



Engineering & Construction

GOLDER | **wsp**

GRE CODE

GRE.EEC.R.27.IT.P.13131.00.031.01

PAGE

1 di/of 35

TITLE: Relazione Idrologica

AVAILABLE LANGUAGE: IT

# RELAZIONE IDROLOGICA (Inquadramento) "Spinetta Marengo FV" Alessandria (AL)



File: GRE.EEC.R.27.IT.P.13131.00.031.01\_Relazione idrologica (inquadramento)

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
01	13/04/2022	Rev.01	D.Sacchi	A.Fata M.Gallina	V.Bretti
00	15/07/2021	Emissione Definitiva	D.Sacchi	A.Fata	V.Bretti

### EGP VALIDATION

Name (EGP)	Discipline EGP	PE EGP
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATE BY

PROJECT / PLANT Spinetta Marengo FV (13131)	EGP CODE																			
	GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT			SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION								
	GRE	EEC	R	2	7	I	T	P	1	3	1	3	1	0	0	0	3	1	0	1

**CLASSIFICATION** For Information or For Validation      **UTILIZATION SCOPE** Basic Design, Detailed Design, Issue for Construction, etc.

This document is property of Enel Green Power S.p.A. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power S.p.A.



Engineering & Construction

GOLDER | wsp

CODICE – CODE

GRE.EEC.R.27.IT.P.13131.00.031.01

PAGINA - PAGE

2 di/of 35

## Indice

1	PREMESSA .....	3
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	4
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO .....	8
4	IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA .....	12
4.1	ASSETTO IDROGRAFICO .....	12
4.2	ASSETTO IDROGEOLOGICO .....	14
4.3	VERIFICA DI COMPATIBILITA' GEOMORFOLOGICA CON LA CARTA DELLE ZONIZZAZIONI DEL PAI DEL FIUME PO .....	15
5	ANALISI IDROLOGICA DELL'AREA DI INTERVENTO .....	18
5.1	IDENTIFICAZIONE DEL BACINO DI PROGETTO .....	18
5.2	STIMA DELLA PRECIPITAZIONE DI PROGETTO .....	19
5.3	STIMA DELLE CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA (C.P.P) .....	19
5.3.1	C.P.P. con legge di Gumbel sulle serie storiche della stazione pluviometrica di Alessandria Lobbi.....	20
5.3.2	Calcolo del tempo di corrivazione e definizione modello afflussi-deflussi area "Guarasca" .....	24
5.3.3	Calcolo del tempo di corrivazione e definizione modello afflussi-deflussi area "La Bolla" .....	28
6	VERIFICA IDRAULICA .....	32
6.1	VERIFICA IDRAULICA AREA "GUARASCA" .....	32
6.2	VERIFICA IDRAULICA AREA "LA BOLLA".....	33
7	CONCLUSIONI .....	35

## 1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione idrologica redatta nell'ambito del progetto proposto da Enel Green Power Italia Srl, nella frazione di Spinetta Marengo - Comune di Alessandria (AL), all'interno di n° 2 aree denominate "La Bolla" e "Guarasca" situate a circa 2,5 km a ovest del Comune di Spinetta Marengo e a 4,8 km a sud-est dal Comune di Alessandria, che ha come oggetto la realizzazione di un impianto fotovoltaico con potenza nominale massima pari a 11.804,10 kWp e di un annesso impianto BESS della taglia di 3.900,00 kW.

L'impianto sarà realizzato con moduli fotovoltaici bifacciali provvisti di diodi di by-pass e ciascuna stringa di moduli farà capo ad una String box dotata di fusibili sia sul polo positivo che sul negativo e di un sezionatore in continua. Esso sarà gestito come sistema IT, ovvero con nessun polo connesso a terra.

I criteri generali adottati per lo sviluppo del presente progetto sono in linea con le prescrizioni contenute nel quadro normativo di riferimento per tali interventi.

In particolare, all'interno del presente studio è inclusa l'analisi dei dati cartografici e di letteratura disponibili, opportunamente integrati con quanto osservato nel corso delle site visit, che ha permesso di definire un inquadramento esaustivo degli aspetti geologico-idrologici dell'area di intervento.

Il raffronto con la cartografia PAI vigente, inoltre, ha permesso di individuare i principali vincoli di natura idrologica presenti, considerando tutti i fattori di rischio e di ipotetico rischio dell'area di studio, in modo da ottenere un completo quadro di valutazione delle possibili cause e condizionamenti possibili sull'opera da realizzare.

È stata infine effettuata un'analisi idrologica per la valutazione delle portate al colmo di piena da utilizzare nella progettazione esecutiva delle eventuali opere idrauliche di drenaggio delle acque scolanti nell'area di impianto. Dalla valutazione di tali portate sono state eseguite delle verifiche preliminari delle sezioni di chiusura delle varie aree, al fine di fornire delle valutazioni di massima da cui partire nell'ambito della progettazione esecutiva dell'intervento.

## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L’impianto è situato a circa 2,5 km a ovest del Comune di Spinetta Marengo e a 4,8 km a sud-est dal Comune di Alessandria, che ha come oggetto la realizzazione di un impianto fotovoltaico con potenza nominale massima pari a 11.804,10 kWp.

In particolare, le aree interessate dall’installazione dei pannelli fotovoltaici occupano una superficie di circa 14 ha (Figure da 1 a 4).



Figura 1: Ortofoto localizzazione dell’impianto di Spinetta Marengo.

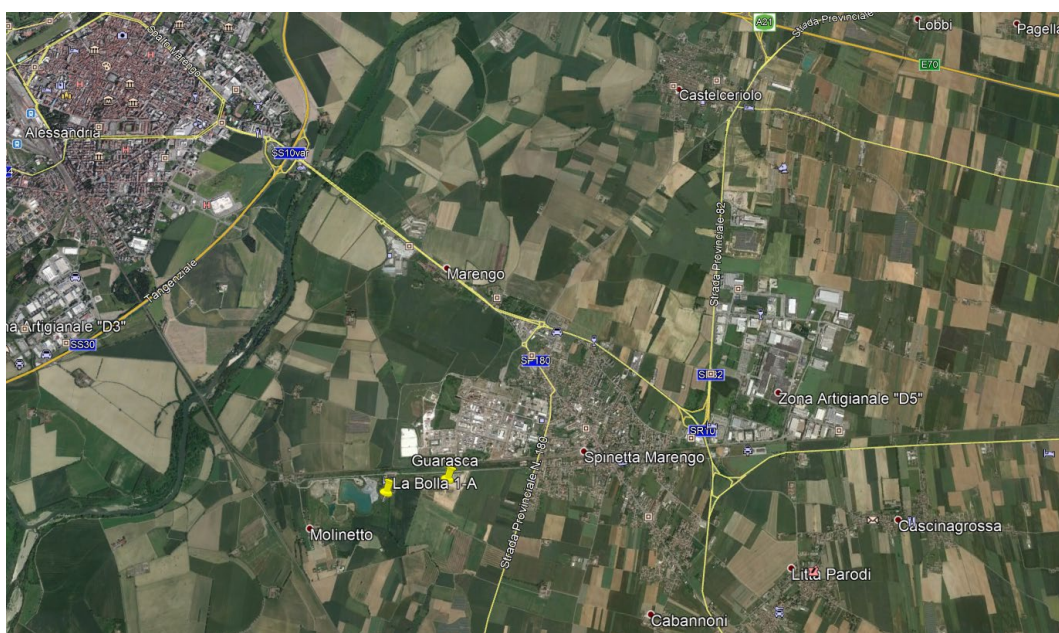


Figura 2: Inquadramento dell’area di progetto e della frazione di Spinetta Marengo e del Comune di Alessandria (Fonte: Google Earth).





Figura 3: Inquadramento generale delle aree di interesse. In rosso la perimetrazione del lotto a disposizione (Fonte: Google Earth)

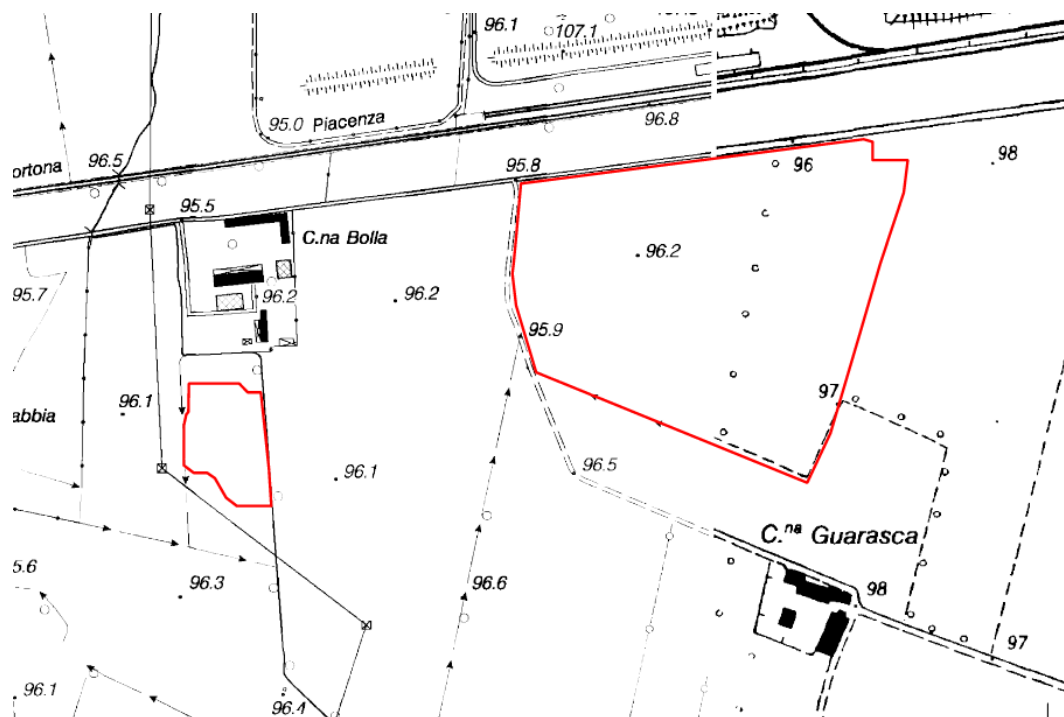


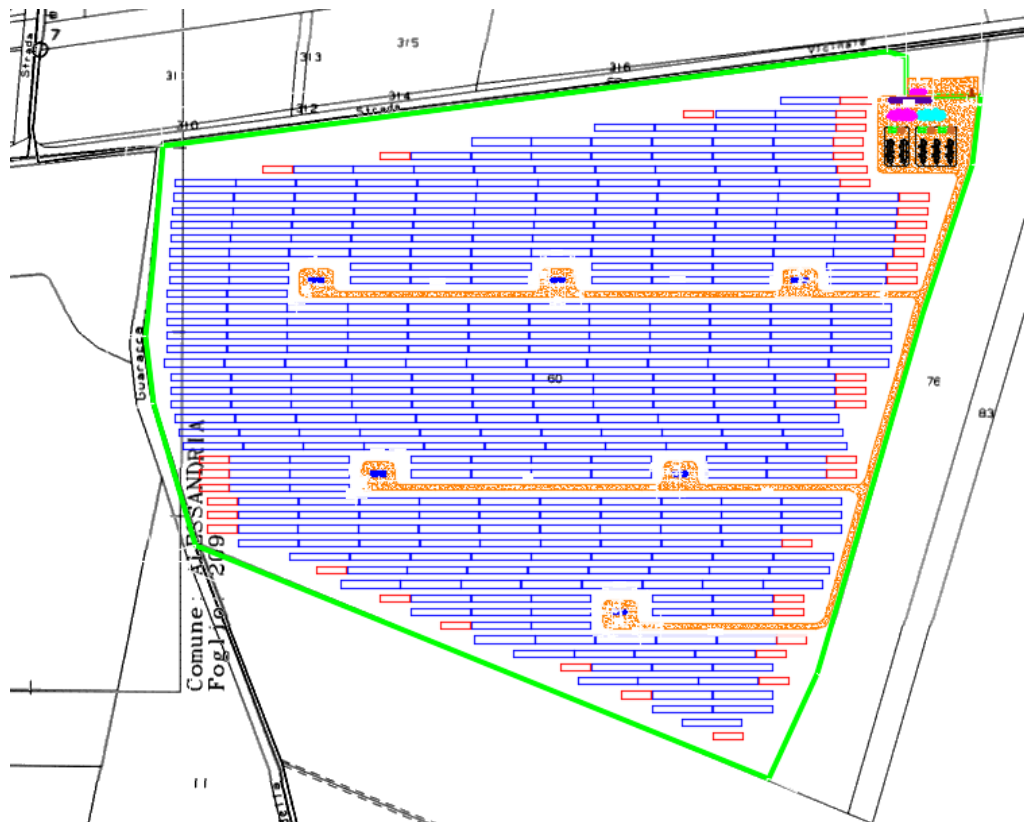
Figura 4: Inquadramento generale delle aree di interesse. In rosso la perimetrazione dei lotti a disposizione (CTR della Regione Piemonte "Spinetta Marengo", 1:10.000)

Il sito ove sarà realizzato l'impianto fotovoltaico è accessibile dalla Str. Bolla; la morfologia risulta prevalentemente pianeggiante, inoltre, l'esposizione e l'andamento del terreno sono tali da non pregiudicare la realizzazione dell'impianto.

L'area dell'impianto in progetto coinvolge, anche solo parzialmente, le particelle catastali del Comune di Alessandria indicate in Tabella 1.

**Tabella 1: Elenco particelle catastali interessate dal progetto.**

Comune	Foglio	Particella	NOMINATIVO O DENOMINAZIONE	COD. FISCALE	TITOLO	QUOTA	COLTURA IN ATTO
Alessandria (AL)	217	130	LA BOLLA SRL con sede in ALESSANDRIA (AL)	1740030067	Proprieta'	1/1	PRATO IRRIG
	218	60	CASSANO GIAN MARIO nato a ALESSANDRIA (AL) il 01/07/1970	CSSGMR70L01A182G	Proprieta'	1/2	SEMINATIVO
			CASSANO LORENZO nato a ALESSANDRIA (AL) il 04/10/1962	CSSLNZ62R04A182I	Proprieta'	1/2	SEMINATIVO
			LOMBARDI MARIA LUISA nata a ALESSANDRIA (AL) il 17/11/1932	LMBMLS32S57A182C	Usufruttuario parziale		SEMINATIVO



**Figura 5: Sovrapposizione dell'area di progetto (Guarasca) con mappa Catastale (Comune di Alessandria Foglio 217 e 218)**

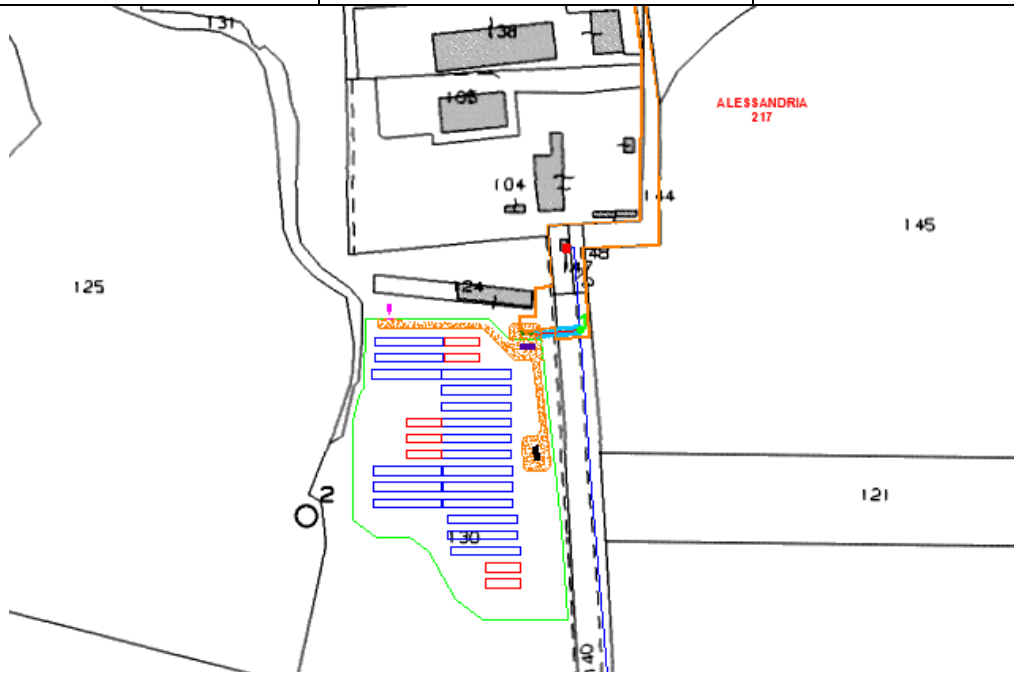


Figura 6: Sovrapposizione dell'area di progetto (La Bolla) con mappa Catastale (Comune di Alessandria Foglio 217)

### 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO

L'area di intervento, cartografata nel Foglio 70 "Alessandria" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, è ubicata nella porzione centrale della pianura alluvionale alessandrina.

Questa è impostata sui terreni appartenenti al Bacino Terziario Ligure Piemontese ed è collegata al resto della Pianura Padana in corrispondenza della stretta morfologica presente tra lo sperone di Tortona e le colline di Montecastello, dove è stata individuata, al di sotto dei depositi quaternari, una dorsale sepolta la cui origine è legata a una depressione locale della struttura appenninica, il cui sviluppo corre lungo la direttrice Tortona-Valenza.

La pianura alessandrina è costituita da una serie di sedimenti alluvionali quaternari, i quali poggiano sopra un substrato di età terziaria conformato a bacino asimmetrico allungato in senso SE-NW con asse vergente da Serravalle Scrivia ad Alessandria.

L'opera di smantellamento delle originarie catene montuose, a opera dei corsi d'acqua che scendevano verso l'attuale pianura, ha progressivamente riempito la depressione del preesistente bacino, dando origine alle diverse formazioni alluvionali quaternarie.

Il processo di trasporto e sedimentazione dominante era ed è tuttora controllato dalle variazioni di pendenza lungo il profilo longitudinale dei fiumi: il materiale trasportato dalle correnti si deposita laddove il corso d'acqua incontra una brusca diminuzione di pendenza, generalmente allo sbocco in pianura o nel punto di confluenza con una valle più importante.

In tal modo sono state generate le numerose conoidi che, saldate lateralmente tra di loro, costituiscono la superficie della pianura attuale.

Sopra il basamento terziario, costituito essenzialmente dalla formazione oligocenica delle Arenarie di Ranzano, la serie dei sedimenti alluvionali quaternari è costituita dai seguenti termini:

- depositi fluviali e fluvio-lacustri del Fluviale antico, costituiti da sedimenti a diversa granulometria, fortemente alterati con prodotti di alterazione rossastri, sovrastanti una base di ghiaie alterate alternantisi con argille del Villafranchiano Auctorum (Pliocene sup. – Pleistocene inf.);
- alluvioni prevalentemente sabbioso-siltoso-argillose, con prodotti di alterazione di colore giallastro, appartenenti al Fluviale medio (Pleistocene medio-inf.);
- depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi, con intercalazioni sabbiose e argillose, con modesta alterazione superficiale, del Fluviale recente (Pleistocene sup.); questi depositi costituiscono un'ampia conoide nella porzione orientale della pianura alessandrina, nella zona compresa tra Serravalle Scrivia, Tortona, Spinetta Marengo, Novi Ligure;
- alluvioni postglaciali oloceniche prevalentemente argillose; tali alluvioni non sempre sono distinguibili dai depositi del Fluviale recente; in particolare, nella zona dove manca un netto terrazzo che permetta una delimitazione in base alla morfologia, gli Autori hanno preferito rappresentare il complesso delle due formazioni piuttosto che tentare



una distinzione dubbia e difficoltosa; la conoide di tali alluvioni viene definita “superficie principale della pianura”;

- alluvioni attuali degli alvei attivi dei corsi d’acqua.

L’area d’intervento si trova nella fascia di pertinenza delle alluvioni costituenti la superficie principale della pianura, pochi chilometri a Est della confluenza tra T. Orba e F. Bormida.

La formazione geologica su cui insiste l’area è costituita principalmente da livelli ghiaioso-sabbiosi a granulometria da grossolana a media, a matrice sabbiosa con componente limosa più o meno abbondante

Nella figura seguente, tratta dallo *Studio idrogeologico della pianura alessandrina* (D. De Luca et Alii, 1987), si può osservare come il tetto dei sedimenti villafranchiani, in corrispondenza dell’area di intervento, si collochi a una quota di circa 50 m slm.

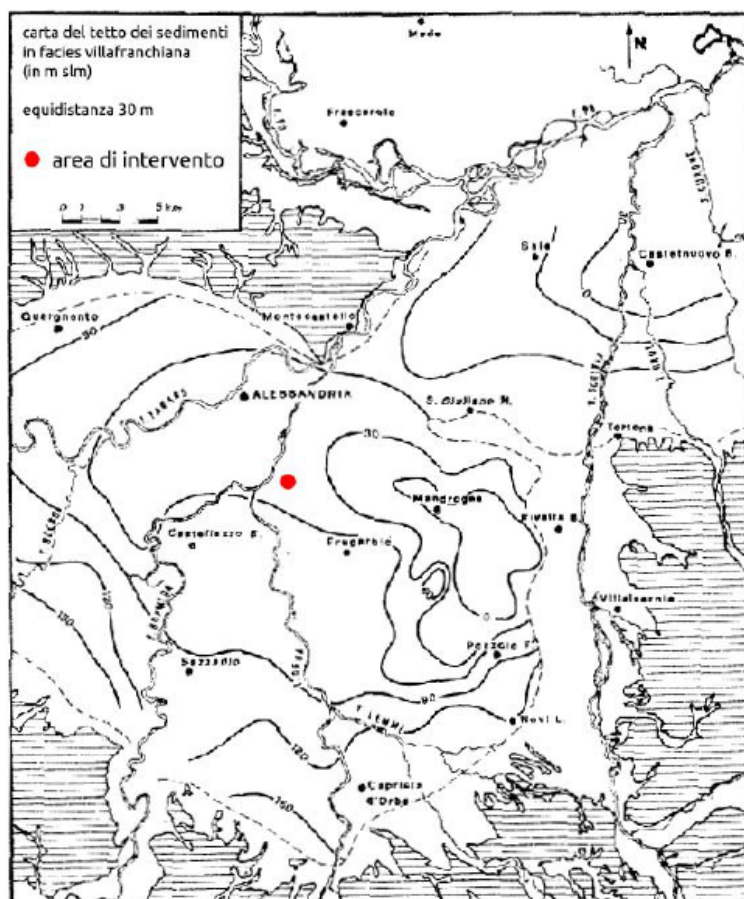


Figura 7: carta del tetto dei sedimenti in facies villafranchiana

Nella figura seguente, tratta dallo *Studio idrogeologico della pianura alessandrina* già citato, si può notare che, in corrispondenza del sito di intervento, lo spessore dei sedimenti alluvionali risulta di poco superiore a 50 m.

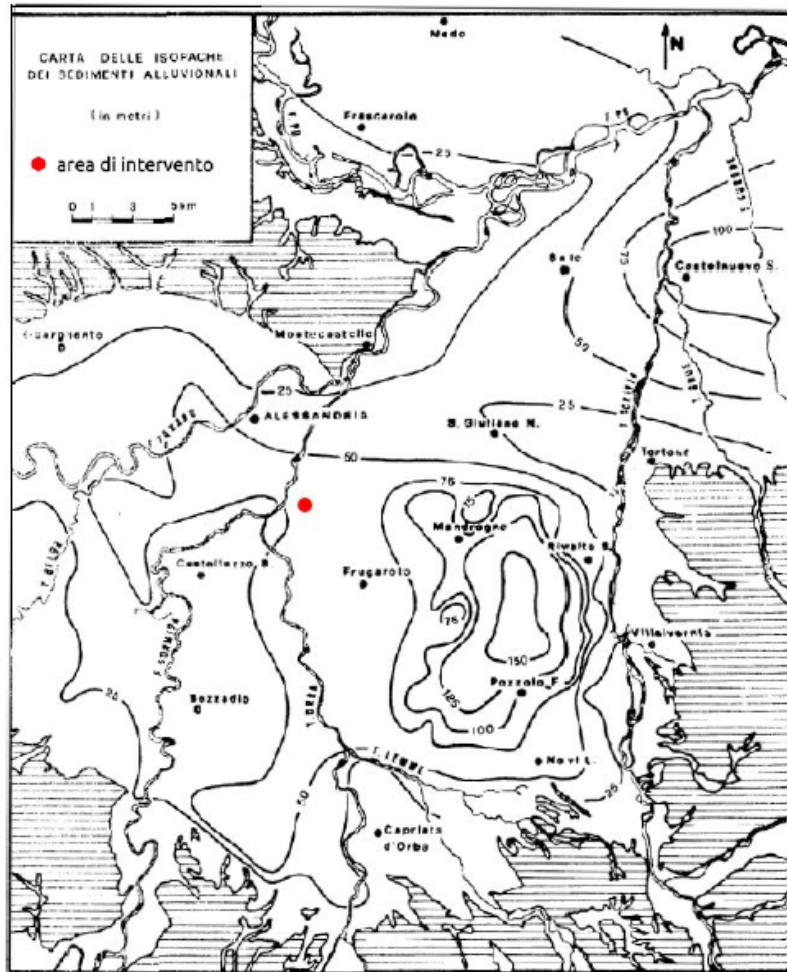


Figura 8: Carte delle isopache dei sedimenti alluvionali.

La situazione geologica di superficie relativa alla porzione di territorio studiata è riportata nelle carte geologiche allegata alle pagine seguenti.

In particolare, nella carta alla scala 1:25.000, si evidenzia come l'area oggetto di intervento ricada completamente all'interno della zona di pertinenza della *superficie principale della pianura*.

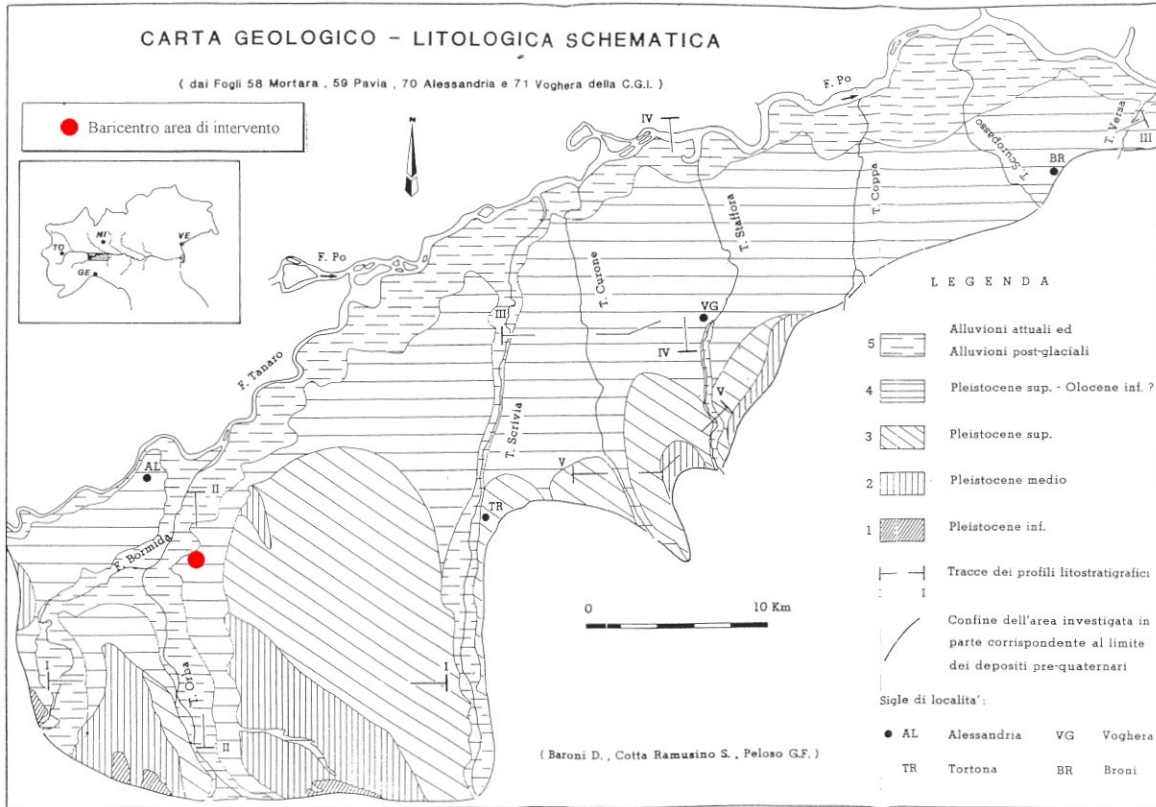


Figura 9: Carta Geologico - Litologico Schematica

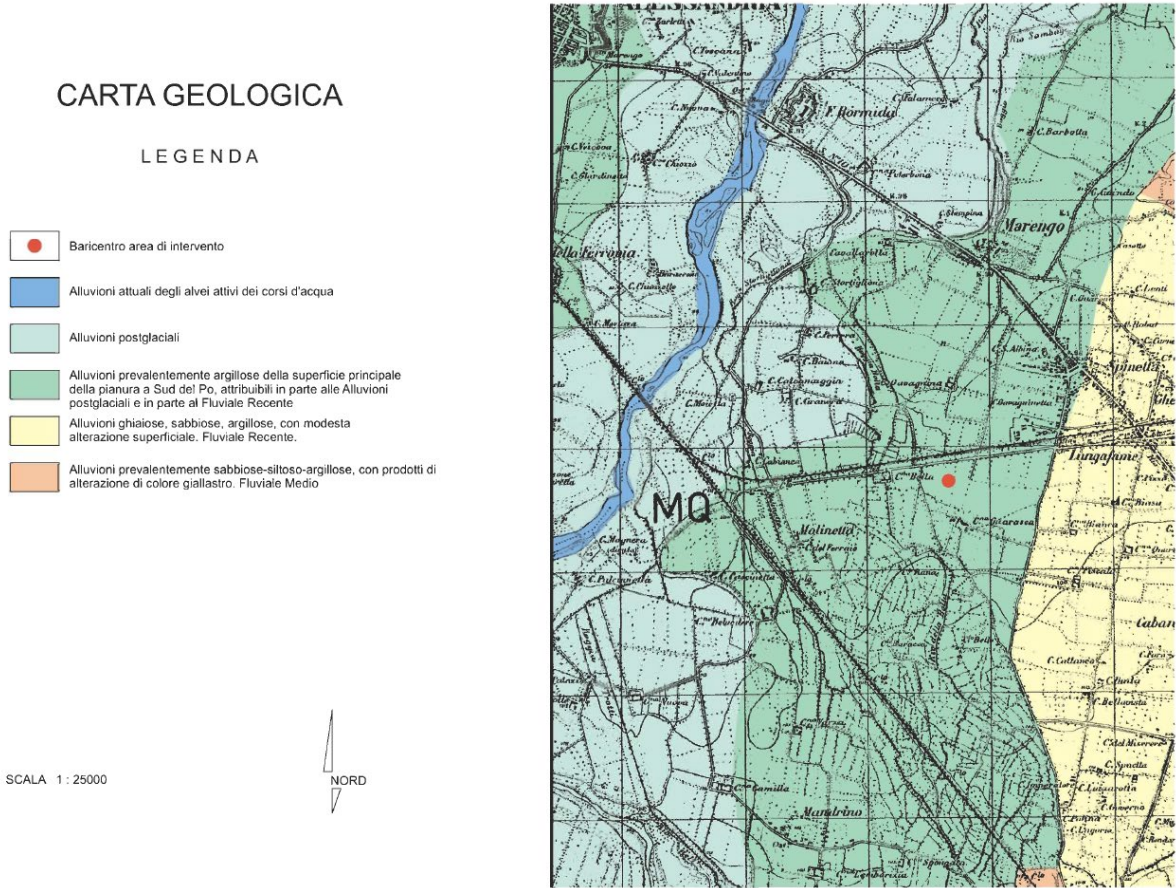


Figura 10: Carta Geologica



## 4 IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA

### 4.1 ASSETTO IDROGRAFICO

Il presente paragrafo riassume le informazioni generali sull'idrografia superficiale e sull'idrogeologia dell'area, raccolte ai fini della pianificazione e allo scopo della verifica degli eventuali rischi presenti nell'area stessa.

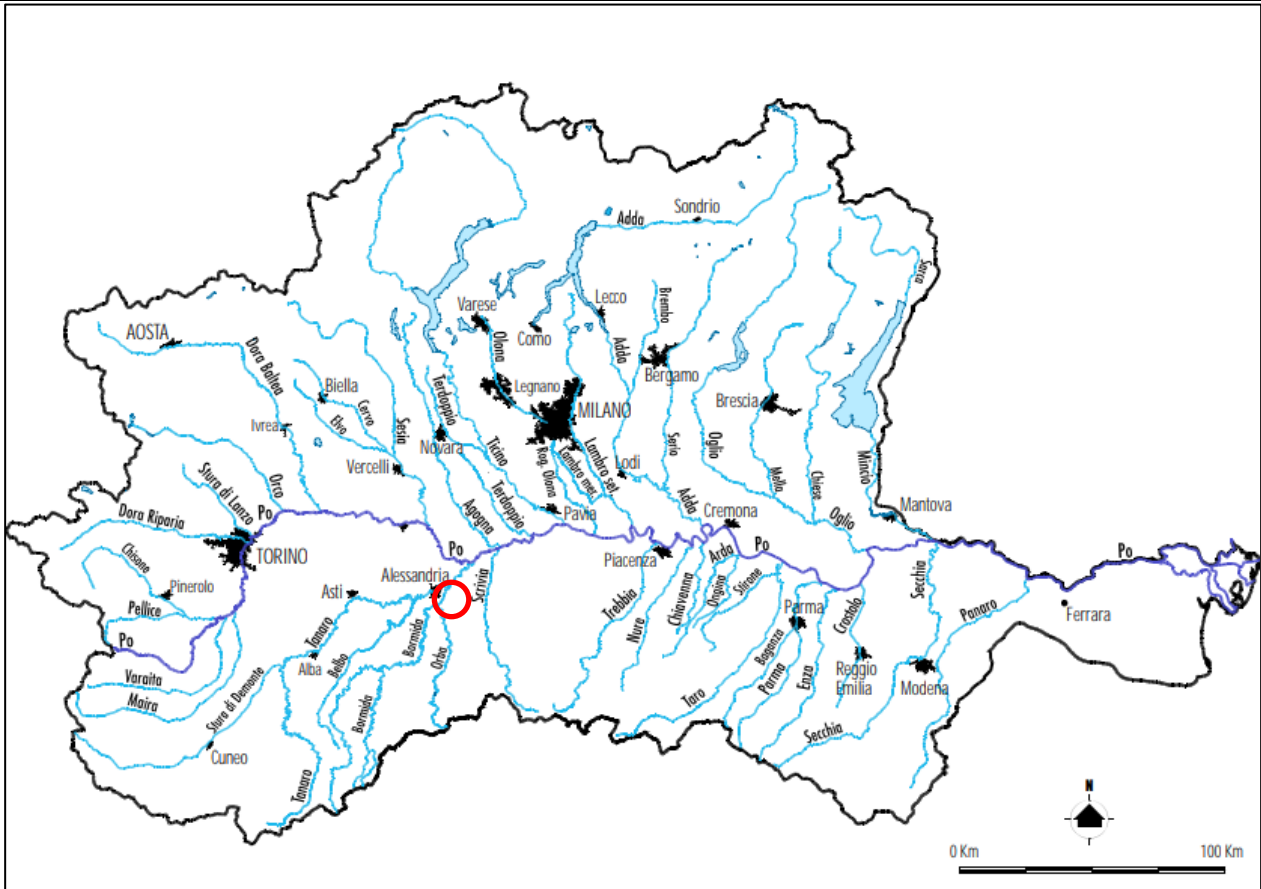
A scala regionale l'idrografia è costituita dal Fiume Po e dai suoi numerosi affluenti provenienti dalle Alpi e dalla Catena Appenninica. Il bacino del Po è il più grande d'Italia, sia per lunghezza dell'asta principale (650 km) che per dimensione dei deflussi, con una superficie complessiva pari a circa 74.000 km<sup>2</sup> di cui circa 70.000 km<sup>2</sup> in territorio italiano.

Si riporta di seguito la delimitazione dei principali sottobacini idrografici del fiume Po con ubicazione dell'area di intervento, desunto dalla Relazione Generale del PAI.

L'area ricade nel sottobacino del fiume Tanaro.



Figura 11: Delimitazione dei principali sottobacini idrografici con ubicazione area di intervento – Relazione Generale PAI



**Figura 12: Corsi d’acqua costituenti la rete idrografica principale con ubicazione dell’area di intervento – Relazione Generale PAI**

Nell’intorno dell’area oggetto di intervento il principale corso d’acqua è il fiume Bormida di Spigno (affluente in destra idrografica del Fiume Tanaro) ed i suoi affluenti il Rio Cervino e il Torrente Orba.

L’area di studio ricade nel Bacino Padano ove è possibile osservare tre differenti modalità di deflusso attraverso i gruppi di acquiferi individuati. Il GA (gruppo acquifero) A (Zona degli Acquiferi superficiali) è caratterizzato da circuiti brevi e legati all’idrografia superficiale, i GA B e C (Zona degli Acquiferi profondi tradizionali) sono contraddistinti da circuiti profondi legati alla struttura del bacino e ai corsi d’acqua principali, mentre i gruppi relativi alla Zona degli Acquiferi molto profondi sono caratterizzati da velocità di flusso ridotte per le ridotte permeabilità dei serbatoi e per la presenza dell’interfaccia acqua dolce-acqua salmastra/salata. I deflussi nei GA B e C dipartono dalle aree di ricarica poste nelle porzioni settentrionali dell’area alla base dei rilievi alpini e, attraversando la pianura, defluiscono verso sud-est in direzione del Po che svolge azione di recapito.



## 4.2 ASSETTO IDROGEOLOGICO

La falda della pianura alessandrina si estende dalle vallate precollinari fino al F. Tanaro, fluendo all'interno dei depositi la cui età va dal Pleistocene medio all'Attuale; l'elemento drenante principale di tale falda è il F. Tanaro.

Le profondità alle quali si posiziona il tetto della superficie freatica nelle sue oscillazioni stagionali variano da un minimo di pochi centimetri dal piano campagna nella zona a SE di Villa del Foro a un massimo di circa 20 metri a NW di Novi Ligure; le variazioni annuali di livello oscillano nell'ambito di pochi metri, di norma due o tre con punte massime di cinque senza che, tuttavia, cambi l'ubicazione dei massimi e minimi di soggiacenza; la morfologia della superficie freatica rimane dunque pressoché inalterata.

Nella porzione centrale dell'area i flussi idrici sotterranei tendono ad assumere un andamento centripeto verso la zona di Alessandria.

Localmente, nell'area di intervento, la direzione di flusso della falda freatica varia da S-N a SE-NW, evidenziando un'azione di richiamo delle acque sotterranee da parte del F. Bormida, che esercita quindi un'azione drenante nei confronti della falda.

La falda freatica viene alimentata sia per infiltrazione di acque meteoriche nelle zone apicali delle conoidi ai bordi della pianura sia per infiltrazione diretta nelle aree in cui la litologia di superficie è costituita da sedimenti più permeabili, per esempio in corrispondenza degli alvei attivi dei corsi d'acqua principali oppure nelle zone di affioramento di formazioni a granulometria più grossolana.

Nella porzione centrale della pianura acquista notevole importanza un'altra via di alimentazione della falda, costituita dalla fitta rete di canali irrigui e di scolo presente su tutta l'area.

Tali canali, generalmente, sono scavati direttamente nel terreno e non sono dotati di rivestimento per cui le perdite e il conseguente apporto idrico verso la falda sono elevati.

Infine, nelle aree limitrofe ai corsi d'acqua principali, occorre tener conto delle comunicazioni esistenti tra le falde di sub alveo e la falda freatica stessa. Le oscillazioni di quest'ultima sono condizionate più dalle oscillazioni idrometriche che dall'entità di precipitazione locale, anche se le piogge influiscono sulle variazioni di livello della falda. L'apporto idrico totale risulta quindi funzione delle interazioni fra le diverse fonti di alimentazione.

Lo schema idrogeologico presenta, dall'alto verso il basso, i seguenti termini:

- Formazione superficiale non satura, costituita da materiale prevalentemente grossolano, sabbioso-ghiaioso, con spessori generalmente intorno agli 5/10 metri. Lo spessore di questa formazione non è costante in quanto legato alle variazioni stagionali del livello di falda.

- Strato costituito da materiale grossolano sabbioso-ghiaioso, potente 50- 60 metri; è presente in modo discontinuo uno strato di materiale più fine (sabbioso-argilloso) potente 4-6 metri, alla profondità di 15-20 metri.
- Dai 50-60 metri di profondità fino a 100-150 metri si osserva un'alternanza di ghiaie e sabbie e, subordinatamente, di livelli argillosi.
- Al di sotto della precedente unità le argille diventano prevalenti, tali da poterle considerare come un fondo impermeabile che sostiene gli acquiferi soprastanti.

Il gradiente idraulico presenta valori dell'ordine dello 0.5 -1 per mille a valle di tale area di drenaggio e valori pari a 3-5 per mille a monte della stessa.

#### **4.3 VERIFICA DI COMPATIBILITA' GEOMORFOLOGICA CON LA CARTA DELLE ZONIZZAZIONI DEL PAI DEL FIUME PO**

Il Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) del Fiume Po, approvato con D.P.C.M. del 24 Maggio 2001, ha come obiettivo il controllo del bacino al fine di minimizzare i possibili danni connessi ai rischi idrogeologici, costituendo un quadro di conoscenze e di regole atte a dare sicurezza alle popolazioni, agli insediamenti, alle infrastrutture, alle attese di sviluppo economico ed in generale agli investimenti nei territori del bacino.

Il P.A.I., in quanto premessa alle scelte di pianificazione territoriale, individua i meccanismi di azione, l'intensità, la localizzazione dei fenomeni estremi e la loro interazione con il territorio classificati in livelli di pericolosità e di rischio. Il PAI persegue il miglioramento dell'assetto idrogeologico del bacino attraverso interventi strutturali (a carattere preventivo e per la riduzione del rischio) e disposizioni normative per la corretta gestione del territorio, la prevenzione di nuove situazioni di rischio, l'applicazione di misure di salvaguardia in casi di rischio accertato. Ciò secondo tre linee di attività:

1. il Rischio idraulico (aree inondabili delle piane alluvionali);
2. il Rischio geologico (dissesti di versante e movimenti gravitativi);
3. l'Efficienza dei bacini montani in termini di difesa idrogeologica.

Con Decreto n. 441/2019 del 30/12/2019 Art. 68, comma 1 del Dlgs. 3 aprile 2006, n. 152 e s.m.i. e art. 57, comma 4 delle Norme di Attuazione del Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino del fiume Po (PAI) si è proceduto all'adozione di un "Progetto di variante al Piano Stralcio per l'Assetto idrogeologico del bacino idrografico del fiume Po (PAI): fiume Bormida da Acqui Terme ad Alessandria.

Con l'entrata in vigore del Decreto, l'area di progetto ricade in Fascia C, corrispondente ad area di inondazione per piena catastrofica (Figura 13).

A tal proposito, in accordo con l'articolo 31 del Piano di Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del fiume Po, si sottoscrive che verranno adottate, in fase di realizzazione e gestione del progetto oggetto dello studio, le opportune misure per garantire la sicurezza e

la salvaguardia delle persone transittanti o residenti nei pressi dell'area di progetto; posto che non si prevede la presenza stabile di persone nelle aree di progetto.

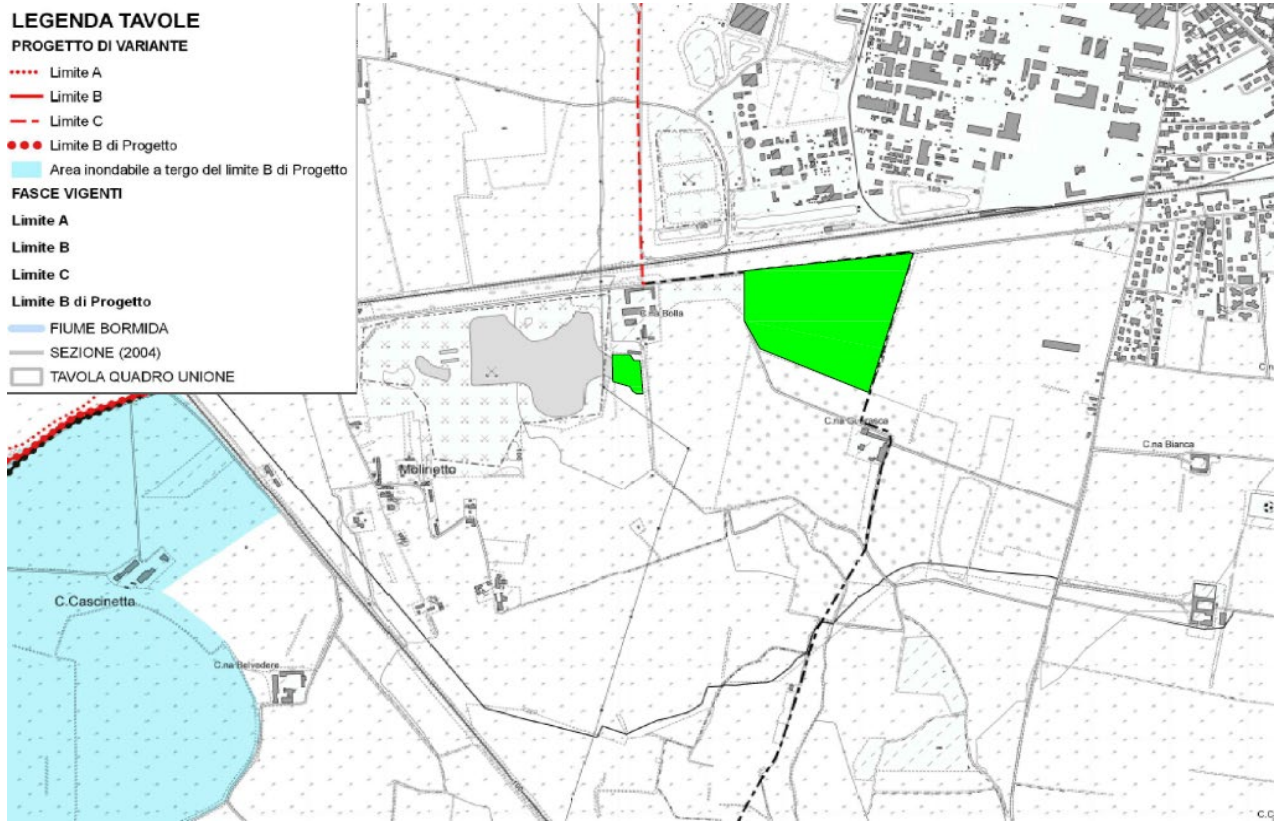


Figura 13: Fasce fluviali (fonte: autorità di bacino distrettuale del fiume Po, progetto di variante al PAI fiume Bormida)

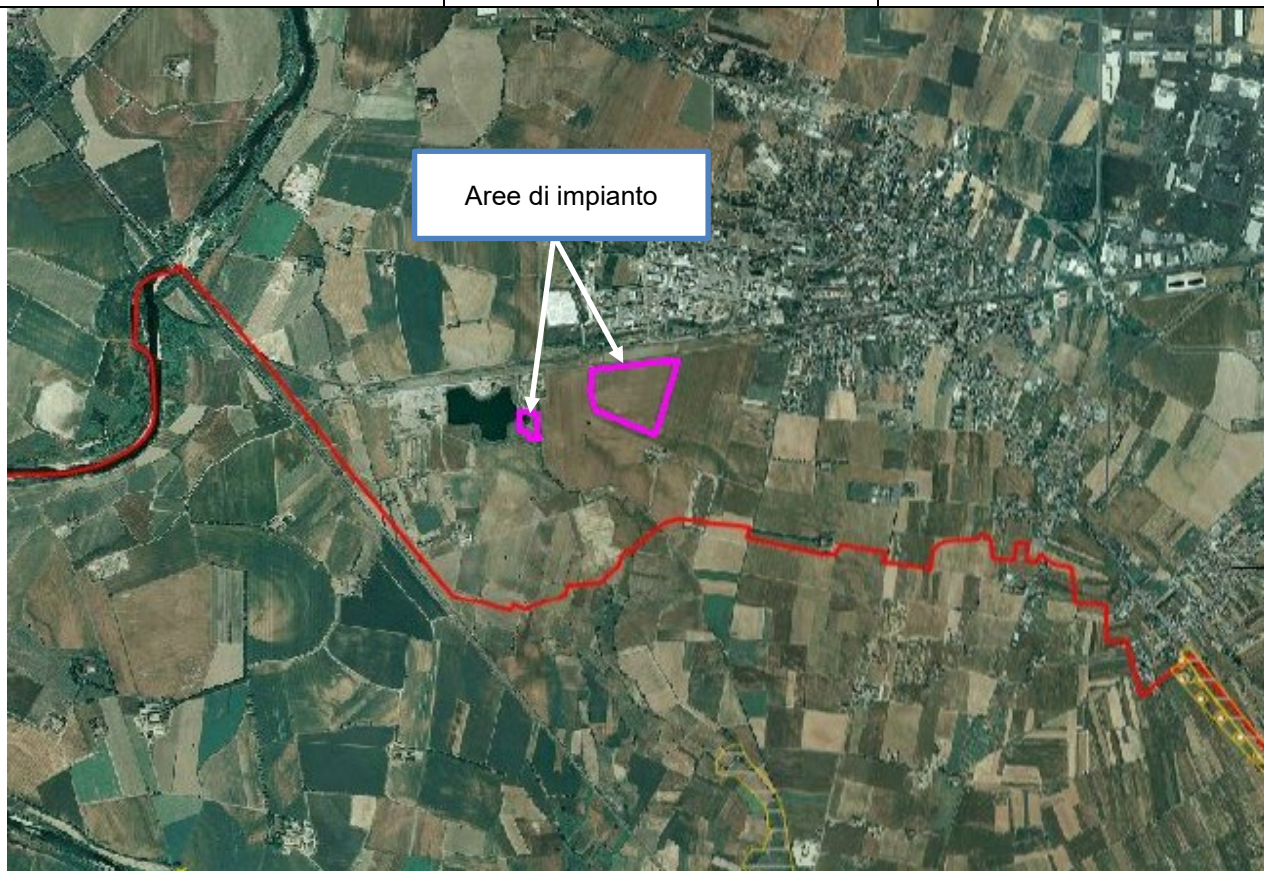


Figura 14: PAI: aree a rischio frana (Fonte: GIS Autorità di bacino fiume Po)



## 5 ANALISI IDROLOGICA DELL'AREA DI INTERVENTO

L'analisi idrologica sviluppata nel seguito è finalizzata a determinare le curve di probabilità pluviometrica utili a stimare le portate di piena, con tempi di ritorno fino a 200 anni, derivanti da ognuna delle aree in cui si prevede l'installazione dell'impianto FV.

In conformità alle linee guida ENEL, la stima delle portate al colmo verrà effettuata secondo il modello di afflusso-deflusso costruito attraverso il metodo cinematico-razionale, essendo il bacino di progetto inferiore a 1 km<sup>2</sup>.

### 5.1 IDENTIFICAZIONE DEL BACINO DI PROGETTO

Come desumibile dalla *Planimetria generale* di progetto, l'area di intervento si divide in due differenti "lotti" di progetto, di seguito elencati:

Tabella 2: Superfici dei lotti di progetto

LOTTI DI PROGETTO	SUPERFICIE RECINTATA IMPIANTO
AREA "La Bolla"	1,12 ha
AREA "Guarascia"	12,61 ha



Figura 15: Aree interessate dal progetto.

Il lotto "La Bolla" è affiancato lungo il lato est dal Rio "La Bolla", che scorre in un canale naturale in direzione nord, mentre il lotto "Guarascia" è affiancato lungo il lato nord da un canale naturale che scorre in direzione ovest.



Ogni lotto è perimetralmente delimitato da canali artificiali, fossi naturali o opere di viabilità, con buona approssimazione è dunque realistico considerare i singoli lotti di progetto dell'impianto fotovoltaico come aree a sé stanti, e quindi come singoli bacini nell'ambito dell'analisi idrologica e quindi della costruzione del modello afflussi-deflussi per la stima delle portate di progetto.

## 5.2 STIMA DELLA PRECIPITAZIONE DI PROGETTO

Il contributo al deflusso derivante dalle due aree oggetto dello studio è stato stimato sulla base di valutazioni di tipo idrologico.

Secondo la normale pratica ingegneristica, il calcolo della portata di riferimento è stato eseguito sulla base di modelli "afflussi - deflussi" che legano direttamente il valore del picco di piena alla precipitazione di durata  $t$  e periodo di ritorno  $T$ .

Si suole chiamare periodo di ritorno  $T$  del massimo valore  $x$  il numero di anni  $T$  in cui, mediamente,  $x$  è superato una sola volta. Nel caso specifico, il periodo di ritorno  $T$  dell'evento di piena rappresenta il numero di anni in cui, mediamente, tale evento di piena viene superato o uguagliato una sola volta.

La procedura seguita può essere schematizzata come segue:

- lotto "La Bolla": stima delle portate al colmo, con tempi di ritorno fino a 200 anni, nella sezione di chiusura del bacino scolante (Rio "La Bolla" lato est area di progetto) e relativa verifica idraulica della sezione del canale (modello afflussi-deflussi con metodo cinematico razionale poiché il bacino di progetto è inferiore a  $1 \text{ km}^2$ );
- lotto "Guarasca": stima delle portate al colmo, con tempi di ritorno fino a 200 anni, nella sezione di chiusura del bacino scolante (canale lato nord area di progetto) e relativa verifica idraulica della sezione del canale (modello afflussi-deflussi con metodo cinematico razionale poiché il bacino di progetto è inferiore a  $1 \text{ km}^2$ ).

## 5.3 STIMA DELLE CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA (C.P.P)

Una curva di probabilità pluviometrica (C.P.P.) esprime, per ciascun  $T$ , il legame intercorrente tra la durata della precipitazione e l'altezza cumulata di precipitazione caduta al suolo (Moisello, 1998). Le curve di possibilità pluviometrica sono espresse normalmente secondo la legge monomia:

$$h_T(t) = a_T \cdot t^{n_T}$$

in cui l'altezza cumulata di precipitazione  $h_T$  (mm) associata al periodo di ritorno  $T$ , di durata  $t$  (ore) dipende da un coefficiente  $a_T$  e da un esponente  $n_T$ .

L'intensità di precipitazione istantanea  $i$  (mm/ora) è valutata derivando rispetto al tempo la curva di possibilità pluviometrica, ottenendo la relazione

$$i_R(t) = \frac{d}{dt}(a_T \cdot t^{n_T})$$

mentre l'intensità media di pioggia risulta:

$$i_T \text{ med}(t) = a_T \cdot t^{n_T-1}$$

I due parametri  $a_T$  e  $n_T$  che identificano la curva risultano caratteristici dell'area in esame e del periodo di ritorno in considerazione.

La dipendenza dal tempo di ritorno può essere in alternativa riassunta in unico parametro  $K_T$ , detto fattore di crescita, la cui formulazione dipende dalla distribuzione considerata (metodo indice). In questo caso le curve di possibilità pluviometrica assumono la forma:

$$h_{d,T} = a \cdot d^n \cdot K_T$$

Nel caso in esame, le curve di probabilità pluviometrica sono state ricavate secondo la legge di Gumbel, stimata considerando i dati pluviometrici della stazione di Alessandria Lobbi, frazione del Comune di Alessandria, situata a circa 8 km dalle due aree oggetto dello studio e gestita da ARPA Piemonte.

Data l'area ridotta dei bacini in esame non si sono applicati coefficienti di ragguglio all'area.

### **5.3.1 C.P.P. con legge di Gumbel sulle serie storiche della stazione pluviometrica di Alessandria Lobbi**

Nel Comune di Alessandria, frazione Lobbi, a circa 8 km dalla zona di interesse, è presente una stazione pluviometrica della rete ARPA, denominata Alessandria Lobbi, che può essere considerata rappresentativa del regime pluviometrico dell'area interessata dal progetto.

L'analisi è stata condotta a partire dai massimi annui di precipitazione registrati per durate di 10 min, 20 min, 30 min, 1 h, 3 h, 6 h, 12 h, 24 h, 2 d, 3 d, 4 d e 5 d pubblicati sulla Banca Dati Meteorologica di ARPA Piemonte (disponibili online al sito [https://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/accesso-ai-dati/annali\\_meteoidrologici/annali-meteo-idro/banca-dati-meteorologica.html](https://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/accesso-ai-dati/annali_meteoidrologici/annali-meteo-idro/banca-dati-meteorologica.html)).

A pagina seguente è riportata la tabella con le piogge massime registrate per ciascuna durata alla stazione di Alessandria Lobbi, espresse in mm.

**Tabella 3: Piogge massime registrate per ciascuna durata alla stazione di Alessandria Lobbi, espresse in mm.**

Anno	STAZIONE ALESSANDRIA LOBBI											
	10'	20'	30'	1h	3h	6h	12h	24h	48h	72h	96h	120h
1989	17,4	28,1	30,3	30,5	30,5	30,5	33,5	34,5	50,2	50,2	51,2	58,6
1990	16	27,2	38,4	58,4	63,2	63,2	63,2	64,2	64,4	64,6	90,2	90,2
1991	6,1	9,7	12	15,4	27,3	35,9	40,5	53,9	-	-	-	-
1992	27,6	41,3	47,7	50,1	55,5	56,5	56,5	58,3	-	-	-	-
1993	10,5	15,9	18,3	24,9	29,1	45,1	63,4	99,1	-	-	-	-
1994	15,2	27,2	31,3	35,1	35,4	40,2	51,1	55,3	-	-	-	-
1995	17,6	24,3	24,7	39,8	50,7	50,7	52,8	53,8	68,2	68,4	68,4	68,4
1996	13,5	16,1	17,3	18,8	32,8	36,6	42,2	73,5	75,2	78,4	79,6	79,8
1997	14,1	18,9	19,5	19,9	25,2	32,8	37,2	37,4	42,8	49,8	54,4	54,4
1998	11,9	13,7	14,3	16,3	17,1	30,8	50,1	52,1	52	52	52,8	53,8
1999	11,5	17,1	22,4	27,9	35,6	35,6	36	44,5	45,6	55,2	72,6	77,2
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	8,7	11,9	12,5	13,9	15,9	18	27	27,5	-	-	-	-
2002	31,4	40,3	40,7	40,7	40,7	52,1	71	83,6	-	-	-	-
2003	8,5	14,8	18,6	19,6	21,6	40	50,3	55,5	-	-	-	-
2004	8,3	14,4	16,3	17,7	20,7	23,1	27,7	40,1	40,2	51,2	52,8	72,4
2005	10,2	15,5	16,3	16,5	20,5	26,7	32	39,2	39	39	39	43,2
2006	14	16,9	17,3	26,9	31,9	44,5	65	83,2	91,2	91,4	91,6	91,6
2007	10	18,7	22,2	27,6	39,4	64,9	67,9	67,9	66,8	67,6	67,6	67,6
2008	26,8	35,2	43,7	50,4	51,6	51,6	51,6	51,6	74	83,8	95,2	95,4
2009	12,6	17,5	23,2	27,7	28,3	33,1	40,5	54,9	65,2	67	67,4	68
2010	18,3	23	23,4	28,4	36,6	51,1	57,7	73	88,2	108,8	118,8	118,8
2011	17,8	21,9	22,1	22,1	24,2	35,6	64,7	96,8	103,4	108,4	140,2	145,2
2012	22,3	26,8	27,6	29,8	33,6	33,6	40,9	47,1	51,6	59,6	63,4	64
2013	17,8	19,6	19,6	19,6	19,6	27,5	44,7	79,6	89	101,4	102	103,8
2014	15,8	19,3	20,1	20,3	22,2	40,1	62,1	70,6	70,4	74,2	80,2	104
2015	12,2	22,9	27,4	27,8	27,8	27,8	29	30,4	33,4	35	39	40,8
2016	10,2	16,6	19,8	28	33,5	33,7	38,7	40,5	43,6	54,4	63	75,2
2017	12	17,5	20,5	21,9	21,9	30,7	35,7	43,9	43,8	52,4	54	58,2

La curva di probabilità pluviometrica (c.p.p.) considerata si basa sul modello probabilistico retto dalla legge di Gumbel e può essere sintetizzata tramite il metodo indice:

$$h_{d,T} = \mu_d K_T$$

in cui:

- $\mu_d$  = altezza media di precipitazione di durata  $d$ ;
- $K_T$  = fattore di crescita per il periodo di ritorno  $T$  dell'altezza di pioggia.

Il primo fattore può essere espresso come:

$$\mu_d = a \cdot d^n$$

con:

- $d$  = durata della precipitazione [h];
- $\mu_d$  = valore medio del massimo annuo registrato per una precipitazione di durata  $d$  [mm].

I coefficienti  $a$  e  $n$  sono stati stimati tramite un modello di regressione lineare sui logaritmi di  $\mu_d$  e  $d$ , che considera la seguente relazione:

$$\ln(\mu_d) = \ln(a) + n \ln(d)$$

Si ottengono così:

- $a$  = altezza di pioggia di durata un'ora = 26,72 mm;
- $n$  = 0,222.

Il fattore di crescita  $K_T$  è invece calcolabile secondo la relazione:

$$K_T = 1 - CV \left[ 0,45 + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln \left( \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right) \right]$$

funzione del periodo di ritorno  $T$  e del coefficiente di variazione  $CV$  medio del campione (Tabella 4). Quest'ultimo è stato ricavato come media dei  $CV$  per ciascuna durata, definiti come rapporto tra la deviazione standard e la media delle altezze di pioggia per ogni durata.

**Tabella 4: Valor medio, scarto e coefficiente di variazione delle serie dei massimi annui dell'altezza di pioggia per le varie durate (stazione pluviometrica di Alessandria Lobbi).**

	STAZIONE ALESSANDRIA LOBBI									CV medio
	1h	3h	6h	12h	24h	48h	72h	96h	120h	
h media [mm]	27,71	31,87	39,00	47,61	57,57	61,82	67,28	73,50	77,65	
STDev h [mm]	11,29	11,88	11,75	13,28	19,23	19,91	21,37	25,75	25,69	
CV [-]	0,407	0,373	0,301	0,279	0,334	0,322	0,318	0,350	0,331	0,335

Nella Tabella 5 si riportano i fattori di crescita  $K(T)$  relativi ai diversi periodi di ritorno considerati: per completezza di indagine si sono considerati eventi di progetto con periodo di ritorno di 5, 10, 25, 50, 100 e 200 anni.

**Tabella 5: Fattori di crescita per la stazione pluviometrica di Alessandria Lobbi.**

TR (y)	5	10	25	50	100	200
$K_T$	1,25	1,45	1,71	1,90	2,09	2,28

È così possibile costruire la curva di probabilità pluviometrica per diversi T come:

$$h_{d,T} = \mu_d K_T$$

ovvero:

$$h_{d,5} = \mu_d K_5 = 26,72 \cdot d^{0,222} \cdot 1,25$$

$$h_{d,10} = \mu_d K_{10} = 26,72 \cdot d^{0,222} \cdot 1,45$$

$$h_{d,25} = \mu_d K_{25} = 26,72 \cdot d^{0,222} \cdot 1,71$$

$$h_{d,50} = \mu_d K_{50} = 26,72 \cdot d^{0,222} \cdot 1,90$$

$$h_{d,100} = \mu_d K_{100} = 26,72 \cdot d^{0,222} \cdot 2,09$$

$$h_{d,200} = \mu_d K_{200} = 26,72 \cdot d^{0,222} \cdot 2,28$$

Poiché la c.p.p. è stata ricavata elaborando dati di pioggia di durata pari o superiore all'ora, per durate sub-orarie è necessario applicare un fattore correttivo per evitare sovrastime delle altezze di pioggia.

Per piogge brevi, in sostituzione alle formule precedentemente indicate, è utile ricorrere alle espressioni iperboliche a tre parametri. Tuttavia, la stima di tali parametri risulta impossibile o difficoltosa quando i dati sistematici relativi ai massimi annuali di durata inferiore all'ora sono particolarmente numerosi.

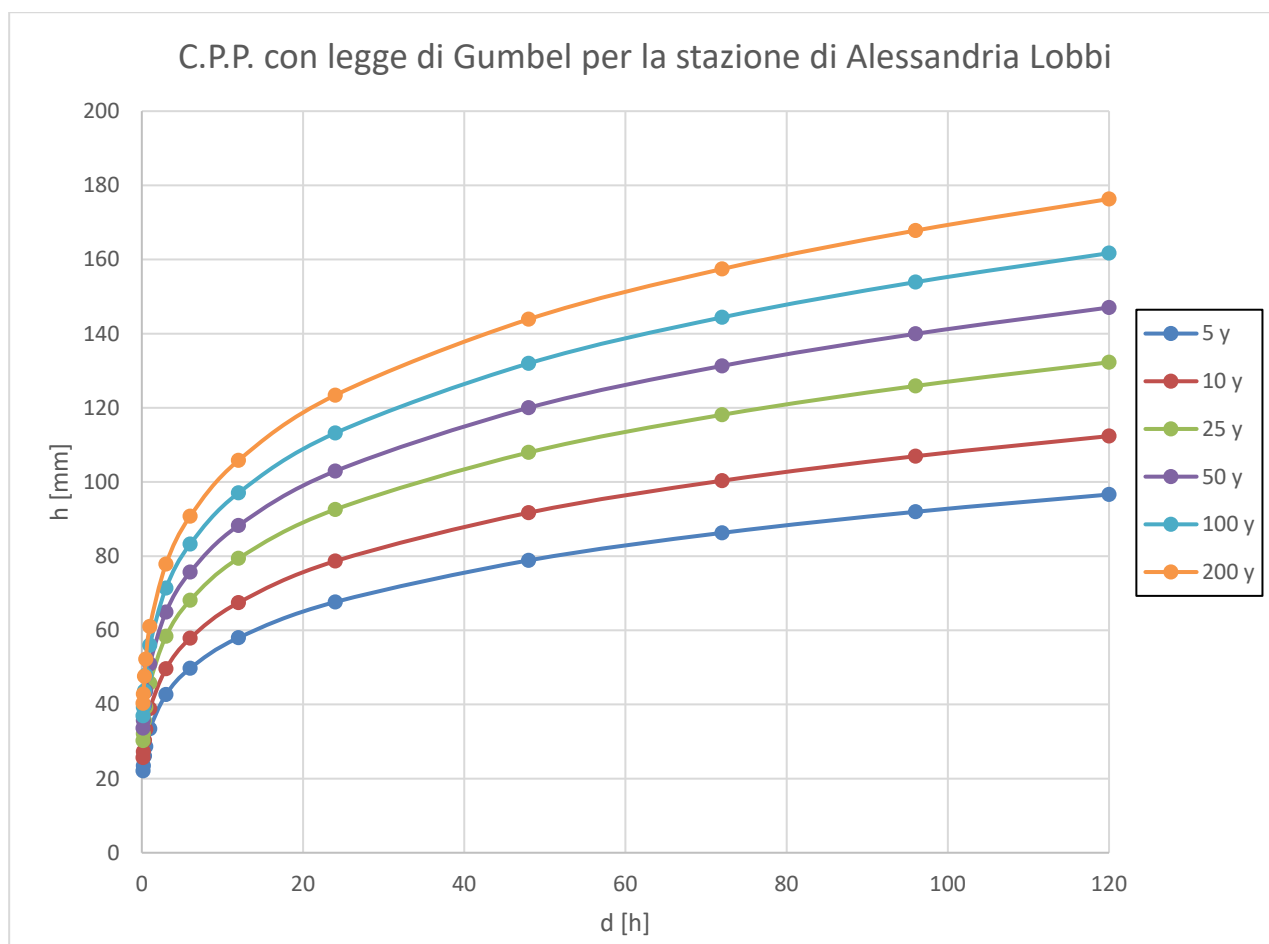
Per la stima delle piogge sub-orarie si è scelto di applicare la formula analitica proposta da Arpa sull'Atlante delle Piogge Intense, ricavata ad hoc per la Regione Piemonte e valida per curve ricavate con il metodo indice. Ovviamente nella formula, oltre alla costante  $B=136,495$ , sono stati inseriti i coefficienti  $a$  ed  $n$  stimati con i dati della stazione di Alessandria Lobbi, ottenendo le seguenti curve di altezza di pioggia oraria:

$$\mu_d = \left( 26,72 \cdot \left( \frac{1 + 136,495 \cdot d}{1 + 136,495} \right)^{\frac{(0,222-1)(1+136,495)}{136,495}} \right) \cdot d$$



A partire dalle quali, applicando il fattore di crescita, sono state calcolate le piogge per i diversi T:

$$h_{d,T} = \left( 26,72 \cdot \left( \frac{1 + 136,495 \cdot d}{1 + 136,495} \right)^{\frac{(0,222-1)(1+136,495)}{136,495}} \right) \cdot d \cdot K_T$$



**Figura 16: Rappresentazione della relazione altezza-durata per l'area di progetto secondo i parametri ricavati con legge di Gumbel sulla stazione di Alessandria Lobbi.**

### 5.3.2 Calcolo del tempo di corrivazione e definizione modello afflussi-deflussi area "Guarasca"

L'area Guarasca ha una superficie totale pari a 12,61 ha. Il lotto si presenta interamente coperto da terreno naturale, al momento è occupato da una cava che verrà ricoperta per permettere l'installazione dell'impianto FV.

L'intervento di posizionamento delle strutture relative all'impianto FV non prevede opere civili volte all'impermeabilizzazione delle superfici, si prevedono invece opere di abbancamento del terreno che porteranno il piano campagna a quota 95-96 metri s.l.m., permettendo un deflusso delle acque di pioggia in direzione sud-nord, con conseguente convogliamento nel canale di scolo che scorre, in direzione ovest, a nord dell'area di progetto.

In Figura 17 viene riportata la sezione di chiusura del canale e la lunghezza considerata per il convogliamento delle acque meteoriche accumulate nell'area di progetto per il lotto "Guarasca". Viene inoltre indicata la direzione delle linee di deflusso che scaricheranno nel canale a cielo aperto già esistente.



**Figura 17: Schema di massima di regimentazione delle acque meteoriche nel lotto "Guarasca".**

Per la stima degli apporti idrici durante un evento meteorico per il lotto "Guarasca", si possono considerare le seguenti caratteristiche:

- Superficie ricoperta da terreno naturale assimilabile a pascolo, con pendenza media compresa tra 0 ÷ 2%, come previsto dal progetto di riempimento della cava attualmente in fase avanzata di completamento (cfr elaborato "IG51-02-E-CV-WZ-DP9F-00-003-A00" del progetto esecutivo COCIV di cui alla Determina n.516/2019 della Regione Piemonte).

Ai fini del presente elaborato e allo scopo di determinare la portata massima al colmo nella sezione di chiusura, durante un evento meteorico con tempo di ritorno T di 200 anni, si prevede di considerare il lotto "Guarasca" come un unico bacino colante a sé stante, considerando che l'area risulta essere delimitata da cunette artificiali o naturali o fossati naturali.

Si calcola di seguito il tempo di corrivazione per il lotto "Guarasca":

- Il tempo di corrivazione del sotto-bacino "Guarasca", sotteso alla sezione di chiusura, viene stimato considerando la definizione del tempo di corrivazione pari a:

$$t_c = t_a + \frac{L_{ap}}{\bar{v}_{canale}}$$

con:

$$t_a = \frac{L_{versante}}{\bar{v}_{versante}}$$

dove:

- $t_c$  = tempo di corrivazione;
- $L_{ap}$  = lunghezza asta principale;
- $\bar{v}_{canale}$  = velocità media del flusso all'interno dell'asta principale;
- $t_a$  = tempo di accesso al reticolo idrografico;
- $L_{versante}$  = distanza massima, misurata parallelamente alle linee di flusso del reticolo, tra il punto più lontano all'interno dell'area del bacino idrografico e l'asta principale;
- $\bar{v}_{versante}$  = velocità media della particella di pioggia che percorre il versante seguendo la direzione delle linee di deflusso.

Come asta principale è stato considerato il canale che scorre, in direzione est-ovest, in corrispondenza del lato nord dell'area in oggetto; si è scelta come lunghezza dell'asta, una lunghezza pari al lato nord del lotto "Guarasca", per cui si avrà  $L=455$  m.

La lunghezza di versante considerata è pari a 385m (Figura 17).

Il valore della velocità media di versante varia da letteratura tra 0,01 e 0,1 m/s ed è stato assunto nel caso in esame pari a 0,1 m/s.

Il valore della velocità di canale si colloca da letteratura nel range 1 - 3 m/s ed è stato assunto pari a 2 m/s.

Le velocità sono state assunte in modo cautelativo ai fini del calcolo della portata al colmo di piena.

In riferimento alle leggi di pioggia determinate precedentemente, si utilizzerà:

$$h_T(t_c) = a \cdot t_c^n \cdot K_T$$

Questo poiché al fine di massimizzare la portata al colmo, si pone come intervallo temporale nella legge di pioggia, utilizzata per durate superiori ad un'ora, il tempo di corrivazione determinato per il bacino oggetto della verifica ( $d=t_c$ , caso maggiormente critico).

**Tabella 6: Spessori critici di pioggia in mm e intensità di pioggia in mm/h in funzione del tempo di corrivazione.**

tc [h]	1,13	Lotto "Guarasca"				
T [y]	5	10	25	50	100	200
h [mm]	34,36	39,97	47,05	52,30	57,51	62,71
i(tc) [mm/h]	30,34	35,29	41,54	46,17	50,78	55,36

Si stima il coefficiente di afflusso dalla seguente tabella in funzione del tipo di superficie e del periodo di ritorno oggetto della verifica.

**Tabella 7: Coefficienti di afflusso in funzione del Tr – (Runoff coefficients for use un the rational method – standards used by City of Austin, Texas)**

Tipo di superficie	Periodo di ritorno T						
	2	5	10	25	50	100	200
Asfalto	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Calcestruzzo, tetti	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Coltivazioni (i = 0 ÷ 2%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Coltivazioni (i = 2 ÷ 7%)	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Coltivazioni (i > 7%)	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Pascoli (i = 0 ÷ 2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Pascoli (i = 2 ÷ 7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pascoli (i > 7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Boschi (i = 0 ÷ 2%)	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Boschi (i = 2 ÷ 7%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Boschi (i > 7%)	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Una volta portato il piano campagna ad una quota di 95-96 m s.l.m., la sotto-area oggetto dello studio potrà essere assimilata ad un terreno con copertura tipica di un pascolo, con coefficiente di afflusso pari a 0,53.

Il modello adottato permette di valutare la portata in base ad una relazione del tipo:

$$Q = \frac{\varphi \cdot i \cdot A}{360}$$

in cui:

- $\varphi$  = coefficiente di afflusso precedentemente determinato
- $i$  = intensità di pioggia per T=200 anni
- $A$  = superficie dell'area colante (ha)
- 360 è un fattore di conversione delle unità di misura che permette di ottenere  $Q$  in  $m^3/s$

**Tabella 8: Calcolo delle portate per l'area "Guarasca".**

Stima delle portate per la sotto-area Guarasca						
R Anni	tc (ore)	A (ha)	phi pascolo	h(d,R)	i(d,R)	Q ( $m^3/s$ )
200	1,13	12,61	0,53	62,71	55,36	1,03

La portata così calcolata è pari a 1,03  $m^3/s$  per la sotto-area "Guarasca".

### 5.3.3 Calcolo del tempo di corrivazione e definizione modello afflussi-deflussi area "La Bolla"

L'area "La Bolla" ha una superficie totale pari a 1,12 ha. Il lotto si presenta interamente coperto da terreno naturale, con una pendenza compresa tra 0-2% che favorisce un deflusso delle acque di pioggia in direzione est-ovest, con conseguente convogliamento in un sistema di caditoie a Nord-Ovest che sfociano nel vicino Rio Bolla.

Questo sistema di caditoie non risulta all'interno di elaborati progettuali, mappe catastali o nella carta tecnica regionale. Infatti, non è stato possibile reperire alcuna informazione riguardo questo sistema di convogliamento delle acque meteoriche a scorrimento superficiale. L'unica fonte disponibile riguarda l'opera di scavo della Cava di sabbia e ghiaia che si sviluppa parallelamente all'area di impianto La Bolla in direzione Nord - Ovest. In particolare, nella relazione tecnica integrativa per il "Progetto per l'ampliamento di una cava in sabbia e ghiaia con recupero naturalistico - ricreativo in sobborgo Spinetta M.go - Località c.na La Bolla", risalente all'Aprile 2002, viene menzionata la realizzazione di strutture di contenimento di acque superficiali attraverso un sistema di caditoie, per impedire alle acque meteoriche di infiltrarsi all'interno della cava. Sulla scorta di tale affermazione è stato possibile supporre che le caditoie presenti nell'area di progetto siano state realizzate a seguito di tale intervento. L'analisi idraulica e idrologica del progetto appena citato considera le acque meteoriche che possono essere convogliate nella cava da tutta l'area circostante, all'interno della quale ricade anche l'area di impianto La Bolla, oggetto del presente studio, che si estende per 1,12 ha. In considerazione di ciò è stato realizzato uno studio idrologico ed idraulico ex novo, incentrato sulla sola area "La Bolla", per valutare l'entità delle piogge e il successivo ruscellamento superficiale che può avere origine nell'area di impianto. Inoltre, è stata valutata la possibilità di utilizzare questo sistema di caditoie per allontanare le acque superficiali, in modo da poter convogliare le stesse verso il Rio Bolla. Per efficientare il processo di raccolta delle acque meteoriche, si possono realizzare dei canali di convogliamento verso le stesse, migliorandone il deflusso e impedendo il trasporto di detriti o materiale che potrebbe degradarne la funzionalità. Resta da specificare che in fasi successive sarà opportuno verificare il sistema di caditoie esistente, in modo che allontani le acque superficiali verso il Rio Bolla, o corpi recettori atti a riceverle, e che tale sistema garantisca efficienza e affidabilità nel tempo.

In Figura 18 viene riportato uno schema di massima di convogliamento delle acque meteoriche verso le caditoie presenti nell'area di progetto per il lotto "La Bolla".



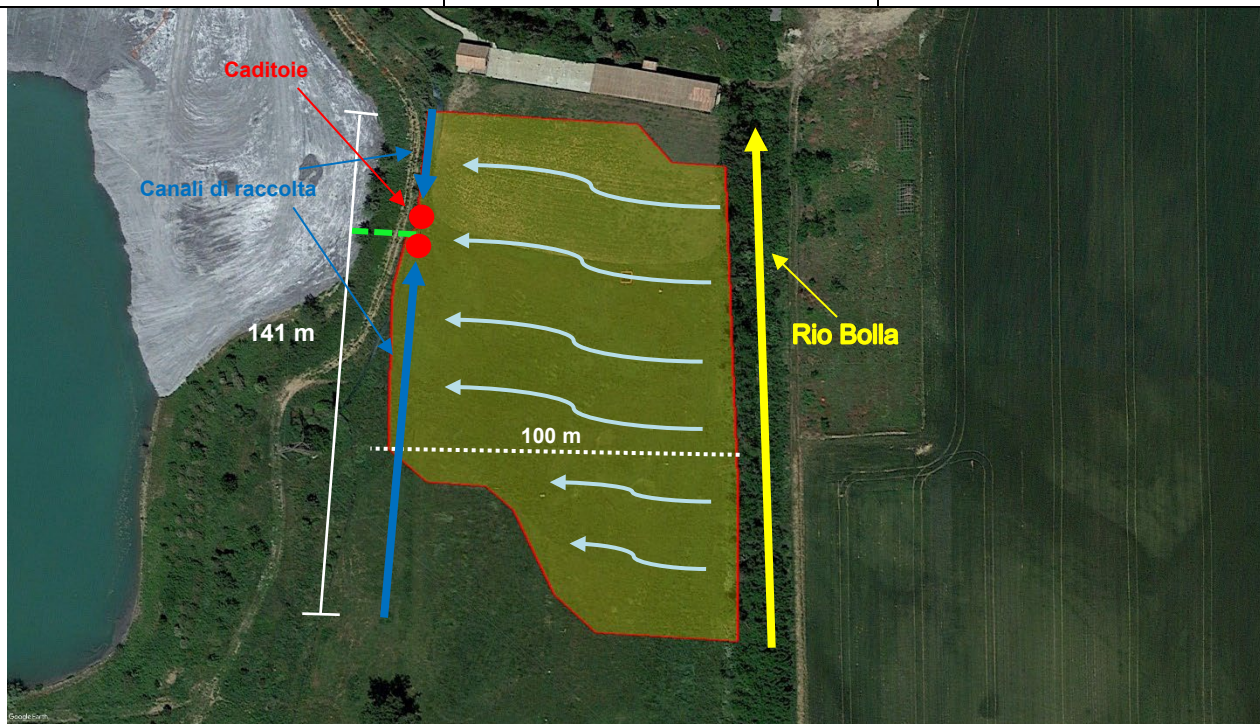


Figura 18: Schema di massima di regimentazione delle acque meteoriche nel lotto "La Bolla".

Per la stima degli apporti idrici durante un evento meteorico per il lotto "La Bolla", si possono considerare le seguenti caratteristiche:

- Superficie ricoperta da terreno naturale, assimilabile a pascolo, con pendenza media  $i$  compresa tra  $0 \div 2\%$ .

Ai fini del presente elaborato e allo scopo di determinare la portata massima al colmo nella sezione di chiusura, durante un evento meteorico con tempo di ritorno  $T$  di 200 anni, si prevede di considerare il lotto "La Bolla" come un unico bacino colante a sé stante, considerando il grado di pendenza e il fatto che l'area risulta essere delimitata da un casolare lungo il lato nord, dal Rio "La Bolla" lungo il lato est e da una strada lungo il lato ovest.

Si calcola di seguito il tempo di corrivazione per il lotto "La Bolla":

- Il tempo di corrivazione del sotto-bacino "La Bolla", sotteso alla sezione di chiusura, viene stimato considerando la definizione del tempo di corrivazione pari a:

$$t_c = t_a + \frac{L_{ap}}{\bar{v}_{canale}}$$

con:

$$t_a = \frac{L_{versante}}{\bar{v}_{versante}}$$

dove:

- $t_c$  = tempo di corrivazione;
- $L_{ap}$  = lunghezza asta principale;
- $\bar{v}_{canale}$  = velocità media del flusso all'interno dell'asta principale;



- $t_a$  = tempo di accesso al reticolo idrografico;
- $L_{versante}$  = distanza massima, misurata parallelamente alle linee di flusso del reticolo, tra il punto più lontano all'interno dell'area del bacino idrografico e l'asta principale;
- $\bar{v}_{versante}$  = velocità media della particella di pioggia che percorre il versante in direzione dell'asta principale.

Come asta principale è stato considerato il canale che scorre, in direzione nord, in corrispondenza del lato est dell'area in oggetto; si è scelta come lunghezza dell'asta, una lunghezza pari al lato est del lotto "La Bolla", per cui si avrà  $L=141$  m.

La lunghezza di versante considerata è pari a 100 m (Figura 23).

Il valore della velocità media di versante varia da letteratura tra 0,01 e 0,1 m/s ed è stato assunto nel caso in esame pari a 0,1 m/s.

Il valore della velocità di canale si colloca da letteratura nel range 1 – 3 m/s ed è stato assunto pari a 2 m/s.

Le velocità sono state assunte in modo cautelativo ai fini del calcolo della portata al colmo di piena.

In riferimento alle leggi di pioggia determinate precedentemente, si utilizzerà:

$$\mu_{tc,T} = \left( 26,72 \cdot \left( \frac{1 + 136,495 \cdot tc}{1 + 136,495} \right)^{\frac{(0,222-1)(1+136,495)}{136,495}} \right) \cdot tc \cdot K_T$$

Questo poiché al fine di massimizzare la portata al colmo, si pone come intervallo temporale nella legge di pioggia, utilizzata per durate inferiori ad un'ora, il tempo di corrivazione determinato per il bacino oggetto della verifica ( $d=t_c$ , caso maggiormente critico).

**Tabella 9: Spessori critici di pioggia in mm e intensità di pioggia in mm/h in funzione del tempo di corrivazione.**

tc [h]	0,30	Lotto "La Bolla"				
T [y]	5	10	25	50	100	200
h [mm]	0,30	25,38	29,52	34,75	38,63	42,48
i(tc) [mm/h]	1,00	85,36	99,28	116,87	129,91	142,86

Si stima il coefficiente di afflusso dalla seguente tabella in funzione del tipo di superficie e del periodo di ritorno oggetto della verifica.

**Tabella 10: Coefficienti di afflusso in funzione del Tr – (Runoff coefficients for use un the rational method – standards used by City of Austin, Texas)**

Tipo di superficie	Periodo di ritorno T						
	2	5	10	25	50	100	200
Asfalto	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Calcestruzzo, tetti	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Coltivazioni (i = 0 ÷ 2%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Coltivazioni (i = 2 ÷ 7%)	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Coltivazioni (i > 7%)	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Pascoli (i = 0 ÷ 2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Pascoli (i = 2 ÷ 7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pascoli (i > 7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Boschi (i = 0 ÷ 2%)	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Boschi (i = 2 ÷ 7%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Boschi (i > 7%)	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Una volta portato il piano campagna ad una quota di 95-96 m s.l.m., la sotto-area oggetto dello studio potrà essere assimilata ad un terreno con copertura tipica di un pascolo, con coefficiente di afflusso pari a 0,53.

Il modello adottato permette di valutare la portata in base ad una relazione del tipo:

$$Q = \frac{\varphi \cdot i \cdot A}{360}$$

in cui:

- $\varphi$  = coefficiente di afflusso precedentemente determinato
- $i$  = intensità di pioggia per T=200 anni
- $A$  = superficie dell'area colante (ha)
- 360 è un fattore di conversione delle unità di misura che permette di ottenere Q in m<sup>3</sup>/s

**Tabella 11: Calcolo delle portate per l'area "La Bolla"**

Stima delle portate per la sotto-area "La Bolla"						
T (Anni)	tc (ore)	A (ha)	phi pascolo	h(d,T)	i(d,T)	Q (m <sup>3</sup> /s)
200	0,30	1,12	0,53	42,48	142,86	0,24

La portata così calcolata è pari a 0,24 m<sup>3</sup>/s per la sotto-area "La Bolla".

## 6 VERIFICA IDRAULICA

A seguito delle portate determinate nel precedente capitolo per un tempo di ritorno di 200 anni alla sezione di chiusura dei bacini colanti dei lotti "Guarasca" e "La Bolla", si riportano di seguito le verifiche dei vari elementi idraulici effettuate e in particolare:

- lotto "Guarasca" - Verifica della sezione di chiusura del canale che scorre a nord dell'area di progetto per la portata calcolata pari a 1,03 m<sup>3</sup>/s;
- lotto "La Bolla" - Verifica della sezione di chiusura del Rio "La Bolla" che scorre sul lato est dell'area di progetto per la portata calcolata di 0,24 m<sup>3</sup>/s.

Le verifiche idrauliche sono state eseguite in moto uniforme con formula di Chezy:

$$V = X \sqrt{R} \cdot i$$

Dove  $R$  è il raggio idraulico,  $i$  la pendenza del canale e il coefficiente  $X$  è determinato con la formula di Kutter:

$$X = \frac{100 \sqrt{R}}{\sqrt{R} + m}$$

nella quale  $m$  [m<sup>1/2</sup>] è un coefficiente funzione della scabrezza delle pareti.

### 6.1 VERIFICA IDRAULICA AREA "GUARASCA"

Si riporta a seguire la verifica idraulica della sezione di scarico del canale naturale in cui verranno convogliate le acque meteoriche che interesseranno l'area di progetto "Guarasca". La sezione del canale è di tipo trapezoidale di base maggiore 1,70 m, base minore 0,50 m e altezza 0,90 m. La pendenza media è dell'1,7% e il coefficiente di Kutter da considerare è pari a 2 m<sup>1/2</sup> per canali di terra in cattive condizioni e corsi d'acqua naturali con ciottoli e ghiaia.

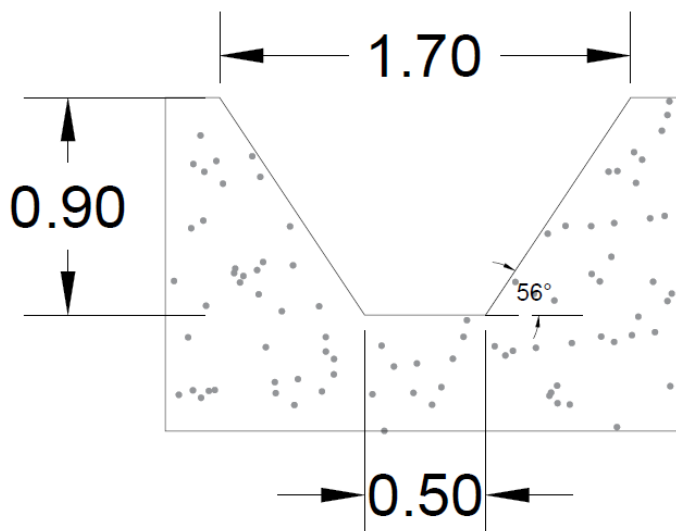


Figura 19: Discretizzazione del canale che percorre il lato nord dell'area "Guarasca".

La sezione risulta verificata per un tirante di 0,69 m (76,7%), ad un tempo di ritorno di 200 anni.

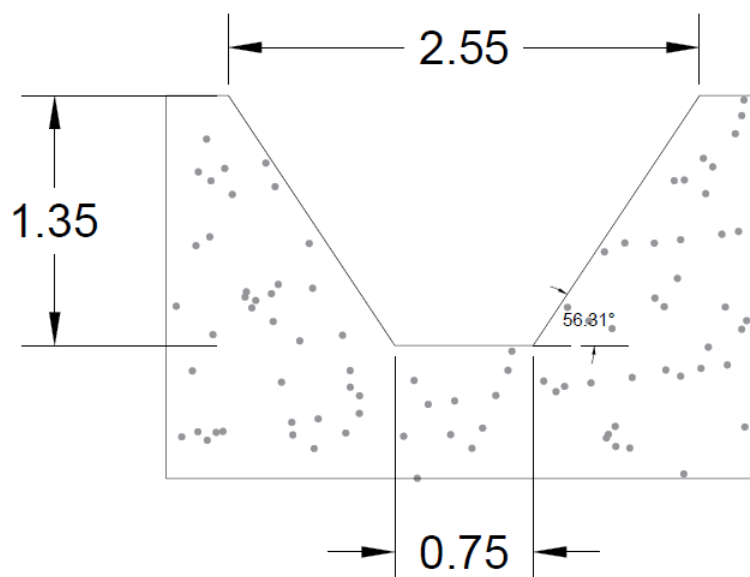
**Tabella 12: Parametri di dimensionamento per la verifica idraulica della sezione del canale "Guarasca"**

Parametro	Unità di misura	Valore
Profondità del canale	m	0,90
Larghezza di fondo del canale	m	0,50
Larghezza massima del canale	m	1,70
Pendenza del canale	-	0,017
m Kutter	m <sup>1/2</sup>	2
Inclinazione scarpata	°	56,3
Contorno bagnato	m	2,15
Area di deflusso	m <sup>2</sup>	0,66
Raggio idraulico	m	0,30
Coefficiente X	-	21,66
Velocità di deflusso	m/s	1,56
Q	m <sup>3</sup> /s	1,03
Tirante	m	0,69

## 6.2 VERIFICA IDRAULICA AREA "LA BOLLA"

Si riporta a seguire la verifica idraulica della sezione di scarico del Rio "La Bolla" in cui verranno convogliate le acque meteoriche che interesseranno l'area di progetto "La Bolla".

La sezione del canale è di tipo trapezoidale di base maggiore 2,55 m, base minore 0,75 m e altezza 1,35 m. La pendenza media è dell'0,1% e il coefficiente di Kutter da considerare è pari a 2 m<sup>1/2</sup> per canali di terra in cattive condizioni e corsi d'acqua naturali con ciottoli e ghiaia.



**Figura 20: Discretizzazione del canale che percorre il lato nord dell'area "La Bolla".**



La sezione risulta verificata per un tirante di 0,56 m (48,8%), ad un tempo di ritorno di 200 anni.

Il tirante in condizioni di piena del Rio "La Bolla" è stato inoltre verificato nell'ipotesi che all'interno dell'alveo scorra regolarmente una portata media del Rio pari a metà dell'area della sezione.

La portata naturale del Rio "La Bolla" così calcolata è risultata essere pari a 0,53 m<sup>3</sup>/s, che sommata alla portata di pioggia al colmo di piena, pari a 0,24 m<sup>3</sup>/s, fornisce una portata totale pari a 0,77 m<sup>3</sup>/s.

Considerando la somma della portata naturale del rio, così stimata, e della portata di pioggia, la sezione risulta verificata per un tirante pari a 1,01 m (75,0%).

**Tabella 13: Parametri di dimensionamento per la verifica idraulica della sezione del canale "La Bolla"**

Parametro	Unità di misura	Parametro
Profondità del canale	m	1,35
Larghezza di fondo del canale	m	0,75
Larghezza massima del canale	m	2,55
Pendenza del canale	-	0,001
m Kutter	m <sup>1/2</sup>	2
Inclinazione scarpata	°	56,3
Contorno bagnato	m	1,27
Area di deflusso	m <sup>2</sup>	0,23
Raggio idraulico	m	0,18
Coefficiente X	-	17,48
Velocità di deflusso	m/s	1,05
Q	m <sup>3</sup> /s	0,24
Tirante	m	0,56



Engineering & Construction

GOLDER | wsp

CODICE - CODE

GRE.EEC.R.27.IT.P.13131.00.031.01

PAGINA - PAGE

35 di/of 35

## 7 CONCLUSIONI

La presente relazione, eseguita su incarico di Enel Green Power Italia Srl riporta i risultati ottenuti dallo studio idrologico riguardante l'area costituita da terreni di proprietà di Enel interessati dall'iniziativa proposta dalla Società Committente in merito alla realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra.

Tale studio ha permesso di analizzare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geomorfologiche dell'area nonché le condizioni di stabilità del sito su cui si intende intervenire e conseguentemente, la fattibilità geologico ambientale del progetto.

La sovrapposizione della cartografia PAI con l'area di studio non ha evidenziato aree a rischio idrogeologico.

Si è dunque analizzato l'assetto idrologico ed idrogeologico dell'area stimando la portata di ruscellamento ad un Tr di 200 anni, nella sezione di chiusura di ogni bacino colante rappresentato dai singoli lotti di progetto ("Guarasca" e "La Bolla"). È stata quindi verificata la compatibilità idraulica della sezione di chiusura di ogni singolo bacino con le portate stimate ad un tempo di ritorno di 200 anni. Considerata l'entità della portata calcolata ed in virtù delle caratteristiche dell'area, non si prevede allo stato attuale la necessità di realizzazione di opere di regimazione delle acque meteoriche di particolare rilievo. Inoltre, il rilascio nel Tanaro e nel canale di Guarasca avverrà a valle di opportune opere di dissipazione. L'eventuale sistema di drenaggio di dettaglio, e/o le relative opere di collettamento nel punto di scarico individuato, verranno dimensionate, in fase esecutiva, secondo le correnti specifiche tecniche della Committente.

Il Progettista

Vito Bretti

