

IMPIANTO AGROVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA  
DA FONTE SOLARE DENOMINATO "CRACO" DI POTENZA NOMINALE  
PARI A 18,0 MVA E POTENZA INSTALLATA PARI A 19,998 MW

REGIONE BASILICATA  
PROVINCIA di MATERA  
COMUNE DI CRACO

PROGETTO DEFINITIVO

Tav.:

Titolo:

R13

Relazione Idraulica

Scala:

Formato Stampa:

Codice Identificatore Elaborato

n.a.

A4

R13\_RelazioneIdraulica\_13

Progettazione:

Committente:



**Dott. Ing. Fabio CALCARELLA**

Via B. Ravenna, 14 - 73100 Lecce  
Mob. +39 340 9243575  
fabio.calcarella@gmail.com - fabio.calcarella@ingpec.eu

**BEE Craco s.r.l.**

Largo Michele Novaro 1/A  
CAP 43121 - PARMA (PR)  
PEC - beecraco@pec.it

Dott. Geol. Gianluca SELLERI  
Via Francesco Lo RE, 6  
73100 - LECCE  
Tel: +39 3929534082  
E-mail: geologgianlucaselleri@gmail.com



Data	Motivo della revisione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
Ottobre 2021	Prima emissione	GS	FC	BEE Craco Srl

## Indice

1	– PREMESSA.....	2
2	- MODELLO GEOMORFOLOGICO.....	1
3	- INTERFERENZA CON LA RETE IDROGRAFICA E PERICOLOSITA' IDRAULICA .....	3
4	– CALCOLI IDROLOGICI .....	4
5	– VERIFICHE IDRAULICHE ED INDIVIDUAZIONE DELLE INTERFERENZE.....	6
5.1	Verifiche idrauliche: input .....	9
5.1.1	– Dati geometrici .....	9
5.1.2	– Dati idraulici .....	10
5.2	Verifiche idrauliche: output.....	11
6	– CONCLUSIONI.....	14

## 1 – PREMESSA

La presente relazione idraulica è stata redatta in riferimento al progetto di realizzazione di un nuovo parco fotovoltaico localizzato nel territorio comunale di Craco, in provincia di Matera. Il sito d'interesse ricade più precisamente in un'area collinare compresa nei fogli 507064 (area impianto) e 507022 (area sottostazione) della CTR in scala 1:5000 della Regione Basilicata, delimitata a NE dalla dorsale di Craco e dal sottostante T. Bruscata ed a SO dalla dorsale di Monte Tre Confini

In particolare, il sito di impianto, caratterizzato da altitudine media pari a 178 m circa e da pendenza media pari a circa 11°, risulta attraversato da un blando reticolo idrografico, individuato sulla cartografia tecnica e composto di poche aste di basso grado, che, a valle, confluiscono nel più importante fiume Agri. Il Sito della Sottostazione, invece, è costituito da un'area sub-pianeggiante ubicata in Piane Carosiello, che si estende ad una quota media di circa 80 m.s.l.m tra la dorsale su cui sorge l'abitato di Craco, a Nord, e il torrente Bruscata, a Sud, dal cui alveo dista in linea d'aria circa 100 m (figure 2.1 e 2.2).

L'area ricade globalmente nel bacino idrografico del fiume Agri.

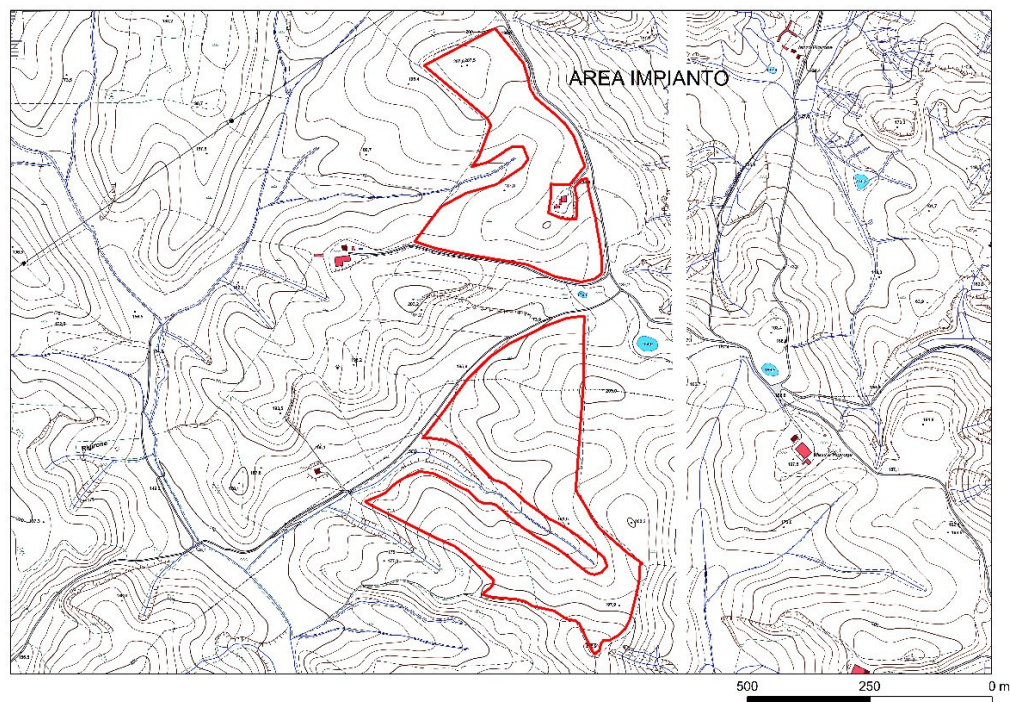
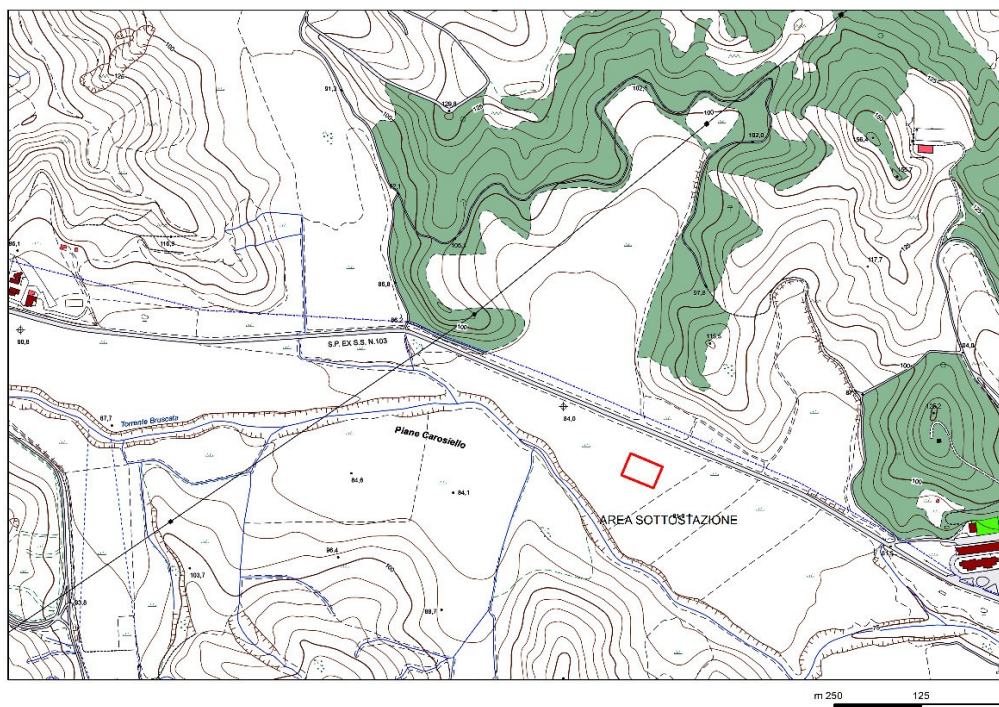


Figura 1.1: Stralcio della CTR con dettaglio del Sito di Impianto (in rosso)



*Figura 1.2: Stralcio della CTR con dettaglio del Sito di Sottostazione*

## **2 - MODELLO GEOMORFOLOGICO**

Dal punto di vista geologico l'area di sito, compresa al crocevia tra i fogli 200 "Tricarico", 201 "Matera", 211 "S. Arcangelo" e 212 "Montalbano Jonico" della Carta Geologica d'Italia, a scala 1:100.000, ricade lungo il bordo occidentale della Fossa Bradanica, ovvero in corrispondenza delle porzioni più esterne del cosiddetto Appennino Meridionale.

Nell'area affiorano unità alloctone (Unità Sicilidi) sovrascorse, lungo una superficie sub orizzontale, sui depositi clastici plio-pleistocenici dell'Avanfossa Bradanica e ricoperte, a loro volta, da conglomerati, sabbie e argille di età plio-pleistocenica, deformati dal continuo avanzamento del fronte della catena.

La base stratigrafica è costituita dalla Piattaforma Apula, ribassata a gradoni, verso est, da faglie dirette ad alto angolo (figura 3.1).

Gli effetti dei movimenti delle falde appenniniche, vergenti verso NE, si manifestano attraverso la ricorrente interruzione della continuità delle formazioni bradaniche plioceniche (a dominanza argilloso-sabbiosa) dovuta alla risalita di porzioni di alloctono appenninico.

I terreni alloctoni sono rappresentati dalle 'Argille Varicolori' (Cretaceo-Oligocene), sulle quali poggiano in discordanza depositi post- pliocenici.

Secondo Carbone (*Carbone et al., 1991*), gli affioramenti delle Unità Sicilidi sono dovuti ad un complesso sistema di falde di ricoprimento, estremamente tettonizzate a causa di successive fasi deformative.

L'avanzamento delle unità alloctone è avvenuto fino al Pleistocene medio, visto che a letto delle unità sovrascorse sono stati trovati depositi del Pleistocene inferiore (Balduzzi et alii, 1982).

Le strutture tettoniche osservate nell'area, come riscontrabile sulla Carta Geologica, sono lateralmente discontinue. La variabilità laterale nella geometria delle strutture è in parte legata alla presenza di numerose faglie ad orientazione antiappenninica che dislocano le strutture compressive.

Nell'area di Craco i depositi pliocenici e le Argille Varicolori formano una monoclinale immergente verso nord-est, situata a tetto di un retroscorrimento principale che porta le Argille Varicolori sulle argille del secondo ciclo. Il contatto tettonico, inclinato di circa 60° verso NE, è ben visibile da Fosso Bruscata, lungo il versante meridionale della collina di Craco.

Sotto l'aspetto litostratigrafico si rileva che in corrispondenza del sito di impianto il substrato geologico è rappresentato da argille e argille marnose grigio-azzurre o giallastre del Pliocene medio-superiore, ascrivibili all'unità delle Argille Subappennine (Calabriano) il cui spessore complessivo è di circa 200 m, mentre in corrispondenza del sito dove sorgerà la sottostazione il substrato è composto da depositi alluvionali recenti, della granulometria della sabbia e dei ciottoli, talvolta incisi dagli alvei attuali. Si tratta di terreni in generale poco permeabili.

La morfologia del sito risente molto del complesso assetto tettonico e stratigrafico sopra descritto. L'area è interessata da numerosi movimenti di massa che assumono maggiore importanza, in termini di sviluppo, lungo il versante sud-occidentale di Craco. Questa accentuata franosità risulta essere in stretto rapporto con la presenza di un movimento di grandi dimensioni, che può essere riconducibile ad una Deformazione Gravitativa Profonda di Versante (DGPV).

Il movimento gravitativo profondo è delimitato verso monte dalla presenza di due trincee allineate nella parte alta del versante sud-occidentale. Il limite inferiore del movimento ha, invece, interessato il fondovalle del torrente Bruscata che nel tempo ha subito uno spostamento del proprio percorso verso SW dando vita ad un andamento arcuato e determinando l'erosione della sponda opposta, come si può osservare dalle carte geomorfologiche (figura 2.1).



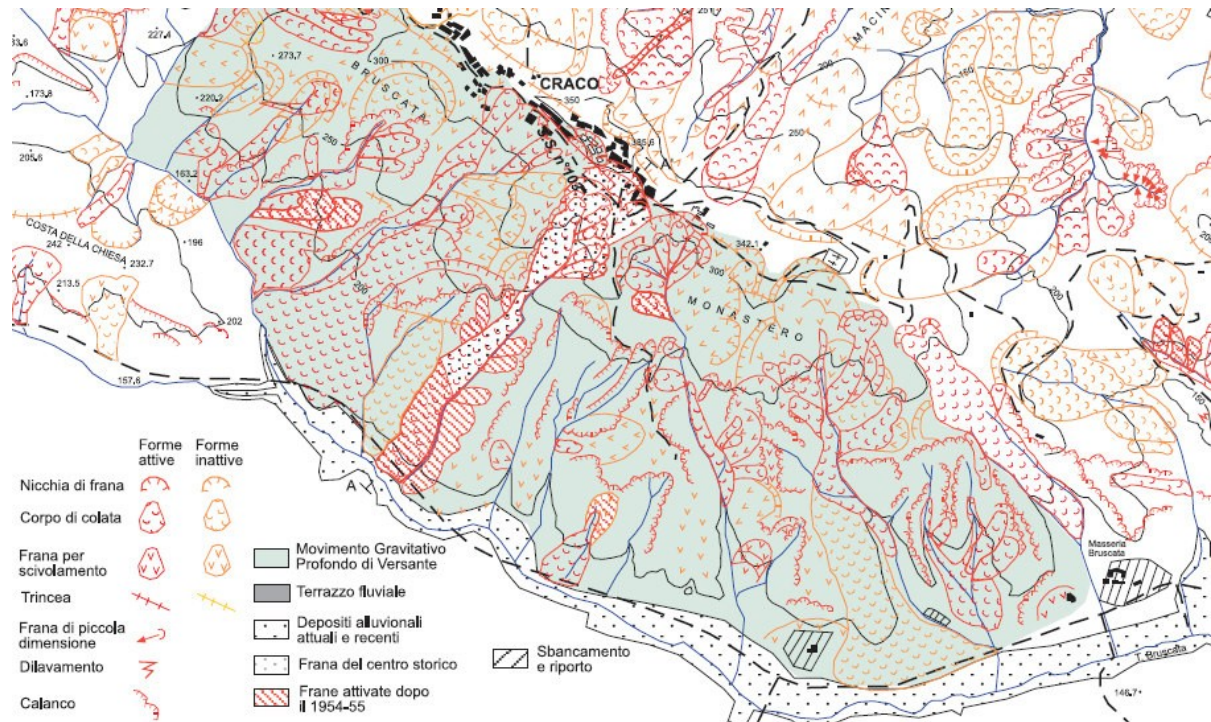


Figura 2.1: Stralcio di Carta Geomorfologica dell'area di Craco (da Bentivenga et al., 2015; modificato)

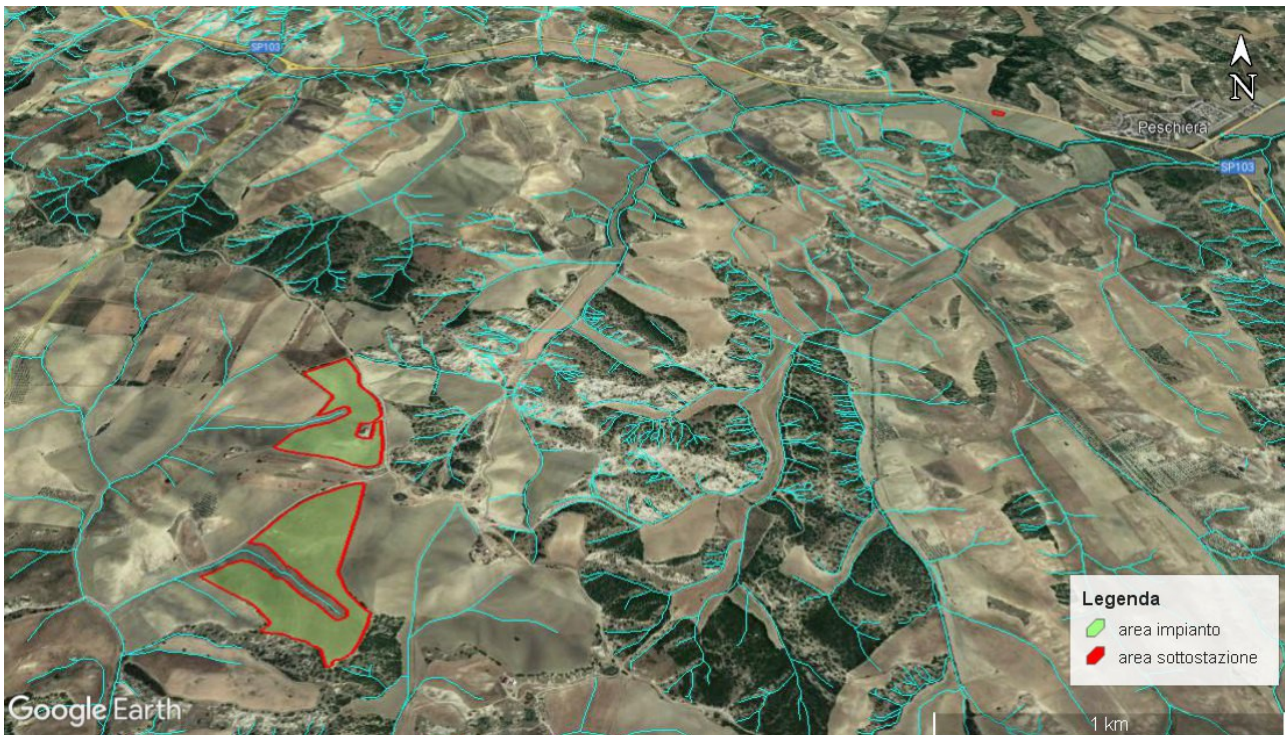
Lungo le aree di affioramento dei terreni argillosi, le acque meteoriche tendono prevalentemente a scorrere in superficie, producendo solchi erosivi piuttosto incisi, che terminano nelle aste principali del reticolo idrografico. La scarsa infiltrazione e di conseguenza l'elevato ruscellamento superficiale, favoriscono intensi fenomeni di erosione lineare ed estese aree di erosione superficiale accelerata, come testimoniato dalle numerose aree calanchive.

Il reticolo idrografico, data la natura dei terreni è piuttosto inciso e si sviluppa sotto forma di impluvi pressoché rettilinei lungo i versanti, che terminano ortogonalmente, nei corsi d'acqua presenti a fondo valle (figura 2.2). I siti di interesse non insistono su impluvi principali o secondari.

### 3 - INTERFERENZA CON LA RETE IDROGRAFICA E PERICOLOSITA' IDRAULICA

La pericolosità idraulica del territorio in cui ricadono le aree di impianto è determinata dalla dinamica idrologica del sito e quindi dalle piene che interessano la rete idrografica alle quali, comunque, considerando la scarsa importanza degli elementi idrografici presenti, non possono certo essere associati alta intensità ed effetti rilevanti. Le aste fluviali che interessano direttamente le aree in cui ricadono i siti sono infatti aste di primo ordine con un regime pluviale e carattere occasionale, di conseguenza le piene sono in diretta

connessione con le precipitazioni meteoriche e sono innescate dagli eventi pluviometrici intensi.



*Figura 2.1: Reticolo Idrografico (in blu) della Carta Geomorfologica (su immagini satellitari Google Earth, 2021)*

Rispetto alla articolazione della rete idrografica (si veda la figura 2.1) si rilevano interferenze dirette esclusivamente con i due siti su cui sorgeranno i campi fotovoltaici ((Fig. 3.1), essendo l'area della sottostazione elettrica esterna alla piana alluvionale del torrente Bruscata, così come perimetrata dall'ex AdB della Basilicata. In particolare, i due campi sono attraversati da due aste di primo ordine, riportate sulla cartografia tecnica; tanto premesso, si rileva anche che l'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale Sede Basilicata, nel cui territorio di competenza i siti ricadono, non ha cartografato aree a pericolosità idraulica.

#### **4 – CALCOLI IDROLOGICI**

Nello specifico elaborato si è proceduto al calcolo delle portate al colmo di piena dei bacini dei corsi d'acqua in esame al fine della determinazione delle modalità di deflusso in caso di eventi meteorici estremi.

I tempi di ritorno di riferimento sono pari a 30, 200 e 500 anni e corrispondono ai livelli di pericolosità idraulica "molto elevata", "elevata" e "moderata" rispettivamente.



Per la stima delle portate al colmo di piena si è fatto riferimento al rapporto VAPI Basilicata<sup>1</sup> come suggerito dalle Norme di Attuazione del "Piano di Bacino Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico (PAI)" redatto dalla ex AdB della Basilicata.



*Fig. 3.1 – Interferenze con la rete idrografica*

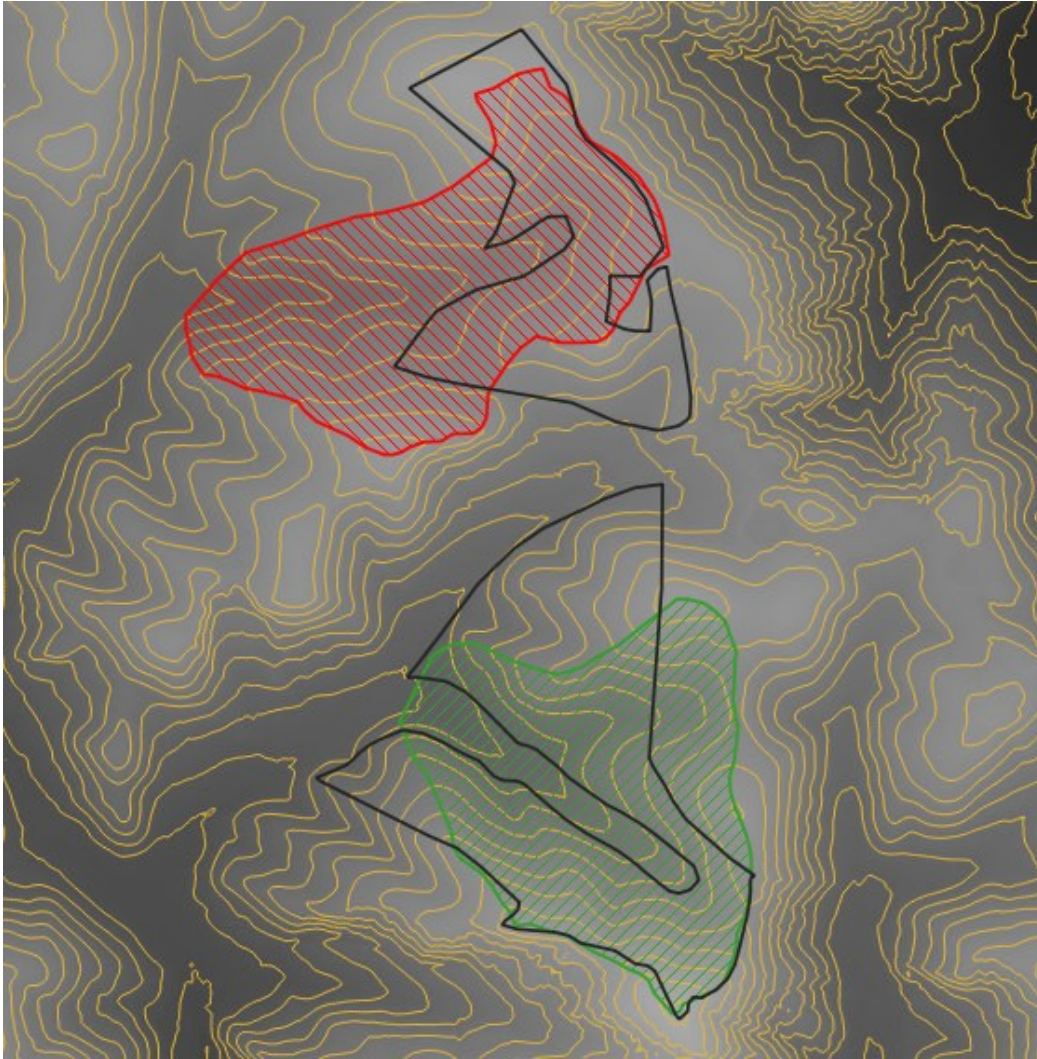
Come sezioni di chiusura per la delimitazione dei bacini idrografici di riferimento sono state scelte quelle su cui si verifica la confluenza delle aste idrografiche che attraversano i campi fotovoltaici nelle aste di ordine gerarchico superiore. La delimitazione dei bacini e delle aste idrografiche è stata effettuata utilizzando il DTM (Digital Terrain Model) attraverso i software SAGA GIs e GRASS Gis.

Nella Figura 4.1 è mostrata la delimitazione dei bacini idrografici con l'indicazione dei nomi assegnati a ciascuno di essi.

---

<sup>1</sup> Claps P., Fiorentino M.: "Valutazione delle Piene in Italia, Rapporto di sintesi per la regione Basilicata (bacini del versante ionico)", GNDCI-CNR, Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente, Università della Basilicata, Potenza, 2005.





*Fig. 4.1: Delimitazione dei bacini idrografici (Bacino 1 linea rossa e Bacino 2 linea verde) su DTM e sovrapposizione con i perimetri dei due campi fotovoltaici*

Il Bacino 1 ha una estensione di 155750 mq mentre il Bacino 2 ha una superficie di 155055 mq.

Nella tabella seguente sono presenti i valori delle portate al colmo di piena relativi ai tre tempi di ritorno di riferimento.

	Q30 (mc/s)	Q200 (mc/s)	Q500(mc/s)
Bacino 1	1.070	1.650	1.931
Bacino 2	1.066	1.644	1.923

## **5 – VERIFICHE IDRAULICHE ED INDIVIDUAZIONE DELLE INTERFERENZE**

L'analisi è stata condotta mediante l'ausilio del codice di calcolo denominato **HEC-RAS**, River Analysis System, sviluppato da U.S. Army Corps of Engineers (USACE), Hydrologic

Engineering Center per il calcolo dei profili idraulici in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o artificiali.

Il codice di calcolo necessita in primo luogo delle informazioni relative alla geometria del corso d'acqua in un'apposita sezione (*geometric data*), all'interno della quale si definiscono il corso del fiume (*reach*), la geometria delle sezioni (*cross section geometry*), la distanza fra le sezioni (*reach length*) e il coefficiente di scabrezza, rappresentativo delle perdite di carico, secondo la formulazione di Manning. In questa sezione sono disponibili altre opzioni, fra le quali la procedura di interpolazione fra una sezione e l'altra (*XS Interpolation*), per infittire il numero di sezioni; inoltre, è possibile definire la quota delle sponde (*left and right elevations*) e degli argini (*levees*) e inserire delle aree dove l'acqua arriva ma non contribuisce al deflusso (*ineffective flow areas*) e le coperture (*lids*).

Il codice di calcolo permette anche di descrivere la geometria dei ponti (*bridge and culvert data*) definendone l'impalcato (*deck/roadway*), le pile (*piers*), le spalle (*sloping abutments*) e le condizioni di calcolo (*bridge modelling approach*).

Successivamente occorre impostare la sezione relativa alle condizioni di moto (*steady flow data*), definendo la portata di riferimento per le diverse sezioni fluviali e le condizioni al contorno (*boundary conditions*).

La definizione delle condizioni al contorno è necessaria per stabilire il livello idrico iniziale nelle sezioni estreme del canale (sezione di monte e di valle).

Se il regime di deflusso è sub-critico (alveo torrentizio) è necessario imporre le condizioni al contorno nella sezione di valle del canale, se il regime di deflusso è super-critico (alveo tranquillo) tali condizioni devono essere imposte nella sezione di monte, infine in condizioni di moto misto, bisogna imporre le condizioni al contorno sia a monte sia a valle.

Le condizioni al contorno che possono essere imposte sono:

- livello noto del tirante idraulico,
- altezza di deflusso pari all'altezza critica,
- altezza di deflusso pari all'altezza di moto uniforme,
- scala di deflusso nota.

A questo punto il codice di calcolo è pronto per eseguire i calcoli idraulici nella sezione denominata *steady flow analysis*. I risultati delle computazioni idrauliche sono proposti attraverso tabelle riepilogative (*cross-section table* e *profile table*), grafici delle sezioni geometriche (*plot cross-section*) e del profilo longitudinale (*plot profile*) e, infine, tramite una visione prospettica tridimensionale del sistema fluviale (*x, y, z perspective plot*).

L'ipotesi alla base delle formulazioni per la determinazione del profilo idraulico è che il moto dell'acqua nel canale si considera uniforme. Questo significa che tutte le grandezze caratterizzanti la corrente (altezza idrica, velocità media nella sezione, portata, ecc.) risultano costanti nel tempo e nello spazio. Sotto questa ipotesi, la pendenza media disponibile  $i_m$ , definita come il rapporto fra la differenza di quota e la distanza fra la sezione di monte e quella di valle, è esattamente pari alla pendenza piezometrica  $J$ , che rappresenta le dissipazioni energetiche per unità di lunghezza.

La relazione  $i_m = J$  costituisce l'equazione fondamentale del moto uniforme.

La determinazione del profilo teorico in moto permanente è ottenuta tramite l'applicazione del cosiddetto *Standard Step Method*, basato appunto sull'equazione monodimensionale del contenuto energetico della corrente:

$$H_1 - H_2 = h_f + h_e$$

dove  $H_1$  (m) ed  $H_2$  (m) sono i carichi totali della corrente nelle sezioni di monte e di valle del tronco d'alveo considerato,  $h_f$  (m) sono le perdite di carico dovute all'attrito del fondo e delle sponde mentre  $h_e$  (m) è un termine che tiene conto degli effetti dovuti alla non cilindricità della corrente.

In particolare,  $h_f$  dipende principalmente dalla scabrezza del tratto di alveo considerato ed è esprimibile come:

$$h_f = J \cdot L$$

con  $J$  pendenza motrice nel tratto di lunghezza  $L$ (m).

Il calcolo di  $J$  è effettuabile con diverse formulazioni in funzione della pendenza motrice in corrispondenza delle sezioni di inizio e fine di ciascun tratto. Il calcolo del termine  $J$  nella singola sezione è effettuato mediante la relazione:

$$J = \left[ \frac{Q}{K} \right]^2$$

dove  $Q$  (m<sup>3</sup>/s) è la portata di calcolo e  $K$  (denominato *conveyance*) rappresenta un parametro di conducibilità, ricavabile attraverso la seguente espressione:

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

dove  $A$  (m<sup>2</sup>) l'area della sezione liquida,  $R$  (m) il raggio idraulico e  $n$  (m<sup>-1/3</sup> s) è il parametro rappresentativo della scabrezza, espresso in termini di coefficiente di Manning.

Il modello consente di suddividere la sezione in più zone in cui assegnare un valore diverso del parametro  $n$  di scabrezza; in particolare è possibile individuare tre zone principali: quella



centrale dell'alveo inciso (denominata *main channel*) e due zone laterali golenali (denominate *right and left overbanks*).

Il termine  $h_e$  dipende, invece, dalla variazione del carico cinetico della corrente tra le sezioni 1 e 2 dovuta al cambio di geometria delle sezioni stesse ed è a sua volta esprimibile come:

$$h_e = \beta \cdot \left| \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2g} - \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2g} \right|$$

dove  $\beta$  è un coefficiente di contrazione o espansione dipendente dalle condizioni geometriche del tratto considerato,  $V_1$  e  $V_2$  (m/s) sono i valori delle velocità medie agli estremi del tronco e  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  sono i coefficienti correttivi dell'energia cinetica.

Al tirante idrico in condizioni di stato critico corrisponde la massima portata teoricamente smaltibile dalla sezione, indipendentemente dalla natura del fondo e delle pareti, nonché dall'inserimento della sezione stessa in un tronco fluviale. Esso è valutato imponendo che il numero di Froude, indicato con  $Fr$ , assuma valore unitario. In termini di portata e per le sezioni in esame, si scrive

$$Fr = \frac{VA}{\sqrt{A^2 gh_m}}$$

dove  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $h_m$  il tirante idrico,  $A$  l'area bagnata della sezione, e  $V$  la velocità media della sezione. L'equazione precedente permette la determinazione dell'altezza di stato critico.

## 5.1 Verifiche idrauliche: input

Di seguito si riportano i dati di input utilizzati per l'esecuzione delle verifiche idrauliche distinguendo quelli geometrici da quelli idraulici.

### 5.1.1 – Dati geometrici

I dati geometrici inseriti in HEC-RAS per ciascun alveo sono<sup>2</sup>:

- il profilo longitudinale del canale
- i profili delle sezioni trasversali e relative distanze d'interasse
- l'identificazione dell'alveo principale e delle aree golenali
- il coefficiente di scabrezza.

---

<sup>2</sup> Lungo la rete idrografica non ci sono attraversamenti o opere idrauliche trasversali o longitudinali.

### Profilo del canale

Il profilo longitudinale del canale è stato ottenuto intersecando la sua traccia planimetrica con il modello digitale del terreno (la traccia della linea impluvio è stata estratta dal DTM con l'utilizzo del software SAGA GIS). Vista la conformazione geometrica del reticolo idrografico, si è optato per lo studio di un reticolo composto da singoli tronchi.

### Sezioni trasversali

I profili delle sezioni trasversali sono stati ottenuti intersecando il DTM con delle linee ortogonali alla direzione di ciascuna asta fluviale del reticolo (attraverso l'applicativo RAS MAPPER). Sono stati ottenuti, quindi, i profili trasversali numerati da valle verso monte riportati nelle successive figure

Per ciascuna sezione si è proceduto alla definizione delle caratteristiche geometriche e fisiche dell'alveo; come richiesto dal programma di calcolo sono state inoltre introdotte le lunghezze (*reach length*) di ciascun tratto dell'alveo centrale (*Channel*) e delle aree golenali destra (*ROB*) e sinistra (*LOB*)

### Coefficiente di scabrezza

Per il coefficiente di scabrezza  $n$  di Manning si è fatto riferimento ai valori consigliati nella Relazione di Piano redatta dall'ex AdB Basilicata per il bacino del fiume Agri ( $n = 0.040 \text{ s/m}^{1/3}$ ). Questo valore è stato imposto per tutti i tronchi in cui è stata suddivisa la rete idrografica sia per il tratto centrale (canale) che per le aree di golena destra e sinistra

### **5.1.2 – Dati idraulici**

I dati idraulici da inserire nel codice di calcolo riguardano la definizione:

- della portata di progetto
- delle condizioni al contorno e di stato critico.

### Portata di progetto

La portata di progetto è stata assunta pari a quella prodotta da un evento di pioggia con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni precedentemente calcolata. A favore di sicurezza la portata è stata considerata costante e pari al valore di colmo.

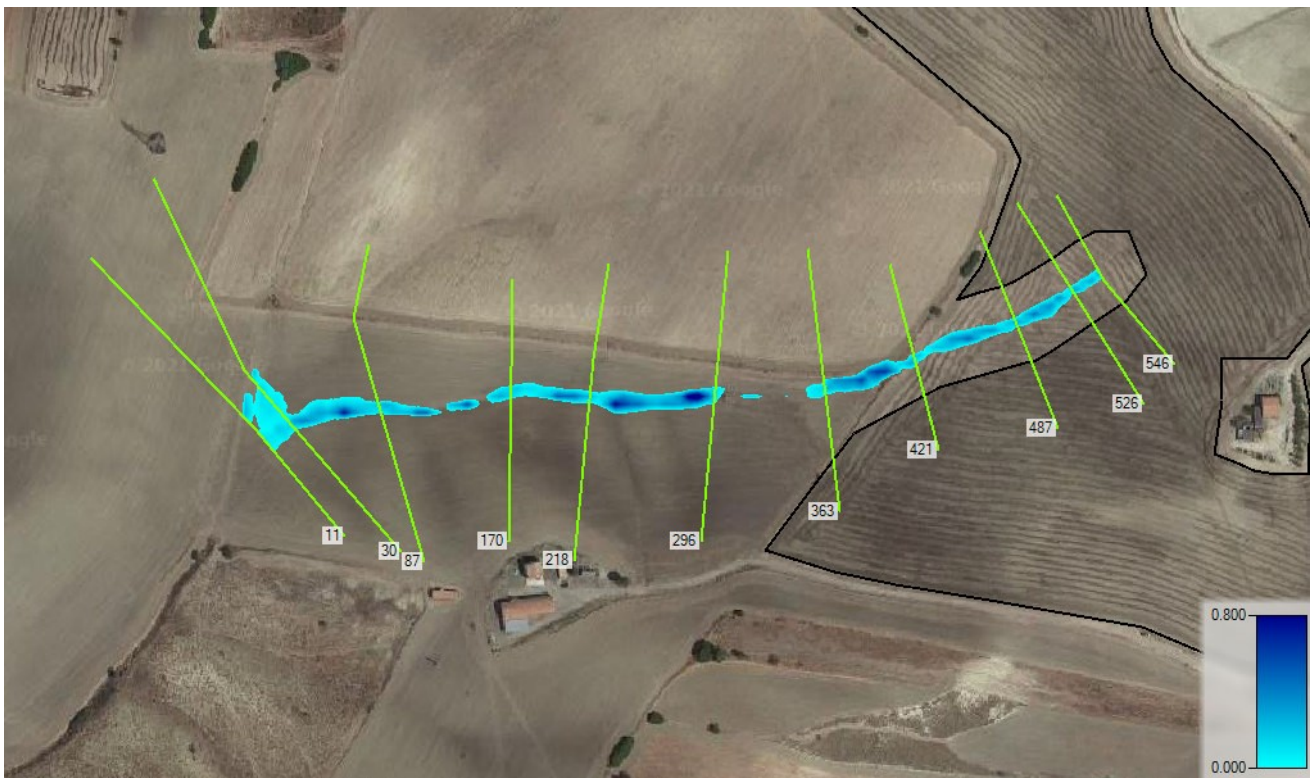
### Condizioni al contorno e stato critico

Il regime di flusso considerato è stato imposto di tipo misto e sono state definite per le due sezioni di monte e per la sezione di chiusura le seguenti condizioni al contorno:

- sezione di valle: normal depth (altezza di moto uniforme calcolata in funzione della formula di Manning calcolata dal programma previo inserimento della pendenza del fondo del canale)
- sezioni di monte: normal depth (altezza di moto uniforme calcolata in funzione della formula di Manning calcolata dal programma previo inserimento della pendenza del fondo del canale).

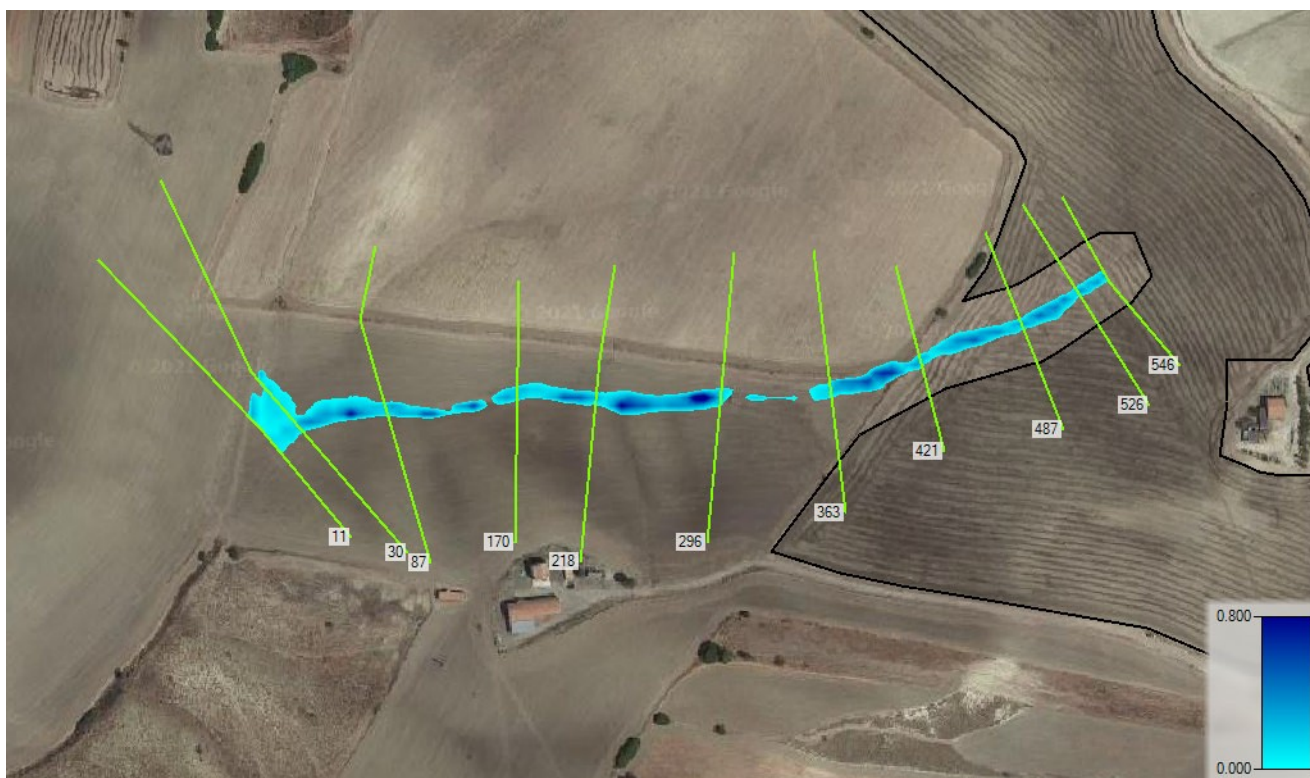
### **5.2 Verifiche idrauliche: output**

I risultati del calcolo idraulico sono riportati nelle figure successive. Nelle figure si è proceduto a perimetrare le aree inondabili per il passaggio delle piene studiate (Tr 30 anni, 200 anni e 500 anni).

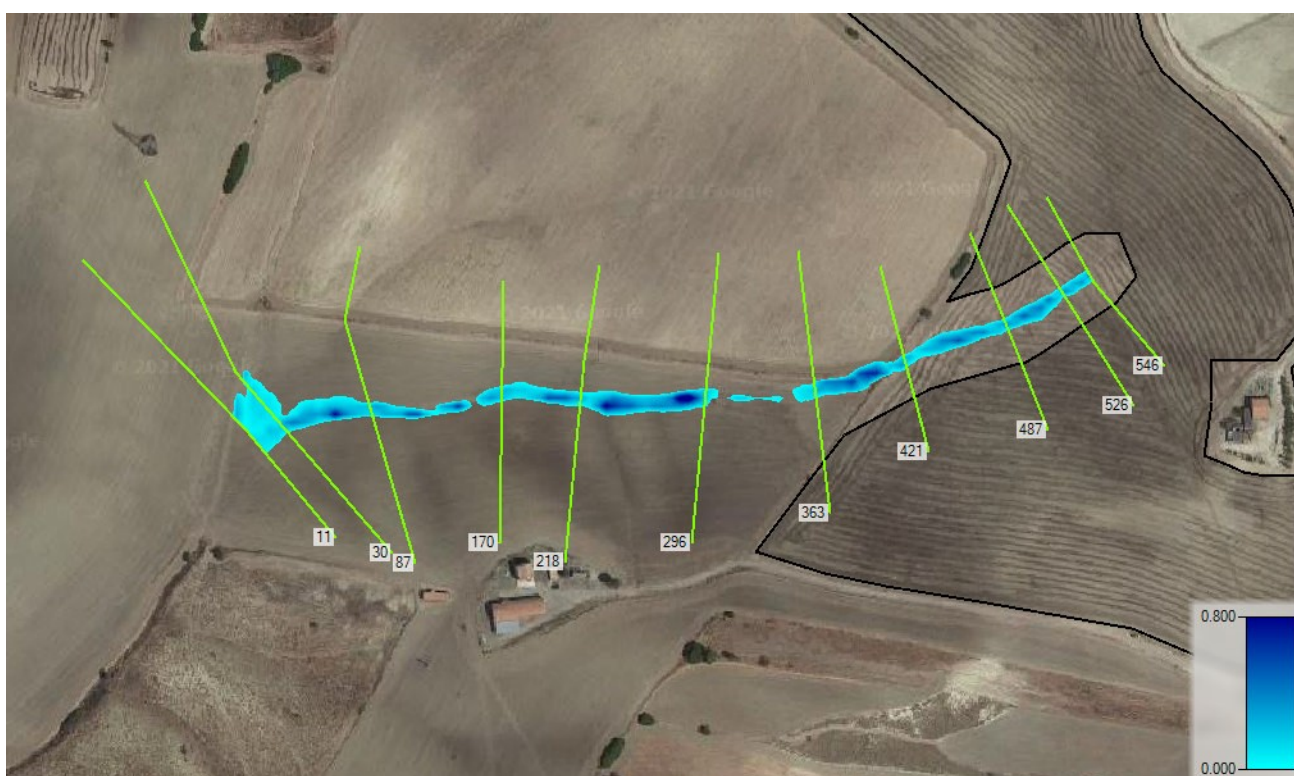


*Fig. 5.2.1 - Mappa di esondazione con tirante idrico per Tr30 anni*



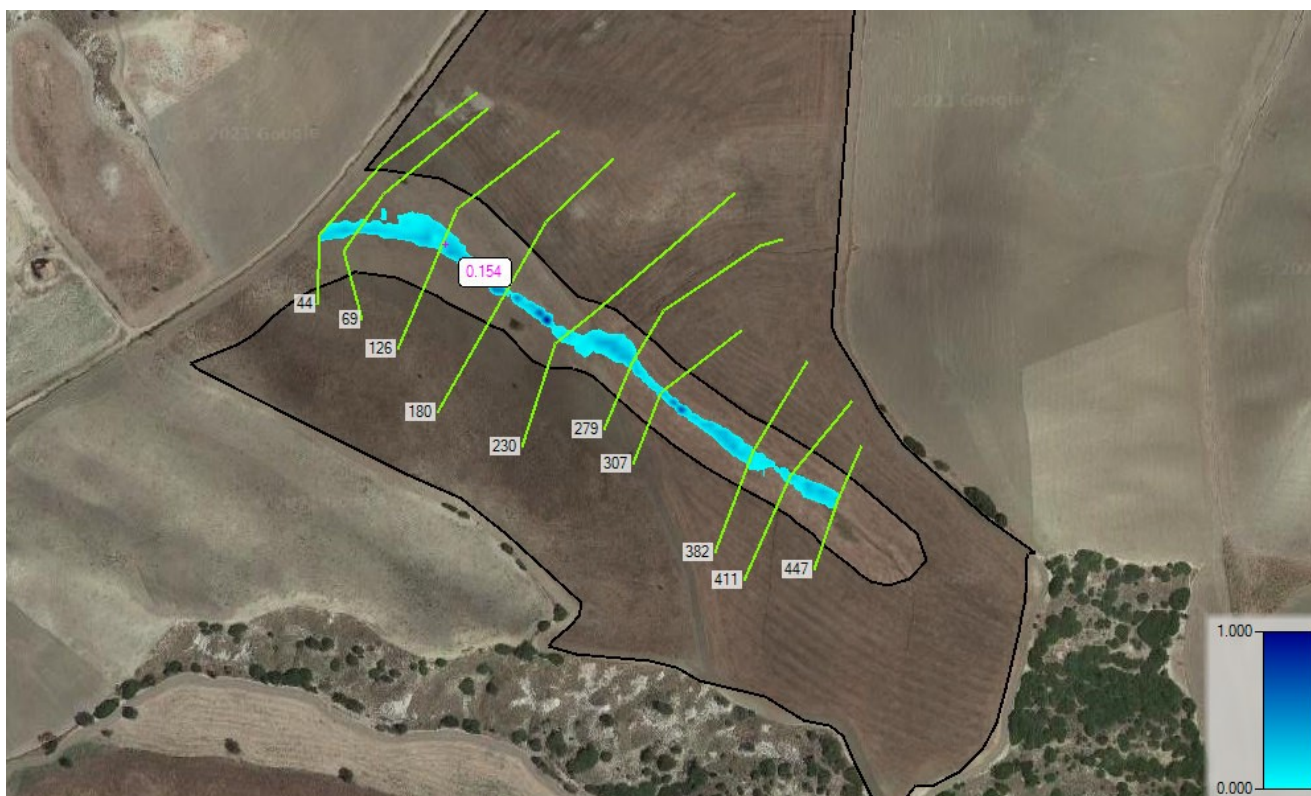


*Fig. 5.2.2 - Mappa di esondazione con tirante idrico per Tr200 anni*



*Fig. 5.2.3 - Mappa di esondazione con tirante idrico per Tr500 anni*





*Fig. 5.2.4 - Mappa di esondazione con tirante idrico per Tr30 anni*



*Fig. 5.2.5 - Mappa di esondazione con tirante idrico per Tr200 anni*



*Fig. 5.2.6 - Mappa di esondazione con tirante idrico per Tr500 anni*

## **6 – CONCLUSIONI**

Lo studio idraulico condotto ha permesso di indagare analiticamente le interazioni potenziali tra le opere di progetto e la rete idrografica e le aree di esondazione.

Tutte queste risultano nulle e le opere di progetto sono in condizione di sicurezza idraulica.

In conclusione, con riferimento alla condizione dello stato di progetto si può dunque affermare che la realizzazione delle opere non comporta modificazioni dell'assetto idraulico dell'area di intervento e nessuna variazione suo del livello di sicurezza.