

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

PROGETTO ESECUTIVO

CONTRAENTE GENERALE		IL RESPONSABILE DEL CONTRAENTE GENERALE
		IL PROGETTISTA
		IL GEOLOGO
GRUPPO DI PROGETTAZIONE DEL PROGETTO ESECUTIVO APPROVATO		IL RESPONSABILE DELLA CONGRUENZA FUNZIONALE CON IL PROGETTO ESECUTIVO APPROVATO (ATI: TECHNITAL-EGIS-SOIL-SIS-SICS)
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 <i>Dott. Ing. M. Raccosta</i> IL GEOLOGO <i>Dott. Geol. F. Ferrari</i>		
VISTO:IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	VISTO:IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE	LA DIREZIONE LAVORI
<i>Dott. Ing. Vincenzo Lomma</i>		

SUBLOTTO 1.2: S.S. 77 "VAL DI CHIEN TI" TRONCO PONTELATRAVE – FOLIGNO  
 TRATTI FOLIGNO-VALMENOTRE E GALLERIA MUCCIA-PONTELATRAVE (inclusa galleria)

RIPRISTINO DELLE AREE DI CANTIERE – AREA S10

RELAZIONE IDRAULICA

Codice Unico di Progetto (CUP) <b>F12C03000050011 ex F12C03000050010</b> (comunicazione CIPE 20/04/2015)				REVISIONE	FOGLIO	SCALA					
CODICE ELAB. e FILE	Opera	Lotto	Stato	Settore	WBS	Disciplina	Tipo Doc.	N. Progress.			
	L0703	A1	E	P	CA10100	IDR	REL	007	A	01	01
D											
C											
B											
A	EMISSIONE					28/09/2015	N. Arcelli	S. Pellegrini	M. Rasimelli		
REV.	DESCRIZIONE		DATA		REDATTO		VERIFICATO	APPROVATO	APPROVATO RESP. TECNICO ANAS		

## INDICE

0	Premessa.....	2
1	Inquadramento.....	2
2	Analisi pluviometrica.....	4
3	Calcolo delle portate .....	6
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 dell'area di cantiere S10, sottostante al viadotto di progetto "Chienti II", in località Muccia (MC). Tale area ha un'estensione di circa 21'000 mq ed è costeggiata dal Fiume Chienti di Gelagna; il fiume è attraversato per mezzo di un guado provvisorio, posto al di sotto del viadotto "Chienti II", realizzato con una condotta in acciaio ondulato, DN2000.

Le prescrizioni tecniche impartite nel Progetto Esecutivo Approvato e le delibere CIPE prevedono la rinaturalizzazione dell'area di cantiere, che deve essere riportata allo stato "ante operam"; dunque in fase di sistemazione finale si dovrà provvedere alla demolizione del guado provvisorio sul Fiume Chienti ed alla sistemazione dell'alveo mediante riprofilatura e posa di pietrame di idonea pezzatura, al fine di proteggere il fondo alveo che è stato rimaneggiato.

## **1 Inquadramento**

L'area di cantiere S10 è localizzata in sinistra idraulica del fiume Chienti, ad ovest dell'abitato di Muccia, e si estende al di sotto del viadotto "Chienti II"; l'accesso dalla strada statale 77 è consentito dapprima dalla strada di cantiere 24 e successivamente dalla strada comunale delle Ralle; è presente un guado provvisorio realizzato con una condotta in acciaio ondulato, DN2000, per una lunghezza di circa 30-40 m (figure 2 e 3).

In fase di progettazione esecutiva il Fiume Chienti di Gelagna è stato simulato, in più tratti, al fine di verificare gli effetti della presenza delle pile dei viadotti di progetto. In particolare nel Progetto Esecutivo Approvato vengono riportate le risultanze numeriche delle simulazioni condotte nei tratti a monte e a valle di quello qui oggetto di analisi, al fine di verificare gli effetti della presenza delle pile dei viadotti "Chienti I" (circa 3 km a monte, all'altezza dell'abitato di Gelagna Bassa) e "Muccia" (circa 2 km a valle, all'altezza dell'abitato di Varano). Non risulta invece simulato il tratto di fiume in corrispondenza del viadotto "Chienti II", a ridosso dell'area di cantiere oggetto di rinaturalizzazione. In ogni caso le risultanze numeriche delle simulazioni nei tratti di fiume a monte e a valle del guado provvisorio verranno di seguito utilizzate per ricavare alcuni dati di input per il dimensionamento delle opere di protezione e difesa idraulica per il tratto di fiume interessato dalla rimozione della condotta metallica.



Figura 1: Localizzazione dell'area di cantiere S10 su ortofoto, con indicazione del guado oggetto di rimozione (indicato con un cerchio di colore rosso)

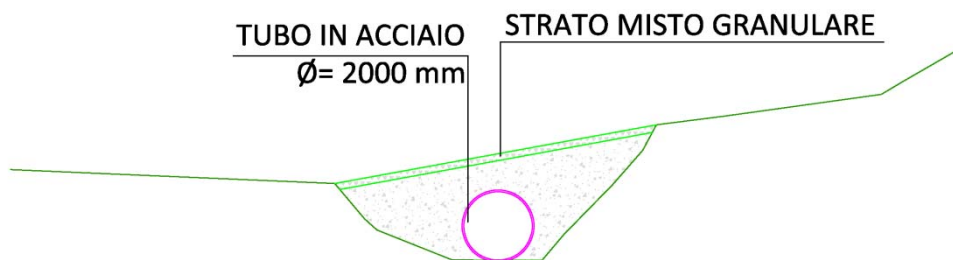


Figura 2: Sezione trasversale del guado esistente



**Figura 3: Foto del guado esistente**

## **2 Analisi pluviometrica**

Di seguito si riportano le risultanze dell'analisi pluviometrica volta a determinare la portata di riferimento per il dimensionamento dei dispositivi di difesa idraulica da predisporre in seguito all'eliminazione del guado provvisorio sul Fiume Chienti di Gelagna, in corrispondenza dell'accesso all'area di cantiere S10.

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 al territorio 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  $K_T$  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 ( $T_r$ ), 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, ovvero per il bacino del fiume Chienti, 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 <sub>d</sub> )	<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 <sub>d</sub> )	<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 <sub>d</sub> )	<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 <sub>d</sub> )	<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 Fiume Chienti di Gelagna è stato studiato approfonditamente, in ragione delle interferenze con alcuni viadotti, tra cui il "Chienti I" e il "Muccia", localizzati rispettivamente a monte e a valle del viadotto "Chienti II", che sormonta l'area di cantiere oggetto di sistemazione, per il quale non sono state condotte simulazioni con modello idraulico.

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

sublotto 1.2. Come per gli altri corsi d'acqua significativi, per il Fiume Chienti di Gelagna, 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 (tirante, velocità della corrente, ecc.), in corrispondenza delle interferenze più importanti.

Tali risultanze numeriche, pur riferendosi a tratti localizzati a monte e a valle di quello ove si trova il guado provvisorio, sono comunque 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). Per brevità di esposizione si riportano qui i principali risultati delle elaborazioni idrologiche e le risultanze numeriche ottenute dall'applicazione del modello idraulico più significative per la trattazione in oggetto.

Corso d'acqua	Area (km <sup>2</sup> )	Regione	Zmax (m s.m.m.)	Zmin (m s.m.m.)	Zmedia (m s.m.m.)	L (km)
Fiume Chienti di Gelagna (Viadotto Chienti I)	88.21	M	1404	540	920	18.40
Fiume Chienti di Gelagna (Viadotto Chienti II)	95.73	M	1404	463	875	20.71
Fiume Chienti di Gelagna (Viadotto Muccia)	104.97	M	1404	422	850	24.41

**Tabella 2 - Caratteristiche morfometriche del bacino del Fiume Chienti di Gelagna alla sezione di chiusura dei viadotti "Chienti I" e "Muccia" (PEA)**

Per il bacino del fiume Chienti di Gelagna, chiuso in prossimità del viadotto "Chienti II" non sono state condotte simulazioni per mezzo di modello matematico; sono state considerate valide le portate stimate nella sezione di chiusura del viadotto "Muccia", ottenute per un bacino di estensione leggermente superiore, accettando quindi una approssimazione conservativa.

Denominazione	Tc (ore)	CN (-)	IA (mm)	Q50 (m <sup>3</sup> /s)	<b>Q100 (m<sup>3</sup>/s)</b>	Q200 (m <sup>3</sup> /s)	Q500 (m <sup>3</sup> /s)
Fiume Chienti di Gelagna (Viadotto Chienti I)	4.18	40	20	78.7	<b>102.1</b>	129.3	167.8
Fiume Chienti di Gelagna (Viadotto Muccia)	4.69	40	20	78.7	<b>102.1</b>	129.3	167.7

**Tabella 3 - Risultati delle elaborazioni idrologiche (PEA)**

Osservando i risultati delle simulazioni numeriche condotte per i tratti a monte e a valle di quello di interesse si osserva come per la portata centenaria i tiranti sono variabili tra i 2.5 e i 3.5 m e il regime delle velocità è variabile tra i 2.0 e i 5.5 m/s.



#### 4 Descrizione e dimensionamento degli interventi

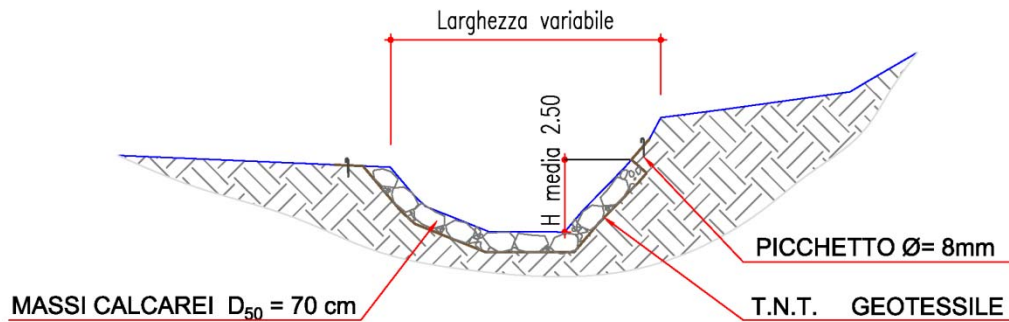
L'intervento idraulico in progetto previsto consiste nella demolizione del guado provvisorio sul Fiume Chienti di Gelagna, in corrispondenza dell'accesso all'area di cantiere S10, e nella sistemazione dell'alveo nel tratto interessato dalla rimozione della condotta. Allo stato attuale il guado ha una larghezza di circa 7 m; di conseguenza, al fine di garantire la stabilità al fondo e alle sponde del fiume, anche a seguito della demolizione di tale opera, la risagomatura e la protezione con pietrame di fondo alveo e sponde verranno realizzate per una lunghezza totale di circa 40 m, ossia lungo il tratto interessato dal ripristino a seguito della rinaturalizzazione dell'area S10.

Il guado da demolire è stato realizzato, come già anticipato, da un tubo in acciaio, DN2000 (figura 2).

Lungo tutto il tratto compromesso dalle operazioni di rimozione del tubo, l'alveo del fosso andrà completamente ricostruito e, per tale ragione, in questa sede si prevede una protezione con scogliera in massi calcarei (vedasi elaborato relativo alla sistemazione idraulica di progetto), per una lunghezza totale di circa 40 m. Dalle verifiche riportate nel seguito è risultato più che sufficiente un diametro medio dei massi pari a 70 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. L'alveo naturale del Fiume Chienti di Gelagna presenta piane golenali, che non sono state interessate dalla realizzazione del guado; di conseguenza, considerati anche i massimi tiranti prevedibili in caso di piena centenaria si è optato di rivestire l'alveo centrale e le sponde inclinate, sino ad un'altezza dal fondo pari a 2.5 m circa; il rivestimento non interesserà invece le piane golenali.

La sezione trasversale di progetto avrà pendenza delle sponde pari a 2/3 (figura 4), al fine di garantire la massima stabilità, e verrà raccordata all'alveo naturale a monte e a valle del tratto rivestito. La pendenza media del fondo alveo per il tratto interessato dalla rimozione del guado provvisorio è pari al 1.50%.

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 4: Sistemazione a scogliera nei tratti di fiume interessati 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  $\tau$  dovuta alla corrente supera il valore critico  $\tau_{cr}$ , funzione della dimensione del materiale e delle caratteristiche geometriche dell'alveo.

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

$$\tau_0 = \xi \cdot \gamma_w \cdot y_0 \cdot i \quad (1)$$

dove  $\gamma_w$  è il peso specifico del fluido (pari ad  $1 \text{ t/m}^3$ ),  $i$  la pendenza di fondo,  $y_0$  l'altezza idrica nella sezione e  $\xi$  è un coefficiente che tiene conto della distribuzione delle  $\tau$  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.

A favore di sicurezza, il calcolo delle tensioni tangenziali dovute alla corrente è stato svolto considerando come tirante massimo in alveo un valore intermedio tra quelli osservati dai risultati delle simulazioni condotte con HEC-RAS per i due tratti a monte e a valle di quello oggetto di studio per un evento di piena con tempo di ritorno  $Tr = 100$  anni; tale tirante massimo è stato assunto pari a 3.0 m.

Nella tabella seguente si riportano i risultati delle tensioni tangenziali massime ricavate mediante l'applicazione della (1), al fondo e lungo la sponda, per il guado oggetto di demolizione:

	Pendenza (i)	Battente idrico $y_0$ (m)	$\tau_0$ (N/mq)
<b>Fiume Chienti di Gelagna (fondo)</b>	0.015	3.00	450
<b>Fiume Chienti di Gelagna (sponda)</b>	0.015	3.00	338

**Tabella 4 - Calcolo delle tensioni tangenziali massime esercitate dalla corrente**

I valori della  $\tau_0$  devono essere confrontati con le tensioni tangenziali critiche che mobilitano il materiale sul fondo e sulle sponde. Il valore critico  $\tau_{cr}$  che mobilita un granulo di diametro medio  $dm$  con peso specifico  $\gamma_s$  (2.67 t/mc) in assenza di coesione ed in regime turbolento, ha la seguente espressione:

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

dove  $\alpha$  è l'inclinazione della sponda (pari a 2/3 come imposta da risagomatura), mentre per il fondo si assume  $\alpha$  pari a zero e  $\phi$  l'angolo di attrito del materiale (da letteratura si assume un angolo di 50° per il calcare sano privo di giunti e fessurazioni);  $dm$  (diametro medio dei massi da scogliera) è pari a 70 cm.

Se  $\alpha$  è pari a zero (fondo alveo) la precedente si riduce a:

$$\tau_{cr}(\alpha) = (0,06 \cdot (\gamma_s - \gamma_w) \cdot d_m) \quad (3)$$

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

	$\tau_0$ (N/mq)	$\tau_{cr}$ (N/mq)	Fs
<b>Fiume Chienti di Gelagna (fondo)</b>	450	701	1.56
<b>Fiume Chienti di Gelagna (sponda)</b>	338	427	1.26

**Tabella 5 - Fattori di sicurezza per diametro medio scogliere  $dm = 0.70$  m**

Dal confronto di  $\tau_0$  con  $\tau_{cr}$  risulta che il moto incipiente di una scogliera di massi di diametro medio  $dm = 0.70$  m caratterizzato dal valore  $\tau_{cr}$  delle tensioni tangenziali è superiore al valore massimo  $\tau_0$  di tensione tangenziale che si può instaurare per  $Tr=100$  anni.

Il loro rapporto consente di ottenere un valore del fattore di sicurezza  $F_s$  sempre maggiore o uguale al valore limite 1.2.