

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

PROGETTO ESECUTIVO

CONTRAENTE GENERALE

Val di Chienti
S.C.p.A.

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 sottterraneo 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 VIABILITA' SECONDARIA- STRADA 15

STATO DI PROGETTO
RELAZIONE IDROLOGICO IDRAULICA

Codice Unico di Progetto (CUP) **F12C03000050011 ex F12C03000050010** (comunicazione CIPE 20/04/2015)

REVISIONE

FOGLIO

SCALA

CODICE ELAB. e FILE	Opera	Lotto	Stato	Settore	WBS	Disciplina	Tipo Doc.	N. Progress.
L0703	A2	E	P	CA40200	IDR	REL	002	

A

-- --

-

D								
C								
B								
A	EMISSIONE				30/06/15	ARCELLI	PELLEGRINI	RASIMELLI
REV.	DESCRIZIONE				DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
								APPROVATO RESP. TECNICO ANAS

0	Premessa	2
1	Inquadramento	2
2	Analisi pluviometrica.....	4
3	Calcolo delle portate	7
4	Descrizione e dimensionamento degli interventi	8

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 della pista 15, situata a sud della località Colfiorito, nel Comune di Foligno (PG). Tale pista permette l'accesso all'imbocco della galleria naturale "La Palude" e dell'omonimo viadotto, dalla strada provinciale n. 51. In corrispondenza dell'attraversamento del rio Cesi è stato realizzato un guado; le prescrizioni tecniche impartite nel Progetto Esecutivo Approvato e le delibere CIPE prevedono che l'area in oggetto recuperi l'assetto morfologico preesistente all'insediamento del cantiere, e quindi la rimozione della pista. La demolizione del guado provvisorio sul rio Cesi, che ne ha consentito l'attraversamento da parte dei mezzi di lavoro durante le fasi di cantiere, e la sistemazione dell'alveo (con rivestimento in pietrame nel tratto interessato dalla rimozione delle condotte attualmente presenti) sono gli interventi di natura idraulica previsti in progetto.

1 Inquadramento

La pista di cantiere n° 15, lungo la quale è prevista la demolizione del guado provvisorio sul rio Cesi, si trova a sud della località Colfiorito (PG), tra il viadotto "La Palude" e l'omonima galleria naturale, entrambi di progetto.

Il rio Cesi è un corso d'acqua secondario, che scorre attraverso l'altopiano di Colfiorito; esso si unisce al fosso Buca del Diavolo al centro del piano, per interconnettersi alla fitta rete di scolo dell'altopiano che confluisce, attraverso la galleria artificiale "Botte di Varano", al fiume Chienti di Gelagna. In fase di dimensionamento del manufatto di attraversamento si è optato per l'adozione di tre condotte circolari in lamiera ondulata di diametro DN800.

Il rio Cesi è un importante corso d'acqua secondario che drena una porzione del versante principale destro del fiume Chienti di Gelagna, nel quale confluisce attraverso la galleria "Botte di Varano". Si tratta di un bacino ricadente in ambito montano, tra la Regione Umbria e la Regione Marche (figura 1).

L'alveo risulta incassato con modesta larghezza al fondo, pari a circa 1.50 - 2.00 m; la pendenza longitudinale media nel tratto di interesse risulta, sulla base del rilievo topografico eseguito a supporto delle attività di progettazione, pari all'1.0%.

In sintesi la morfometria del bacino può essere riassunta nei seguenti parametri significativi:

- Superficie del bacino sotteso: 20.38 km²
- Quota massima: 1404 m s.m.m.
- Quota minima: 762 m s.m.m.
- Quota media: 1100 m s.m.m.
- Lunghezza asta principale: 4.51 km
- Tempo di corrivazione: 1.69 ore

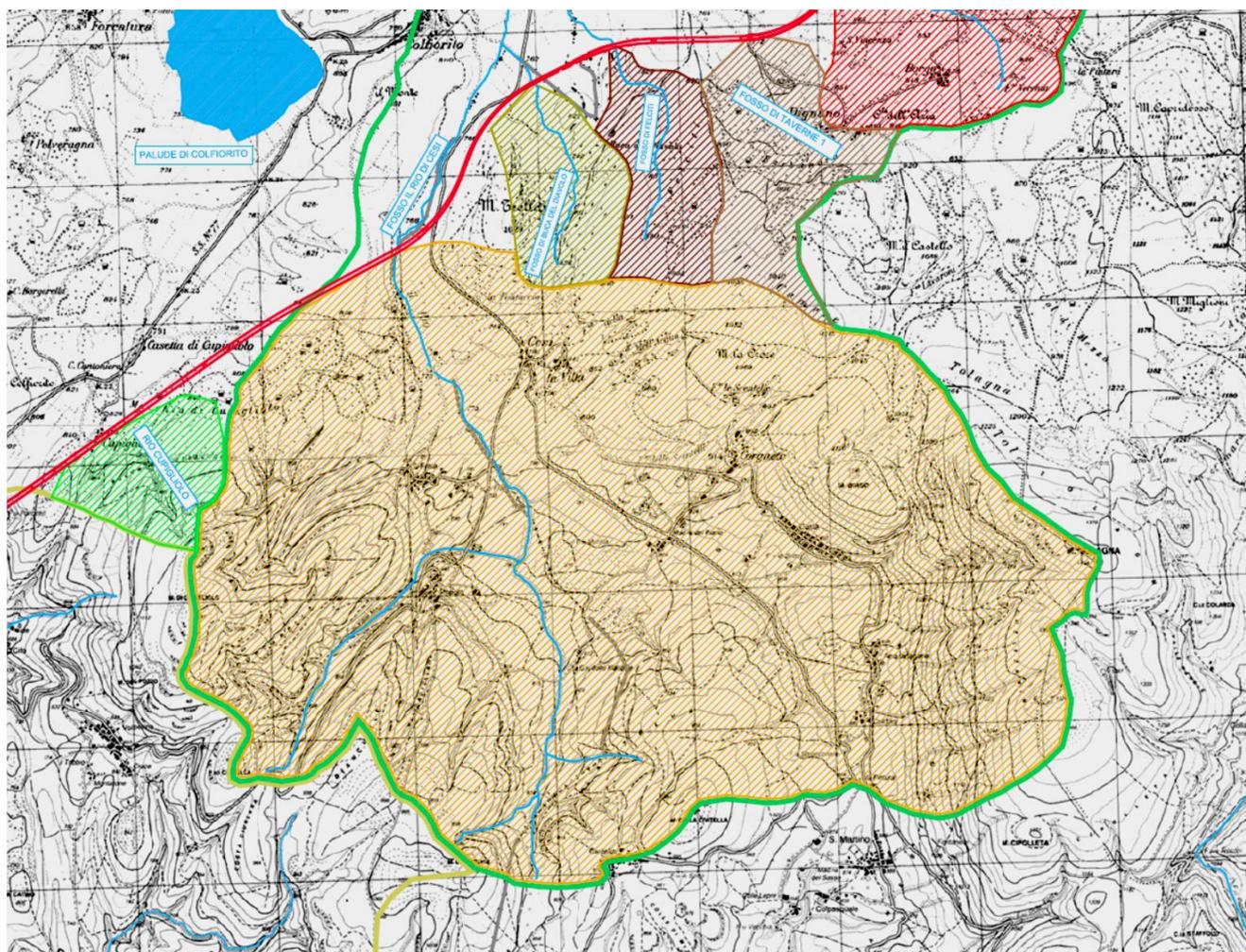


Figura 1: Bacino tributario del rio Cesi

Il punto in cui è localizzato l'attraversamento è posto a monte dell'attraversamento della S.S.77 in corrispondenza del ponte "Rio Cesi", per il quale sono state condotte in sede di Progetto Esecutivo delle simulazioni con modello idraulico (figura 2).

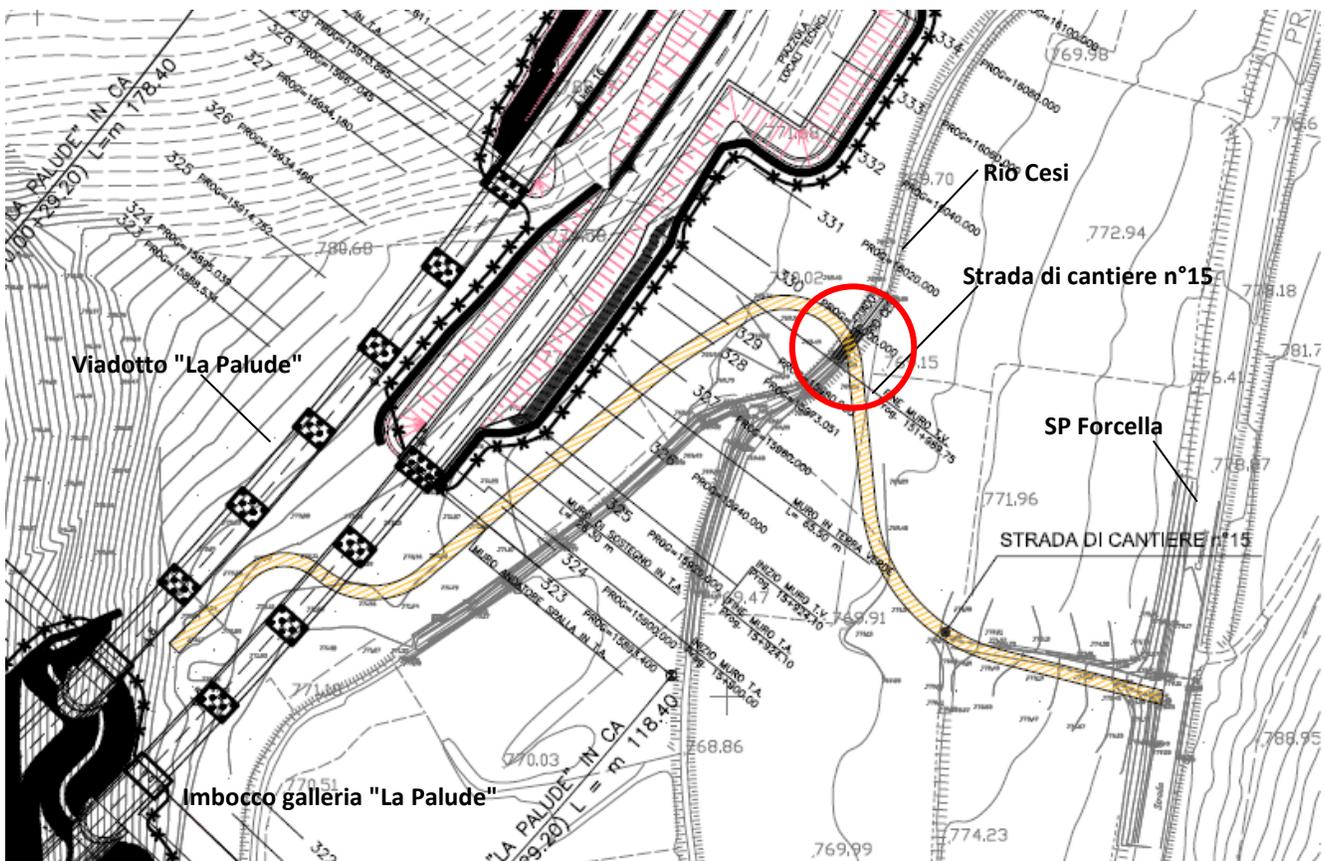


Figura 2: Ubicazione dell'attraversamento sul rio Cesi

Una volta definite le caratteristiche geomorfologiche del bacino tributario del fosso per il quale è prevista la demolizione del guado provvisorio lungo la pista di cantiere n° 15, è necessario effettuare un'analisi idrologica per poter definire, partendo dalle precipitazioni, le portate di riferimento e quindi i tiranti corrispondenti. Tali grandezze permetteranno di verificare la pezzatura minima del pietrame che verrà posato come rivestimento del fondo alveo e delle sponde nel tratto ove verrà rimosso il guado.

2 Analisi pluviometrica

Il bacino del rio Cesi ricade, per una porzione minore nella Regione Umbria e, per una porzione maggiore, nella Regione Marche; di conseguenza di seguito si riportano le risultanze dell'analisi pluviometrica riportata nello studio idrologico condotto nell'ambito del Progetto Esecutivo Approvato, per quanto riguarda la regione Marche appunto.

Un'accurata conoscenza del regime delle piogge intense costituisce un elemento di fondamentale importanza per un'esauriente definizione delle caratteristiche climatiche del territorio ed è un requisito essenziale per la valutazione del rischio idraulico e idrogeologico dal punto di vista della determinazione della portata al colmo di piena, con assegnato tempo di ritorno. Elemento essenziale dell'analisi del regime delle piogge intense è il riconoscimento, a varie scale territoriali, delle caratteristiche delle precipitazioni intense che costituiscono la causa primaria del formarsi delle piene. Dal momento che, nella maggior parte dei casi, l'interesse verte sui rovesci di pioggia più intensi, è necessario investigare le proprietà dei valori estremi del processo di pioggia. Tale indagine viene normalmente condotta riferendosi ad altezze di pioggia cadute durante prefissati intervalli di tempo (1, 3, 6, 12 e 24 ore consecutive, nonché i massimi da 1 a 5 giorni consecutivi).

L'analisi statistica delle piogge intense stabilisce una relazione, del tutto generale, fra l'altezza di pioggia h , la durata D , e la probabilità di non superamento. Le moderne tecniche di analisi statistica delle grandezze idrologiche consentono di elaborare e di correlare tra loro diversi campioni di dati, provenienti da strumenti di monitoraggio ubicati in zone diverse del territorio, al fine di ottenere una rappresentazione continua ed omogenea del fenomeno indagato all'interno di una regione di territorio.

Una serie di studi orientati a questo obiettivo sono stati realizzati con riferimento ai territori delle regioni Marche ed Umbria, nell'intento di fornire una misura dell'intensità con cui si manifestano i fenomeni idrologici, sia in termini di portate di massima piena che di precipitazioni intense. Gli studi sono stati impostati nel rispetto delle procedure di regionalizzazione raccomandate nel Progetto VAPI, facendo quindi uso del metodo del valore indice. Le elaborazioni sono state condotte a partire dai dati relativi ai fenomeni idrologici osservati nel tempo riportati principalmente negli annali idrologici redatti dal SIMN. In particolare, sul territorio della Regione Marche, ha avuto competenza il Compartimento di Bologna (SIMN Bologna), mentre sul territorio regionale umbro la competenza è demandata al Compartimento di Roma (SIMN Roma).

Secondo quanto emerso dall'analisi svolta da Franchini e Galeati (1994) in riferimento al compartimento SIMN di Bologna, il territorio della Regione Marche può essere suddiviso in 2 sottozone omogenee (SZO), una zona costiera (SZO D) ed una zona appenninica (SZO C). Per ciascuna sottozona omogenea, la curva di crescita che determina in maniera univoca la relazione fra periodo di ritorno T_r e valore del coefficiente probabilistico di crescita K_T , può essere espressa in funzione di un

set di parametri, determinati in modo tale da approssimare correttamente le serie storiche disponibili all'interno di una stessa sottozona; nel caso dei fenomeni di durata 1÷24 ore si sono osservate notevoli variazioni del fattore probabilistico di crescita KT al variare della durata di pioggia. L'applicazione del metodo VAPI per la determinazione delle precipitazioni intense costringe quindi alla valutazione di una curva di crescita specifica per ogni durata del fenomeno, a partire dai parametri della distribuzione TCEV.

Gli apporti meteorici che innescano i fenomeni di piena di maggiore entità sono stati valutati partendo dai valori di pioggia cumulata; per diverse durate dei fenomeni e per diverse frequenze di accadimento probabili (Tr), sono stati ricostruiti gli ietogrammi che forniscono l'input del modello matematico, ipotizzando un andamento costante nel tempo dell'intensità di pioggia.

Per quanto riguarda il territorio della Regione Marche i valori delle altezze cumulate di pioggia sono riportati nella tabella seguente (sottozona SZO C):

Tr		5	10	20	25	50	100	200	500
Kt (SZO C) 1 h		1.351	1.603	1.856	1.937	2.189	2.441	2.694	3.027
D	m(h _d)	<i>Altezza (mm) di pioggia cumulata in funzione di D e di Tr</i>							
0.8	25.4	30.2	36.6	43.7	46.2	54.1	62.2	70.8	82.0
1	27.0	32.1	38.9	46.4	49.1	57.5	66.2	75.3	87.2
1.2	28.4	33.8	40.9	48.8	51.7	60.5	69.6	79.2	91.7
1.5	30.2	35.9	43.5	51.9	55.0	64.3	74.0	84.3	97.6

Tr		5	10	20	25	50	100	200	500
Kt (SZO C) 3 h		1.345	1.593	1.841	1.921	2.169	2.417	2.665	2.993
D	m(h _d)	<i>Altezza (mm) di pioggia cumulata in funzione di D e di Tr</i>							
2	32.7	38.9	47.1	56.2	59.5	69.7	80.1	91.2	105.6
3	36.6	43.5	52.7	62.9	66.6	77.9	89.6	102.1	118.2
4	39.6	47.1	57.0	68.1	72.1	84.4	97.0	110.5	127.9

Tr		5	10	20	25	50	100	200	500
Kt (SZO C) 6 h		1.321	1.552	1.783	1.858	2.089	2.320	2.551	2.856
D	m(h _d)	<i>Altezza (mm) di pioggia cumulata in funzione di D e di Tr</i>							
6	44.3	52.7	63.8	76.2	80.6	94.4	108.6	123.6	143.1
9	49.6	59.0	71.4	85.2	90.2	105.6	121.4	138.3	160.1

Tr		5	10	20	25	50	100	200	500
Kt (SZO C) > 12 h		1.306	1.525	1.745	1.816	2.036	2.256	2.475	2.766
D	m(h _d)	<i>Altezza (mm) di pioggia cumulata in funzione di D e di Tr</i>							
12	53.7	63.9	77.3	92.3	97.7	114.3	131.5	149.7	173.3
24	65.0	77.4	93.6	111.8	118.3	138.5	159.3	181.4	210.0

Tabella 1 – Altezze cumulate di precipitazione per la SZO C

3 Calcolo delle portate

Nell'ambito dello studio idraulico del PEA, il rio Cesi è stato studiato in ragione dell'interferenza con l'omonimo ponte, localizzato lungo il rio diverse centinaia di metri più a valle rispetto al guado oggetto di demolizione.

Partendo dall'analisi delle precipitazioni, secondo le modalità riportate al paragrafo precedente, il Progetto Esecutivo ha proceduto alla determinazione delle portate di riferimento, per tempi di ritorno pari a 50, 100, 200 e 500 anni; le portate di piena sono state determinate adottando il metodo del Curve Number, riportato nella Relazione Idrologica e Idraulica relativa al subplotto 1.2. Come per altri corsi d'acqua significativi, per il rio Cesi (e per il suo affluente, il fosso "Buca del Diavolo"), una volta quantificate le portate massime a partire dall'analisi idrologica, sono state condotte delle simulazioni con modello idraulico, al fine di avere conoscenza del comportamento della corrente in corrispondenza delle interferenze più importanti (tirante, velocità della corrente, ecc.). Tali risultanze sono utili nella verifica delle opere di sistemazione idraulica da realizzare nel tratto interessato dalla demolizione del guado (risagomatura del fondo alveo e delle sponde e loro rivestimento con pietrame). In particolar modo si adotta, come portata di progetto per il dimensionamento delle difese in pietrame, quella ricavata dalle elaborazioni idrologiche per un tempo di ritorno $T_r = 100$ anni. Il tratto oggetto di simulazione, infatti, parte a circa 500 m a valle rispetto al punto di attraversamento della pista di cantiere n° 15. Di conseguenza si preferisce calcolare il tirante corrispondente nella sezione oggetto di rimozione del guado.

Per brevità di esposizione si riportano qui i principali risultati delle elaborazioni idrologiche più significative per la trattazione in oggetto.

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 Cesi	20.38	M	1404	762	1100	4.51

Tabella 2 - Caratteristiche morfometriche del bacino del rio Cesi (PEA)

Denominazione	Tc (ore)	CN (-)	IA (mm)	Q50 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)	Q200 (m ³ /s)	Q500 (m ³ /s)
Rio Cesi	1.69	40	20	32.9	43.1	55.3	72.6

Tabella 3 - Risultati delle elaborazioni idrologiche (PEA)

La portata Q_{100} (tempo di ritorno pari a 100 anni) viene assunta come portata di progetto per il dimensionamento del pietrame che verrà posato a protezione dell'alveo e della scarpata del rio Cesi, nel punto di demolizione del guado provvisorio.

Per determinare il tirante corrispondente alla sezione effettiva in corrispondenza dell'attraversamento si utilizza la nota espressione di Gauckler-Strickler:

$$Q_{unif} = K_s * A * R^{2/3} \sqrt{i} \quad (1)$$

dove:

Q = portata (m^3/s);

K_s = coefficiente di Strickler, assunto pari a 40 come suggerito in letteratura per canali naturali in terra;

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

i = pendenza (adimensionale);

A = sezione bagnata (m^2).

Considerando una pendenza delle sponde di circa 36° e una larghezza al fondo pari a circa 1.5 m e la pendenza al fondo dell' 1%, la portata di riferimento (43.10 mc/s) transita con un tirante pari a 2.20 m e una velocità media di circa 4.30 m/s. In realtà, dal momento che l'alveo incassato ha altezza massima inferiore (= 1.42 m circa), la piena centennale andrà ad interessare anche le due golene laterali (ove il moto avverrà a velocità inferiore rispetto all'alveo inciso) e ciò comporterà un abbassamento del tirante calcolato con la formula (1). A favore di sicurezza il pietrame verrà dimensionato facendo riferimento ad un tirante massimo pari a 2.20 m.

4 Descrizione e dimensionamento degli interventi

Gli interventi idraulici previsti in progetto consistono nella demolizione del guado provvisorio realizzato sul rio Cesi e nella sistemazione dell'alveo nel tratto interessato dalla rimozione delle condotte, per una lunghezza di 10 m, tale da garantirne la stabilità.

Lungo tutto il tratto compromesso dalle operazioni di rimozione delle tre tubazioni, quindi, l'alveo del fosso andrà completamente ricostruito, riportandolo alla sezione originale (pendenza delle sponde pari a circa 36° , sufficiente per garantirne la stabilità); per tale ragione in questa sede si

prevede una protezione con scogliera in massi calcarei (vedasi figura 3 e l'elaborato relativo alla sistemazione idraulica di progetto), al fondo e alle sponde per un'altezza pari a quella dell'alveo inciso. Dalle verifiche riportate nel seguito è risultato efficace un diametro medio dei massi pari a 75 cm. 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.

Di seguito si riportano i calcoli eseguiti per il dimensionamento dei massi impiegati nella scogliera di protezione dell'alveo per il tratto interessato dalla rimozione del guado.

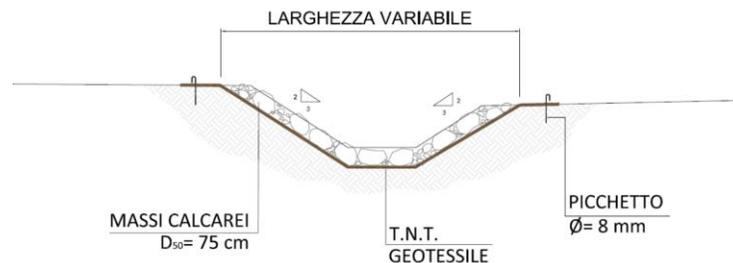


Figura 3: Sistemazione a scogliera nel tratto centrale di fosso interessato dalla rimozione del guado

Per la verifica della scogliera è stata utilizzata la teoria di Shields, che si basa sulla teoria delle condizioni di moto incipiente del materiale investito dalla corrente sul fondo e sulle sponde; 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 :

$$\tau_0 = \xi \cdot \gamma_w \cdot y_0 \cdot i \quad (2)$$

dove γ_w è il peso specifico del fluido (pari ad 1 t/m^3), 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.

Il calcolo delle tensioni tangenziali dovute alla corrente è stato svolto considerando il tirante massimo in alveo corrispondente ad un evento di piena con tempo di ritorno $Tr = 100$ anni. Nella tabella seguente si riportano i risultati delle tensioni tangenziali massime ricavate mediante l'applicazione della (3), al fondo e lungo la sponda:

	Pendenza (i)	Battente idrico γ_0 (m)	τ_0 (N/mq)
Rio Cesi (fondo)	0.01	2.20	507
Rio Cesi (sponda)	0.01	2.20	380

Tabella 4 - 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:

$$\tau_{cr}(\alpha) = \left(\cos(\alpha) \cdot \sqrt{1 - \frac{\text{tg}^2(\alpha)}{\text{tg}^2(\varphi)}} \right) \cdot (0,06 \cdot (\gamma_s - \gamma_w) \cdot d_m) \quad (3)$$

dove α è l'inclinazione della sponda pari a 36° , 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 75 cm.

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

$$\tau_{cr}(\alpha) = (0,06 \cdot (\gamma_s - \gamma_w) \cdot d_m) \quad (4)$$

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	τ_{cr}	Fs
Rio Cesi (fondo - $\alpha = 0$)	507	752	1.48
Rio Cesi (sponda - $\alpha = 36^\circ$)	380	476	1.25

Tabella 5 - Fattori di sicurezza per diametro medio scogliere $d_m = 0.75$ m

Dal confronto di τ_0 con τ_{cr} risulta che il moto incipiente di una scogliera di massi di diametro medio $d_m = 0.75$ m caratterizzato dal valore τ_{cr} delle tensioni tangenziali è superiore al valore massimo τ_0 di tensione tangenziale che si può instaurare per $T_r = 100$ anni. Il loro rapporto consente di ottenere un valore del fattore di sicurezza Fs ovunque superiore a 1.2.