

COMUNE DI STATTE



COMUNE DI TARANTO



**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE IN AREA SIN DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA R.T.N. INTEGRATO CON UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE**

STUDIO DI COMPATIBILITA' IDRAULICA ED IDROLOGICA

ELABORATO

PR\_06

**PROPONENTE:**



**METKA EGN Apulia S.r.l.**

Sede Legale Corso Vittorio Emanuele II n. 287

00186 Roma (RM)

metkaegnapuliasrl@legalmail.it

**PROGETTO:**



Via Caduti di Nassirya, 55  
70124 Bari (Italy)

pec: atechsrl@legalmail.it

Direttore Tecnico: Ing. Orazio Tricarico



0	GIU 2022	B.B.	A.A. □O.T.	A.A. □O.T.	Progetto definitivo
EM. REV.	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	DESCRIZIONE

<b>1.PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2.DESCRIZIONE DELLE INTERFERENZE .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. INTERSEZIONI CAVIDOTTO-RETICOLI IDROGRAFICI</b>	<b>9</b>
<b>3.DESCRIZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI .....</b>	<b>12</b>
<b>4.INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DEL BACINO DI STUDIO .....</b>	<b>13</b>
<b>5.ANALISI REGIONALE DELLE PIOGGE IN PUGLIA .....</b>	<b>15</b>
<b>5.1. CURVE DI POSSIBILITÀ CLIMATICA</b>	<b>20</b>
5.1.1. BACINO 1	24
5.1.2. BACINO 2	26
5.1.3. BACINO 3	28
5.1.4. BACINO 4	30
5.1.5. BACINO 5	32
5.1.6. BACINO 6	34
5.1.7. BACINO 7	36
5.1.8. BACINO 8	38
5.1.9. BACINO 9	40
5.1.10. BACINO 10	42
5.1.11. BACINO 11	44
<b>6.ANALISI IDRAULICA .....</b>	<b>46</b>
<b>6.1. VALUTAZIONE PORTATE DI PIENA</b>	<b>46</b>
<b>6.2. CONSIDERAZIONI FINALI SULLA PORTATA DI PIENA</b>	<b>57</b>
<b>7.MODELLAZIONE IDRAULICA .....</b>	<b>59</b>
<b>8.CONCLUSIONI.....</b>	<b>68</b>
<b>9.ALLEGATI .....</b>	<b>69</b>



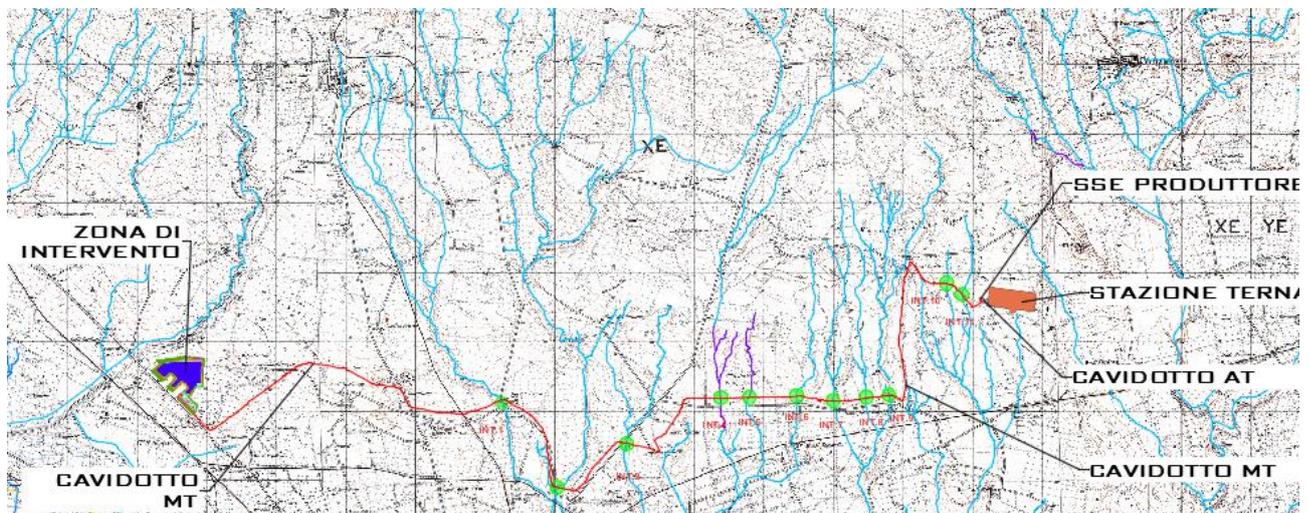
## 1. PREMESSA

La presente Relazione di Compatibilità Idrologica ed Idraulica è stata redatta nell'ambito del **progetto per la realizzazione di un impianto fotovoltaico della potenza di 18.042,78 KWp con annesso impianto di produzione di idrogeno green e relative opere di connessione alla RTN da realizzare nei comuni di Statte e Taranto (TA).**

La società proponente è **METKA EGN Apulia S.r.l.** con sede legale in Corso Vittorio Emanuele II n. 287 - 00186 Roma (RM).

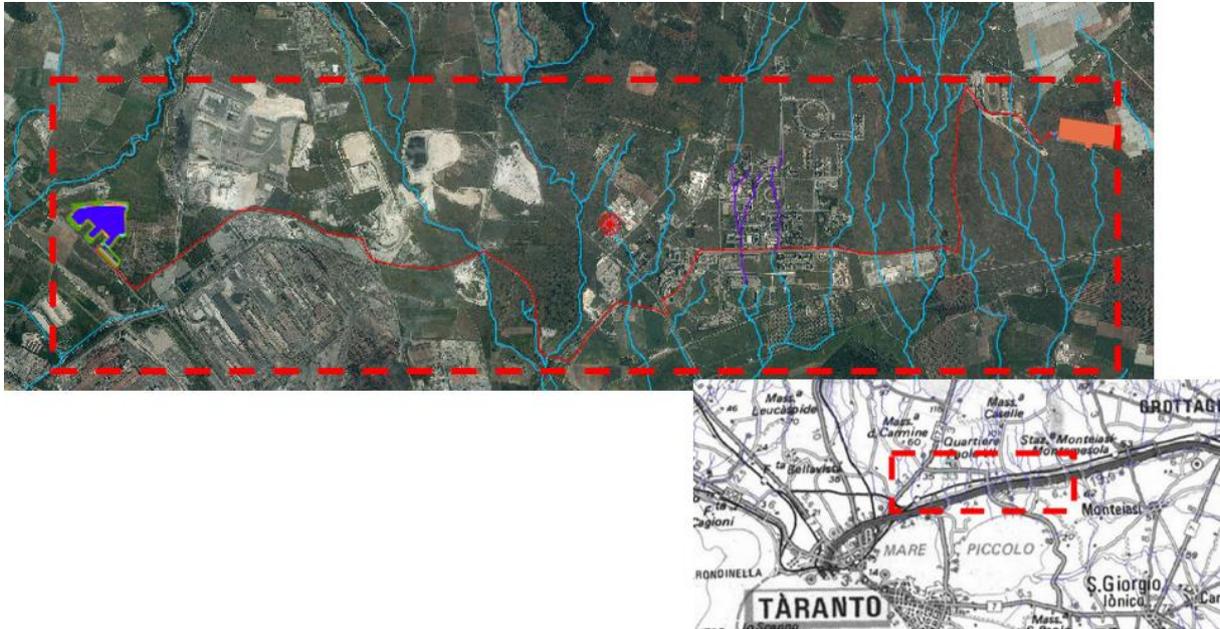
Dal punto di vista ambientale le opere in progetto rientrano nelle categorie di cui all'Allegato II alla Parte Seconda del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., in particolare al punto 2) **"impianti fotovoltaici per la produzione di energia elettrica con potenza complessiva superiore a 10 MW"** (modifica introdotta dall'art. 31, comma 6, della Legge n. 108 del 2021).

Nella immagine seguente è rappresentata l'ubicazione dell'impianto (zona di intervento) e del cavidotto in MT (in rosso).



**Figure 1-Planimetria di progetto su base IGM 1:25.000**

Il cavidotto lungo il suo percorso, dall'impianto di produzione al punto di connessione TERNA, interseca in più punti il reticolo idrografico presente sia sulla carta IGM 1:25.000 che sulla carta idrogeomorfologica redatta dalla AdB Puglia (cfr.immagine 2).



**Figure 2-Inquadramento del tracciato del cavidotto su Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia redatta dall'AdB**

Come si evince dalla cartografia del Piano di Bacino stralcio Assetto Idrogeologico (PAI), approvato dalla Autorità di Bacino della Regione Puglia (AdB), **l'area interessata dall'intervento non è soggetta né a vincolo per pericolosità idraulica, né a vincolo per pericolosità geomorfologica.**

Inoltre l'impianto all'interno del lotto di proprietà è stato posizionato in maniera tale da rispettare la distanza minima prevista dalle N.T.A. del PAI dal reticolo superficiale esistente.



**Figure 3-Inquadramento del tracciato del cavidotto rispetto alle aree perimetrate dal PAI su base ortofoto**

Pertanto, è stato redatto il presente Studio, conformemente al dettato normativo delle NTA del PAI, finalizzato alla determinazione delle aree inondabili, con tempo di ritorno di 200 anni, per i bacini idrografici con sezioni di chiusura situate a valle delle aree di interesse individuate.

C'è da rilevare, comunque, che gli impianti di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, tra cui sono compresi i parchi eolici, sono **opere di pubblica utilità** ai sensi del Decreto Legislativo 29 dicembre 2003, n. 387 (*Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità*) e, pertanto, sono consentiti anche in aree classificate come *Alvei fluviali in modellamento attivo ed aree golenali*, ai sensi dell'art. 6 delle NTA del PAI, purché coerenti con gli obiettivi del Piano stesso.

Pertanto, in ogni caso, l'impianto in oggetto è compatibile con le prescrizioni e le finalità del PAI.

Lo studio idrologico-idraulico è stato organizzato secondo i seguenti punti:

- individuazione delle intersezioni del cavidotto con il reticolo superficiale;
- analisi e descrizione delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrografici relativi alle aree di intersezione;
- studio idrologico dei bacini di interesse, previa caratterizzazione del regime climatico delle aree;

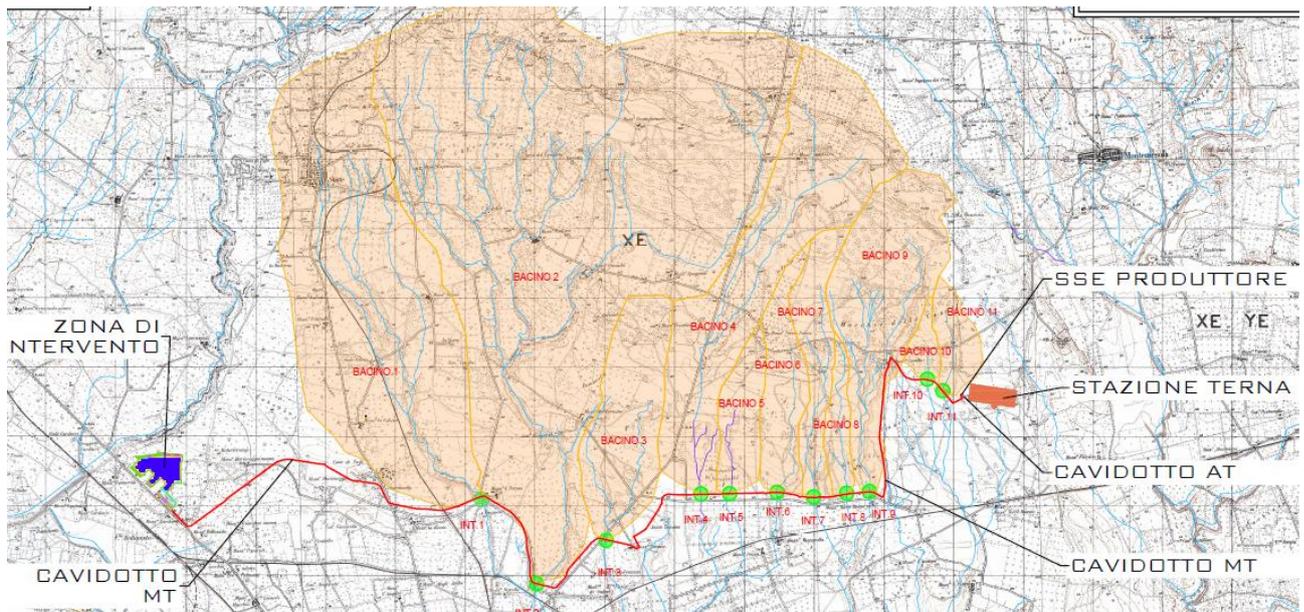


- studio idraulico delle aste fluviali di interesse e determinazione dei livelli idrici e delle aree inondabili al variare del tempo di ritorno;
- analisi e valutazione della compatibilità idraulica delle opere oggetto di autorizzazione.

**Per lo studio delle portate di piena sono stati reperiti i dati di pioggia della stazione pluviometrica di Crispiano; si precisa che i bacini idrografici individuati ricadono soprattutto nell'area di riferimento della stazione pluviometrica di Crispiano ed in quota parte più contenuta in quella facente riferimento alla stazione di Taranto.**

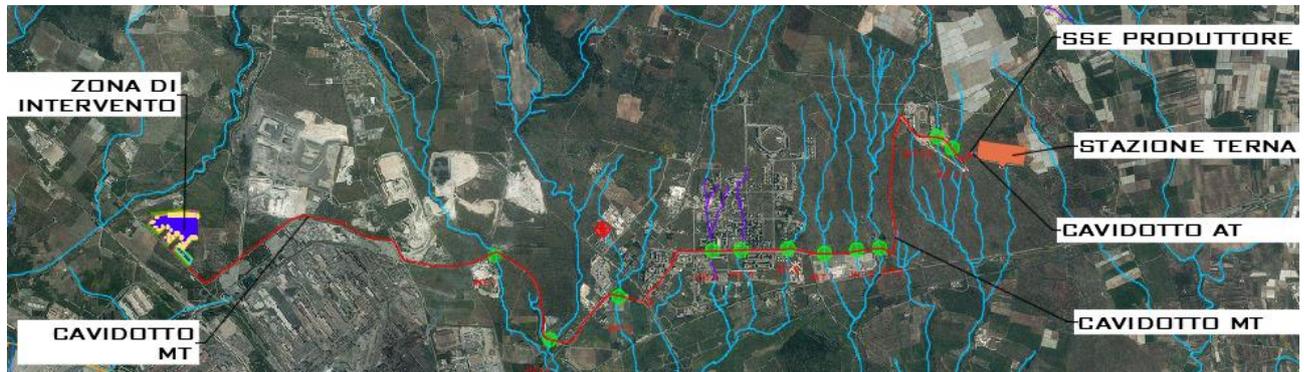
## 2. Descrizione delle interferenze

I bacini idrografici di interesse sono n.11 e ricadono in massima parte all'interno del comune di Crispiano ed in parte nel comune di Taranto.

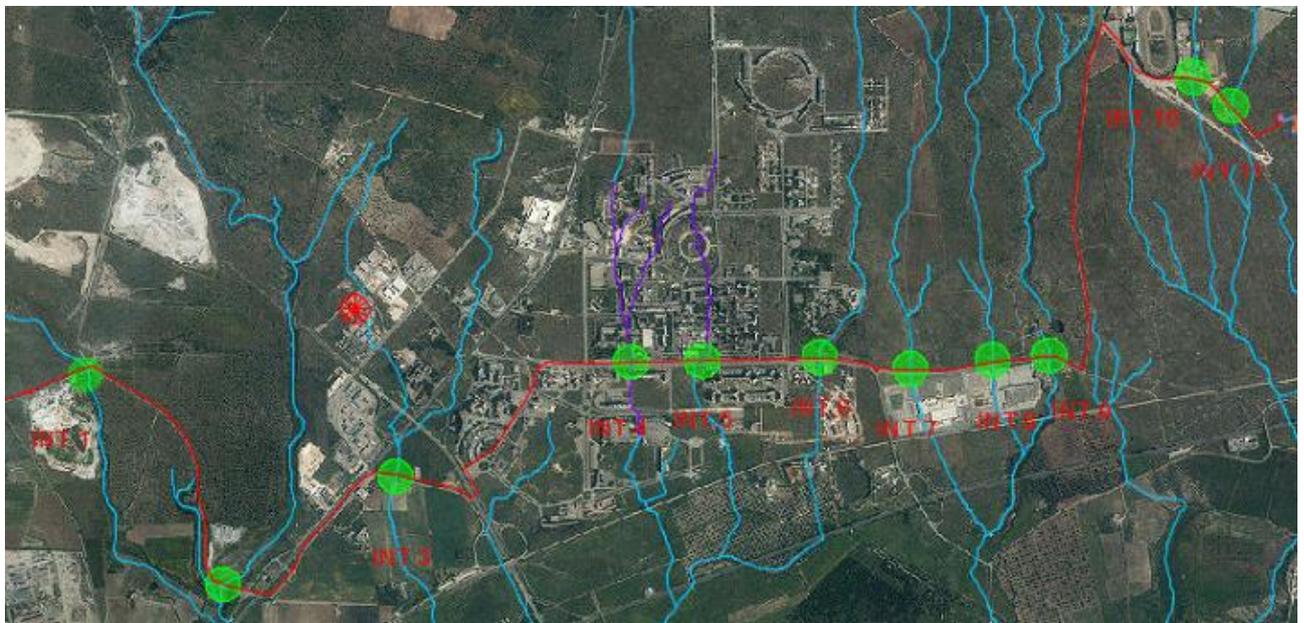


**Figure 4-Inquadramento dei bacini idrografici su IGM 1: 25.000**

Dalla sovrapposizione del layout di impianto con il reticolo idrografico, emerge che l'unico elemento che interferisce con il suddetto reticolo è il cavidotto (rappresentato in rosso nelle immagini 4 e 5).

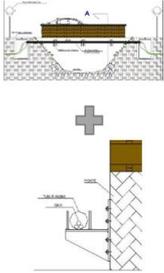
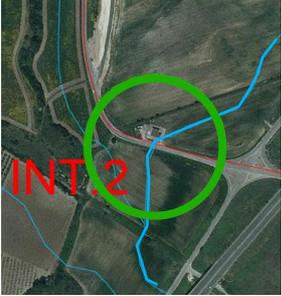
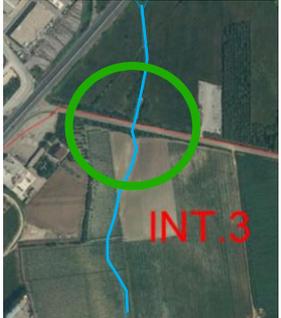
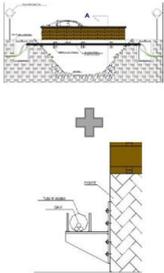


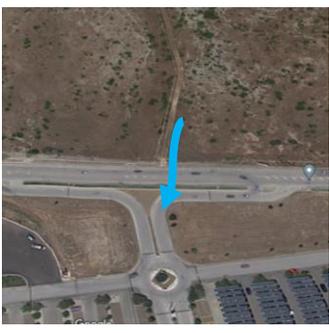
**Figure 5.1-Inquadramento delle interferenze tra cavidotto e reticolo idrografico**

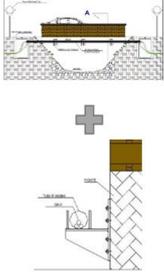
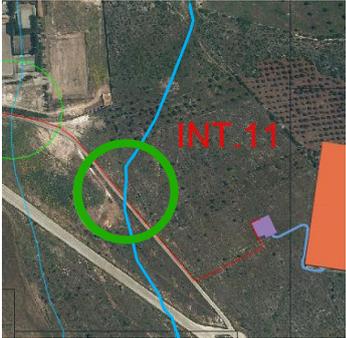


**Figure 5.2-Dettaglio inquadramento delle interferenze tra cavidotto e reticolo idrografico**

Quindi, le interferenze del cavidotto con il reticolo idrografico, hanno determinato l'individuazione di n.11 bacini idrografici descritti nella tabella che segue:

N.	NOME	PLANIMETRIA	FOTO	TIPOLOGIA ATTRAVERSAMENTO	
1	Attraversamento corso d'acqua con via S.P.47			Staffaggio su ponte lato valle	
2	Attraversamento corso d'acqua a raso con strada asfaltata – S.P.120			Scavo e rinterro	
3	Attraversamento corso d'acqua con via Tratturello del Tarantino			Staffaggio su ponte lato valle	
4	Attraversamento corso d'acqua obliterato con strada asfaltata – S.P.21			Scavo e rinterro	

<p><b>5</b></p>	<p>Attraversamento corso d'acqua obliterato con strada asfaltata – S.P.21</p>			<p>Scavo e rinterro</p>	
<p><b>6</b></p>	<p>Attraversamento corso d'acqua a raso con strada asfaltata – S.P.21</p>			<p>Scavo e rinterro</p>	
<p><b>7</b></p>	<p>Attraversamento corso d'acqua a raso con strada asfaltata – S.P.77</p>			<p>TOC</p>	
<p><b>8</b></p>	<p>Attraversamento corso d'acqua a raso con strada asfaltata –S.P.77</p>			<p>Scavo e rinterro</p>	

<p><b>9</b></p>	<p>Attraversamento corso d'acqua con S.P.77 sopraelevata</p>			<p>Staffaggio su ponte lato valle</p>	
<p><b>10</b></p>	<p>Attraversamento corso d'acqua a raso con strada secondaria asfaltata</p>			<p>Scavo e rinterro</p>	
<p><b>11</b></p>	<p>Attraversamento corso d'acqua a raso con strada secondaria asfaltata</p>			<p>Scavo e rinterro</p>	

### 2.1. Intersezioni cavidotto-reticoli idrografici

Il presente paragrafo è redatto al fine di fornire una descrizione della tecnica di posa del cavidotto, necessario alla realizzazione della connessione elettrica dell'impianto, nei tratti interferenti con il reticolo idrografico presente sul territorio.

Le intersezioni avvengono tutte su strade esistenti e saranno risolte nel modo seguente:

- per le intersezioni identificate con i numeri 1, 3 e 9 si procederà con lo staffaggio del cavidotto sul ponte lato valle;
- per le intersezioni identificate con i numeri 2, 4, 5, 6, 8, 10 e 11 si procederà con il posizionamento del cavidotto previo scavo e successivo rinterro;



- per la sola intersezione n.7 si procederà con la trivellazione orizzontale controllata (T.O.C.), ad una profondità minima di 1,5 m rispetto al fondo alveo, in maniera da non interferire minimamente sia con il deflusso superficiale che con gli eventuali scorrimenti in subalvea. In fase esecutiva si procederà con indagini in loco al fine di verificare la presenza di eventuali sotto-servizi per evitare possibili interferenze.

Si evidenzia che per gli attraversamenti n. 4 e 5, in corrispondenza del "corso d'acqua oblitterato" i luoghi sono stati totalmente antropizzati e del reticolo in parola non è leggibile alcuna traccia.

La scelta della tecnica della trivellazione orizzontale controllata (T.O.C.) prevista per l'attraversamento n.7 permette di evitare interferenze sul regime idraulico e di limitare l'impatto ambientale.

In prossimità del reticolo idrografico il cavidotto elettrico, posto alla profondità di minimo cm 150 dal piano stradale, verrà spinto oltre il reticolo con la tecnica della trivellazione orizzontale controllata (T.O.C.).



**Figure 5-Sistema di trivellazione orizzontale controllata (T.O.C.).**

Tale tecnica consente di posare, per mezzo della perforazione orizzontale controllata, linee di servizio sotto ostacoli quali strade, fiumi e torrenti, edifici e autostrade, con scarso o nessun impatto sulla superficie.

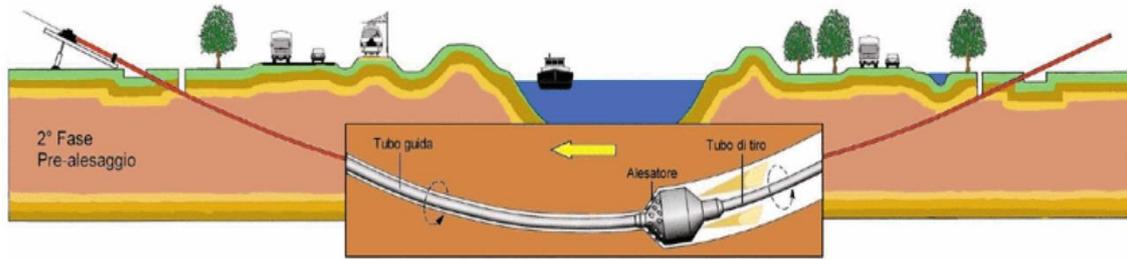
Questo tipo di perforazione consiste essenzialmente nella realizzazione di un cavidotto sotterraneo mediante il radio-controllo del suo andamento plano-altimetrico. Il controllo della perforazione è reso possibile dall'utilizzo di una sonda radio montata in cima alla punta di perforazione, questa sonda dialogando con l'unità operativa esterna permette di controllare il percorso della trivellazione e correggere in tempo reale gli eventuali errori.

L'esecuzione della trivellazione orizzontale controllata (T.O.C.) consta essenzialmente di due fasi di lavoro:

- In una prima fase, dopo aver piazzato la macchina perforatrice, si realizza un foro pilota, infilando nel terreno, mediante spinta e rotazione, una successione di aste che guidate opportunamente dalla testa, crea un percorso sotterraneo che va da un pozzetto di partenza a quello di arrivo;
- nella seconda fase si prevede che il recupero delle aste venga sfruttato per portarsi dietro un alesatore che, opportunamente avvitato al posto della testa, ruotando con le aste genera il foro del diametro voluto ( $\varphi = 200 \div 500\text{mm}$ ). Insieme all'alesatore, o successivamente, vengono posati in opera i tubi camicia che ospiteranno il cavidotto. Infine si effettuerà il riempimento delle tubazioni con bentonite.



**Figure 6 – Schema della fase di realizzazione del foro pilota.**



**Figure 7- Schema della fase di trivellazione di allungamento del perforo.**

Il tracciato realizzato mediante tale tecnica consente in genere, salvo casi particolari, inclinazioni dell'ordine dei 12÷15 gradi.

### 3. Descrizione dei bacini idrografici

Dell'analisi delle n.11 interferenze effettuata nei capitoli precedente si riportano le tabelle di sintesi delle caratteristiche geomorfologiche di ciascun bacino idrografico individuato.

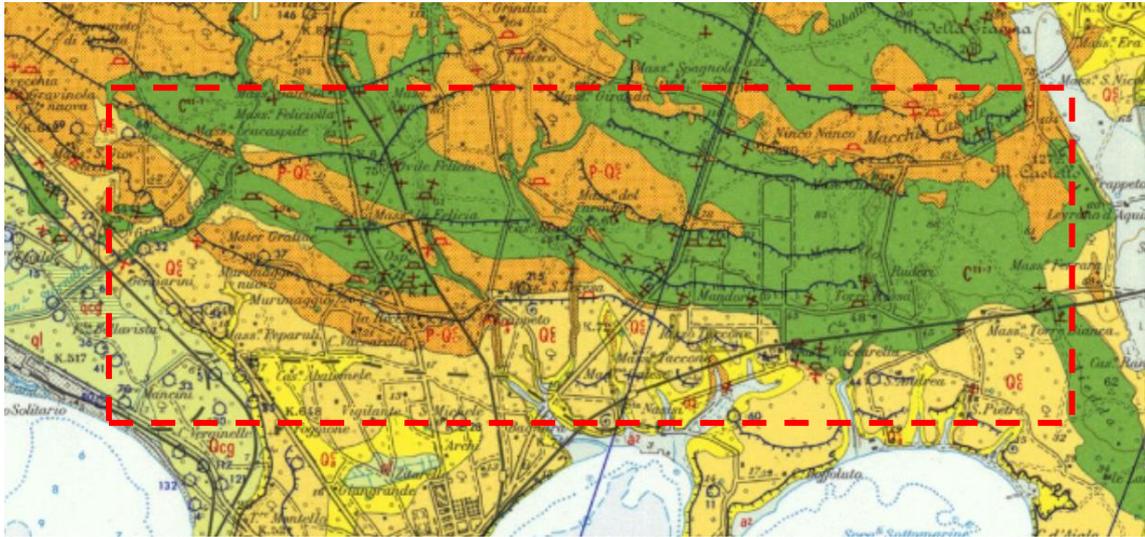
<b>Bacino 1</b>	<i>Lungh. dell'asta princ.</i>	<i>[Km]</i>	5,86
	<i>H massima del bacino</i>	<i>[m]</i>	200
	<i>H sezione chiusura</i>	<i>[m]</i>	25
	<i>H monte dell'asta</i>	<i>[m]</i>	135
	<i>Superficie del Bacino</i>	<i>[Kmq]</i>	12,17
<b>Bacino 2</b>	<i>Lungh. dell'asta princ.</i>	<i>[Km]</i>	9,23
	<i>H massima del bacino</i>	<i>[m]</i>	273
	<i>H sezione chiusura</i>	<i>[m]</i>	5
	<i>H monte dell'asta</i>	<i>[m]</i>	255
	<i>Superficie del Bacino</i>	<i>[Kmq]</i>	27,12
<b>Bacino 3</b>	<i>Lungh. dell'asta princ.</i>	<i>[Km]</i>	2,45
	<i>H massima del bacino</i>	<i>[m]</i>	113
	<i>H sezione chiusura</i>	<i>[m]</i>	16
	<i>H monte dell'asta</i>	<i>[m]</i>	74
	<i>Superficie del Bacino</i>	<i>[Kmq]</i>	0,01
<b>Bacino 4</b>	<i>Lungh. dell'asta princ.</i>	<i>[Km]</i>	6,40
	<i>H massima del bacino</i>	<i>[m]</i>	230
	<i>H sezione chiusura</i>	<i>[m]</i>	36
	<i>H monte dell'asta</i>	<i>[m]</i>	210
	<i>Superficie del Bacino</i>	<i>[Kmq]</i>	7,06

<b>Bacino 5</b>	Lungh. dell'asta princ.	[Km]	1,41
	H massima del bacino	[m]	119
	H sezione chiusura	[m]	37
	H monte dell'asta	[m]	75
	Superficie del Bacino	[Kmq]	1,21
<b>Bacino 6</b>	Lungh. dell'asta princ.	[Km]	2,30
	H massima del bacino	[m]	155
	H sezione chiusura	[m]	45
	H monte dell'asta	[m]	133
	Superficie del Bacino	[Kmq]	1,69
<b>Bacino 7</b>	Lungh. dell'asta princ.	[Km]	3,25
	H massima del bacino	[m]	160
	H sezione chiusura	[m]	47
	H monte dell'asta	[m]	133
	Superficie del Bacino	[Kmq]	1,64
<b>Bacino 8</b>	Lungh. dell'asta princ.	[Km]	2,29
	H massima del bacino	[m]	112
	H sezione chiusura	[m]	46
	H monte dell'asta	[m]	105
	Superficie del Bacino	[Kmq]	0,65
<b>Bacino 9</b>	Lungh. dell'asta princ.	[Km]	4,16
	H massima del bacino	[m]	205
	H sezione chiusura	[m]	46
	H monte dell'asta	[m]	155
	Superficie del Bacino	[Kmq]	4,38
<b>Bacino 10</b>	Lungh. dell'asta princ.	[Km]	0,51
	H massima del bacino	[m]	144
	H sezione chiusura	[m]	95
	H monte dell'asta	[m]	119
	Superficie del Bacino	[Kmq]	0,36
<b>Bacino 11</b>	Lungh. dell'asta princ.	[Km]	1,22
	H massima del bacino	[m]	155
	H sezione chiusura	[m]	98
	H monte dell'asta	[m]	138
	Superficie del Bacino	[Kmq]	0,78

#### 4. Inquadramento geologico e geomorfologico del bacino di studio

L'area interessata dai bacini di interesse, compreso quello scelto per la successiva modellazione idraulica, ricade nel foglio 202 della Carta Geologica d'Italia (Taranto), scala 1:100.000.





**Figure 8: Stralci della carta geologica d'Italia (F.202, scala 1:100.000).**

Dal punto di vista geologico, in relazione a quanto riportato dalla Carta Geologica d'Italia, il territorio in cui si estende il bacino idrografico oggetto del presente studio, è interessato dalle seguenti formazioni geologiche:

**Cretacico** C<sup>11-7</sup>



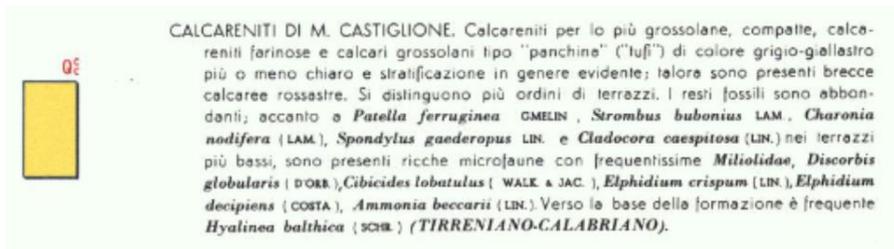
**CALCARE DI ALTAMURA.** Calcari compatti, talora ceroidi, biancastri e grigi con intercalati calcari dolomitici e dolomie compatti, nocciola o grigio scuri (es. S. Crispieri); la stratificazione è sempre distinta. I resti fossili sono talora abbondanti con *Hippurites lapeirousei* GOLDF., *Hippurites sulcatus* DEF., *Radiolites angeioides* LAM., *Radiolites squamosus* D'ORB., *Biradiolites lumbricoides* DOUV., *Durania martellii* PAR., *Bournonia retrolata* (ASTRE), *Medeella acuticostata* TORRE. Le microfaune sono in genere scarse con *Miliolidae*, *Ophthalmidiidae* e talora Ostracodi; eccezionalmente sono presenti *Dicyclina schlumbergeri* MUN. CHALM., *Cuneolina pavonia parva* HEN., *Aeolisaccus koteri* RAD. (SENONIANO-TURONIANO con possibile passaggio al CENOMANIANO).

**Pliocene** P-QE



**CALCARENITE DI GRAVINA.** Calcareniti in genere fini, pulverulente, a volte molto compatte, soprattutto nella parte inferiore, bianco-giallastre ("luffi") e ghiaie calcaree, talora parzialmente cementate (Mass. S. Simone) e breccie calcaree rossastre presso il bordo meridionale delle Murge. I fossili sono abbondanti con Echinidi, Molluschi tra cui *Turritella tricarinata tricarinata* (BROC.), *Argobuccinum marginatum* (MART.), *Murex brandaris* LIN., *Nassarius prismaticus* (BROC.), *Aequipecten opercularis* (LIN.), *Spondylus crassicauda* (LAM.). I Foraminiferi sono rappresentati nella parte sommitale soprattutto da *Bulimina marginata* D'ORB., *Uvigerina peregrina* CUSH., *Bolivina catanensis* SEG., *Cassidulina carinata* SILV. e *Hyalinea bathica* (SCHL.) (CALABRIANO). Nella rimanente parte si hanno invece microfaune con *Spiroplectammina wrighti* (SILV.), *Globulina gibba fissicostata* CUSH. & OZ., *Cassidulina carinata* SILV., *Valvulineria complanata* (CUSH.), *Anomalina ornata* (COSTA), *Cibicides floridanus* (CUSH.), *Cibicides pseudoungerianus* (CUSH.), *Globigerina pachyderma* (D'ORB.), *Elphidium complanatum* (D'ORB.) (PLIOCENE SUPERIORE).





## 5. ANALISI REGIONALE DELLE PIOGGE IN PUGLIA

L'approccio più moderno per lo studio degli eventi estremi in idrologia viene condotto con un insieme di procedure atte a trasferire l'informazione idrologica e nota come "analisi regionale".

Alla base di un modello di regionalizzazione vi è la preventiva individuazione del meccanismo fisico-stocastico, che spiega la distribuzione della variabile idrologica di interesse nello spazio e nel dominio di frequenza statistica.

La scelta del tipo di modello richiede la conoscenza di alcuni aspetti fondamentali legati alle risorse dedicabili allo studio, alla qualità dell'informazione disponibile e alla precisione richiesta dai risultati. Pertanto, la struttura del modello richiede la costruzione del risolutore numerico e un'attenta identificazione dei parametri di taratura.

Numerosi studi sono stati condotti in Inghilterra, negli Stati Uniti ed in Italia su questi modelli a più parametri, noti in letteratura con gli acronimi GEV (Jenkinson, 1955), Wakeby (Houghton 1978) e TCEV (Rossi e Versace, 1982; Rossi et al. 1984).

Quest'ultima sigla deriva dall'espressione inglese Two Component Extreme Value, che rappresenta la distribuzione di probabilità corrispondente ad un certo evento estremo, sia che provenga dalla distribuzione statistica di eventi ordinari sia che provenga da quella degli eventi straordinari. A tal fine occorre sottolineare che la principale fonte di incertezza deriva proprio dagli eventi estremamente intensi che hanno caratteristiche di rarità in ogni sito e aleatorietà per quel che riguarda il sito ove potranno verificarsi nel futuro. Ciò implica che, se in un punto eventi straordinari di un certo tipo non si siano verificati storicamente, questo non è garanzia di sicurezza sulla loro non occorrenza nel futuro.

L'identificazione dei parametri della distribuzione TCEV consente di costruire un modello regionale con struttura gerarchica, che utilizza tre differenti livelli di scala spaziale per la stima dei parametri del modello probabilistico utilizzato, in modo da ottimizzare l'informazione ricavabile dai dati disponibili e dal numero di stazioni della rete di misura.



In seguito, dopo una breve indicazione circa i dati disponibili per lo studio, si procede a fornire i risultati delle varie fasi della procedura di regionalizzazione del territorio pugliese centro-meridionale, territorio nel quale ricade il bacino oggetto di studio.

I dati pluviometrici utilizzati sono quelli pubblicati sugli annali idrologici del compartimento di Bari del S.I.I, le cui stazioni formano la rete di misura delle precipitazioni su tutto il territorio regionale con un'elevata densità territoriale.

Per i massimi annuali delle precipitazioni giornaliere, è stato adottato un modello di regionalizzazione basato sull'uso della distribuzione di probabilità TCEV (legge di distribuzione di probabilità del Valore Estremo a Doppia Componente), che rappresenta la distribuzione del massimo valore conseguito, in un dato intervallo temporale, da una variabile casuale distribuita secondo la miscela di due leggi esponenziali, nell'ipotesi che il numero di occorrenze di questa variabile segua la legge di Poisson. Il modello proposto ammette che le due componenti, quella straordinaria e ordinaria, appartengano a popolazioni diverse, anche se è ammessa la loro interferenza attraverso un processo poissoniano.

L'identificazione dei parametri della distribuzione TCEV ha consentito di costruire un modello regionale con struttura gerarchica, basata su tre livelli di regionalizzazione, grazie a cui è possibile individuare regioni in cui risulta costante il coefficiente di asimmetria, quindi risultano costanti i due parametri  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$  ad esso legati (primo livello di regionalizzazione), e sottoregioni di queste, più limitate, in cui sia costante anche il coefficiente di variazione, e quindi il parametro  $\Lambda_1$  che da esso dipende (secondo livello di regionalizzazione). Il terzo livello è poi finalizzato alla ricerca di eventuali relazioni esistenti, all'interno di più piccole aree, tra il parametro di posizione della distribuzione di probabilità e le caratteristiche morfologiche. In particolare si nota che, all'interno di dette aree, i valori medi dei massimi annuali delle precipitazioni di diversa durata sono o costanti o strettamente correlati alla quota del sito di rilevamento.

La preventiva suddivisione dell'area di studio in zone e sottozone omogenee è stata effettuata in base all'analisi delle massime precipitazioni giornaliere, di cui si dispone del maggior numero di informazioni. La procedura prevede che si ricerchino zone pluviometriche omogenee, entro le quali possano ritenersi costanti i valori dei parametri  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$ . Questi parametri non possono essere stimati da un numero ristretto di serie di dati, per cui l'analisi parte dalla possibilità di considerare le 66 stazioni come appartenenti ad un'unica zona al primo livello. I risultati ottenuti dall'analisi del I° livello e II° livello di



regionalizzazione sono stati ricavati con riferimento ad un'ipotesi di invarianza dei parametri  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$ .

L'analisi del primo livello suggerisce la presenza di un'unica zona omogenea comprensiva di tutte le stazioni della regione.

Analogamente alla procedura operata al primo livello di regionalizzazione, la successiva verifica dell'ipotesi di un'unica zona omogenea è stata effettuata attraverso il confronto delle distribuzioni di frequenza cumulata dei valori osservati del coefficiente di variazione CV e di quelli generati, ottenendo un ottimo risultato che convalida ulteriormente l'ipotesi di intera regione omogenea con un valore costante di  $\Lambda_1$ . Alla luce di tali risultati, è stato possibile assumere realistica l'ipotesi di un'unica zona omogenea al primo e al secondo livello di regionalizzazione.

Nel riquadro a seguire si riportano i valori numerici dei parametri di interesse per lo studio.

	$\theta^*$	$\Lambda^*$	$\Lambda_1$
<b>Puglia centro meridionale</b>	2.121	0.353	17.55

**Tabella 1- Parametri d'interesse.**

La distribuzione regionale della probabilità cumulata del massimo annuale di precipitazione di assegnata durata  $X_{d,TR}$  viene espressa in funzione di una quantità  $K_{TR}$ , detta fattore probabilistico di crescita, funzione del periodo di ritorno  $TR$  e indipendente dalla durata.

Tale fattore è, in generale, funzione del tempo di ritorno  $TR$  ed è definito dal rapporto seguente:

$$K_T = \frac{X_{d,T}}{\mu(X_{d,T_R})}$$

essendo  $X_{d,TR}$  il massimo annuale di precipitazione per assegnata durata e tempo di ritorno.

La curva di distribuzione di probabilità di tale rapporto ha caratteristiche regionali in quanto è unica nell'ambito della regione nella quale sono costanti i parametri della distribuzione di probabilità della  $X_{d,TR}$ . Pertanto, fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata, all'interno della zona pluviometrica omogenea previamente identificata, è possibile esprimere la relazione tra il tempo di ritorno  $TR$  ed il fattore di crescita  $K_{TR}$ , potendo ritenere trascurabile la variabilità del fattore di crescita con la durata. Infatti, calcolando, nelle stazioni disponibili, le medie

pesate dei coefficienti di asimmetria e dei coefficienti di variazione alle diverse durate, si osserva una variabilità inferiore a quella campionaria.

L'indipendenza dalla durata di KTR autorizza ad estendere anche alle piogge orarie, i risultati ottenuti con riferimento alle piogge giornaliere ai primi due livelli di regionalizzazione.

Sulla scorta dei valori regionali dei parametri  $\theta^*$ ,  $\Lambda^*$  e  $\Lambda_1$ , è possibile calcolare la curva di crescita per la Puglia centro – meridionale, anche se tale fattore può essere calcolata in funzione di TR attraverso una approssimazione asintotica della curva di crescita, che ha la seguente forma:

$$K_{TR} = a + b * \ln(T_R)$$

in cui i parametri a e b sono esprimibili in funzione dei valori regionali di  $\theta^*$ ,  $\Lambda^*$  e  $\Lambda_1$ .

Per la Puglia settentrionale, l'espressione della curva di crescita approssimata attraverso la relazione precedente è, quindi, la seguente:

$$K_T = 0.5648 + 0.415 * \ln T_R \quad (1)$$

Per la Puglia centro-meridionale, l'espressione della curva di crescita approssimata attraverso la relazione precedente è, invece, la seguente:

$$K_T = 0.1599 + 0.5166 * \ln T_R \quad (2)$$

anche se va rimarcato come l'utilizzo di questa approssimazione comporta una sottostima del fattore di crescita, con valori superiori al 10% per  $T < 50$  anni e superiori al 5% per  $T < 100$  anni.

Nel terzo livello di analisi regionale viene analizzata la variabilità spaziale del parametro di posizione (media, moda, mediana) delle serie storiche in relazione a fattori locali. Nell'analisi delle piogge orarie, in analogia ai risultati classici della statistica idrologica, per ogni sito è possibile legare il valore medio  $\mu(X_t)$  dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata alle durate stesse, attraverso la relazione:

$$\mu(X_d) = ad^n$$

essendo a ed n due parametri variabili da sito a sito. Ad essa si dà il nome di curva di probabilità pluviometrica.



Per l'intera regione pugliese si hanno le seguenti zone omogenee di 3° livello:

- nell'area della Puglia settentrionale, il VAPI Puglia fornisce l'individuazione di 4 aree omogenee dal punto di vista del legame fra altezza di precipitazione giornaliera  $\mu$  (Xg) e quota. Ognuna di esse è caratterizzata da una correlazione lineare con elevati valori dell'indice di determinazione tra i valori  $\mu$  (Xg) e le quote sul mare h:

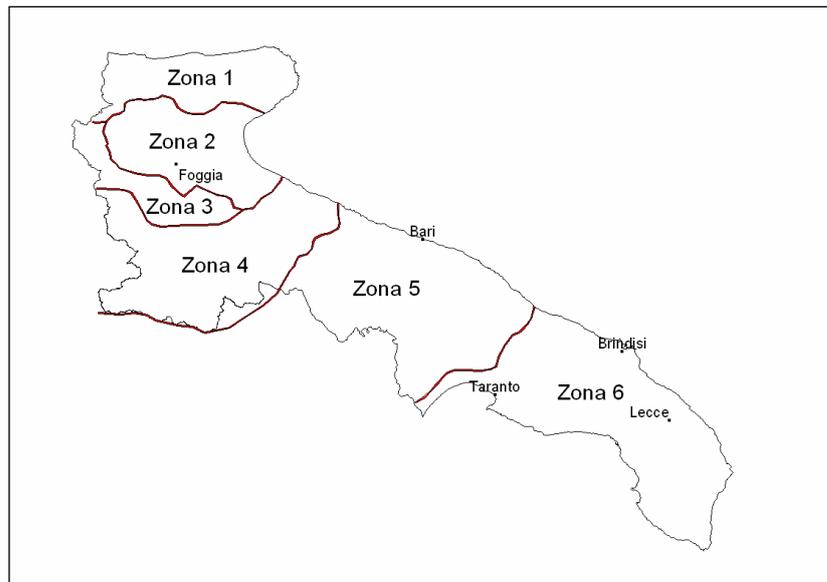
<b>ZONA 1-3</b>	$\mu(h,t) = at^{(ch+D+ln\alpha-lna)/ln24}$
<b>ZONA 2-4</b>	$\mu(h,t) = at^n$

**Tabella 2- Correlazione tra  $\mu$  (Xg) e la durata di precipitazione.**

in cui C e D sono parametri che dipendono dall'area omogenea;

- nell'area centro-meridionale della Puglia, il VAPI fornisce l'individuazione di una analoga dipendenza della precipitazione giornaliera dalla quota sul livello medio mare per le 66 stazioni pluviometriche esaminate nella regione.

Il territorio è suddivisibile in due sottozone omogenee individuate dal Nord-Barese - Murgia Centrale e dalla Penisola Salentina, contrassegnate rispettivamente come zona 5 e zona 6, in continuità con quanto visto in Puglia Settentrionale.



**Figure 9 - Regione Puglia: zone omogenee al 3° livello.**

Alla luce di quanto fin qui esposto, la relazione che lega l'altezza media di precipitazione alla durata ed alla quota del sito, per le due aree in esame, è generalizzata nella forma:

$$\mu(X_d) = a d^{(Ch+D+\ln\alpha-\ln a)/\ln 24} \quad (3)$$

in cui  $a$  è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di  $\mu(X_d)$  relativi alle serie con  $N \geq 10$  anni ricadenti in ciascuna zona omogenea e  $\alpha = x_g/x_{24}$  è il rapporto fra le medie delle piogge giornaliere e quelle di durata 24 ore per serie storiche di pari numerosità.

Per la Puglia il valore del coefficiente  $\alpha$  è risultato praticamente costante sull'intera regione e pari a 0.89;  $C$  e  $D$  rappresentano invece i coefficienti della regressione lineare fra il valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere e la quota sul livello del mare. Per le zone individuate, i valori dei parametri sono riportati nel riquadro a seguire (cfr. Tabella 3).

Zona	$\alpha$	$a$	$C$	$D$	$N$
1	0,89	28,66	0,00503	3,959	-
2	0,89	22,23	-	-	0,247
3	0,89	25,325	0,000531	3,811	-
4	0,89	24,7	-	-	0,256
5	0,89	28,2	0,0002	4,0837	-
6	0,89	33,7	0,0022	4,1223	-

**Tabella 3 - Coefficienti del 3° livello di regionalizzazione.**

Quindi, per ottenere l'altezza di precipitazione della zona di interesse si deve moltiplicare il fattore di crescita ( $K_T$ ) per la precipitazione media:

$$h = K_T \cdot \mu(X_d) \quad (4)$$

### 5.1. Curve di possibilità climatica

Lo studio idrologico condotto ha, quindi, consentito la determinazione delle curve di possibilità climatiche a diversi tempi di ritorno (30, 200 e 500 anni) in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino oggetto del presente studio.

Per la determinazione delle curve di possibilità climatiche con il metodo di Gumbel si è fatto riferimento alla stazione pluviometrica che interessa il bacino idrografico di interesse, la stazione pluviometrica di **Crispiano**, che interessa interamente il bacino idrografico di interesse e di cui si riporta l'annale idrologico.





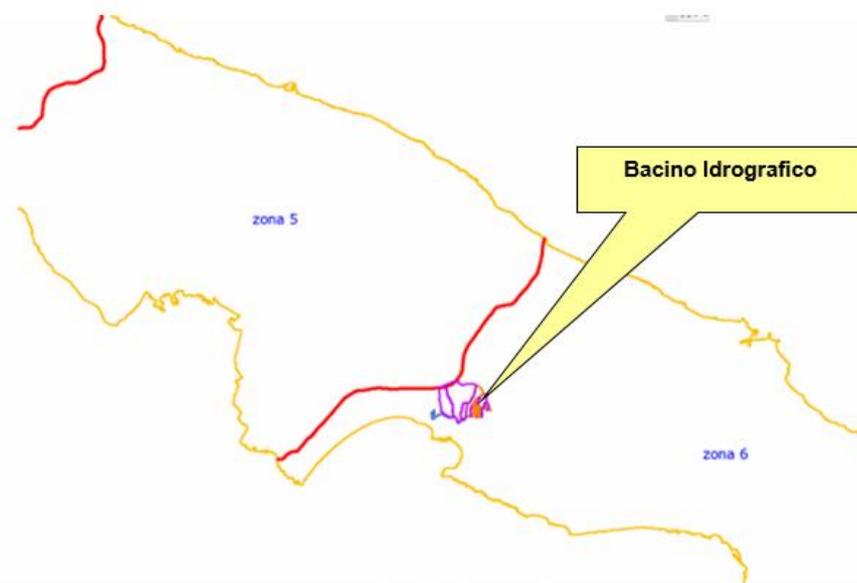
Figure 10 – Inquadramento del bacino idrografico nel poligono di Thiessen di Crispiano.

Stazione di:	CRISPIANO				
anni	durate [ore]				
	1	3	6	12	24
1958	20	33,4	46,6	51,4	55,2
1959	51,2	51,2	51,8	64,4	80,2
1961	53,6	79,6	79,6	109,8	119,4
1962	65	81	92,6	96,0	97,0
1963	39,8	44	44,4	45,4	63,6
1964	30,2	54,4	66,8	81,2	90,0
1965	14,8	26,2	43,6	72,0	83,8
1966	56,4	78,2	90,8	108,0	109,2
1967	42,4	63,4	63,4	63,6	63,8
1968	37,8	47	52,2	53,0	54,6
1969	40	49,4	85,8	104,4	104,4
1970	25,4	26,4	28,2	48,6	50,8
1971	28,2	36,8	57,2	83,8	88,4
1972	40	48,6	67,6	106,8	118,0
1973	20	30,8	36,8	36,8	42,0
1974	17,2	39	51,6	71,6	76,8
1975	16	27,2	28,2	30,2	36,4
1976	34	47,4	64,8	72,8	75,2
1977	23,6	24	32,4	37,6	40,2
1978	35	47,6	48,0	53,2	53,2

Stazione di:	CRISPIANO				
anni	durate [ore]				
	1	3	6	12	24
1979	13	20,4	21,4	26,0	35,6
1981	25,6	25,8	25,8	31,6	34,8
1982	>>	23,8	40,8	41,0	55,2
1983	31,6	38,6	40,4	40,4	44,4
1984	16,2	18,6	26,6	34,4	40,6
1989	56,4	58,8	58,8	59,0	59,0
1991	>>	>>	>>	30,4	30,8
1992	26,8	31	31,6	31,6	>>
1993	29,2	29,2	29,2	30,2	57,8
1996	40	88,6	117,0	138,4	163,4
1997	32	45,4	58,6	60,0	65,6
1999	>>	>>	>>	>>	>>
2000	17,4	18	23,6	37,6	37,6
2001	19	21	21,0	28,6	51,4
2002	27,2	31,8	31,8	31,8	41,4
2003	36,6	61,4	99,8	111,8	124,8
2004	49,2	54,2	63,8	65,2	65,4
2005	27	30,4	37,0	45,8	62,0
2006	66,6	88	135,2	154,6	164,0
2007	25,2	45,2	60,4	71,8	73,4
2008	23,2	45,4	69,6	76,0	77,6
2009	>>	>>	>>	>>	>>
2010	32,2	42,4	62,2	75,2	103,8
2011	19	38,6	59,4	68,0	93,8
2012	29,4	48,4	55,0	56,6	57,2

Per la determinazione delle curve di possibilità pluviometriche con il metodo VAPI si è verificato che l'area d'intervento si trova per la maggior parte nella **zona 6** (cfr. immagine seguente). Pertanto, si è applicata la relazione (4) e utilizzando i valori della Tabella 3 relativi alla zona 6.





**Figure 11 – Zona VAPI di interesse del bacino idrografico.**

Quindi, per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica si utilizza la seguente relazione:

$$x(t,z) = 33.7 t^{0.0022z+4.1223+\ln 0.89-\ln 33.7} / \ln 24 \quad (5)$$

L'elaborazione dei dati pluviometrici ha condotto alla determinazione delle curve di possibilità climatica per i differenti tempi di ritorno e per ogni bacino.

Nel presente studio è stata utilizzata la curva di possibilità climatica determinata dalla metodologia che ha fornito i valori più elevati delle altezze di pioggia. Si riportano di seguito delle tabelle riassuntive relative alle altezze di pioggia ricavate utilizzando la metodologia VAPI e quella della distribuzione probabilistica di Gumbel (cfr. tabelle seguenti):

### 5.1.1. Bacino 1

Stazione di Crispiano					
Tr = 30					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
<b>GUMBEL</b>	62,747	85,117	111,472	131,613	143,966
<b>VAPI</b>	64,602	83,304	97,799	114,816	134,794
Tr = 200					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
<b>GUMBEL</b>	83,327	113,234	150,064	177,895	192,679
<b>VAPI</b>	97,629	125,893	147,799	173,516	203,708
Tr = 500					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
<b>GUMBEL</b>	93,209	126,734	168,593	200,117	216,068
<b>VAPI</b>	113,581	146,464	171,948	201,868	236,993

Tabella 4 – Tr = 30 – 200 - 500 anni - Altezze di pioggia (mm) – BACINO 1

Nelle figure seguenti (cfr. figure seguenti) si riportano le curve di possibilità climatiche ricavate in corrispondenza dei diversi tempi di ritorno adottati, per il bacino in analisi. Tali curve sono quelle utilizzate successivamente per la valutazione delle portate di piena in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino di interesse.

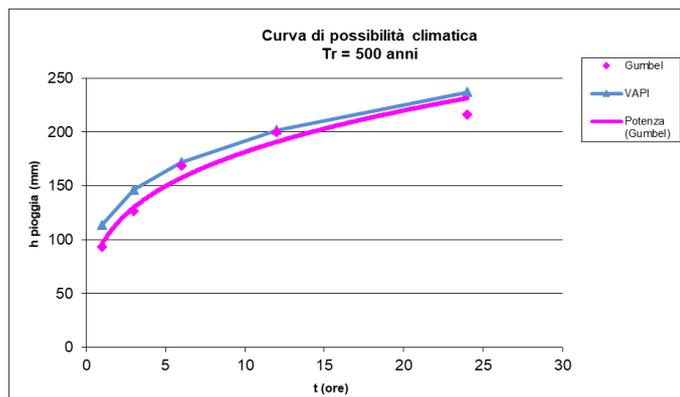
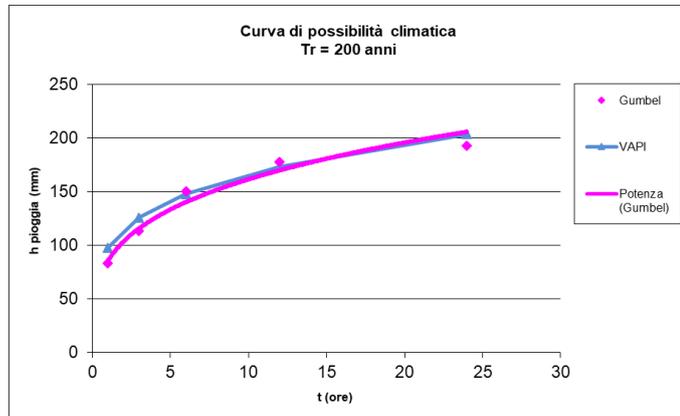
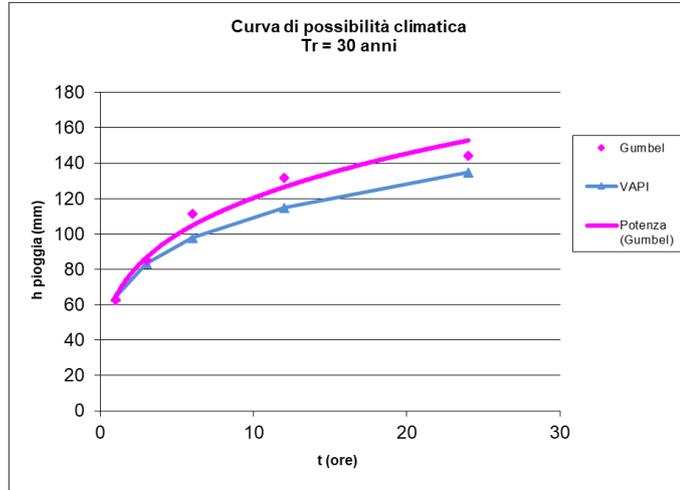


Figure 12 –Curve di possibilità climatica ai diversi tempi di ritorno.

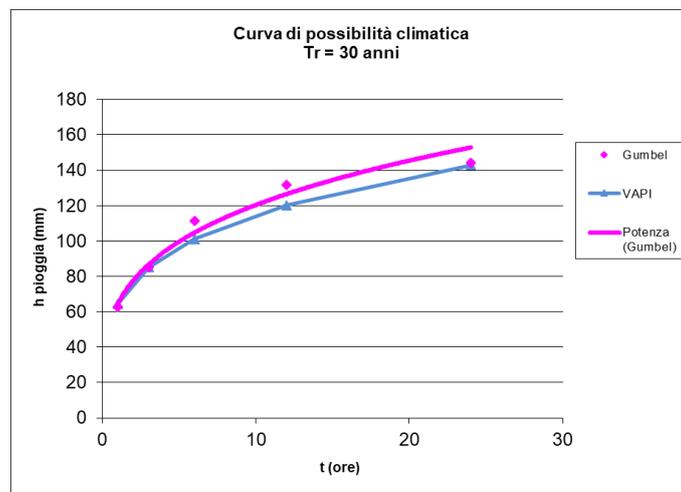


**5.1.2. Bacino 2**

Stazione di Crispiano					
Tr = 30					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	62,747	85,117	111,472	131,613	143,966
VAPI	64,602	84,984	101,036	120,119	142,808
Tr = 200					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	83,327	113,234	150,064	177,895	192,679
VAPI	97,629	128,432	152,690	181,531	215,819
Tr = 500					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	93,209	126,734	168,593	200,117	216,068
VAPI	113,581	149,417	177,639	211,192	251,083

**Tabella 5 – Tr = 30 – 200 - 500 anni - Altezze di pioggia (mm) – BACINO 2**

Nelle figure seguenti (cfr. figure seguenti) si riportano le curve di possibilità climatiche ricavate in corrispondenza dei diversi tempi di ritorno adottati, per il bacino in analisi. Tali curve sono quelle utilizzate successivamente per la valutazione delle portate di piena in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino di interesse.



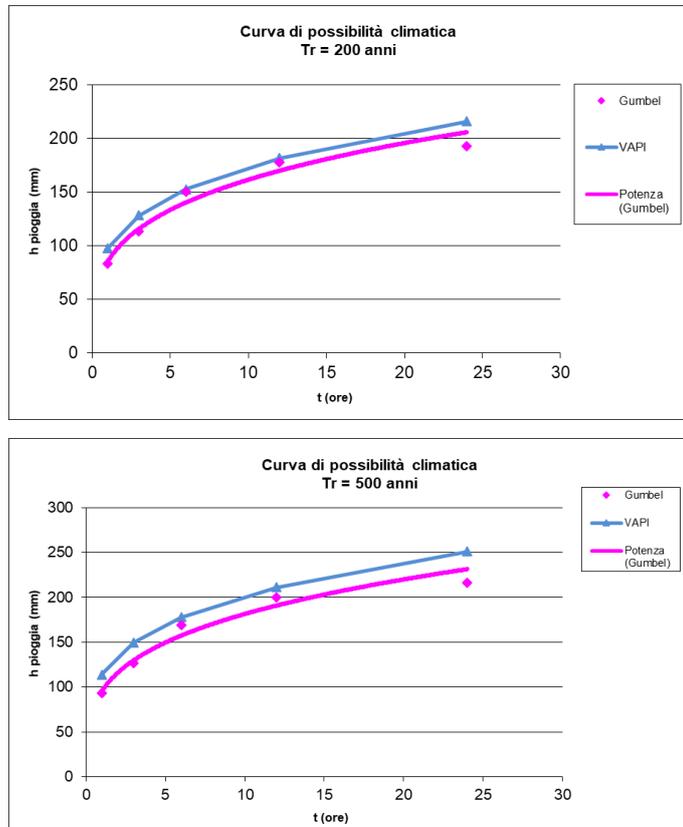


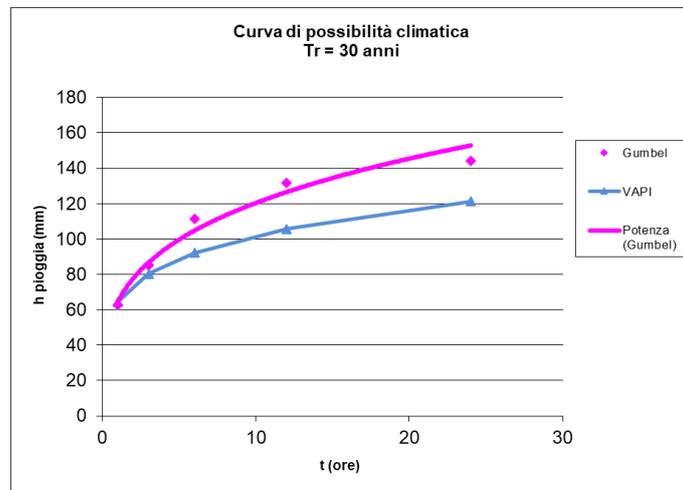
Figure 13 –Curve di possibilità climatica ai diversi tempi di ritorno.

**5.1.3. Bacino 3**

Stazione di Crispiano					
Tr = 30					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	62,747	85,117	111,472	131,613	143,966
VAPI	64,602	80,318	92,146	105,717	121,286
Tr = 200					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	83,327	113,234	150,064	177,895	192,679
VAPI	97,629	121,380	139,256	159,765	183,293
Tr = 500					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	93,209	126,734	168,593	200,117	216,068
VAPI	113,581	141,213	162,010	185,869	213,242

**Tabella 6 – Tr = 30 – 200 - 500 anni - Altezze di pioggia (mm) – BACINO 3**

Nelle figure seguenti (cfr. figure seguenti) si riportano le curve di possibilità climatiche ricavate in corrispondenza dei diversi tempi di ritorno adottati, per il bacino in analisi. Tali curve sono quelle utilizzate successivamente per la valutazione delle portate di piena in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino di interesse.



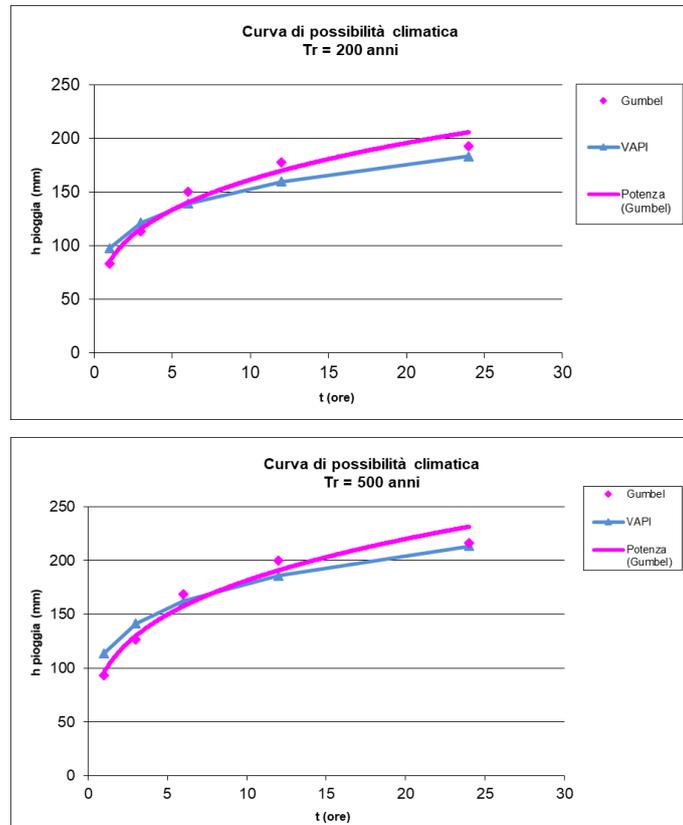


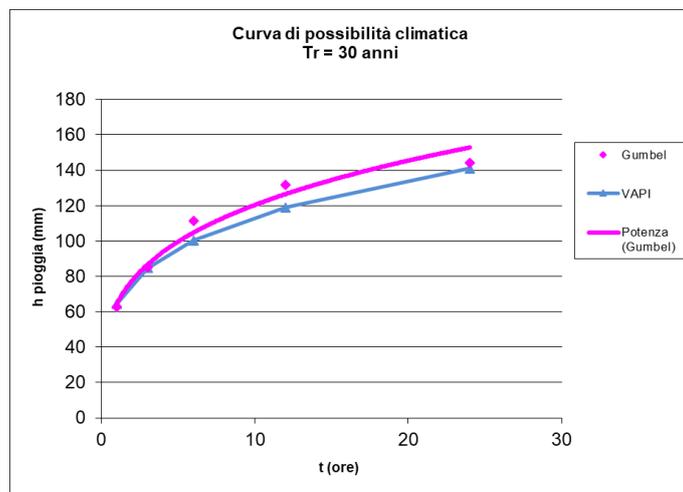
Figure 14 –Curve di possibilità climatica ai diversi tempi di ritorno.

**5.1.4. Bacino 4**

Stazione di Crispiano					
Tr = 30					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	62,747	85,117	111,472	131,613	143,966
VAPI	64,602	84,613	100,318	118,937	141,013
Tr = 200					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	83,327	113,234	150,064	177,895	192,679
VAPI	97,629	127,871	151,605	179,744	213,106
Tr = 500					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	93,209	126,734	168,593	200,117	216,068
VAPI	113,581	148,765	176,377	209,114	247,927

**Tabella 7 – Tr = 30 – 200 - 500 anni - Altezze di pioggia (mm) – BACINO 4**

Nelle figure seguenti (cfr. figure seguenti) si riportano le curve di possibilità climatiche ricavate in corrispondenza dei diversi tempi di ritorno adottati, per il bacino in analisi. Tali curve sono quelle utilizzate successivamente per la valutazione delle portate di piena in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino di interesse.



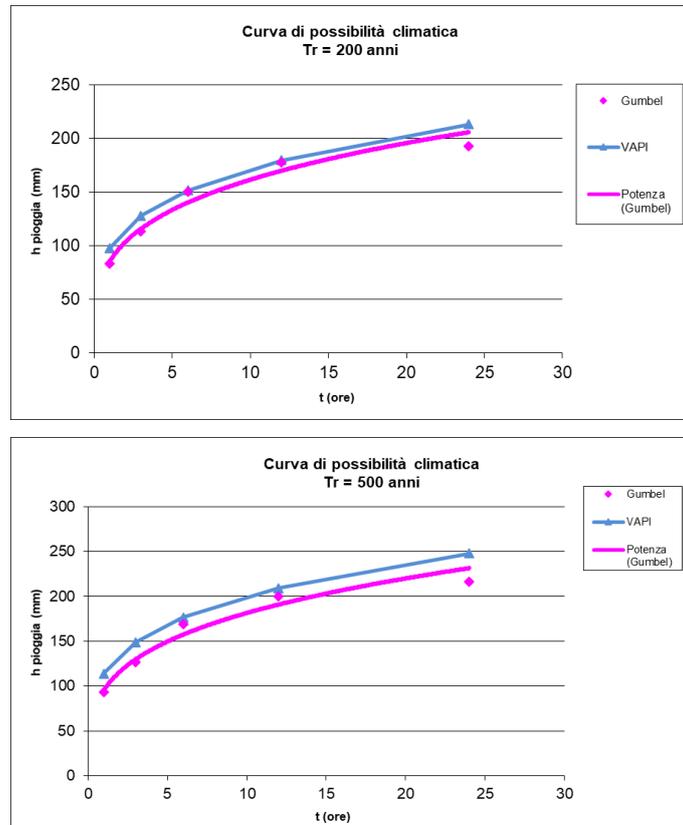


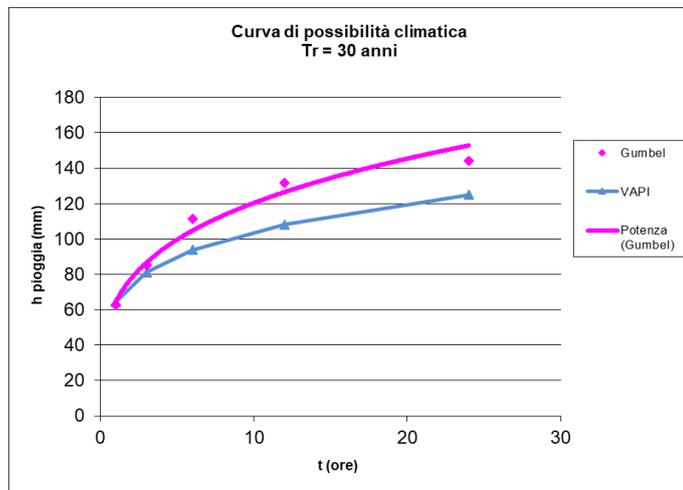
Figure 15 –Curve di possibilità climatica ai diversi tempi di ritorno.

**5.1.5. Bacino 5**

Stazione di Crispiano					
Tr = 30					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	62,747	85,117	111,472	131,613	143,966
VAPI	64,602	81,147	93,702	108,200	124,942
Tr = 200					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	83,327	113,234	150,064	177,895	192,679
VAPI	97,629	122,633	141,608	163,518	188,819
Tr = 500					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	93,209	126,734	168,593	200,117	216,068
VAPI	113,581	142,671	164,746	190,236	219,671

**Tabella 8 – Tr = 30 – 200 - 500 anni - Altezze di pioggia (mm) – BACINO 5**

Nelle figure seguenti (cfr. figure seguenti) si riportano le curve di possibilità climatiche ricavate in corrispondenza dei diversi tempi di ritorno adottati, per il bacino in analisi. Tali curve sono quelle utilizzate successivamente per la valutazione delle portate di piena in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino di interesse.



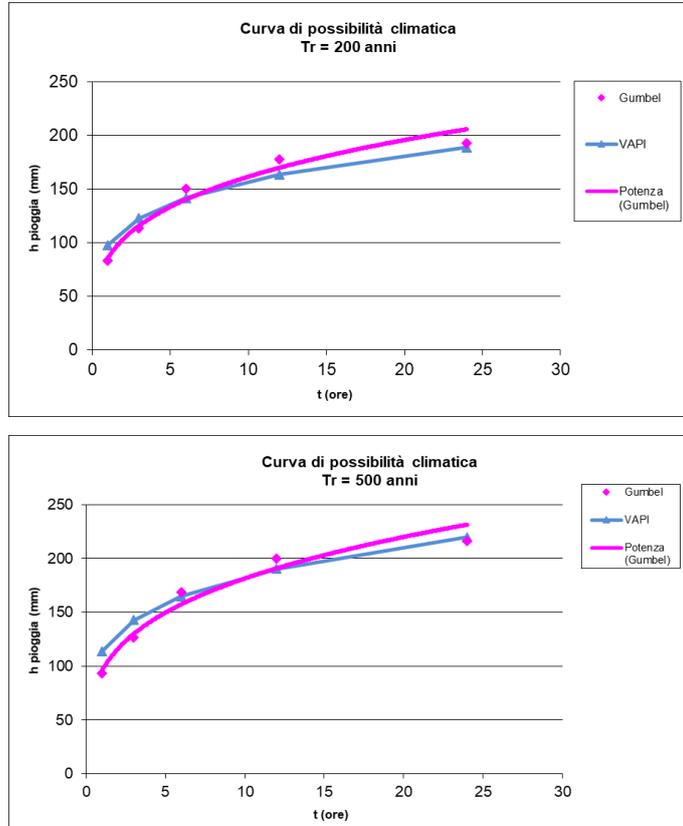


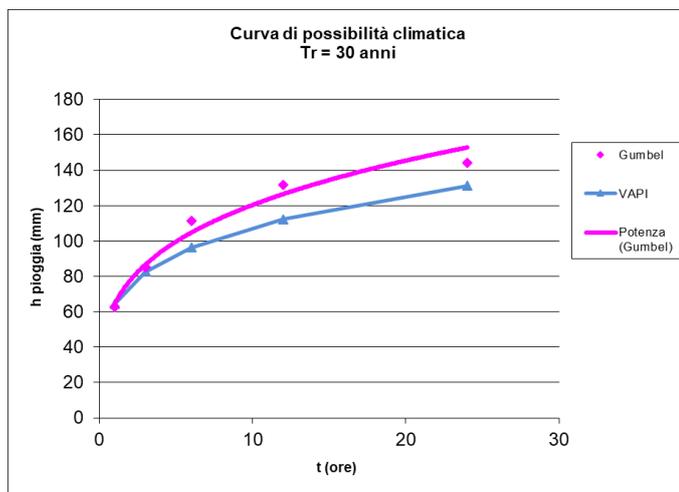
Figure 16 –Curve di possibilità climatica ai diversi tempi di ritorno.

**5.1.6. Bacino 6**

Stazione di Crispiano					
Tr = 30					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	62,747	85,117	111,472	131,613	143,966
VAPI	64,602	82,516	96,294	112,374	131,138
Tr = 200					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	83,327	113,234	150,064	177,895	192,679
VAPI	97,629	124,702	145,525	169,825	198,183
Tr = 500					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	93,209	126,734	168,593	200,117	216,068
VAPI	113,581	145,078	169,303	197,574	230,565

**Tabella 9 – Tr = 30 – 200 - 500 anni - Altezze di pioggia (mm) – BACINO 6**

Nelle figure seguenti (cfr. figure seguenti) si riportano le curve di possibilità climatiche ricavate in corrispondenza dei diversi tempi di ritorno adottati, per il bacino in analisi. Tali curve sono quelle utilizzate successivamente per la valutazione delle portate di piena in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino di interesse.



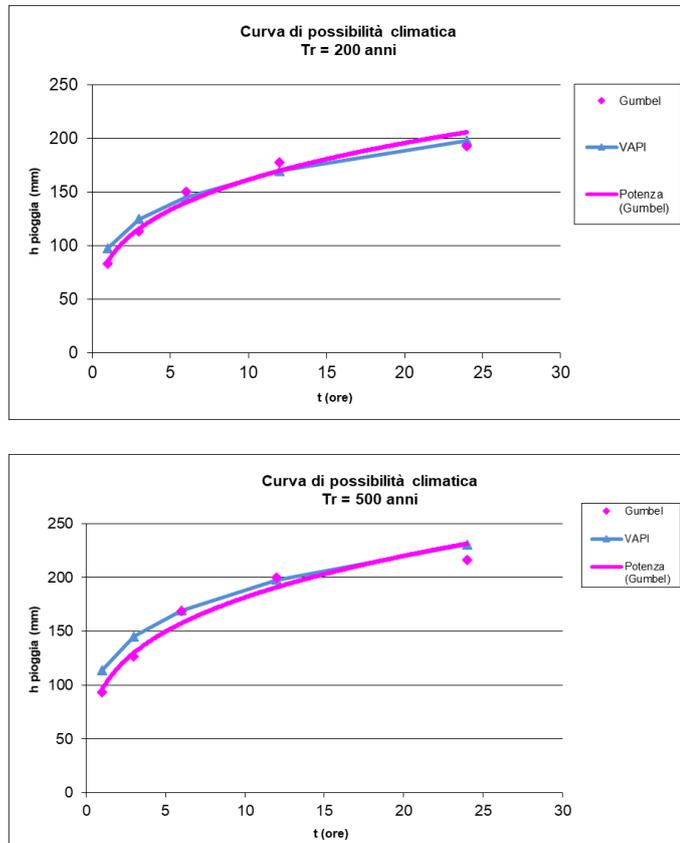


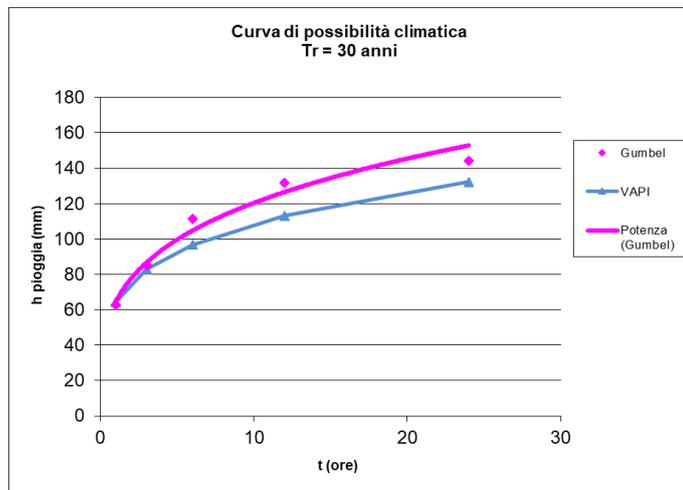
Figure 17 –Curve di possibilità climatica ai diversi tempi di ritorno.

**5.1.7. Bacino 7**

Stazione di Crispiano					
Tr = 30					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	62,747	85,117	111,472	131,613	143,966
VAPI	64,602	82,736	96,713	113,052	132,152
Tr = 200					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	83,327	113,234	150,064	177,895	192,679
VAPI	97,629	125,035	146,158	170,851	199,715
Tr = 500					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	93,209	126,734	168,593	200,117	216,068
VAPI	113,581	145,464	170,040	198,767	232,347

**Tabella 10 – Tr = 30 – 200 - 500 anni - Altezze di pioggia (mm) – BACINO 7**

Nelle figure seguenti (cfr. figure seguenti) si riportano le curve di possibilità climatiche ricavate in corrispondenza dei diversi tempi di ritorno adottati, per il bacino in analisi. Tali curve sono quelle utilizzate successivamente per la valutazione delle portate di piena in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino di interesse.



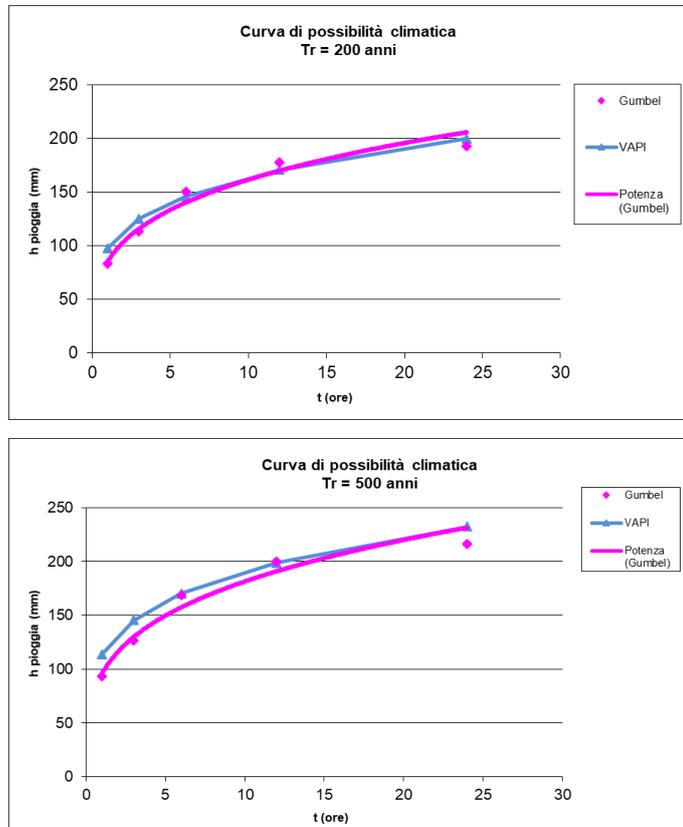


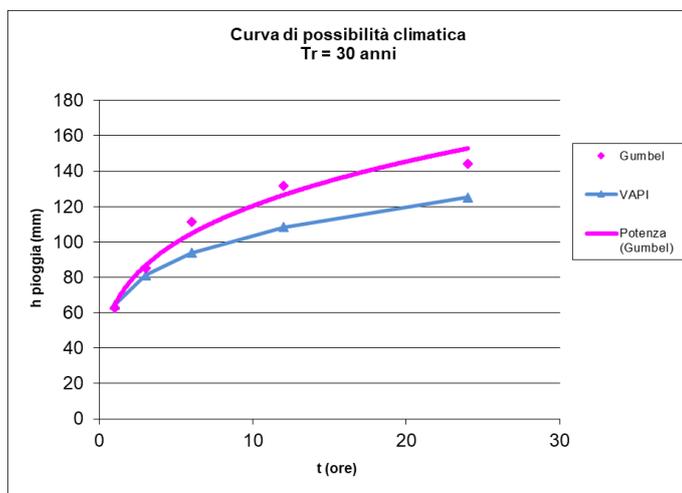
Figure 18 –Curve di possibilità climatica ai diversi tempi di ritorno.

**5.1.8. Bacino 8**

Stazione di Crispiano					
Tr = 30					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	62,747	85,117	111,472	131,613	143,966
VAPI	64,602	81,208	93,818	108,387	125,217
Tr = 200					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	83,327	113,234	150,064	177,895	192,679
VAPI	97,629	122,726	141,783	163,800	189,235
Tr = 500					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	93,209	126,734	168,593	200,117	216,068
VAPI	113,581	142,779	164,950	190,564	220,155

**Tabella 11 – Tr = 30 – 200 - 500 anni - Altezze di pioggia (mm) – BACINO 8**

Nelle figure seguenti (cfr. figure seguenti) si riportano le curve di possibilità climatiche ricavate in corrispondenza dei diversi tempi di ritorno adottati, per il bacino in analisi. Tali curve sono quelle utilizzate successivamente per la valutazione delle portate di piena in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino di interesse.



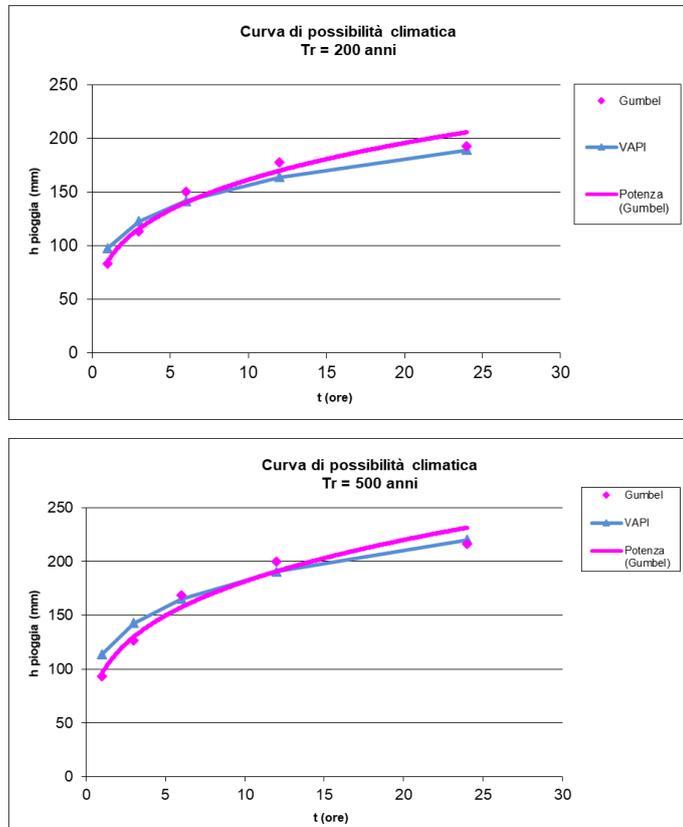


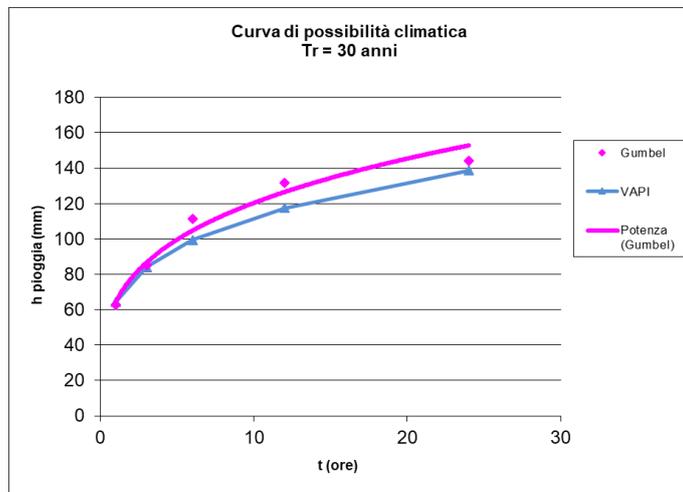
Figure 19 –Curve di possibilità climatica ai diversi tempi di ritorno.

**5.1.9. Bacino 9**

Stazione di Crispiano					
Tr = 30					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	62,747	85,117	111,472	131,613	143,966
VAPI	64,602	84,132	99,389	117,413	138,705
Tr = 200					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	83,327	113,234	150,064	177,895	192,679
VAPI	97,629	127,144	150,201	177,440	209,619
Tr = 500					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	93,209	126,734	168,593	200,117	216,068
VAPI	113,581	147,919	174,744	206,433	243,869

**Tabella 12 – Tr = 30 – 200 - 500 anni - Altezze di pioggia (mm) – BACINO 9**

Nelle figure seguenti (cfr. figure seguenti) si riportano le curve di possibilità climatiche ricavate in corrispondenza dei diversi tempi di ritorno adottati, per il bacino in analisi. Tali curve sono quelle utilizzate successivamente per la valutazione delle portate di piena in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino di interesse.



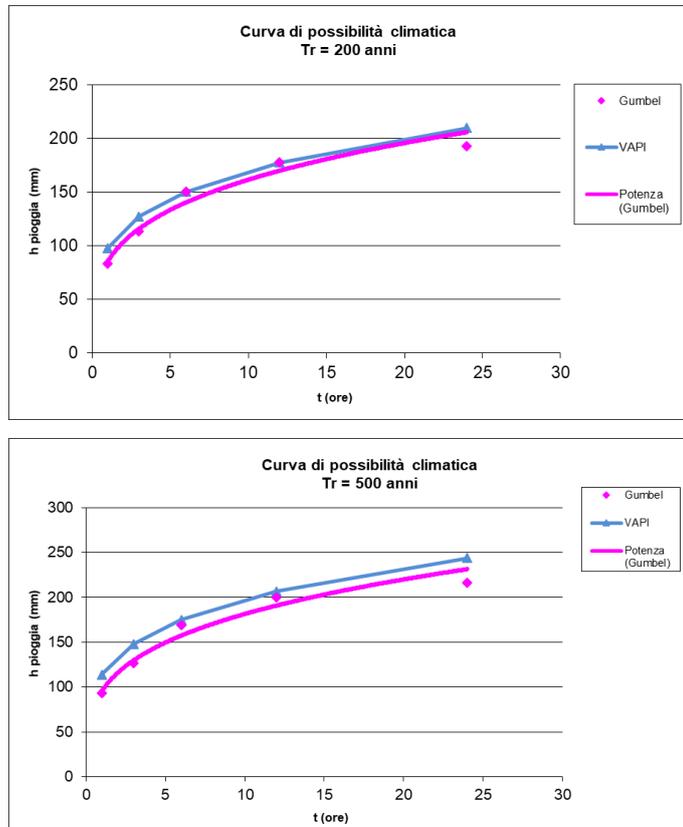


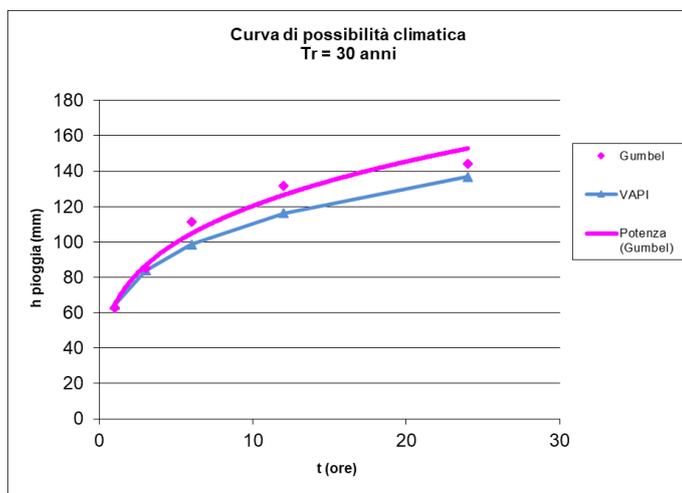
Figure 20 –Curve di possibilità climatica ai diversi tempi di ritorno.

**5.1.10. Bacino 10**

Stazione di Crispiano					
Tr = 30					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	62,747	85,117	111,472	131,613	143,966
VAPI	64,602	83,749	98,652	116,207	136,886
Tr = 200					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	83,327	113,234	150,064	177,895	192,679
VAPI	97,629	126,565	149,088	175,618	206,870
Tr = 500					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	93,209	126,734	168,593	200,117	216,068
VAPI	113,581	147,245	173,448	204,313	240,671

**Tabella 13 – Tr = 30 – 200 - 500 anni - Altezze di pioggia (mm) – BACINO 10**

Nelle figure seguenti (cfr. figure seguenti) si riportano le curve di possibilità climatiche ricavate in corrispondenza dei diversi tempi di ritorno adottati, per il bacino in analisi. Tali curve sono quelle utilizzate successivamente per la valutazione delle portate di piena in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino di interesse.



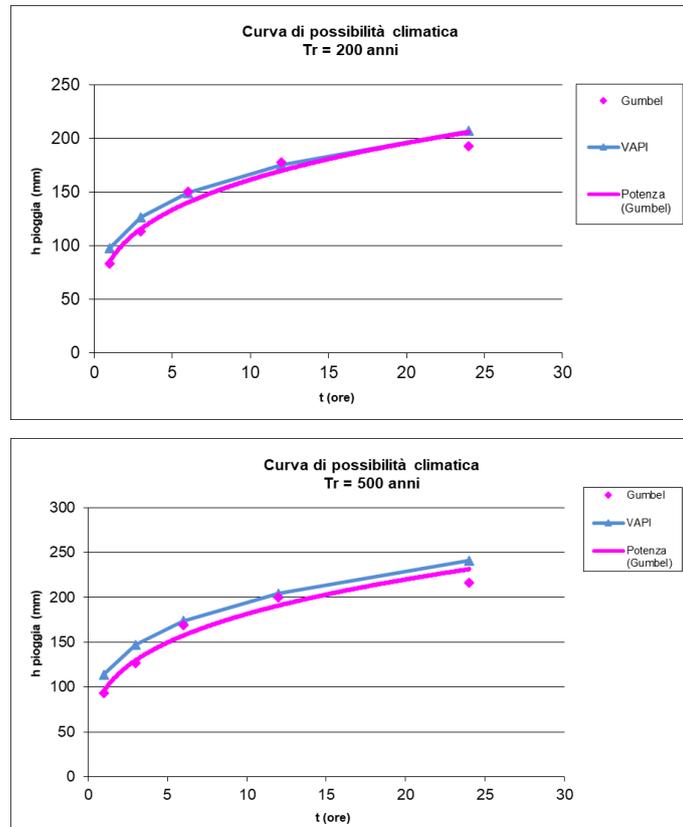


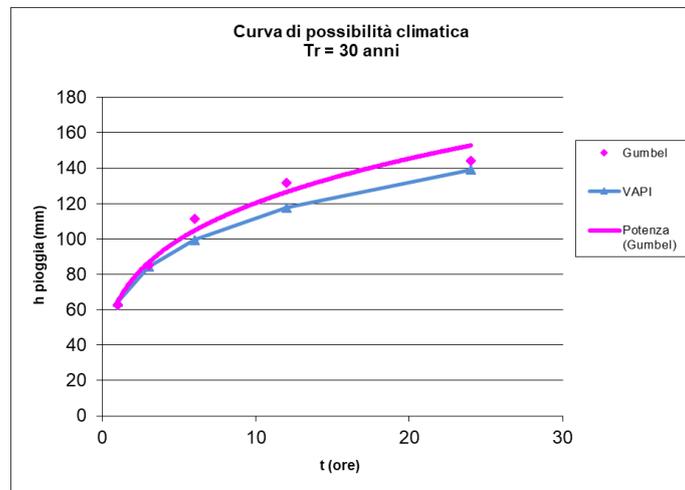
Figure 21 –Curve di possibilità climatica ai diversi tempi di ritorno.

**5.1.11. Bacino 11**

Stazione di Crispiano					
Tr = 30					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	62,747	85,117	111,472	131,613	143,966
VAPI	64,602	84,196	99,512	117,615	139,011
Tr = 200					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	83,327	113,234	150,064	177,895	192,679
VAPI	97,629	127,241	150,388	177,746	210,080
Tr = 500					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	93,209	126,734	168,593	200,117	216,068
VAPI	113,581	148,031	174,960	206,788	244,406

**Tabella 14 – Tr = 30 – 200 - 500 anni - Altezze di pioggia (mm) – BACINO 11**

Nelle figure seguenti (cfr. figure seguenti) si riportano le curve di possibilità climatiche ricavate in corrispondenza dei diversi tempi di ritorno adottati, per il bacino in analisi. Tali curve sono quelle utilizzate successivamente per la valutazione delle portate di piena in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino di interesse.



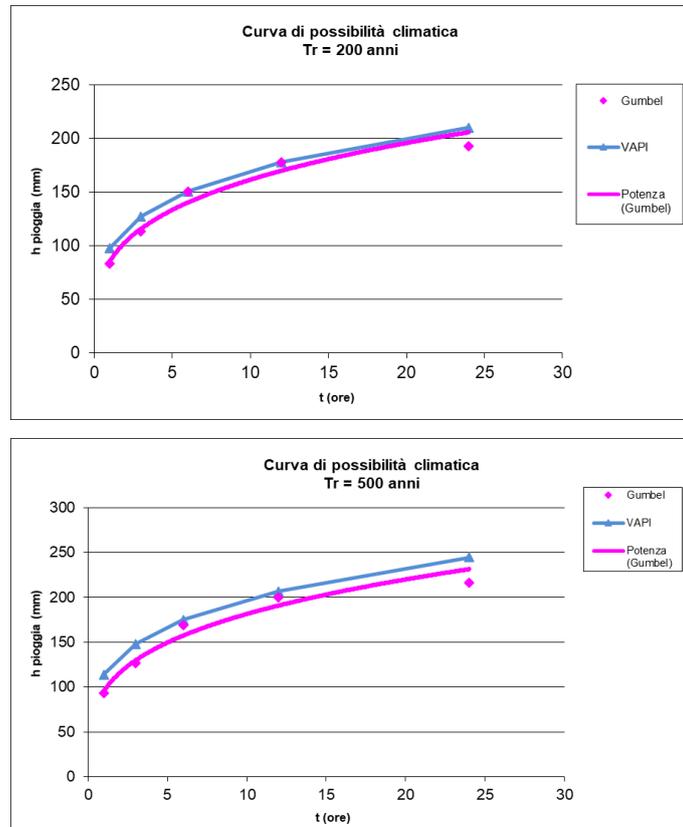


Figure 22 –Curve di possibilità climatica ai diversi tempi di ritorno.

## **6. ANALISI IDRAULICA**

L'analisi idraulica, necessaria al calcolo della portata di massima piena per i bacini individuati nell'area in questione, può essere condotta secondo vari metodi, tra i quali possono essere considerati:

- i metodi empirici, che si basano unicamente su parametri morfologici del bacino in esame, senza tenere in considerazione alcuna misura pluviometrica o idrometrica;
- i metodi semiempirici (utilizzati nel presente studio), che valutano la portata anche in funzione dell'altezza di pioggia;
- i metodi analitici, che si basano sull'ipotesi di una correlazione diretta tra afflussi deflussi.

Il metodo da utilizzare dipende innanzitutto dal tipo di verifica idraulica che si intende condurre, in quanto, se si affronta un'analisi in moto permanente o addirittura uniforme, la portata massima può essere calcolata con metodi semplificati tipo il cinematico o razionale; quando la situazione morfologica ed idrografica diventa alquanto complessa, può rendersi indispensabile una verifica in moto vario e, di conseguenza, diventa necessario conoscere la forma dell'idrogramma di piena attraverso l'applicazione di metodi analitici.

In generale, nei casi di regolarità dell'asta fluviale e del bacino idrografico di pertinenza, è generalmente impiegato uno studio in moto permanente ricorrendo al metodo razionale per la determinazione della portata di massima piena.

### **6.1. Valutazione portate di piena**

La stima delle portate di piena è stata effettuata applicando metodi analitici di tipo semplificato, in grado di definire, su base geomorfologica, un parametro chiave nel processo di generazione dei deflussi di piena, quale il tempo di corrivazione del bacino (tc).

In particolare, è stato applicato, a diversi tempi di ritorno (30, 200 e 500 anni), il metodo di razionale e il metodo del Curve Number (CN).

#### **Metodo Razionale**

Per la determinazione della massima piena temibile è stato utilizzato il metodo razionale, che rappresenta un metodo indiretto basato sulle seguenti tre ipotesi fondamentali:



1. la pioggia critica ha durata pari al tempo di corrivazione;
2. la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento;
3. il tempo di ritorno della portata è pari a quello della pioggia critica.

La portata di piena, in funzione del tempo di ritorno, è pari ha:

$$Q = \frac{c * h * A * k}{t_c}$$

Q = portata di piena [m<sup>3</sup>/sec]

c = coefficiente di deflusso

h = pioggia netta [mm]

A = area del bacino [km<sup>2</sup>]

t<sub>c</sub> = tempo di corrivazione [ore]

k = 0.2777 (fattore che tiene conto della non uniformità delle unità di misura).

Il valore di h rappresenta l'altezza di precipitazione che cade in un dato sito in un tempo uguale al tempo di corrivazione t<sub>c</sub>: infatti se la durata della precipitazione è inferiore al tempo t<sub>c</sub> solo una parte del bacino A contribuirà alla formazione della portata, che risulterà pertanto di minore entità. Viceversa se la durata dell'evento è maggiore, l'intensità della pioggia sarà minore e quindi meno intenso il colmo di piena.

Il tempo di corrivazione, che è un parametro chiave quando si fa riferimento a metodi analitici di tipo semplificato, è definito come il tempo impiegato dalla particella d'acqua idraulicamente più lontana a percorrere l'intero bacino fino alla sezione di chiusura.

Il tempo di corrivazione di un bacino è generalmente definito come il tempo necessario alla goccia di pioggia caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino per raggiungere la sezione di chiusura dello stesso.

Una relazione frequentemente utilizzata per il calcolo di tale grandezza è quella proposta da Giandotti (1934), valida per bacini idrografici aventi superficie (A) variabile tra 170 e 70000 km<sup>2</sup>, che si esplicita nella seguente relazione:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m}} \quad (6)$$



nella quale  $t_c$  è espresso in ore,  $A$  in km<sup>2</sup> mentre  $L$ , la lunghezza dell'asta principale del corso d'acqua a partire dallo spartiacque, è espressa in km e  $H_m$ , altitudine media del bacino, riferita alla sezione di chiusura, in metri sul livello del mare.

Pezzoli (1970), analizzando il comportamento di alcuni bacini piemontesi, ha proposto, invece, una diversa espressione del tempo di corrivazione che ha la seguente forma:

$$t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i_a}} \quad (7)$$

nella quale  $t_c$  è espresso in ore e  $L$  in km. Il parametro  $i_a$  rappresenta la pendenza media (m/m) dell'asta principale.

Kirpich, infine, utilizzando i dati sperimentali di sei bacini americani, nel 1940, aveva proposto una correlazione grafica tra il tempo di corrivazione e il rapporto  $\frac{L}{\sqrt{i_a}}$ . Tale grafico, successivamente integrato dal contributo di altri dati sperimentali, ha condotto alla formulazione della seguente equazione, comunemente nota con il nome di equazione di Kirpich.

$$t_c = 0.00325 \left( \frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.77} \quad (10)$$

Il complesso dei valori determinabili con le succitate equazioni può essere ben rappresentato da un'unica espressione (Ferro, Sistemazione dei Bacini Idrografici, McGraw Hill, 2002), che integra tutti i contributi sperimentali derivanti dalle esperienze condotte, ed ha la seguente equazione, nel seguito denominata P-C-W-K:

$$t_c = 0.02221 \left( \frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.8} \quad (11)$$

nella quale  $t_c$  è espresso in minuti e  $L$  in metri.

Applicando le relazioni succitate, con riferimento ai parametri geomorfologici del bacino di interesse, si sono ottenuti i vari risultati; la valutazione successiva di stima della portata di piena di



calcolo è stata eseguita facendo riferimento al tempo di corrivazione valutato dalla media tra le suddette relazioni.

Tutti i valori del tempo di corrivazione desunti sono riportati nella tabella seguente:

<b>Tc</b>	<b>P-C-W-K (h)</b>	<b>Giandotti (h)</b>	<b>Pezzoli (h)</b>	<b>Kirpich (h)</b>	<b>Valore medio (h)</b>
<b>BACINO 1</b>	1,874	3,038	2,349	1,195	<b>2,114</b>
<b>BACINO 2</b>	2,328	3,740	3,079	1,472	<b>2,655</b>
<b>BACINO 3</b>	0,851	0,725	0,876	0,559	<b>0,753</b>
<b>BACINO 4</b>	1,736	2,568	2,135	1,110	<b>1,887</b>
<b>BACINO 5</b>	0,518	1,270	0,470	0,346	<b>0,651</b>
<b>BACINO 6</b>	0,666	1,456	0,645	0,442	<b>0,802</b>
<b>BACINO 7</b>	1,021	1,663	1,099	0,666	<b>1,112</b>
<b>BACINO 8</b>	0,780	1,449	0,785	0,514	<b>0,882</b>
<b>BACINO 9</b>	1,250	2,049	1,416	0,809	<b>1,381</b>
<b>BACINO 10</b>	0,183	0,797	0,128	0,127	<b>0,309</b>
<b>BACINO 11</b>	0,428	1,253	0,371	0,288	<b>0,585</b>

**Tabella 15 – Tempo di corrivazione.**

Per ciò che concerne il coefficiente di deflusso  $\phi$ , esso è stato stimato effettuando una media pesata dei valori stimati per le differenti sub-aree isoparametriche caratterizzate da un determinato valore di tipo di terreno, dal punto di vista della geologia e dell'uso del suolo, sulla base dei valori consigliati in letteratura; i pesi sono stati calcolati in funzione delle sotto aree sull'area totale del bacino individuato.

Tra le numerose indicazioni esistenti nella letteratura tecnico-scientifica per la valutazione del coefficiente di deflusso, sono stati utilizzati i valori indicati dal Manuale di Ingegneria Civile riportati nella tabella seguente:



Tipo di terreno	Coltivato	Pascolo	Bosco
Molto permeabile: sabbia o ghiaia	0.20	0.15	0.30
Permeabile: limo	0.40	0.35	0.30
Poco permeabile: argilla o substrato roccioso	0.50	0.45	0.40
Tipologia urbanistica		$\varphi$	
Costruzioni dense		0.80	
Costruzioni Spaziate		0.60	
Aree con ampi cortili e giardini		0.50	
Zone a villini sparsi		0.30-0.40	
Giardini, prati e zone non edificabili né destinate a strade		0.20	
Parchi e boschi		0.05-0.10	

Per i bacini di interesse è stato utilizzato un **coefficiente di deflusso pari a 0,400**.

Applicando i valori precedenti nella formula razionale sono stati ottenuti i seguenti valori per le portate di piena:

Bacino	Tr	a	n	tc [h]	h [mm]	ic [mm]	Q [mc/s]
1	30 anni	64,259	0,273	2,114	78,809	37,274	50,393
	200 anni	85,427	0,277	2,114	105,096	49,707	67,201
	500 anni	95,590	0,278	2,114	117,716	55,676	75,271
2	30 anni	64,259	0,273	2,655	83,855	31,586	95,185
	200 anni	85,427	0,277	2,655	111,931	42,161	127,054
	500 anni	95,590	0,278	2,655	125,410	47,238	142,354
3	30 anni	64,259	0,273	0,753	59,471	79,006	0,073
	200 anni	85,427	0,277	0,753	78,968	104,908	0,096
	500 anni	95,590	0,278	0,753	88,330	117,345	0,108



Bacino	Tr	a	n	tc [h]	h [mm]	ic [mm]	Q [mc/s]
4	30 anni	64,259	0,273	1,887	76,405	40,486	31,772
	200 anni	85,427	0,277	1,887	101,842	53,965	42,349
	500 anni	95,590	0,278	1,887	114,055	60,436	47,428
5	30 anni	64,259	0,273	0,651	57,166	87,792	11,789
	200 anni	85,427	0,277	0,651	75,863	116,505	15,644
	500 anni	95,590	0,278	0,651	84,840	130,292	17,495
6	30 anni	64,259	0,273	0,802	60,513	75,427	14,127
	200 anni	85,427	0,277	0,802	80,373	100,183	18,764
	500 anni	95,590	0,278	0,802	89,909	112,069	20,990
7	30 anni	64,259	0,273	1,112	66,146	59,481	10,849
	200 anni	85,427	0,277	1,112	87,975	79,111	14,429
	500 anni	95,590	0,278	1,112	98,455	88,535	16,148
8	30 anni	64,259	0,273	0,882	62,096	70,403	5,076
	200 anni	85,427	0,277	0,882	82,509	93,547	6,744
	500 anni	95,590	0,278	0,882	92,310	104,659	7,546
9	30 anni	64,259	0,273	1,381	70,167	50,816	24,714
	200 anni	85,427	0,277	1,381	93,407	67,646	32,900
	500 anni	95,590	0,278	1,381	104,564	75,726	36,829
10	30 anni	64,259	0,273	0,309	46,637	151,130	6,031
	200 anni	85,427	0,277	0,309	61,698	199,938	7,979
	500 anni	95,590	0,278	0,309	68,931	223,376	8,914
11	30 anni	64,259	0,273	0,585	55,520	94,910	8,178
	200 anni	85,427	0,277	0,585	73,645	125,895	10,848
	500 anni	95,590	0,278	0,585	82,348	140,773	12,130

**Tabella 16 – Valori delle portate di piena con il metodo razionale dei Bacini di interesse.**



### Metodo del Curve Number

Una metodologia per la stima delle precipitazioni efficaci che trova ampia applicazione è quella proposta dal Soil Conservation Service (1972). Il metodo, detto Metodo Curve Number ("*Soil Conservation Service Runoff Curve Number (CN) method*", detto comunemente *Curve Number*), si basa sulla assunzione che il volume specifico (altezza) di pioggia netta (efficace)  $P_{net}$  risulta legato al volume specifico (altezza) di pioggia lorda  $P$  (pioggia effettiva) caduta nel medesimo intervallo temporale dalla relazione:

$$P_{net} = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

nella quale  $S$  è il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizione di saturazione ed  $I_a$  è la cosiddetta perdita iniziale, vale a dire quel valore limite di altezza di pioggia che il terreno può trattenere nella fase iniziale del fenomeno senza che si abbia creazione di deflusso; il parametro  $S$  corrisponde al volume idrico trattenuto dal terreno e dalla vegetazione, e quindi sottratto al deflusso superficiale dopo l'istante in cui si ha  $P > I_a$ ; fino all'istante in cui non si ha  $P > I_a$  il deflusso superficiale è da ritenersi praticamente assente.

In realtà con l'introduzione della perdita iniziale  $I_a$  si vuole tenere conto anche di quel complesso di fenomeni, quali l'intercettazione da parte della vegetazione e l'accumulo nelle depressioni superficiali del terreno, che ritardano il verificarsi del deflusso superficiale. In mancanza di adeguate osservazioni utili, per la stima di  $I_a$  si può fare ricorso alla seguente relazione:

$$I_a = 0,2 S$$

che risulta verificata in buona approssimazione.

La valutazione del valore di  $S$  può invece essere ricondotta a quella dell'indice CN (Curve Number), cui esso risulta legato dalla relazione:

$$S = S_0 \cdot \left( \frac{100}{CN} - 1 \right)$$

$S_0$  è un fattore di scala pari a 254 se la pioggia viene espressa in mm.



L'indice CN è un numero adimensionale, compreso fra 0 e 100, funzione della permeabilità della litologia superficiale, dell'uso del suolo e del grado di saturazione del terreno prima dell'evento meteorico.

Il Soil Conservation Service (SCS), sulla base della capacità di assorbimento del terreno nudo a seguito di prolungato adacquamento, ha classificato i vari tipi di suolo in quattro gruppi (A, B, C, D):

- GRUPPO A: Suoli aventi scarsa permeabilità di deflusso; capacità di infiltrazione in condizioni di saturazione molto elevata.
- GRUPPO B: Suoli aventi moderata potenzialità di deflusso; elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.
- GRUPPO C: Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta; scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.
- GRUPPO D: Potenzialità di deflusso molto elevata; scarsissima capacità di infiltrazione e saturazione.

Per tali gruppi si riportano i valori del parametro CN corrispondenti a diverse tipologie di utilizzo del suolo.

Tipo di copertura	A	B	C	D
Aree agricole con presenza di spazi naturali	62	71	78	81
Aree Urbane	98	98	98	98
Area residenziale	77	85	90	92
Cava	60	60	60	60
Distretti industriali	81	88	91	93
Bacini di acqua	100	100	100	100
Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo estivo-autunnale/primaverile	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo primaverile-estivo	72	81	88	91
Colture temporanee associate a colture permanente	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori non irrigui	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori irrigui	72	81	88	91
Oliveti irrigui	72	81	88	91
Oliveti non irrigui	62	71	78	81
Prati stabili non irrigui	30	58	71	78
Seminativi in aree non irrigue	62	71	78	81
Sistemi colturali e particellari complessi	72	81	88	91
Vigneti irrigui	72	81	88	91
Vigneti non irrigui	62	71	78	81
Zone boscate	45	66	77	83



**Tabella 17 – Valori del CN in funzione delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale.**

<b>Classe AMC</b>	<b>Precipitazioni nei dieci giorni precedenti (mm)</b>
<b>I</b> (Terreno secco)	0 < P < 50
<b>II</b> (Umidità media)	50 < P < 110
<b>III</b> (Terreno da mediamente umido a saturo)	P > 110

**Tabella 4 – Definizione delle condizioni di umidità antecedenti l'evento (AMC).**

I valori del CN riportati nella tabella 3 si riferiscono ad una condizione di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico di tipo standard, precisamente quella intermedia indicata come AMC II (Antecedent Moisture Condition II).

Per condizioni iniziali differenti, vengono utilizzate delle relazioni di trasformazione del valore CN (II), relativo a AMC I, CN (I), ed in quello relativo a AMC III, CN (III).

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057CN_{II}} \quad CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0,13CN(II)}$$

Nella fattispecie, considerata l'entità degli interventi e l'importanza degli stessi, **si è preferito adottare un valore di Curve Number pari al CN(II) pari a 78.**

Tale procedimento ha reso possibile la stima dei due parametri  $S$  ed  $I_a$  a partire dalle caratteristiche litologiche e di uso del suolo del bacino e quindi la valutazione della pioggia netta.

Altro "tempo caratteristico" di un bacino è il "tempo di ritardo"  $t_L$  (lag time), generalmente definito come la distanza temporale tra il baricentro dell'idrogramma di piena superficiale, depurato cioè delle portate di base che sarebbero defluite nel corso d'acqua anche in assenza dell'evento di piena, e il baricentro del pluvigramma netto.

Il Soil Conservation Service (SCS) americano ha dedotto, empiricamente, che il rapporto  $t_L/t_C$  è pari a 0.6 (rapporto tra tempo di ritardo e tempo di corrvazione).

Per la stima del tempo di ritardo del bacino, nel caso in esame, si è utilizzata la formula di Mockus:



$$t_L = 0.342 \frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

in cui  $s$  è la pendenza del bacino espressa in %,  $L$  la lunghezza dell'asta principale prolungata fino alla displuviale espressa in Km.

Per il calcolo della portata al colmo  $Q_p$  ( $m^3/s$ ) si considera un idrogramma approssimato di forma triangolare che ha una fase crescente di durata  $t_a$  (tempo di accumulo) e una fase di esaurimento di durata  $t_e$  (tempo di esaurimento) e il cui volume, espresso in  $m^3$ , ha la seguente espressione:

$$V = \frac{Q_P}{2} (t_a + t_e) = \frac{Q_P t_b}{2}$$

avendo indicato con  $t_b$  la durata dell'evento di piena.

Poiché è stato stabilito sperimentalmente che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume idrico che è pari al 37.5% del volume totale  $V$  di deflusso, ne consegue che la durata della fase crescente è pari a 0,375 volte la durata dell'evento di piena  $t_b$  e pertanto:

$$t_b = 2.67 t_a$$

Utilizzando le formule di cui sopra, esprimendo il volume di deflusso  $V$  in mm, il tempo  $t_a$  in ore, l'area  $A$  del bacino in  $Km^2$ , si ottiene:

$$Q_P = 0.208 \frac{VA}{t_a}$$

La determinazione di  $t_a$ , nell'ipotesi di precipitazione di intensità costante di durata  $t_p$  e indicando con  $t_L$  il tempo di ritardo, come prima calcolato, si effettua con la seguente relazione:

$$t_a = 0,5 t_p + t_L$$

È stato scelto come evento che massimizza il calcolo della portata di piena un tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino, utilizzando come " $t_c$ " i risultati ottenuti in base al calcolo effettuato al paragrafo precedente (cioè tempo di corrivazione calcolato con il metodo Pezzoli, Chow,



Watt & Chow, Kirpich P-C-W-K, in quanto tale relazione è quella che meglio si adatta alle dimensioni dei bacini oggetto del presente studio).

I risultati ottenuti sono riportati nella seguente tabella:

Bacino	Tr	P [mm]	Pnet	TL [h]	V [mm]	ta [h]	Qp [mc/s]
1	30 anni	76,824	49,210	2,167	49,210	3,224	38,629
	200 anni	116,101	85,876	2,167	85,876	3,224	67,412
	500 anni	135,071	104,046	2,167	104,046	3,224	81,674
2	30 anni	82,430	54,326	2,718	54,326	4,045	75,758
	200 anni	124,573	93,966	2,718	93,966	4,045	131,036
	500 anni	144,927	113,557	2,718	113,557	4,045	158,355
3	30 anni	61,065	35,170	1,161	35,170	1,537	0,039
	200 anni	92,285	63,434	1,161	63,434	1,537	0,071
	500 anni	107,363	77,586	1,161	77,586	1,537	0,087
4	30 anni	75,508	48,016	1,762	48,016	2,706	26,067
	200 anni	114,111	83,984	1,762	83,984	2,706	45,593
	500 anni	132,756	101,819	1,762	101,819	2,706	55,276
5	30 anni	59,098	33,463	0,771	33,463	1,097	7,671
	200 anni	89,312	60,673	0,771	60,673	1,097	13,908
	500 anni	103,905	74,321	0,771	74,321	1,097	17,037
6	30 anni	61,507	35,556	1,083	35,556	1,484	8,400
	200 anni	92,953	64,056	1,083	64,056	1,484	15,133
	500 anni	108,141	78,321	1,083	78,321	1,484	18,503
7	30 anni	66,165	39,649	1,174	39,649	1,730	7,823
	200 anni	99,992	70,640	1,174	70,640	1,730	13,938
	500 anni	116,331	86,096	1,174	86,096	1,730	16,988
8	30 anni	62,934	36,803	0,758	36,803	1,199	4,142
	200 anni	95,110	66,067	0,758	66,067	1,199	7,435
	500 anni	110,650	80,698	0,758	80,698	1,199	9,081
9	30 anni	69,813	42,893	1,253	42,893	1,943	20,095
	200 anni	105,505	75,830	1,253	75,830	1,943	35,525
	500 anni	122,744	92,216	1,253	92,216	1,943	43,202



Bacino	Tr	P [mm]	Pnet	TL [h]	V [mm]	ta [h]	Qp [mc/s]
10	30 anni	48,932	24,863	0,360	24,863	0,514	3,611
	200 anni	73,949	46,607	0,360	46,607	0,514	6,769
	500 anni	86,031	57,639	0,360	57,639	0,514	8,371
11	30 anni	56,767	31,457	0,517	31,457	0,809	6,268
	200 anni	85,789	57,415	0,517	57,415	0,809	11,441
	500 anni	99,806	70,465	0,517	70,465	0,809	14,041

Tabella 19 – Valori delle portate di piena con il metodo del CN del Bacino di interesse.

### 6.2. Considerazioni finali sulla portata di piena

Per ogni bacino, a vantaggio di sicurezza, si ritiene opportuno utilizzare il valore più alto della portata duecentennale ottenuta; di seguito si sintetizza una tabella contenente i valori di portata ottenuti con le due metodologie descritte ai paragrafi precedenti.

Bacino	Tr	Metodo razionale	metodo Curve Number (CN)
		Q [mc/s]	Qp [mc/s]
1	30 anni	50,393	38,629
	200 anni	67,201	<b>67,412</b>
	500 anni	75,271	81,674
2	30 anni	95,185	75,758
	200 anni	127,054	<b>131,036</b>
	500 anni	142,354	158,355
3	30 anni	0,073	0,039
	200 anni	<b>0,096</b>	0,071
	500 anni	0,108	0,087
4	30 anni	31,772	26,067
	200 anni	42,349	<b>45,593</b>
	500 anni	47,428	55,276
5	30 anni	11,789	7,671
	200 anni	<b>15,644</b>	13,908
	500 anni	17,495	17,037
6	30 anni	14,127	8,400
	200 anni	<b>18,764</b>	15,133
	500 anni	20,990	18,503



Bacino	Tr	Metodo razionale	metodo Curve Number (CN)
		Q [mc/s]	Qp [mc/s]
7	30 anni	10,849	7,823
	200 anni	<b>14,429</b>	13,938
	500 anni	16,148	16,988
8	30 anni	5,076	4,142
	200 anni	6,744	<b>7,435</b>
	500 anni	7,546	9,081
9	30 anni	24,714	20,095
	200 anni	32,900	<b>35,525</b>
	500 anni	36,829	43,202
10	30 anni	6,031	3,611
	200 anni	<b>7,979</b>	6,769
	500 anni	8,914	8,371
11	30 anni	8,178	6,268
	200 anni	10,848	<b>11,441</b>
	500 anni	12,130	14,041

**Tabella 5 – Portate finali di calcolo.**

## **7. MODELLAZIONE IDRAULICA**

Come già precisato le intersezioni del cavidotto con il reticolo idrografico avvengono tutte su strade esistenti; per l'attraversamento n.7, viste le condizioni al contorno, si è previsto di ricorrere all'utilizzo della trivellazione orizzontale controllata (T.O.C.). Si è reso pertanto necessario effettuare una modellazione idraulica per individuare compiutamente le aree di esondazione della piena duecentennale.

Il tracciamento dei profili di corrente è stato condotto utilizzando il codice di calcolo HEC-RAS versione 3.1.3, sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers.

HEC-RAS è l'abbreviazione di Hydrologic Engineering Center's River Analysis System. Questo software consente la simulazione di flussi idrici, nell'ipotesi di monodimensionalità della corrente, sia in moto permanente che in moto vario.

Il sistema comprende una interfaccia grafica, componenti separate per le analisi idrauliche dei due diversi tipi di moto, possibilità di analisi e memorizzazione dati, possibilità di esportazione e graficizzazione dei risultati.

Elemento chiave è che entrambi i tipi di simulazione citati usano una comune rappresentazione geometrica dei dati (l'alveo e le sue caratteristiche fisiche, geometriche ed idrauliche) e una comune routine di calcolo geometrico ed idraulico preliminare.

HEC-RAS è progettato per effettuare calcoli idraulici monodimensionali per una rete completa di canali naturali ed artificiali.

Nel caso di moto permanente, il software è in grado di modellare profili di correnti lente, veloci ed anche miste quando richiesto o ritenuto opportuno automaticamente dal programma.

Il calcolo è stato svolto in condizioni di moto permanente utilizzando valori delle portate di piena, riportati in precedenza, corrispondenti a tempi di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni, come richiesto dall'Autorità di Bacino della Puglia per l'identificazione delle aree caratterizzate rispettivamente da alta (AP), media (MP) e bassa (BP) pericolosità idraulica.

### **Scabrezza di manning**



Le simulazioni sono state condotte utilizzando un valore del coefficiente di scabrezza  $n$  secondo Manning che è pari a 0.033 sulle sponde dell'alveo e per il letto dell'alveo.

### **Condizioni al contorno e condizioni iniziali**

Le condizioni al contorno si distinguono in condizioni al contorno di tipo esterno e condizioni al contorno di tipo interno, ove per condizioni esterne si intendono le altezze idriche da assegnare nella sezione di calcolo posta a valle e in tutte le sezioni iniziali poste a monte del reticolo idrografico, mentre per condizioni interne sono intese quelle relative alle sezioni di confluenza di due o più rami dello stesso reticolo.

**Per le sezioni di monte e di valle dei tratti studiati si è fissata l'altezza di moto uniforme.**

### **Sezioni di calcolo e profilo longitudinale**

La realizzazione del modello in esame è stata effettuata avendo come base cartografica il **DTM della Regione Puglia**.

Sulla base delle informazioni plano altimetriche disponibili è stato ricavato un **modello geometrico**, come base di input per il software HEC-RAS, costituito da un alveo, formato da **n.7 sezioni** (numerata progressivamente da monte verso valle).

Tutte le sezioni sono poste a distanza costante con passo di 50 m. Definito il **modello geometrico dello stato di fatto**, si è provveduto ad effettuare l'ipotesi di calcolo.

### **Risultati delle simulazioni**

Nel seguito, si riportano e si commentano i risultati dello studio idraulico, effettuato in condizioni di moto permanente, in riferimento all'asta modellata.

In particolare, sono riportati i risultati della simulazione effettuata, in condizioni di moto permanente in corrispondenza di portate di piena caratterizzate dal tempo di ritorno di 200 anni.

Tale verifica ha consentito, grazie all'ausilio del software HEC-RAS, di definire le caratteristiche proprie del deflusso e, in particolare, il massimo livello idrico raggiunto in ogni sezione, oltre che la pendenza della linea dell'energia, la velocità media della corrente, la larghezza del pelo libero, il numero di Froude della corrente, ecc..



Tutte queste informazioni sono indicate sotto forma numerica nelle tabelle riassuntive seguenti, nelle quali, al variare del tempo di ritorno e per ognuna delle sezioni, sono riportati i **dati relativi ai principali parametri idraulici desunti dal calcolo al passaggio dell'onda di piena**.

Le sigle riportate sono relative a:

- a) **Q total** = Portata totale espressa in  $m^3/s$ ;
- b) **Min Ch El** = Quote del fondo dell'alveo;
- c) **W.S. Elev** = Quota del pelo libero;
- d) **Crit W.S.** = Quota critica del pelo libero;
- e) **E.G. Elev** = Quota della linea dell'energia;
- f) **E.G. Slope** = Pendenza della linea dell'energia;
- g) **Vel Chnl** = Velocità media della corrente nell'alveo;
- h) **Flow area** = Area totale della sezione liquida effettiva;
- i) **Top Width** = Larghezza superficiale della sezione liquida;
- j) **Froude** = Numero di Froude dell'alveo.

I risultati ottenuti sono riportati nelle tabelle seguenti (cfr. tabelle seguenti).

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: ASTA 7 Reach: 7 Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
7	7	PF 1	14.43	52.16	52.61	52.99	54.99	0.370682	6.83	2.11	9.33	4.58
7	6	PF 1	14.43	51.42	52.24	52.24	52.46	0.014123	2.09	6.89	15.44	1.00
7	5	PF 1	14.43	50.45	51.07	51.18	51.45	0.030495	2.72	5.30	14.31	1.43
7	4	PF 1	14.43	49.14	50.16	50.00	50.29	0.005844	1.58	9.15	16.16	0.67
7	3	PF 1	14.43	49.00	49.63	49.63	49.84	0.014614	2.05	7.05	16.82	1.01
7	2	PF 1	14.43	48.00	48.25	48.34	48.56	0.054650	2.47	5.84	28.38	1.74
7	1	PF 1	14.43	47.00	47.19	47.19	47.27	0.020147	1.26	11.47	72.48	1.01

**Figura 23 – Parametri idraulici del calcolo in moto permanente**

Si specifica che le sezioni sono numerate in modo decrescente da monte verso valle, mentre le distanze progressive in modo crescente da valle verso monte.

Nelle figure seguenti (cfr. figure seguenti) sono riportati la planimetria con le sezioni trasversali, il profilo longitudinale al passaggio dell'onda di piena due centennale.



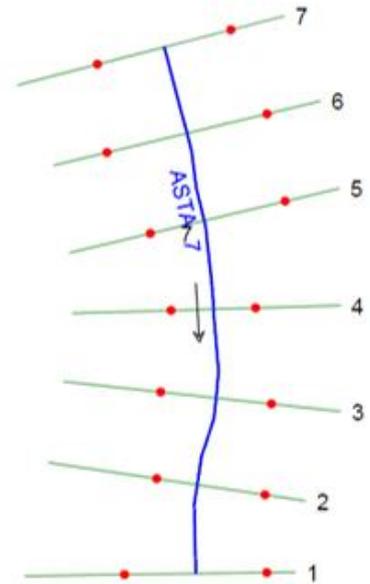
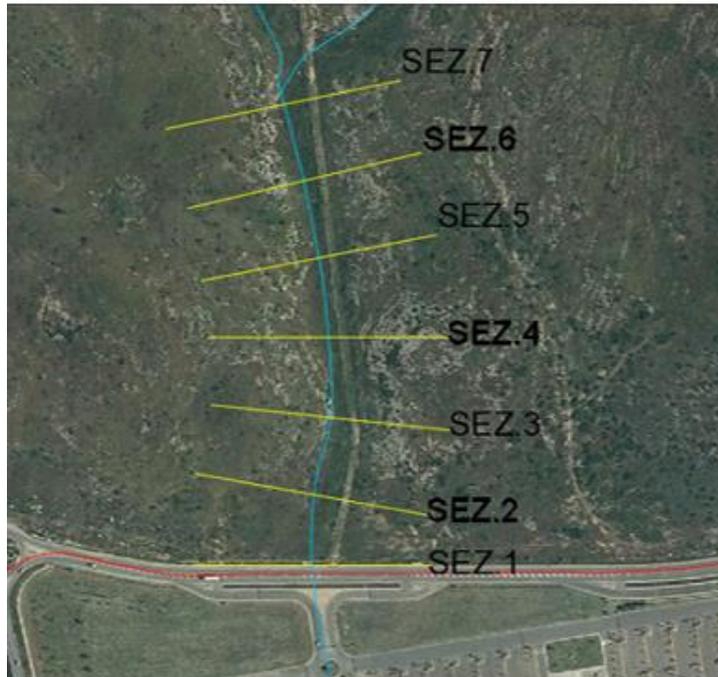
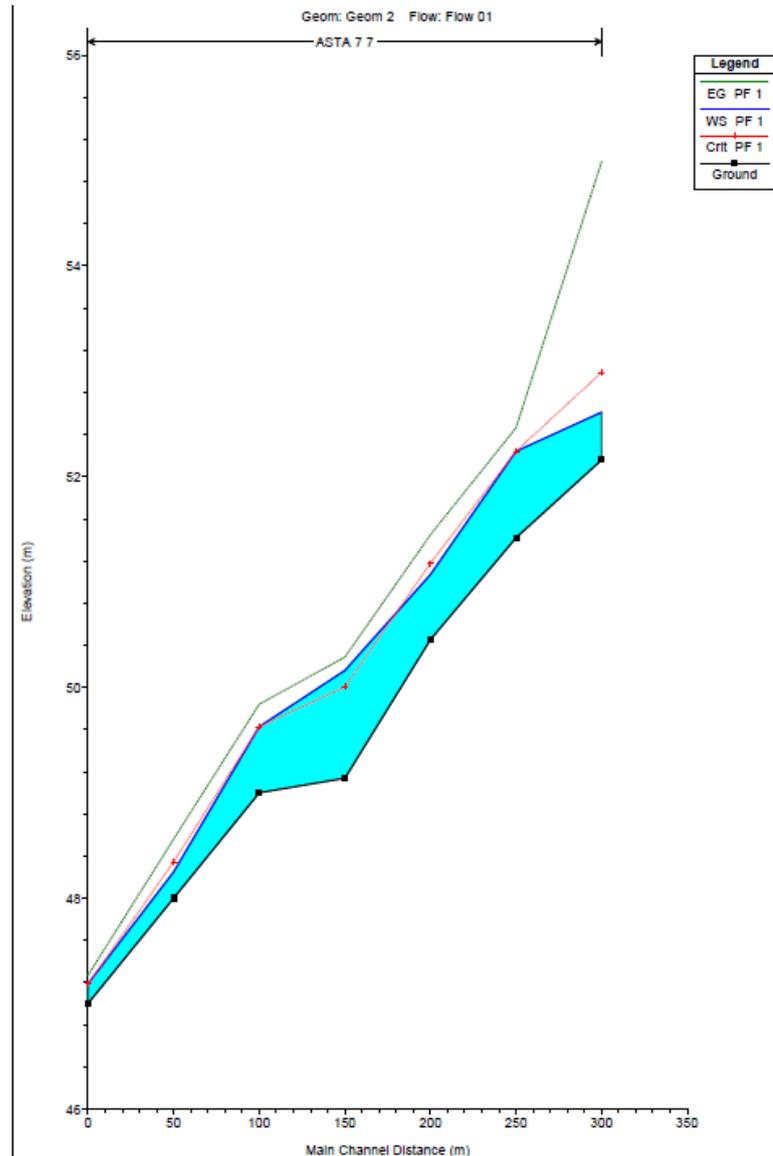


Figure 24 – Planimetria con indicazione delle sezioni su Hec-Ras – intersezione n.7.



**Figure 25 - Profilo longitudinale di moto permanente**

(è rappresentato graficamente il livello idrico corrispondente alla piena con  $T_r=200$  anni)

Osservando gli output di HEC-RAS si evince come **il corso d'acqua in esame sia sufficiente a contenere la portata di piena bi-centenaria, quasi sempre contenuta in alveo o nelle sue aree golenali.**

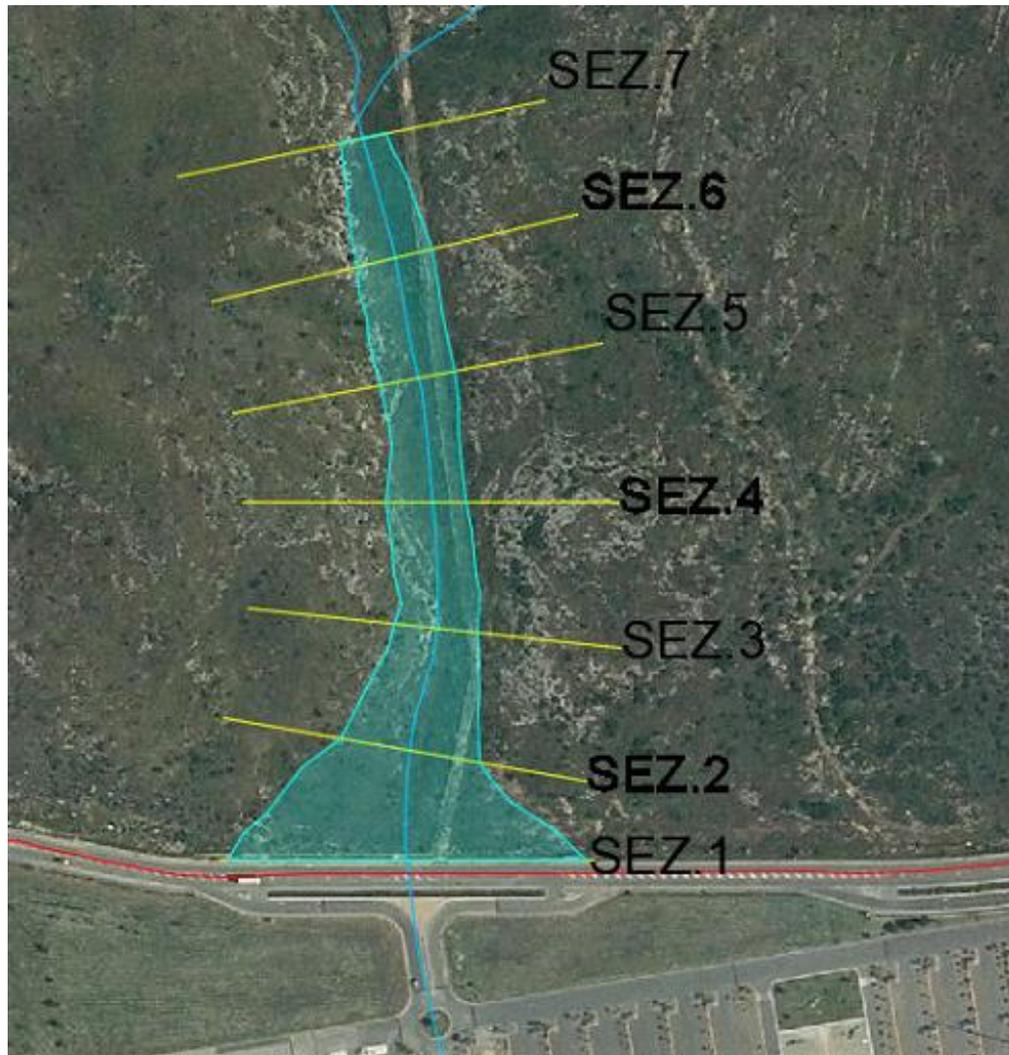
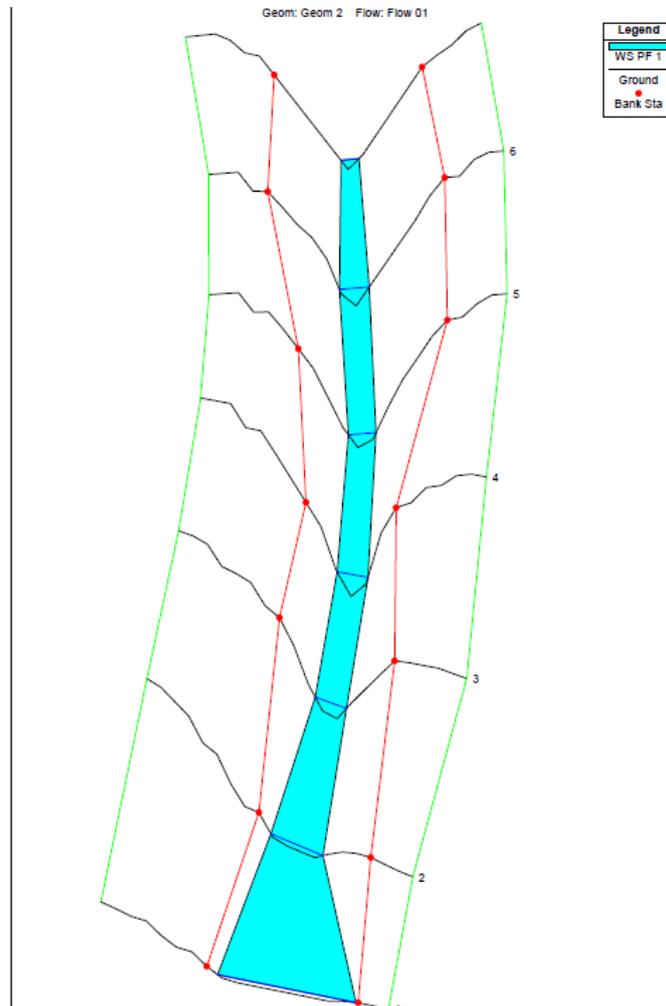
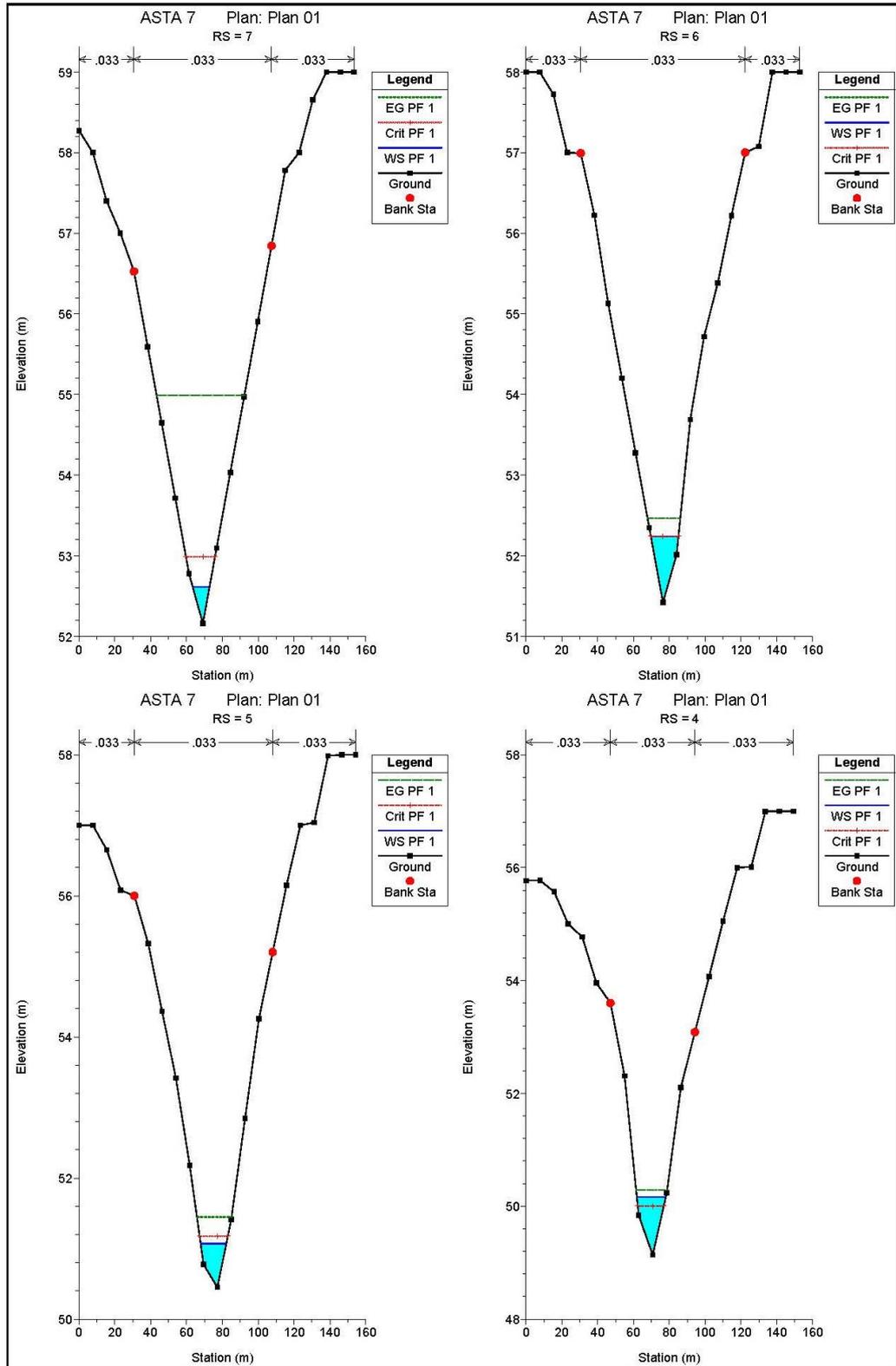


Figure 26 – Planimetria con indicazione delle aree inondabili duecentennali.



**Figure 27 – Vista tridimensionale andamento planoaltimetrico del reticolo con indicazione delle aree inondabili duecentennali.**

**Tale risultato è possibile desumerlo anche dalla consultazione delle sezioni trasversali, dalle quali sono evidenti i livelli idrici di piena per ogni sezione.**



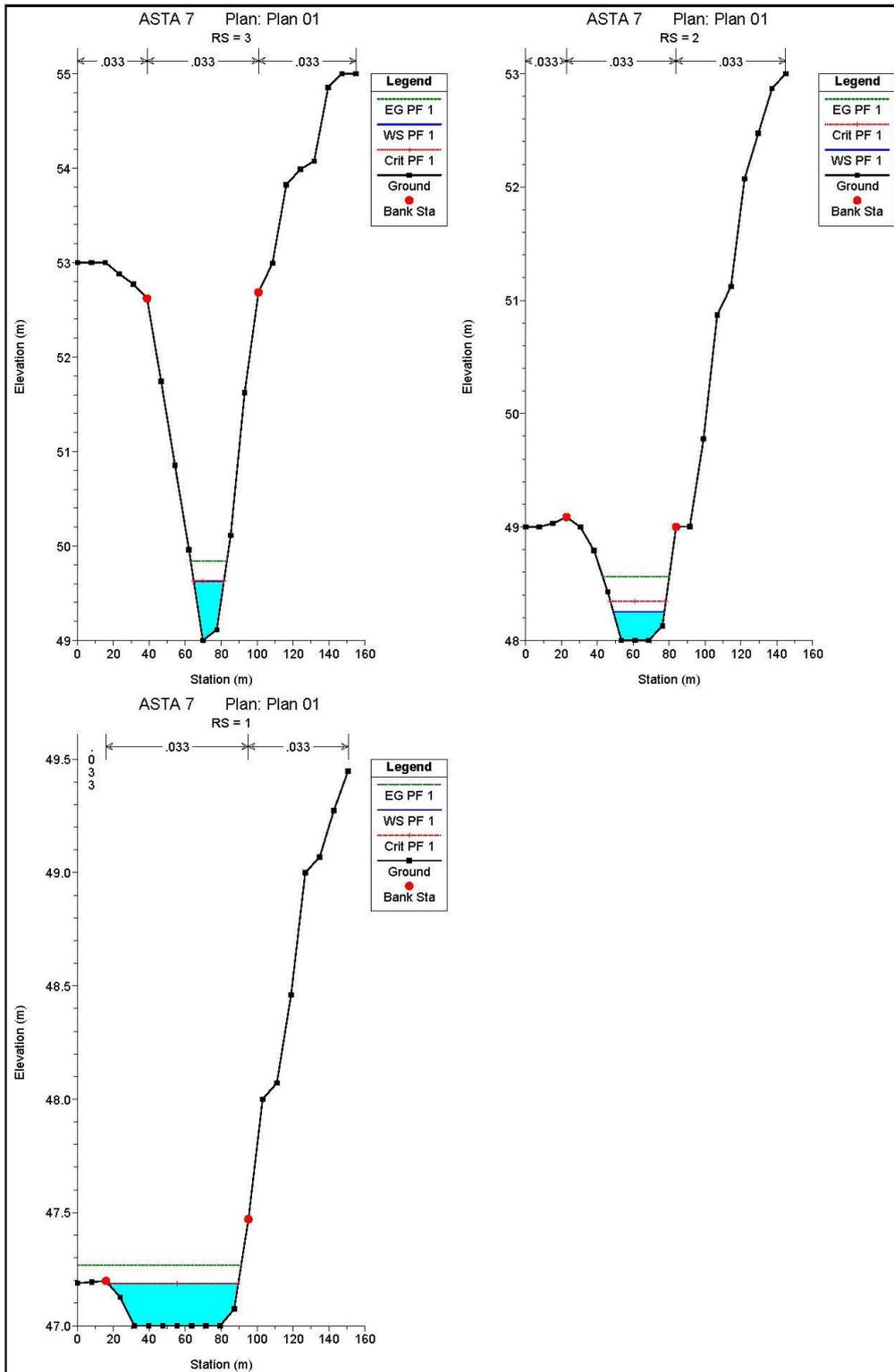


Figure 28 – Sezioni Trasversali



## **8. CONCLUSIONI**

Dall'analisi dei risultati condotti con il presente studio si è potuto desumere che le opere di previste in progetto non comportano alcuna modifica della morfologia degli alvei e nessuna variazione del livello di sicurezza delle aree adiacenti.

Nello specifico, a valle della modellazione idraulica effettuata per l'intersezioni del tracciato del cavidotto con il reticolo idrografico identificata come n.7, **si può asserire che la realizzazione mediante la tecnica della trivellazione orizzontale controllata (T.O.C.), che prevede una posa del cavo ad una profondità minima di 1,5 m dal piano campagna e l'ubicazione dei due pozzetti di estremità al di fuori delle aree inondabili individuate, non comporta alcuna modifica alla morfologia del reticolo idrografico, garantendo allo stesso tempo un ampio margine di sicurezza idraulica, sia nei confronti dei deflussi superficiali che di quelli (eventuali) sotterranei.**

**Pertanto, gli interventi di progetto risultano essere compatibili con le finalità e le prescrizioni del PAI.**



Consulenza: **Atech srl**

Proponente: **METKA EGN Apulia S.r.l.**

**STUDIO DI COMPATIBILITA' IDRAULICA ED IDROLOGICA**

*Progetto per la realizzazione in area SIN di un impianto fotovoltaico con annesso impianto di produzione di idrogeno e relative opere di connessione alla RTN da realizzare nei comuni di Statte e Taranto (TA)*

## **9. ALLEGATI**

ALLEGATO B.1 – Individuazione dei Bacini Idrografici su IGM 1:25.000

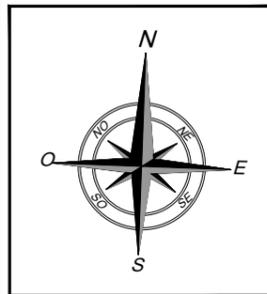
ALLEGATO B.2 – Individuazione dei Bacini Idrografici su Ortofoto

ALLEGATO B.3 – Planimetria con indicazione degli attraversamenti del cavidotto

ALLEGATO B.4 – Planimetria con indicazione delle aree di esondazione – Intersezione n.7

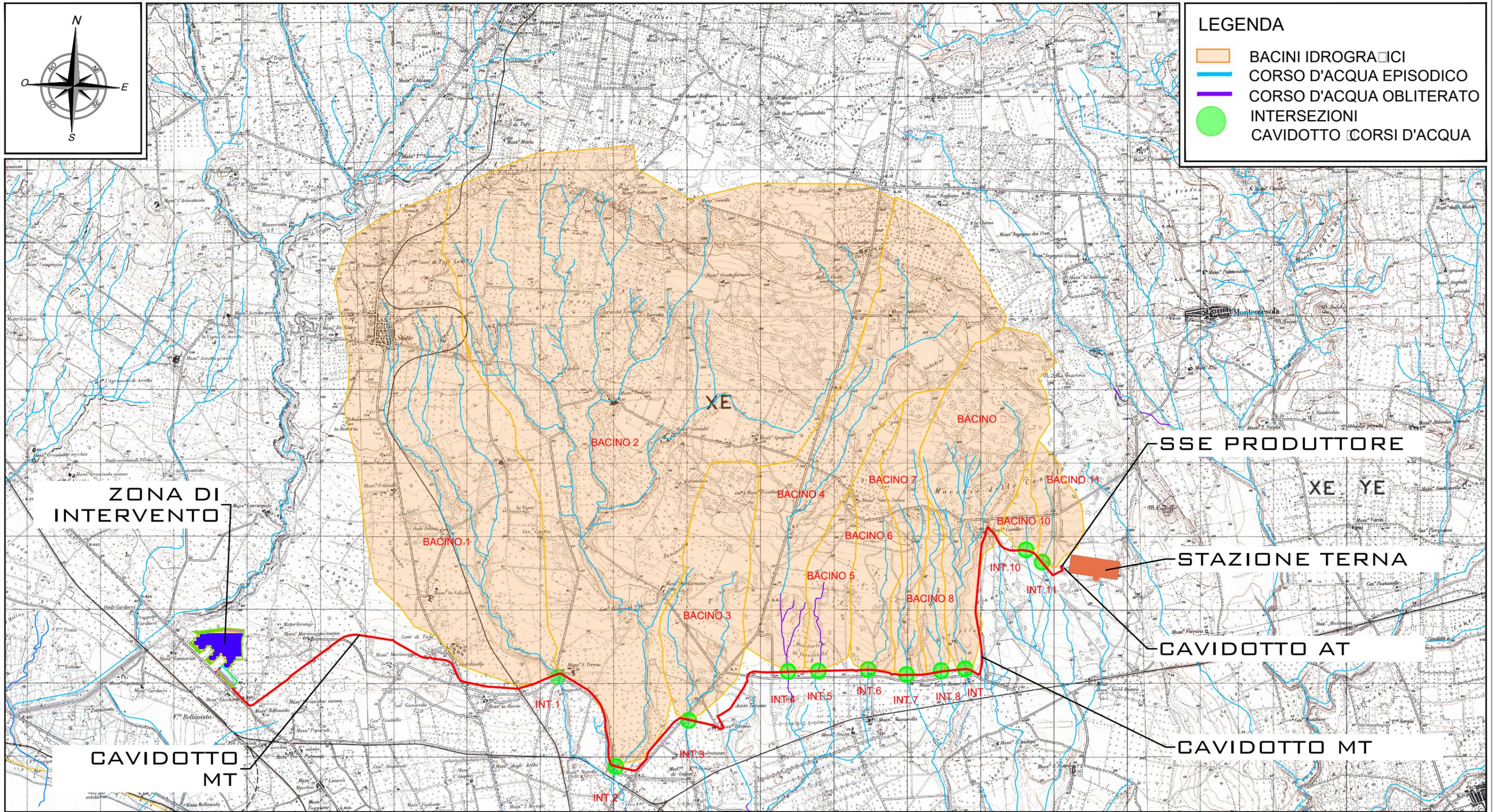


STUDIO DI COMPATIBILITA' IDROLOGICA ED IDRAULICA RELATIVO AL PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO E  
RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA R.T.N. INTEGRATO CON UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE  
COMUNE DI STATTE (TA)



**LEGENDA**

- BACINI IDROGRAFICI
- CORSO D'ACQUA EPISODICO
- CORSO D'ACQUA OBLITERATO
- INTERSEZIONI
- CAVIDOTTO CORSI D'ACQUA



Committente:  
**METKA EGN Apulia S.r.l.**  
Sede Legale Corso Vittorio Emanuele II n. 287  
00186 Roma (RM)  
metkaegnapuliasrl@legalmail.it



Progettista:  
**ATECH srl**  
Via Caduti di Nassirya, 55  
70124 Bari (Italy)  
pec: atechsrl@legalmail.it



Direttore Tecnico: Ing. Orazio Tricarico

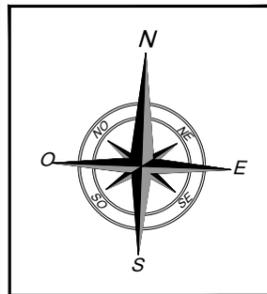
Titolo Allegato:  
**INDIVIDUAZIONE BACINI  
IDROGRAFICI SU IGM 1:25.000**

Data: **GIUGNO 2022**

Scala: **1:50.000**

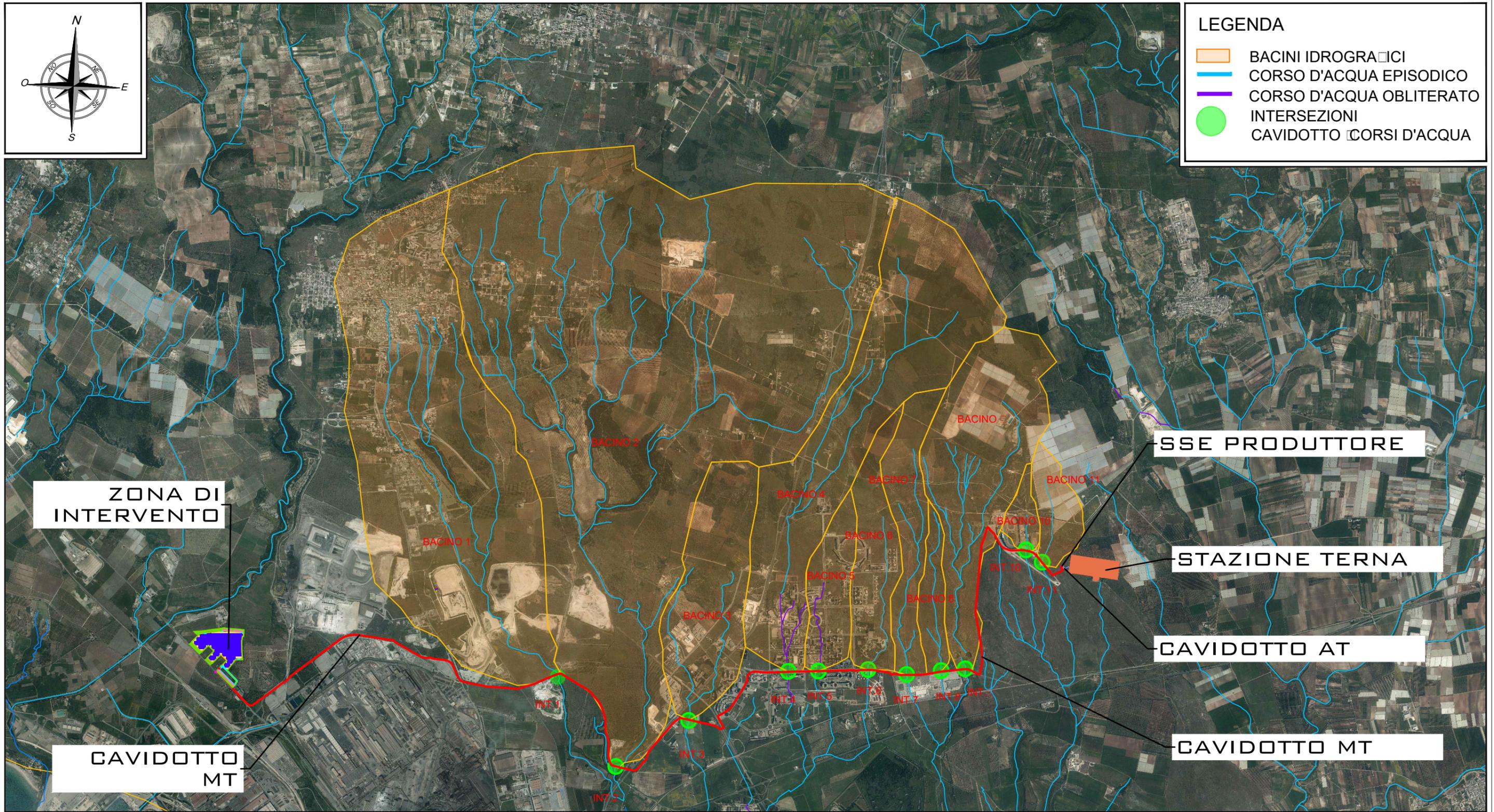
Elaborato: **B.1**

STUDIO DI COMPATIBILITA' IDROLOGICA ED IDRAULICA RELATIVO AL PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO E  
 RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA R.T.N. INTEGRATO CON UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE  
 COMUNE DI STATTE (TA)



**LEGENDA**

- BACINI IDROGRAFICI
- CORSO D'ACQUA EPISODICO
- CORSO D'ACQUA OBLITERATO
- INTERSEZIONI
- CAVIDOTTO CORSI D'ACQUA



Committente:  
**METKA EGN Apulia S.r.l.**  
 Sede Legale Corso Vittorio Emanuele II n. 287  
 00186 Roma (RM)  
 metkaegnapuliasrl@legalmail.it



Progettista:  
**ATECH srl**  
 Via Caduti di Nassirya, 55  
 70124 Bari (Italy)  
 pec: atechsrl@legalmail.it



Direttore Tecnico: Ing. Orazio Tricarico

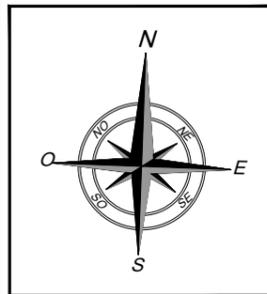
Titolo Allegato:  
**INDIVIDUAZIONE BACINI  
 IDROGRAFICI SU ORTOFOTO**

Data: **GIUGNO 2022**

Scala: **1:50.000**

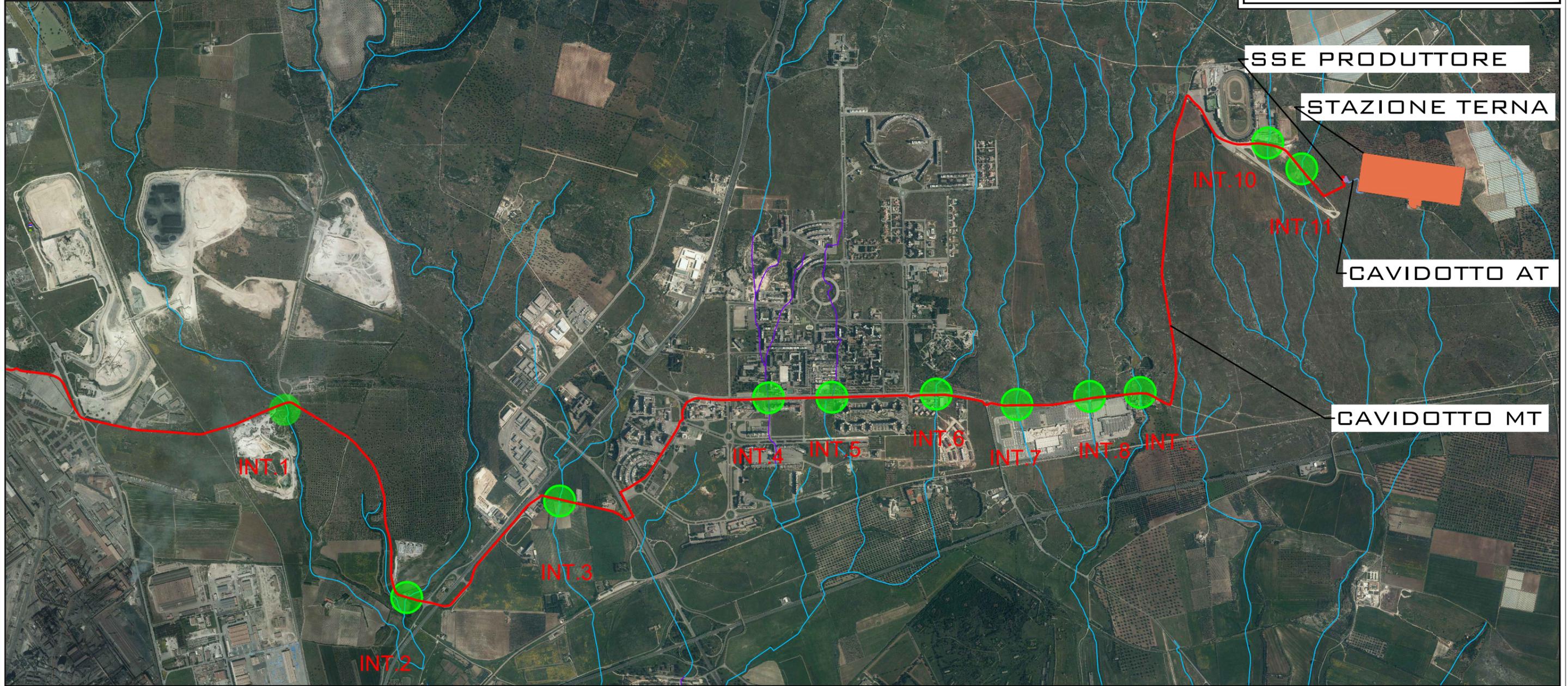
Elaborato: **B.2**

STUDIO DI COMPATIBILITA' IDROLOGICA ED IDRAULICA RELATIVO AL PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO E  
 RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA R.T.N. INTEGRATO CON UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE  
 COMUNE DI STATTE (TA)



**LEGENDA**

- CORSO D'ACQUA EPISODICO
- CORSO D'ACQUA OBLITERATO
- INTERSEZIONI CAVIDOTTO CORSI D'ACQUA



Committente:  
**METKA EGN Apulia S.r.l.**  
 Sede Legale Corso Vittorio Emanuele II n. 287  
 00186 Roma (RM)  
 metkaegnapuliasrl@legalmail.it



Progettista:  
**ATECH srl**  
 Via Caduti di Nassirya, 55  
 70124 Bari (Italy)  
 pec: atechsrl@legalmail.it



*Direttore Tecnico: Ing. Orazio Tricarico*

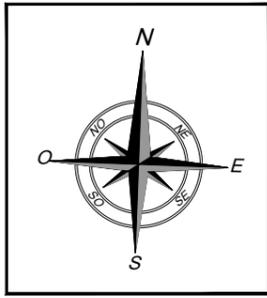
Titolo Allegato:  
**PLANIMETRIA CON  
 INDICAZIONE DEGLI  
 ATTRAVERSAMENTI DEL  
 CAVIDOTTO**

Data: **GIUGNO 2022**

Scala: **1:25.000**

Elaborato: **B.3**

STUDIO DI COMPATIBILITA' IDROLOGICA ED IDRAULICA RELATIVO AL PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO E  
RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA R. T. N. INTEGRATO CON UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE  
COMUNE DI STATTE (TA)



LEGENDA

-  CORSO D'ACQUA EPISODICO
-  AREA DI ESONDAZIONE



Committente:  
**METKA EGN Apulia S.r.l.**  
Sede Legale Corso Vittorio Emanuele II n. 287  
00186 Roma (RM)  
metkaegnapuliasrl@legalmail.it



Progettista:  
**ATECH srl**  
Via Caduti di Nassirya, 55  
70124 Bari (Italy)  
pec: atechsrl@legalmail.it



Direttore Tecnico: Ing. Orazio Tricarico

Titolo Allegato:  
**PLANIMETRIA CON  
INDICAZIONE DELLE AREE DI  
ESONDAZIONE -  
INTERSEZIONE 7**

Data: **GIUGNO 2022**

Scala: **1:2.000**

Elaborato: **B.4**