in esame, dove le installazioni per la produzione dei calcestruzzi hanno reso necessaria la riprofilatura del piano campagna, in questo caso è stato mantenuto l'andamento originario del terreno senza operazioni di scavo o riporto. Dunque, non saranno necessari interventi di consolidamento del terreno, e una volta sistemati in via definitiva i volumi di smarino provvisoriamente ricoverativi, asportato e convenientemente smaltito il telo di geotessile e scomposti gli strati di misti stabilizzati e di *tout venant*, verrà ripristinato lo strato superficiale di terreno vegetale, che avrà caratteristiche tali da garantire il completo recupero della funzionalità agronomica e delle condizioni paesaggistiche.

La pulizia e la risagomatura dell'alveo del fosso sono interventi previsti in progetto, oltre la demolizione del guado provvisorio che ne ha consentito l'attraversamento da parte dei mezzi di lavoro.

1 Inquadramento

L'area PC1, contigua all'area Beton2, è insediata in una piccola valle che si apre tra i pendii boscosi di Cifo, lungo il corso del Rio Rifugio, che proprio da qui prende il nome di fosso Bottegaia e prosegue il suo corso fino all'immissione nel fiume Menotre. Numerosi sono gli apporti che riceve da fossi e compluvi: dalle sorgenti fino alla sezione di chiusura in prossimità del guado provvisorio realizzato all'interno dell'area di cantiere, sottende un bacino imbrifero che si estende per oltre 3 kmq (vedi fig.1).

La sezione del fosso Bottegaia, già in origine si presentava poco incisa. Allo stato attuale, soprattutto a causa dei detriti che con le piogge dilavanti sono scivolati dai cumuli vicini e si sono accumulati nel fondo dell'alveo, in alcuni punti è quasi completamente interrata (vedi foto 1). Il

percorso e la pendenza del fosso rimangono quelli originali, soltanto in prossimità del guado l'alveo è stato allargato e approfondito per consentire la sistemazione di 3 tubi in cls $\Phi 800$ con i quali è stato realizzato l'attraversamento provvisorio (vedi foto.3 e 4). Al termine dell'area PC1, il fosso viene tombato (vedi foto 5) per attraversare la strada SS77.

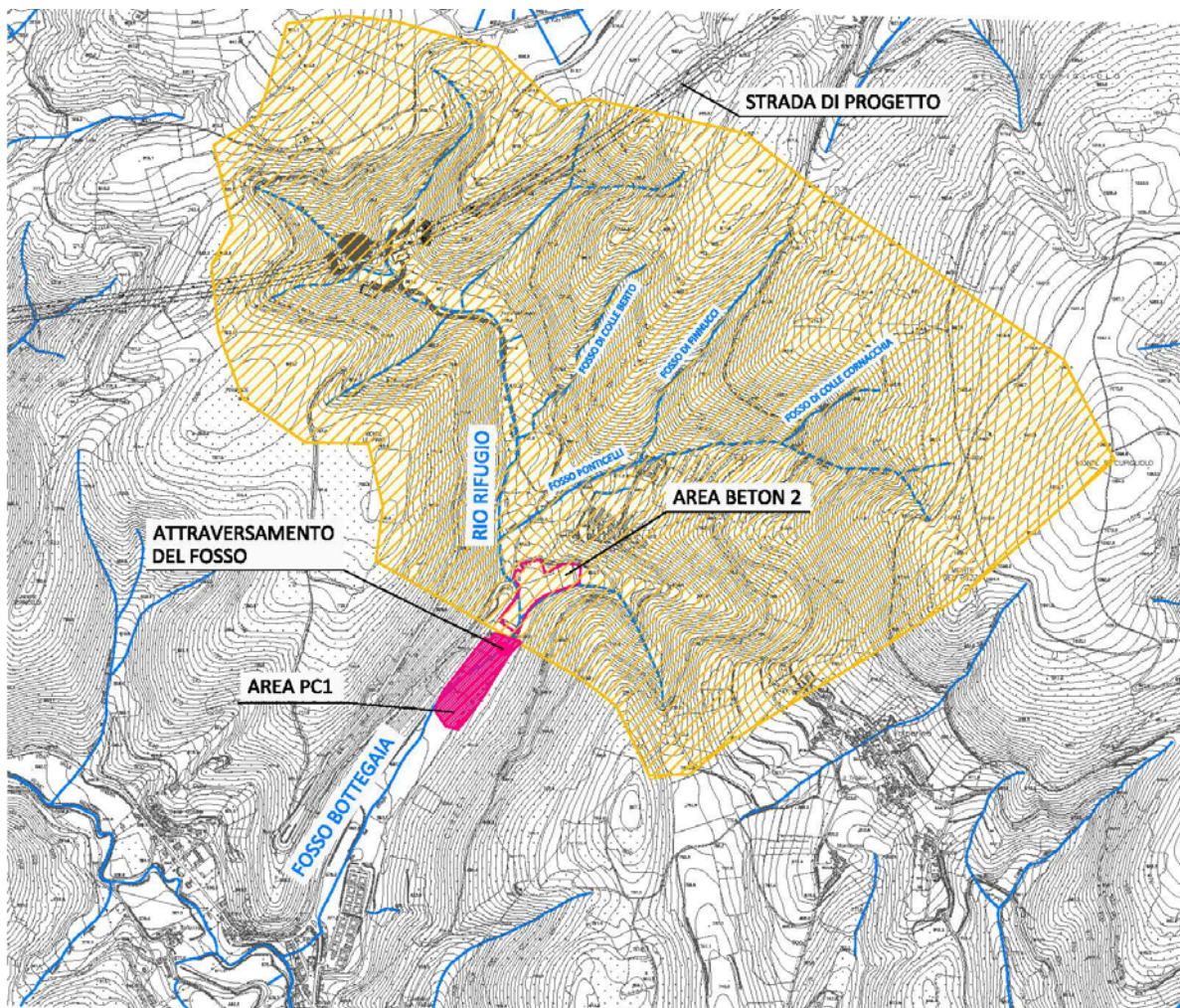


Figura 1 bacino idrografico del Fosso Bottegaia alla sezione di chiusura nell'area PC1.



Foto 1 _Fosso Bottegaia in area PC1



**Foto 2 _Fosso Bottegaia in area PC1
tra i cumuli e la SS 77**



Foto 3 _Guado sul fosso Bottegaia - lato valle



Foto 4 _Guado sul fosso Bottegaia - lato monte



Foto 5 _Tombamento del fosso Bottegaia sotto la SS77 – lato monte (PC1)

2 Analisi pluviometrica

Lo studio idrologico condotto nell'ambito del Progetto Esecutivo Approvato, per quanto riguarda la regione umbra, ha fatto propri i risultati di uno studio di regionalizzazione statistica, riportato nella pubblicazione *“Determinazione delle precipitazioni di massima intensità e breve durata per la Regione Umbria”*, realizzato dal Servizio Idrografico Regionale della Regione dell'Umbria. Secondo tale studio, i valori delle altezze cumulate di pioggia per la zona di Foligno assumono i valori riportati in tabella 1:

Tr =	2	5	10	20	25	50	100	200	500
D (h)	Altezza di pioggia cumulata (mm)								
0.80	27.08	40.98	50.18	59.01	61.81	70.43	78.99	87.52	98.77
1.00	28.64	43.33	53.06	62.39	65.35	74.47	83.52	92.54	104.44
1.20	29.97	45.35	55.53	65.30	68.40	77.94	87.42	96.85	109.31
1.50	31.69	47.95	58.72	69.05	72.32	82.41	92.43	102.41	115.58
2.00	34.06	51.53	63.10	74.20	77.72	88.56	99.32	110.05	124.20
3.00	37.69	57.03	69.83	82.11	86.01	98.01	109.92	121.79	137.45
4.00	40.50	61.28	75.04	88.23	92.42	105.32	118.12	130.87	147.70
6.00	44.82	67.82	83.04	97.65	102.28	116.55	130.72	144.83	163.45
9.00	49.60	75.05	91.90	108.06	113.19	128.99	144.66	160.28	180.89
12.00	53.30	80.65	98.76	116.12	121.63	138.60	155.45	172.23	194.38

Tabella1 – Altezze cumulate di precipitazione per la zona di Foligno

I valori delle altezze di pioggia sono funzione della durata della precipitazione e del tempo di ritorno, e vengono ricavati dalla curva di possibilità pluviometrica che per la zona di Foligno assume la forma:

$$(1) \quad P(T,t) = m_1 (1 + V \cdot K_T) t^n$$

dove i valori dei parametri si ricavano dalla tabella seguente:

T (anni)	2	5	10	20	25	50	100	200	500
$(1+V \cdot K_T)$	0.91	1.38	1.69	1.99	2.08	2.37	2.66	2.95	3.33
a	28.64	43.33	53.06	62.39	65.35	74.47	83.52	92.54	104.4
n	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

Tabella2 – Curve di possibilità pluviometrica per la zona di Foligno

I dati climatici della zona di Foligno sono stati considerati rappresentativi per tutto il bacino del fiume Menotre, cui appartiene il fosso Bottegaia. Trattandosi di un piccolo bacino (come detto, supera appena i 3Kmq di estensione), non è stato tenuto conto di alcun fattore di riduzione areale (ARF).

3 Calcolo delle portate

Nell'ambito dello studio idraulico del PEA, Il Rio Rifugio è già stato caratterizzato per via dell'interferenza con la strada di progetto risolta mediante il viadotto omonimo "viadotto Rio Rifugio". Brevemente nelle tabelle di seguito, si riassumono le caratteristiche morfometriche del bacino e i principali risultati delle elaborazioni idrologiche:

Corso d'acqua	Area (km ²)	Regione	Zmax (m s.m.m.)	Zmin (m s.m.m.)	Zmedia (m s.m.m.)	L (km)
Rio rifugio	0.44	U	851	674	730	0.45

Tabella3 – Caratteristiche morfometriche del bacino del Rio Rifugio alla sezione di chiusura del viadotto "Rio rifugio" (PEA)

Denominazione	Tc (ore)	CN (-)	IA (mm)	Q50 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)	Q200 (m ³ /s)	Q500 (m ³ /s)
Rio Rifugio (Viadotto Rio rifugio)	0.55	45	20	2.3	2.8	3.4	4.2

Tabella4 – Risultati delle elaborazioni idrologiche (PEA)

I dati qui sopra si riferiscono però alla sezione di chiusura del Rio Rifugio in prossimità del viadotto, mentre l'area di cantiere si trova molto più a valle, circa 1.3km dopo quest'attraversamento. Per valutare la portata nella sezione di interesse, è stata ricalcolata l'estensione del bacino imbrifero ad essa afferente, e applicata la stessa metodologia che si ritrova nel PEA per il calcolo dell'idrogramma di piena. Essa si avvale del modello di trasformazione afflussi-deflussi che utilizza, per la stima della frazione di pioggia che contribuisce al deflusso superficiale, il metodo proposto dal SCS noto come il metodo del Curve Number. Tralasciando la descrizione del metodo, per cui si rimanda alla relazione idrologica e idraulica del progetto esecutivo, ai fini della determinazione del volume di deflusso sono stati considerati gli stessi valori del CN e di IA riportati in tabella 3. Questi valori infatti, nel medesimo studio, sono stati assunti come rappresentativi per le caratteristiche medie dei bacini in tutti i versanti del lato umbro. In particolare, il valore di CN è ottenuto dalla media pesata dei valori di CN che scaturiscono dalle caratteristiche litologiche e dall'utilizzo del suolo come indicato nella tabella 5:

Descrizione	Gruppo idrologico			
	A	B	C	D
Superfici d'acqua	99	99	99	99
Alveo fluviale	23	25	28	32
Arbusteto	38	45	60	70
Fustaia densa	21	31	45	53
Fustaia rada	29	38	54	61
Ghiaione	20	22	24	26
Prato arborato	35	43	60	72
Prato di alta quota	37	50	68	75
Prato vallivo	41	47	65	76
Roccia nuda	80	87	93	96
Rupe vegetata	40	50	65	75
Urbano	92	94	96	98

Tabella 5: Descrizione delle categorie dei tipi di suolo

Come si osserva dai risultati in tabella 4, il valore del CN risulta molto basso nella scala da 0 a 100. La ragione risiede nel fatto che quasi ovunque il sottosuolo è caratterizzato da una buona permeabilità, essendo generalmente catalogabile nel gruppo idrologico "B" e in misura minore perfino nel gruppo idrologico "A" (vedi descrizione dei gruppi in tabella 6). Inoltre il soprassuolo è

dato dalla media tra fustaie dense, rade, prati arborati e di alta quota, considerando la presenza di aree urbane o altre aree impermeabili pari ad appena il 10% del totale.

Gruppo	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 la maggior parte dei suoli sottili e 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 della superficie

Tabella 6: Descrizione delle categorie dei tipi di suolo

Noti i valori del numero di curva CN e della perdita iniziale IA, è possibile calcolare il volume specifico di deflusso P_n (=altezza di pioggia netta) a partire dalla pioggia lorda P mediante l'equazione:

$$(2) \quad P_n = \frac{(P-IA)^2}{P+S-IA}$$

dove parametro S è caratteristico delle condizioni del terreno e viene calcolato come:

$$(3) \quad S = 25.4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

Il valore della pioggia lorda P si ricava dall'applicazione della (1) (par.2) in funzione del tempo di ritorno e della durata della precipitazione che si assume pari al tempo di corrivazione T_c .

Quest'ultimo, ovvero il tempo necessario perché una particella d'acqua caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino possa far sentire il suo effetto nella sezione di chiusura, è il parametro che influenza maggiormente l'andamento dei deflussi di piena in quanto imponendo la durata del fenomeno impone anche l'entità delle portate al colmo. Questo parametro viene a dipendere da numerosi fattori anche se le espressioni empiriche, di uso più comune, reperibili in letteratura e che permettono la sua determinazione, fanno riferimento in modo particolare a quelli morfometrici ovvero all'estensione del bacino, alla pendenza dei versanti e dell'asta fluviale principale. Tali espressioni differiscono notevolmente tra loro sia per le diverse grandezze considerate che per le diverse caratteristiche dei bacini esaminati. Tra queste, date le caratteristiche e le dimensioni del bacino, si ritiene molto rappresentativa quella di Giandotti modificata da Aronica e Paltrinieri (2) adatta per bacini di piccole dimensioni (minori di 10 km²):

$$(4) \quad T_c = \frac{1}{M \cdot d} \cdot \frac{\sqrt{A_b} + 1.5 \cdot L_b}{0.8 \cdot \sqrt{H_m}}$$

dove:

T_c = tempo di corrivazione (ore);

A_b = area bacino (km²) \approx 3.0;

L_b = lunghezza asta principale (km) \approx 2.4;

H_m = quota media sulla sezione di chiusura (m) \approx 205.

M e d sono costanti numeriche che assumono in funzione del tipo di suolo e della permeabilità dei terreni i valori riportati nella tabella (6).

Applicando la formula (3) si ha che:

$$T_c = \frac{1}{0.2 \cdot 0.69} \cdot \frac{\sqrt{3.0} + 1.5 \cdot 2.4}{0.8 \cdot \sqrt{205}} \cong 1.4h$$

Tipo di copertura	M
Terreno nudo	0,667
Terreni coperti con erbe rade	0,250
Terreni coperti da bosco	0,200
Terreni coperti da prato permanente	0,167
Permeabilità	d
Terreni semi-impermeabili	1,270
Terreni poco permeabili	0,960
Terreni mediamente permeabili	0,810
Terreni molto permeabili	0,690

Tabella 7 – Valori di m e d nella formula di Giandotti modificata

A questo punto, noto il tempo di corrivazione, ritenendo congruo per il caso in esame un tempo di ritorno pari a 100 anni, dall'applicazione della (1) si ottiene un'altezza di pioggia lorda P pari a:

$$P(T,t) = m_1 (1+V \cdot K_T) t^n = at^n = 83.52 (1.41)^{0.25} \approx 91 \text{mm}$$

Dalla (2) allora si ottiene che l'altezza di pioggia netta, ovvero depurata della componente destinata ad infiltrarsi nel terreno o a rimanere immagazzinata nei piccoli avvallamenti superficiali, di durata pari al tempo di corrivazione e riferita al prefissato tempo di ritorno è pari a:

$$P_n = \frac{(P-IA)^2}{P+S-IA} = \frac{(91-20)^2}{91+310-20} = 13.23 \text{mm}$$

Per il calcolo della portata di progetto si è fatto ricorso alla classica formula razionale:

$$(5) \quad Q = \frac{A_b}{T_c} \cdot h_{net}(T_c)$$

dove A_b è la superficie del bacino scolante, T_c è il tempo di corrivazione del bacino e P_n è l'altezza di pioggia netta appena calcolata, per cui:

$$Q = \frac{3.0 \cdot 10^6}{1.41 \cdot 3600} \cdot 13.23 \cdot 10^{-3} = 7.8 \text{m}^3 / \text{s}.$$

4 Descrizione e dimensionamento degli interventi

Gli interventi idraulici previsti in progetto consistono, oltre che nella demolizione del guado sul fosso Bottegaia e nella sistemazione dell'alveo nel tratto interessato dalla rimozione dei tubi, anche nella ripulitura e nella risagomatura dell'alveo del fosso lungo tutto il suo percorso all'interno dell'area di cantiere. In particolare, questi ultimi due interventi si ritengono necessari per via della vicinanza ai cumuli del betonaggio. Le piogge torrenziali, più volte verificatesi dall'inizio delle attività cantieristiche, hanno inevitabilmente trascinato materiale detritico che è andato ad accumularsi nel letto di scorrimento.

La sezione risagomata avrà la forma geometrica riportata in figura 2, e per evitare fenomeni erosivi verrà protetta con biostuoia biodegradabile in juta (massa areica non inferiore a 400g(m2), a maglia aperta di minimo 1x1cm intasata con terreno vegetale abbinato a idrosemina.

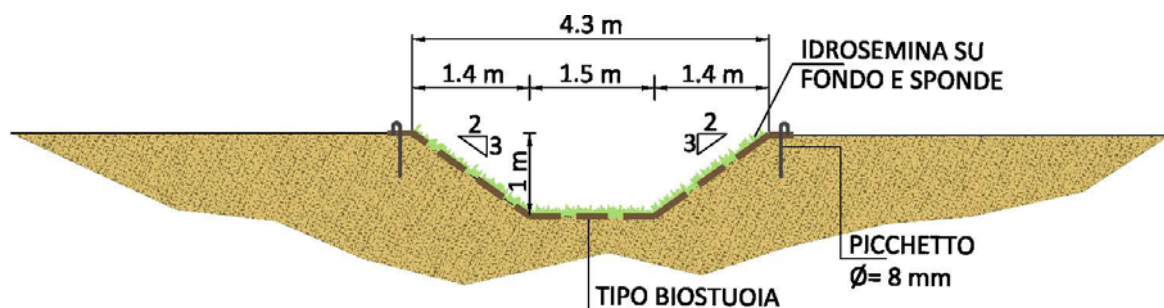


Figura 2 – Risagomatura e protezione del fosso Bottegaia

La verifica idraulica della sezione di progetto, ritenendo cautelativo far riferimento alle condizioni di moto uniforme, è stata eseguita adottando la nota espressione di Gauckler-Strickler:

$$(8) \quad Q = k_s AR^{\frac{3}{2}} i^{\frac{1}{2}}$$

dove:

Q = portata (mc/s)

K_s = coefficiente di Strickler, preso pari a 28 come suggerito in letteratura per canali rivestiti in biostuoia.

R = raggio idraulico (sezione bagnata / perimetro bagnato) (m)

i = pendenza (adimensionale)

A = sezione bagnata (mq)

Seguendo l'andamento naturale del terreno, il fosso mantiene una pendenza quasi costante che non supera mai il 3%. Nella tabella seguente i risultati della verifica

Tr=100	sezione Tipo trapezia ($\alpha=35^\circ$)	pendenza i (%)	velocità v (m/s)	tirante y (m)	grado di riempimento y/h
Qtot mc/s)	150x100	3	3.2	0,88	0,88

Tabella 10: Risultati delle verifiche idrauliche per la sezione del fosso

Il guado da demolire è stato realizzato, come già anticipato e così come verificato da un sopralluogo in sito, da 3 tubi in cls del diametro di 800mm. Lungo tutto il tratto compromesso dalle operazioni di rimozione dei tubi, l'alveo del fosso andrà completamente ricostruito e per tale ragione, in questa sede si prevede una protezione con scogliera in massi calcarei (vedi fig.3). In corrispondenza del guado da dismettere è stata adottata una sezione con sponde poco inclinate, mantenendo la sommità spondale, per consentire il passaggio dei mezzi agricoli, così da realizzare un guado; mantenendo la sommità spondale rimangono inalterate le condizioni di officiosità idraulica determinate; per l'esatta geometria del guado si rimanda agli elaborati grafici allegati.

Dalle verifiche riportate nel seguito è risultato efficace un diametro medio dei massi pari a 50cm. Gli spazi interstiziali verranno riempiti con pietrame di più piccola e variegata pezzatura tale da garantire la stabilità del fondo ed evitare scalzamenti e aggiramenti.

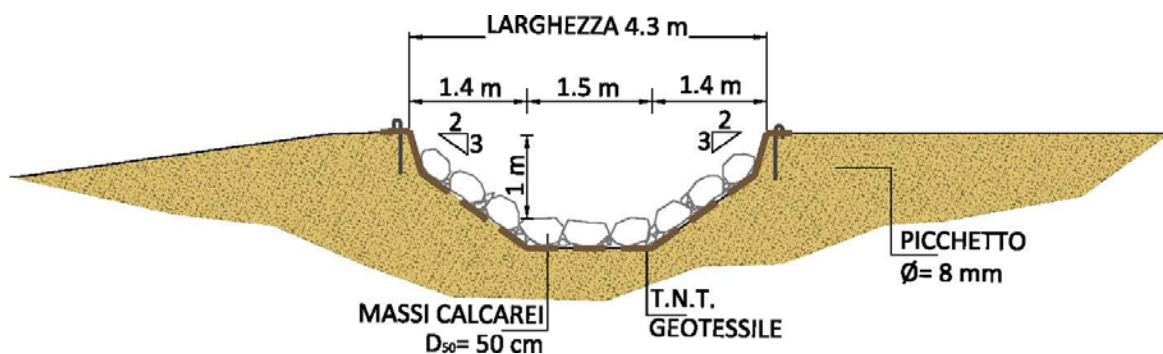


Figura 3 – Sistemazione a scogliera nel tratto interessato dalla rimozione del guado (sezione minima)

Di seguito si riportano i calcoli eseguiti per il dimensionamento dei massi impiegati nella scogliera di protezione dell'alveo.

Verifiche sistemazioni idrauliche spondali

Il metodo utilizzato si basa sulla teoria delle condizioni di moto incipiente del materiale investito dalla corrente sul fondo e sulle sponde (Teoria di Shields). Il moto del materiale di diametro minore o uguale a d ha origine quando la tensione tangenziale τ dovuta alla corrente supera il valore critico τ_{cr} , funzione della dimensione del materiale e delle caratteristiche geometriche dell'alveo.

La tensione tangenziale massima esercitata dalla corrente è espressa dalla relazione :

$$\tau_0 = \xi \cdot \gamma_w \cdot y_0 \cdot i$$

dove γ_w è il peso specifico del fluido (pari ad 1t/mc), i la pendenza di fondo, y_0 l'altezza idrica nella sezione e ξ è un coefficiente che tiene conto della distribuzione delle τ sul fondo e sulle sponde; esso viene assunto cautelativamente pari ad 1 in corrispondenza del fondo e 0,75 in corrispondenza delle sponde, secondo le indicazioni usualmente riportate in letteratura tecnica (cfr., a titolo esemplificativo, Ugo Maione, Armando Brath "Moderni Criteri di Sistemazione degli Alvei Fluviali"- Atti del Corso di Aggiornamento- Politecnico di Milano).

Il calcolo delle tensioni tangenziali dovute alla corrente è stato svolto nella condizione più gravosa in cui risulta massimo il prodotto della pendenza di fondo i con il battente idrico y_0 calcolato dal modello idraulico con $T_r=100$ anni, ed è riassunto nel prospetto seguente.

	Pendenza (i)	Battente idrico y_0 (m)	τ_0 (N/mq)
Fosso Bottegaia (Fondo)	0,03	0,88	264
Fosso Bottegaia (sponda)	0,03	0,88	198

Tabella 11 – Calcolo delle tensioni tangenziali massime esercitate dalla corrente

I valori della τ_0 devono essere confrontati con le tensioni tangenziali critiche che mobilitano il materiale sul fondo e sulle sponde. Il valore critico τ_{cr} che mobilita un granulo di diametro d_m con peso specifico γ_s (2,67 t/mc) in assenza di coesione ed in regime turbolento, ha la seguente espressione:

$$\tau_{cr}(\alpha) = \left(\cos(\alpha) \cdot \sqrt{1 - \frac{\operatorname{tg}^2(\alpha)}{\operatorname{tg}^2(\varphi)}} \right) \cdot (0,06 \cdot (\gamma_s - \gamma_w) \cdot d_m)$$

dove α è l'inclinazione della sponda (assunta pari a 35° per la sezione in esame, mentre per il fondo si assume α pari a zero) e φ l'angolo di attrito del materiale (da letteratura si assume un angolo di 50° per il calcare sano privo di giunti e fessurazioni; d_m (diametro medio dei massi da scogliera) è pari a 0,5 m.

Se α è pari a zero (fondo alveo) la precedente si riduce a:

$$\tau_{cr}(\alpha) = (0,06 \cdot (\gamma_s - \gamma_w) \cdot d_m)$$

Di seguito si riporta il confronto tra le tensioni esercitate dalla corrente e quelle critiche, sia per il fondo alveo che per le sponde.

	τ_0 (N/mq)	τ_{cr} (N/mq)	Fs
Fosso Bottegaia (Fondo)	264	501	1,90 > 1,2
Fosso Bottegaia (sponda)	198	332	1,68 > 1,2

Tabella 5 – Fattori di sicurezza per diametro medio scogliere $d_m = 0.5m$

