# INTERVENTI EX-NOVO PER LA SALVAGUARDIA DEL RETICOLO IDRAULICO NEL FOSSO DEL RIALE IN LOC. SAN GIUSEPPE – COMUNE DI RIO (LI)
# PSR 2014-2020 –SOTTOMISURA 5.1 b) - PIT 2016

## PROGETTO DEFINITIVO

## Elaborato 02
## CONSIDERAZIONI IDRAULICHE SULL'INTERENTO


**PROGETTISTA RESPONSABILE**

Dott. For. Katuscia Begliomini

**GRUPPO DI LAVORO**

Dott. Geol. Andrea Bizzarri
Dott. Ing. Chiara Chiostrini
Dott. For. Simone Fiornovelli
Dott. For. Fiamma Rocchi


| Codice | Emesso | D.R.E.AM. ITALIA Soc. Coop. Agr. For. | |
|---|---|---|---|
| 08605 | Begliomini | | |
| **Rev.** | **Controllato** | Via Garibaldi n.6, Pratovecchio Stia (Ar) - Tel. 0575 52.95.14 | AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ CERTIFICATO DA DNV = ISO 9001 = |
| 00 | Rocchi | | |
| **Data** | **Approvato** | Via Enrico Bindi n.14, Pistoia – Tel 0573 36.59.67 | D.R.E.AM. ITALIA |
| Genn. 2020 | Orlandi | http://www.dream-italia.it | |

# Sommario

PREMESSA ..... 2
1. Analisi Idrologica Fosso dei Canali ..... 3
1.1. Regime pluviometrico ..... 4
1.2. Perdite idrologiche ..... 5
2. Trasformazione afflussi deflussi ..... 9
2.1. Risultati della modellazione afflussi-deflussi ..... 10
3. Verifica a trascinamento delle opere ..... 12

# PREMESSA

Il presente elaborato costituisce relazione idraulica a supporto del progetto definitivo di "*Interventi per la salvaguardia ed efficienza del reticolo idraulico nel Fosso del Riale in loc. San Giuseppe*" nel Comune di Rio (LI). Il progetto, presentato dal Consorzio di Bonifica n. 5 Toscana Costa, è finanziato dall'"UNIONE EUROPEA REPUBBLICA ITALIANA REGIONE TOSCANA - PROGRAMMA DI SVILUPPO RURALE 2014-2020 - REGOLAMENTO (CE) 1305/2013 – in attuazione del Bando Multimisura – PIT 2016 "Sottomisura 5.1 Sostegno ad investimenti non produttivi connessi all'adempimento degli obiettivi agro-climatici-ambientali" Annualità 2016.

Oggetto del progetto è il Fosso del Riale o dei Canali, nel comune di Rio, che presenta notevoli problemi di erosione soprattutto a carico delle sponde, che in alcuni casi si sono evoluti in piccoli smottamenti localizzati, e parzialmente del fondo. Si tratta di un corso d'acqua demaniale compreso nel reticolo di gestione e denominato Rio del Riale ai sensi della l.r. 79/2012. Catastalmente il corso d'acqua è denominato Fosso dei Canali.
Nello specifico, gli interventi sono realizzazioni ex-novo (anche in continuità con opere preesistenti) finalizzate alla salvaguardia dell'efficienza del reticolo idraulico che ammette le attività per la realizzazione di opere in alveo e sulle sponde (opere di consolidamento, ripristino o ampliamento delle sezioni di deflusso).
Pertanto, una volta eseguito il taglio della vegetazione invadente che ostruisce il deflusso, essendo cresciuta nell'ambito della sezione idraulica, e dopo aver provveduto alla raccolta e rimozione di rifiuti presenti in alveo e alla sagomatura delle sponde con scavi manuali o con piccoli mezzi, a causa della scarsa accessibilità dell'area, saranno realizzate delle opere longitudinali, costituite prevalentemente da palizzate in legname, finalizzate a consolidare la sponda e trattenere il terreno. In alcuni tratti, le palizzate saranno sostituite da **muretti** in muratura di **pietrame e malta di cemento**, a ricostruire quelli ormai demoliti, sfruttando le pietre presenti in loco e da **scogliere in massi intasati in cls** in corrispondenza di piccole frane spondali.
Saranno realizzati dei corazzamenti al fondo con **platea in massi intasati in cls** in corrispondenza di erosioni d'alveo, ad esempio al piede di briglie esistenti nel tratto di intervento.

Ai fini idraulici vengono prodotti calcoli idrologici ed idraulici necessari a verificare a trascinamento muretti di sponda, scogliere spondali e platea in massi.

# 1. Analisi Idrologica Fosso dei Canali

Il Fosso dei Canali è un corso d'acqua dal regime marcatamente torrentizio che scorre all'Isola d'Elba nel territorio comunale di Rio (LI), con andamento Ovest –Est.

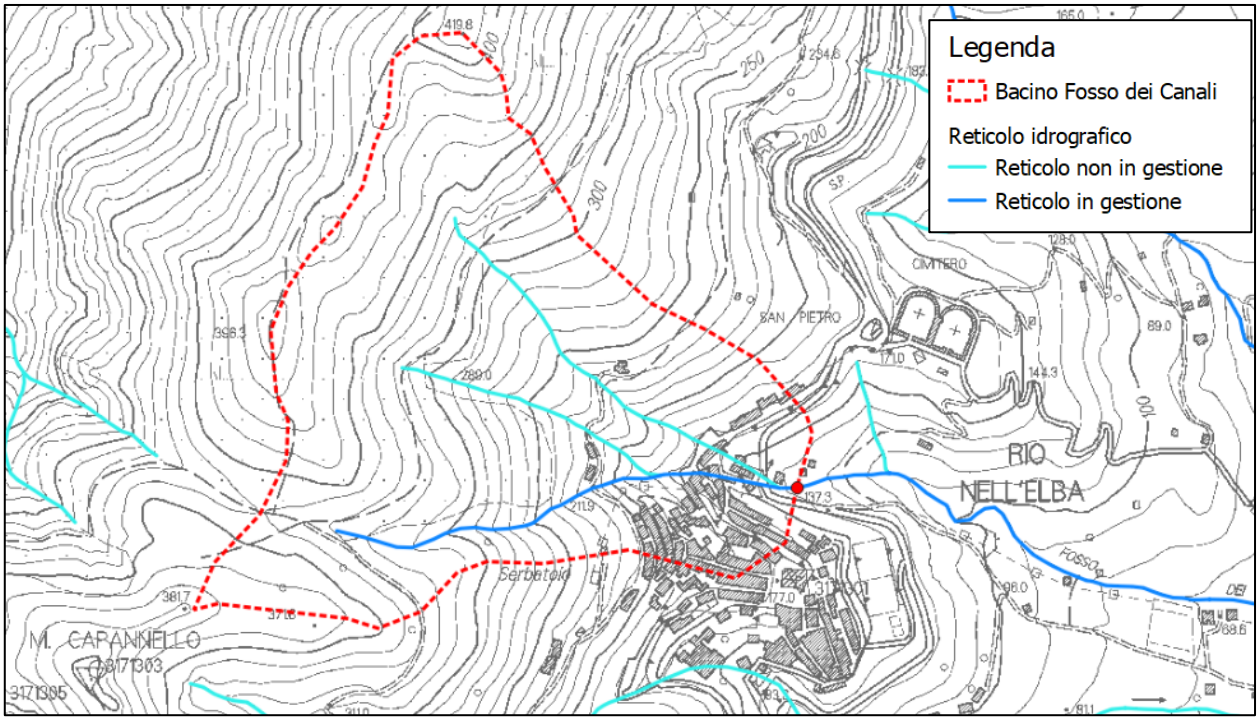


*Figura 1. Bacino Fosso dei Canali su CTR.*

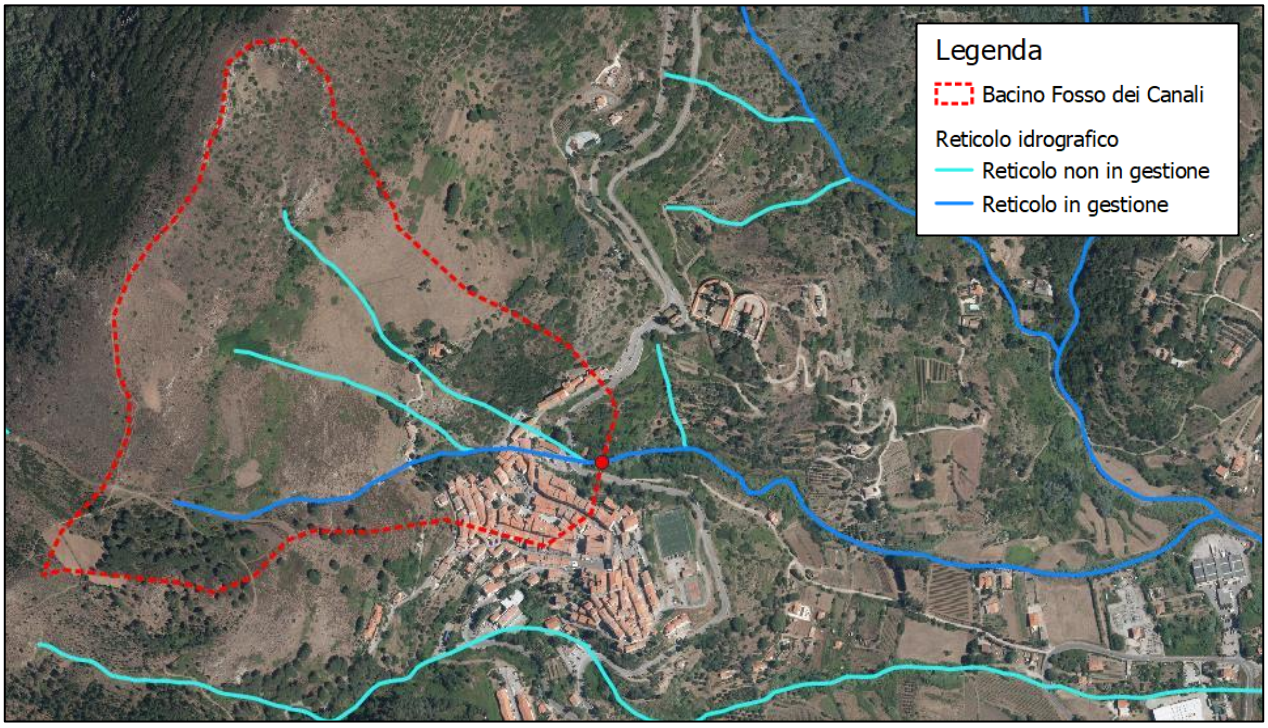


*Figura 2. Bacino Fosso dei Canali su ortofoto.*

Il corso d'acqua origina alla quota di 330 m s.l.m. sotto il Monte Capannello e sfocia nel Fosso di Grassera, o Rio del Riale o Val del Rio, a valle dell'abitato a circa 45 m s.l.m. Ai fini del presente studio il tratto considerato ha sezione di chiusura subito a valle della S.P. 33 sotto l'abitato di Rio nell'Elba, a quota di circa 137 m s.l.m.

I parametri morfologici principali del bacino studiato (area A, lunghezza dell'asta principale L, pendenza media dell'asta principale i, pendenza media del bacino $i_B$, altezza massima $H_{max}$, minima $H_{min}$, e media $H_m$ del bacino, quota massima dell'asta principale $Z_{max}$), sono stati ricavati dal DTM idrologico della Regione Toscana e sono riportati di seguito:

| | A ($km^2$) | L (km) | $H_{max}$ (m s.l.m.) | $H_{min}$ (m s.l.m.) | $H_m$ (m s.l.m.) | $Z_{max}$ (m s.l.m.) | i | $i_B$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Fosso dei Canali** | 0,29 | 0,59 | 410,00 | 137,00 | 310,00 | 330,00 | 0.327 | 0,463 |

*Tabella 1 - Parametri geomorfologici del bacino del Fosso dei Canali alla sezione di chiusura.*

### 1.1. Regime pluviometrico

L'analisi idrologica è stata condotta tenendo conto delle *linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) aggiornate, fino all'anno 2012*, dall'Università di Firenze (Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale) nell'ambito dell'accordo di collaborazione con la Regione Toscana di cui alla DGRT 1133/2012. I parametri delle LSPP aggiornate sono disponibili e consultabili al link http://www.sir.toscana.it/lspp-2012.

Nell'ambito dell'accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze, infatti, è stato effettuato un aggiornamento dell'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme [*Regione Toscana, Analisi Di Frequenza Regionale Delle Precipitazioni Estreme, Enrica Caporali, Valentina Chiarello, Giuseppe Rossi, 2014*], grazie al quale è stato possibile scaricare i parametri necessari all'analisi delle precipitazioni all'interno del territorio studiato.

Il sito del SIR fornisce i dati puntuali su una griglia di 1x1 $km^2$ per l'intera regione Toscana relativi ai parametri *a* e *n* necessari per il calcolo della pioggia di progetto attraverso la formula monomia della LSPP (Linea Segnalatrice di Probabilità Pluviometrica), comunemente espressa come:

$$h = a\, t^n$$

dove *h* è l'altezza di precipitazione espressa in mm, *t* è la durata di pioggia ed *a* e *n* sono i parametri caratteristici delle curve. Con altezza di precipitazione in un punto, comunemente misurata in mm, si

intende l'altezza d'acqua che si formerebbe al suolo su una superficie orizzontale e impermeabile, in un certo intervallo di tempo (durata della precipitazione) trascurando le perdite.

Di seguito sono riportate le piogge per varie durate e tempi di ritorno utilizzati nelle modellazioni idrologiche.

| Tr [anni] | h [mm] (t=1h) | h [mm] (t=2h) | h [mm] (t=3h) | h [mm] (t=6h) |
|---|---|---|---|---|
| 30 | 54,56 | 66,06 | 73,89 | 89,47 |
| 200 | 75,89 | 96,02 | 110,19 | 139,43 |

*Tabella 2 - Parametri pluviometrici caratteristici*

Per la modellazione idrologica su software HEC-HMS, l'andamento temporale degli eventi pluviometrici è stato schematizzato con ietogrammi sintetici rettangolari ad intensità costante. Tale schematizzazione non rappresenta l'andamento reale dell'evento di pioggia, ma porta a risultati da ritenersi cautelativi al termine della trasformazione afflussi-deflussi.

### 1.2. Perdite idrologiche

Per la determinazione dei deflussi netti corrispondente allo scorrimento superficiale dei bacini si è utilizzato il metodo del Curve Number (CN) del Soil Conservation Service. Il metodo si basa sul concetto che il flusso superficiale è nullo fino al raggiungimento di un valore di soglia di infiltrazione iniziale *Ia*, da letteratura tecnica legata alla capacità di ritenzione potenziale *S* dalla relazione:

$$Ia = 0.2 \cdot S$$

dove *S* è definita dall'espressione:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10\right) \quad [mm]$$

Il valore di S dipende quindi dal parametro adimensionale Runoff Curve Number, che può variare tra 0 e 100 ed è funzione del tipo di copertura vegetale, della tessitura del terreno, dell'uso del suolo e del grado di saturazione. Si è fatto quindi riferimento al gruppo idrologico USDA (A: suoli con deflusso superficiale basso, B: suoli con deflusso superficiale moderatamente basso, C: suoli con deflusso superficiale moderatamente alto, D: suoli con deflusso superficiale alto) grazie alla cartografia resa disponibile dal portale Geoscopio della Regione Toscana.

Per il bacino del Fosso dei Canali si ha la presenza di suoli di tipo B e D.

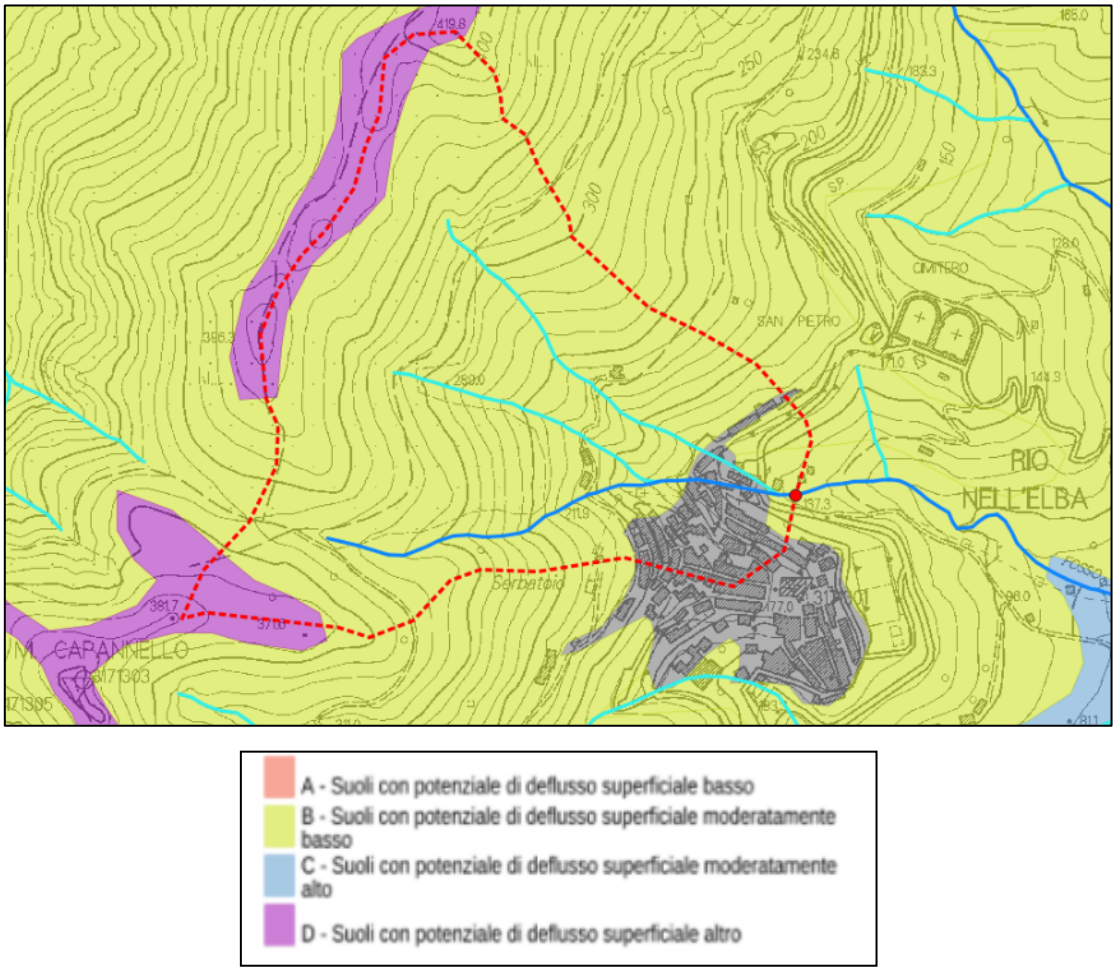


*Figura 3. Carta dei gruppi idrologici USDA*

È stato poi analizzato l'uso del suolo sulla cartografia della Regione Toscana che riporta i valori del codice Corine Land cover.

Come da figura seguente, per il bacino del Fosso dei Canali si ha una netta prevalenza del codice 333, "Vegetazione rada", e poi a seguire, tra i più rilevanti, 111 "Zone residenziali a tessuto continuo", 243 "Colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti" e 324"Vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione".

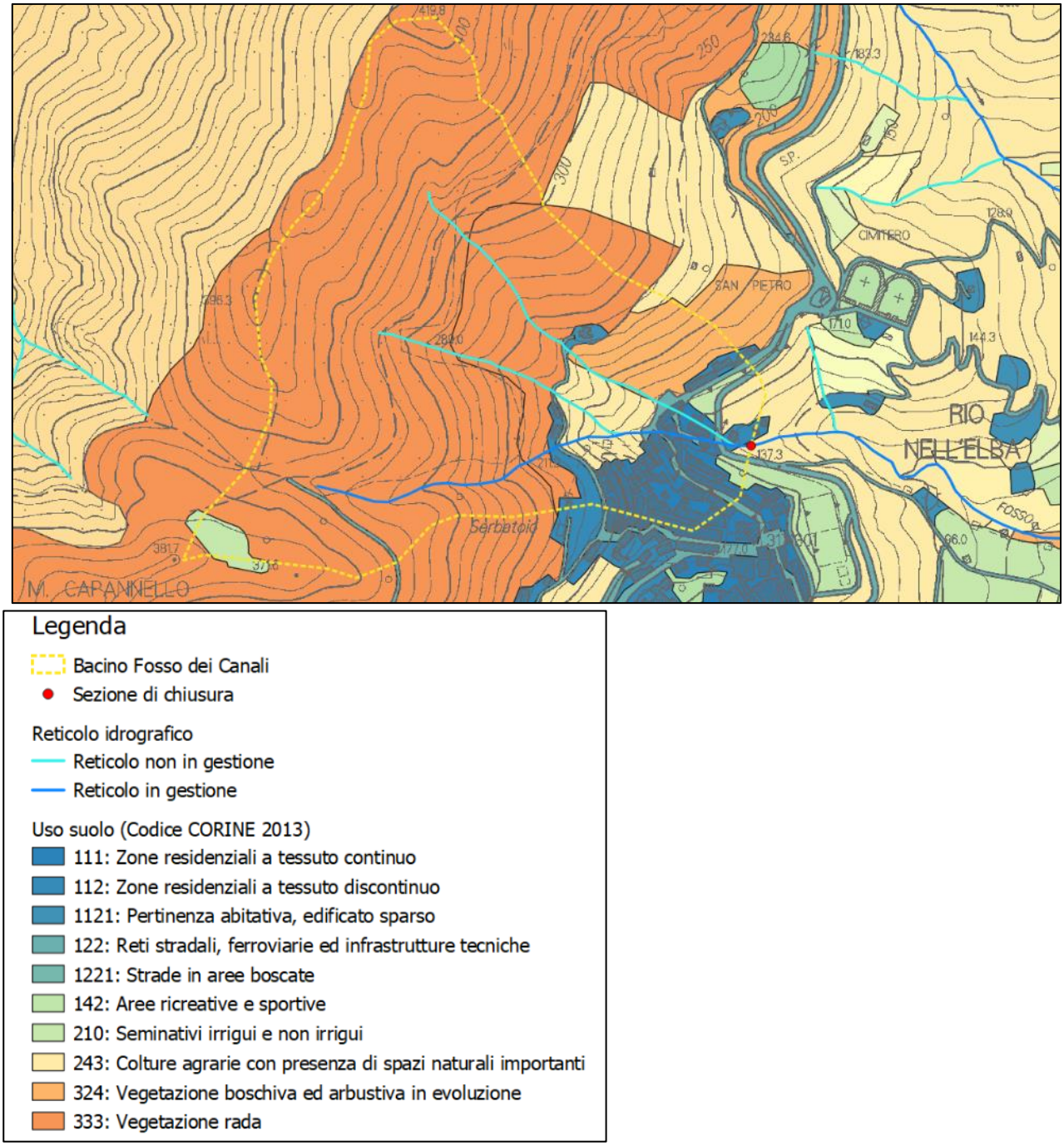


*Figura 4. Carta dell'uso del suolo (codice Corine Landsat 2013)*

Ad ogni codice CORINE è associato un valore di CN, in tabella sono riportati i valori riferiti ad una condizione media di umidità del terreno antecedente l'evento di pioggia considerato (AMC II: Antecedent Moisture Condition Classe II). Tale tabella è stata ricavata dal documento "*Modellazione idrologica caso pilota. Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC Addendum: Parametrizzazione HMS*" del novembre 2014, predisposto nell'ambito dell'Accordo di collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze per attività di ricerca per la mitigazione del rischio idraulico nella Regione Toscana.

| Codice CORINE | CN(A) | CN (B) | CN (C) | CN (D) |
|---|---|---|---|---|
| **111** | 89 | 92 | 94 | 95 |
| **112** | 77 | 85 | 90 | 92 |
| **121** | 81 | 88 | 91 | 93 |
| **122** | 98 | 98 | 98 | 98 |
| **123** | 98 | 98 | 98 | 98 |
| **124** | 98 | 98 | 98 | 98 |
| **131** | 76 | 85 | 89 | 91 |
| **133** | 77 | 86 | 91 | 93 |
| **141** | 49 | 69 | 79 | 84 |
| **142** | 68 | 79 | 86 | 89 |
| **210** | 61 | 73 | 81 | 84 |
| **211** | 61 | 73 | 81 | 84 |
| **212** | 67 | 78 | 85 | 89 |
| **213** | 62 | 71 | 78 | 81 |
| **221** | 76 | 85 | 90 | 93 |
| **222** | 43 | 65 | 76 | 82 |
| **223** | 43 | 65 | 76 | 82 |
| **231** | 49 | 69 | 79 | 84 |
| **241** | 61 | 73 | 81 | 84 |
| **242** | 61 | 73 | 81 | 84 |
| **243** | 61 | 73 | 81 | 84 |
| **244** | 43 | 65 | 76 | 82 |
| **311** | 36 | 60 | 73 | 79 |
| **312** | 36 | 60 | 73 | 79 |
| **313** | 36 | 60 | 73 | 79 |
| **321** | 49 | 69 | 79 | 84 |
| **322** | 49 | 69 | 79 | 84 |
| **323** | 35 | 56 | 70 | 77 |
| **324** | 35 | 56 | 70 | 77 |
| **331** | 46 | 65 | 77 | 82 |
| **332** | 96 | 96 | 96 | 96 |
| **333** | 63 | 77 | 85 | 88 |
| **334** | 63 | 77 | 85 | 88 |
| **335** | 98 | 98 | 98 | 98 |
| **411** | 98 | 98 | 98 | 98 |
| **412** | 98 | 98 | 98 | 98 |
| **421** | 98 | 98 | 98 | 98 |
| **422** | 98 | 98 | 98 | 98 |
| **423** | 98 | 98 | 98 | 98 |
| **511** | 98 | 98 | 98 | 98 |
| **512** | 98 | 98 | 98 | 98 |
| **521** | 98 | 98 | 98 | 98 |
| **522** | 98 | 98 | 98 | 98 |
| **523** | 98 | 98 | 98 | 98 |

*Tabella 3 –Parametri CN relativi alla classe II di umidità per le quattro classi litologiche e per i vari tipi di uso del suolo. Fonte: Regione Toscana*

Le classi AMC esprimono la condizione di umidità del suolo e fanno riferimento alla sua capacità di filtrazione relativamente all'ammontare di pioggia nei 5 giorni antecedenti l'evento:

| Classe AMC | Precipitazione nei 5 giorni precedenti [mm] | |
|---|---|---|
| | Stagione di riposo | Stagione di crescita |
| 1 | <13 | <36 |
| 2 | 13-28 | 36-54 |
| 3 | >28 | >54 |

*Tabella 4 – Classi AMC*

La classe AMC identifica le condizioni di saturazione del suolo nel suo strato superficiale nei giorni precedenti l'evento pluviometrico; il valore è considerato basso quando c'è stata poca precipitazione ed alto quando una considerevole quantità di pioggia è caduta nei cinque giorni precedenti all'evento. Ai fini modellistici le condizioni AMC II sono considerate condizioni medie, mentre le AMC III sono utilizzate per la caratterizzazione di eventi estremi. Per il passaggio da una classe all'altra valgono le seguenti relazioni:

$$CN\,(I) = \frac{CN\,(II)}{2.3 - 0.013\,CN(II)} \qquad CN\,(III) = \frac{CN\,(II)}{0.43 + 0.0057CN(II)}$$

Mediando arealmente i valori di CN sulla base del tipo di suolo e di vegetazione si ottengono i seguenti valori di riferimento:

| Bacino | CN (II) | CN (I) | CN (III) |
|---|---|---|---|
| Fosso dei Canali | 77 | 60 | **89** |

*Tabella 5 – Valori del CN per il bacino d'interesse*

Per il presente studio si utilizza cautelativamente il CN III.

## 2. Trasformazione afflussi deflussi

La trasformazione da afflussi netti (precipitazione epurata dalle perdite idrologiche) a deflussi è stata eseguita con il metodo di trasformazione dell'idrogramma unitario SCS, un idrogramma unitario sintetico, ottenuto da una serie di idrogrammi unitari di numerosi bacini, reso adimensionale in funzione della durata del ramo ascendente dell'idrogramma $T_p$ e della portata al colmo $Q_p$ per i vari sottobacini individuati.

La valutazione del tempo di corrivazione è stata effettuata mediando i valori che si ottengono da molteplici formulazioni impiegate in letteratura, idonee per bacini di piccole dimensioni:

- formula di Ventura:

$$T_c = 0.127 \left(\frac{A}{i_B}\right)^{0.5}$$

- formula di Pasini:

$$T_c = 0.108 \frac{(AL)^{0.33}}{i^{0.5}}$$

- formula di Ferro:

$$T_c = 0.675\, A^{0.5}$$

- formula di Giandotti:

$$T_C = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8H_m}$$

- Formule PIN Regione Toscana:

$$T_C = \frac{0.17}{0.6} L$$

$$T_C = \frac{0.32}{0.6} A^{0.5}$$

dove $A$ è la superficie del bacino in km$^2$, $L$ la lunghezza dell'asta principale in km, $i$ la pendenza media del corso d'acqua, $i_B$ la pendenza media del bacino.

Si riportano i valori dei tempi di corrivazione ottenuti dalle varie formule. Ai fini della modellazione con l'idrogramma unitario SCS, serve calcolare il tempo di ritardo, che si assume pari a 0.6 volte il tempo di corrivazione medio, e viene inserito nella modellazione in minuti.

| Bacino | **Ventura (h)** | **Pasini (h)** | **Ferro (h)** | **Giandotti (h)** | **PIN 1 (h)** | **PIN 2 (h)** | **Tc medio (h)** | **T rit (min)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Fosso dei Canali** | 0,10 | 0,11 | 0,36 | 0,22 | 0,17 | 0,29 | **0,21** | 7 |

*Tabella 6 – Tempi di corrivazione (h) e tempo di ritardo (min)*

## 2.1. Risultati della modellazione afflussi-deflussi

Si riportano gli idrogrammi di piena, ottenuti per le durate di 1, 2, 3 e 6 ore e per i diversi tempi di ritorno alla sezione di chiusura. La durata critica in termini di picco è quella oraria, a dimostrazione di un bacino a risposta rapida.

| $Q_{30}$ (mc/s) | $Q_{200}$ (mc/s) |
|---|---|
| 3,4 | 5,2 |

*Tabella 7 – Valori di picco degli idrogrammi di piena*

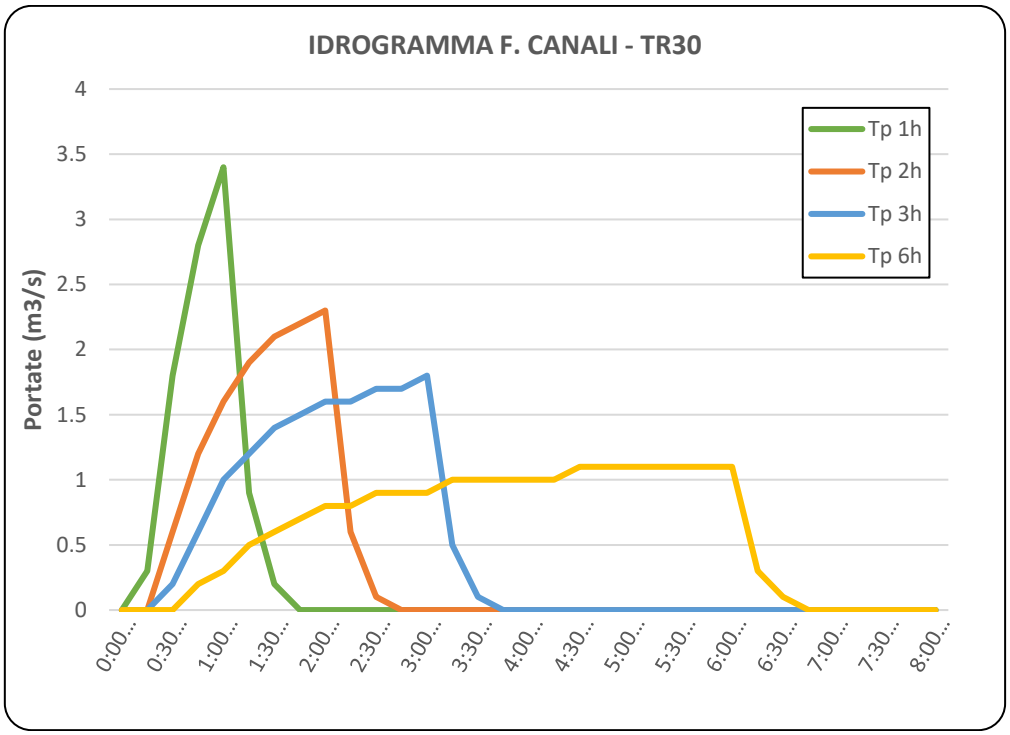


*Figura 5. Idrogrammi di piena Fosso dei Canali per Tr 30*

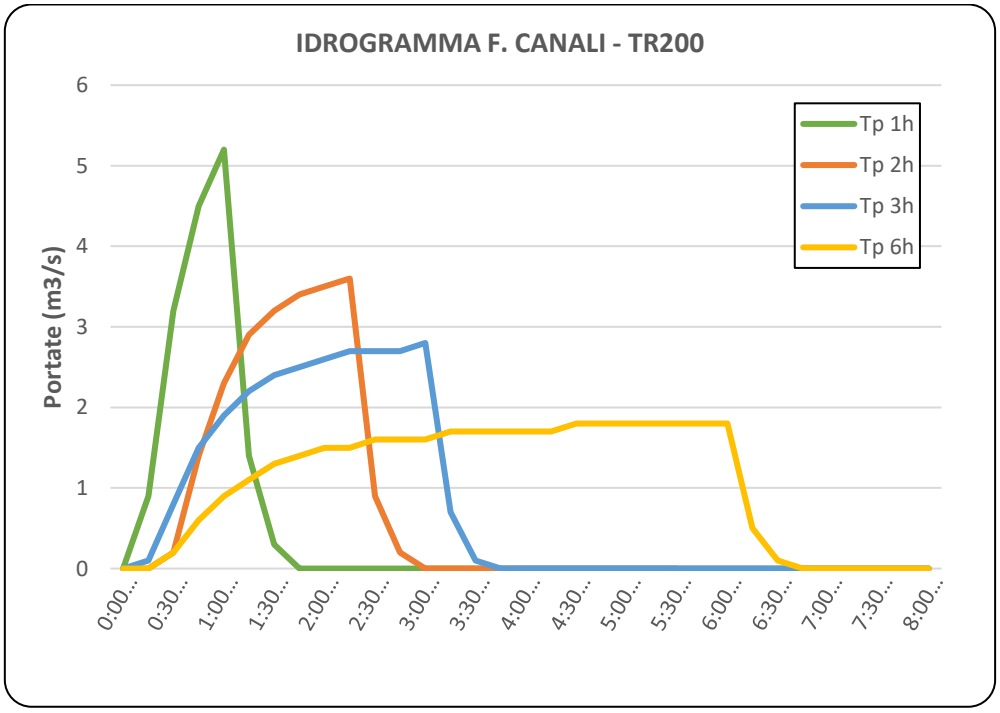


*Figura 6. Idrogrammi di piena Fosso dei Canali per Tr 200*

# 3. Verifica a trascinamento delle opere

Da un punto di vista idraulico la realizzazione di platea di corazzamento del fondo, tratti di scogliere spondali e di muretti, tutte funzionali alla protezione delle aree soggette a forte erosione, non alterano il regime della corrente, né aumentano o diminuiscono la capacità di deflusso della sezione.

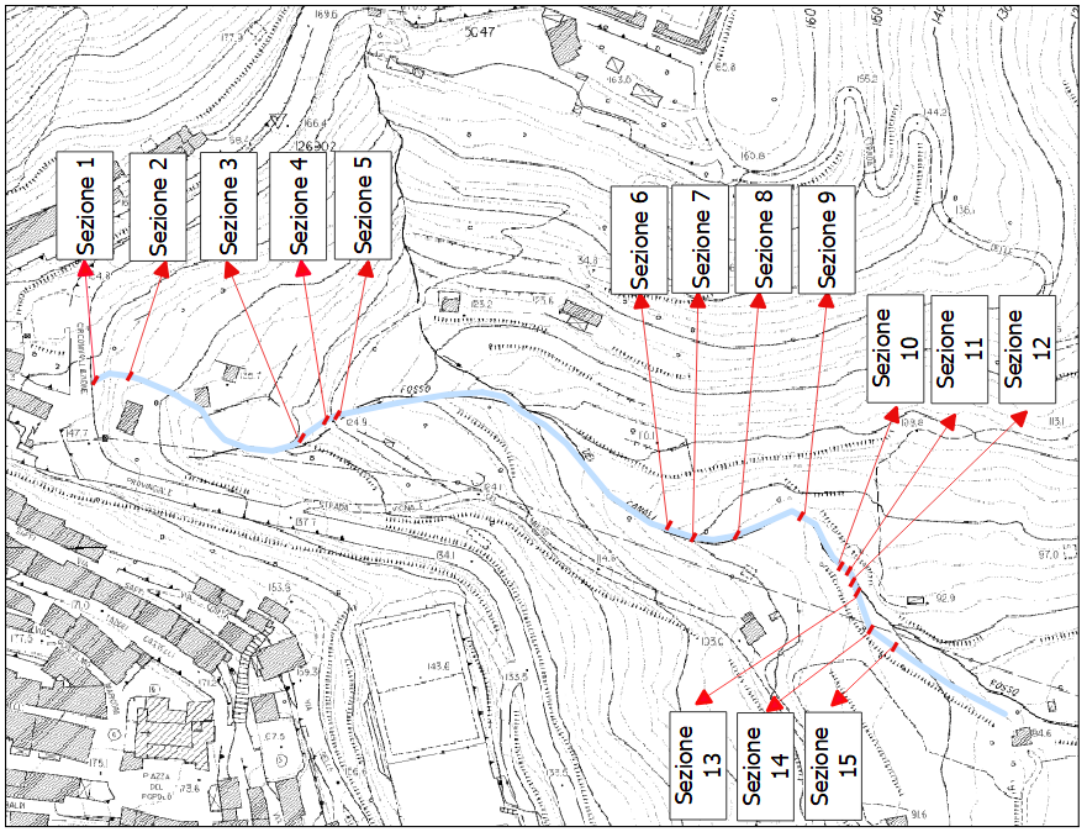


*Figura 7. Localizzazione sezioni fosso in planimetria.*

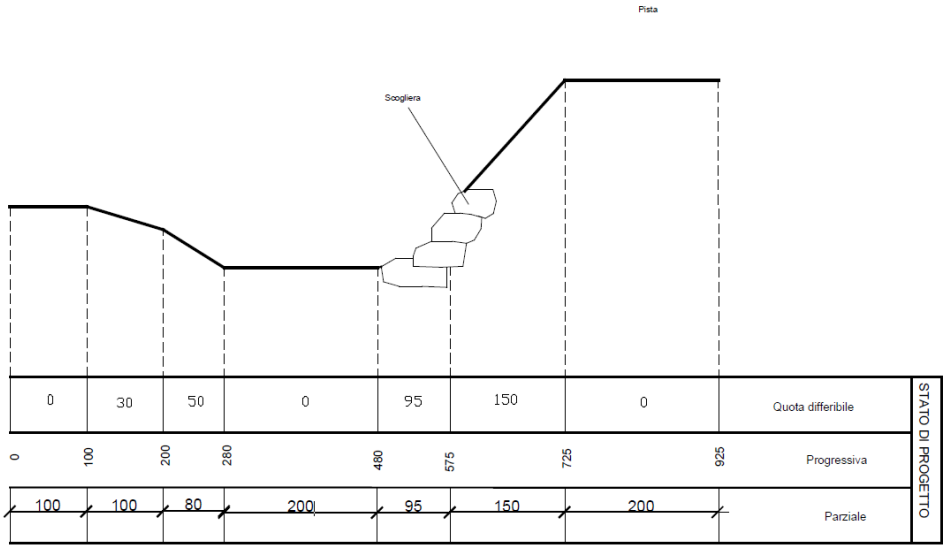


*Figura 8. Sezione n. 13 con scogliera spondale in massi intasati in cls.*

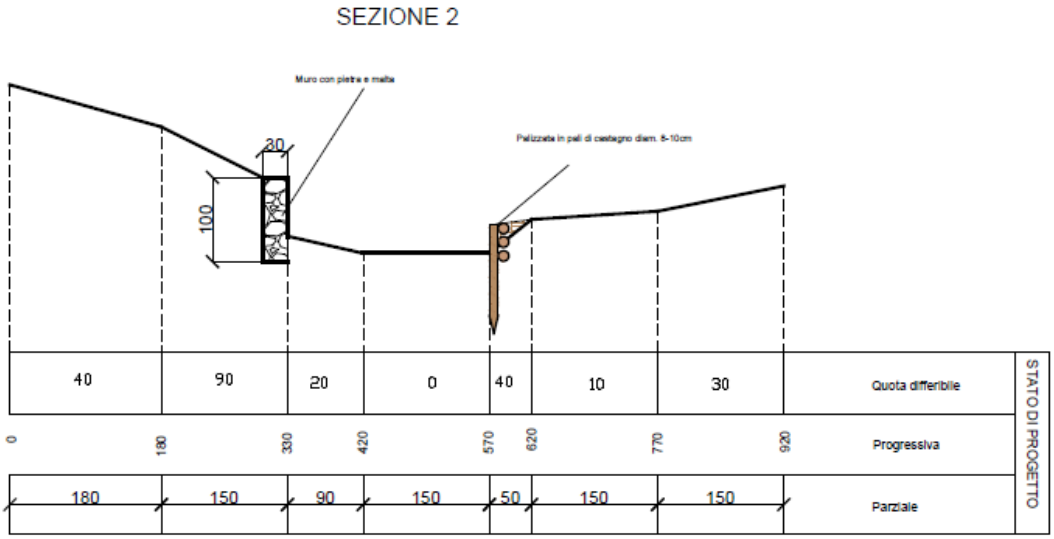


*Figura 9. Sezione n. 2 con muretto in muratura di pietrame e malta di cemento a difesa di sponda (e palizzata).*

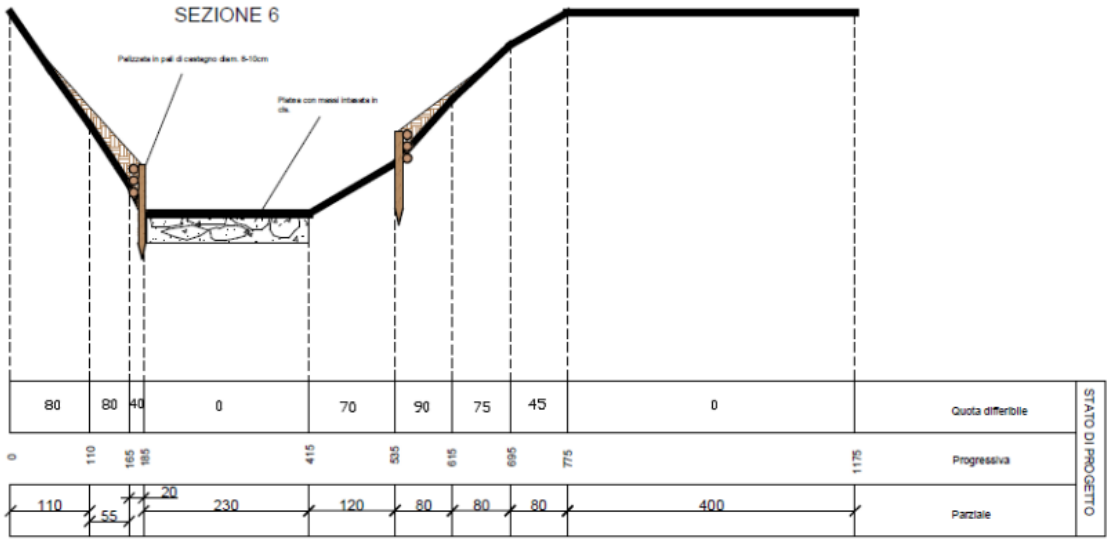


*Figura 10. Sezione n. 6 con platea in massi affogati nel cls a corazzamento del fondo.*

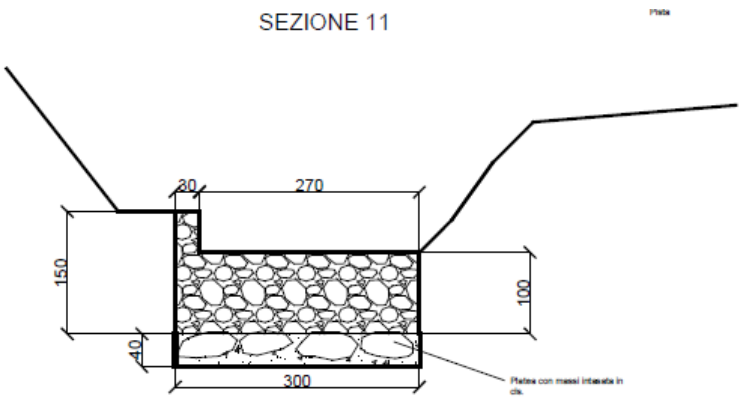


*Figura 11. Sezione n. 11 con platea in massi affogati nel cls a corazzamento del piede della briglia esistente.*

Considerando tipologia e localizzazione degli interventi, come riportato nelle immagini precedenti, si verifica la stabilità dei massi costituenti platea e scogliera longitudinale e del pietrame costituente i muri spondali, tramite il criterio di Shields.

Il criterio di inizio del trasporto di sedimenti proposto da Shields (1936) consiste nella definizione di un valore minimo di soglia $\vartheta_{cr}$ della tensione dimensionale di Shields:

$$\theta = \frac{\tau_0}{(\rho_s - \rho) \cdot gD}$$

con $\tau_0$ tensione tangenziale (mediata rispetto alle fluttuazioni turbolente) esercitata dal fluido sul fondo, in funzione del numero di Reynolds dei sedimenti:

$$\mathrm{Re}* = \frac{\sqrt{\tau_0 / \rho}}{\nu} \cdot D$$

Al legame ($\vartheta$ - $R_e^*$) è tuttavia preferibile sostituire il legame esplicito ($\vartheta$ - $R_p$) con:

$$Rp = \frac{\sqrt{(s-1) \cdot gD^3}}{\nu}$$

Questo legame si può ben approssimare con la seguente espressione (Brownlie, 1981):

$$\theta_{cr} = 0.22 R_p^{-0.6} + 0.06 \exp\left(-17.77 R_p^{-0.6}\right)$$

Dato un certo diametro e certe condizioni idrauliche, se $\vartheta > \vartheta_{cr}$ allora il materiale si mobilita, altrimenti si ha assenza di trasporto al fondo.

La formulazione sopra esposta fa riferimento ad una superficie orizzontale e non inclinata come nel caso delle sponde, pertanto una volta calcolato il valore D del diametro delle particelle che non comporta la mobilità dei sedimenti, si corregge il valore calcolato applicando un coefficiente che tiene conto dell'effettiva inclinazione della sponda e dell'angolo di attrito del materiale utilizzato.

$$D_s = \frac{D}{\cos\alpha \cdot \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \alpha}{\tan^2 \phi}}}$$

essendo $D_s$ il **minimo** valore del diametro delle particelle che non consente la mobilità, D il valore del diametro calcolato su fondo piano, α l'angolo d'inclinazione della sponda e Ø l'angolo di attrito

del materiale utilizzato. Utilizzando le grandezze idrauliche ricavate dalle verifiche condotte si ottengono i riferimenti dimensionali dei massi e del pietrame riportati in tabella seguente:

| Sezione - Opera | s [--] | ν [m²/s] | D [m] | Y [m] | $i_f$ [--] | $R_p$ [m/s] | $\theta_{cr}$ N/mq | θ N/mq | Verifica trascinamento | α [°] | Φ [°] | $D_s$ [m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Muretto pietrame e malta** | *2.6* | *0.000001* | *0.4* | *0.80* | *0.05* | *1002269.42* | *0.059788* | *0.059394* | ***ok*** | *65* | *75* | ***1.16*** |
| **Scogliera spondale in massi affogati in cls** | *2.6* | *0.000001* | *0.6* | *1.00* | *0.06* | *1841286.51* | *0.059853* | *0.059596* | ***ok*** | *55* | *75* | ***1.13*** |
| **Platea in massi affogati** | *2.6* | *0.000001* | ***0.7*** | *1.50* | *0.05* | *2320286.19* | *0.059872* | *0.05974* | | | | |

*Tabella 8 – Grandezze idrauliche per la verifica a trascinamento dei massi delle scogliere a difesa spondale.*

dove:

- s, densità relativa (rapporto fra densità del sedimento e dell'acqua in condizioni ordinarie);
- ν, viscosità cinematica dell'acqua;
- D, diametro minimo del materiale costituente l'opera;
- Y, altezza d'acqua;
- $i_f$, pendenza del fondo;
- α, inclinazione sponde;
- Φ, angolo attrito materiale;
- $D_s$, dimensione dei massi della scogliera corretto per tener conto dell'inclinazione delle sponde.

Dall'analisi dei risultati, considerando che tutte le opere prevedono o malta di cemento o calcestruzzo, come materiale legante rispettivamente il pietrame e i massi, si deduce che la messa in opera di pietrame con diametro nominale di **almeno 1,2 m** è sufficiente a garantire la verifica a trascinamento del pietrame costituente i muretti spondali; analogamente la scogliera in massi ciclopici affogati nel calcestruzzo è verificata a trascinamento con l'impiego di massi con diametro nominale di **almeno 1,1 m.** Infine, la soglia in massi affogati in calcestruzzo dovrà essere costituita da materiale con diametro nominale pari **almeno a 0,7 m sul fondo alveo**.