



**PROPONENTE:**

**HEPV12 S.R.L.**  
via Alto Adige, 160/A - 38121 Trento (TN)  
hepv12srl@legalmail.it

**MANAGEMENT:**

**EHM.Solar**

EHM.SOLAR S.R.L.  
Via della Rena, 20 39100 Bolzano - Italy  
tel. +39 0461 1732700  
fax. +39 0461 1732799  
info@ehm.solar

c.fiscale, p.iva e R.I. 03033000211

**NOME COMMESSA:**

**COSTRUZIONE ED ESERCIZIO IMPIANTO  
AGROVOLTAICO AVENTE POTENZA NOMINALE PARI A  
11.000 kW E POTENZA MODULI PARI A 14.271,4 kWp,  
CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE  
ELETTRICA, SITO NEI COMUNI DI BRINDISI E CELLINO  
SAN MARCO (BR) - IMPIANTO SV94**

**STATO DI AVANZAMENTO COMMESSA:**

**PROGETTO DEFINITIVO PER AUTORIZZAZIONE UNICA**

**CODICE COMMESSA:**

**HE.21.0041**

**PROGETTAZIONE INGEGNERISTICA:**

**Heliopolis**



Galleria Passarella, 1 20122 Milano - Italy  
tel. +39 02 37905900  
via Alto Adige, 160/A 38121 Trento - Italy  
tel. +39 0461 1732700  
fax. +39 0461 1732799

www.heliopolis.eu  
info@heliopolis.eu

c.fiscale, p.iva e R.I. Milano 08345510963

**PROGETTISTA:**



**COLLABORATORE:**

**STUDI PEDO-AGRONOMICI**

Dott. Agr. Matteo Sorrenti

**STUDI FAUNISTICI**

Dott. Nat. Maria Grazia Fraccalvieri

**CONSULENZA LEGALE**

STUDIO LEGALE PATRUNO  
Via Argiro, 33 Bari  
t.f. +39 080 8693336



**AMBIENTE IDRAULICA STRUTTURE**

Dott. Ing. Orazio Tricarico  
Via della Resistenza, 48/B1 - 70125 Bari (BA)  
t. +39 080 3219948  
info@atechsrl.net www.atechsrl.net



**STUDI ARCHEOLOGICI**

Dott.ssa Paola Iacovazzo  
via del Tratturello Tarantino n. 6 - 74123 Taranto (TA)



museion-archeologia@libero.it

**RILIEVI TOPOGRAFICI**

GEOPOLIS srl  
Via F.lli Urbano, 32  
72028 - Torre Santa Susanna (BR)  
Tel./Fax: 0831.74.71.71

**STUDI GEOLOGICI**

Dott. Geol. Michele Valerio

**OGGETTO:**

**STUDIO DI COMPATIBILITA' IDRAULICA E  
IDROLOGICA**

**SCALA:**

-

**DATA:**

**FEBBRAIO 2022**

**NOME FILE:**

**EJ3G292\_RelazioneIdraulica\_01.pdf**

**TAVOLA:**

**DGG.RE 03**

N. REV.	DATA	REVISIONE	ELABORATO	VERIFICATO	VALIDATO
0	02.2022	Emissione	O. Tricarico	responsabile commessa A. Albuzzì	direttore tecnico N. Zuech



Progetto	<i>Progetto per la realizzazione di un nuovo impianto agrovoltaiico avente potenza nominale pari a 11.000 kW e di potenza installabile pari a 14.271,4 kWp, da realizzarsi nei Comuni di Brindisi e Cellino San Marco (BR), con connessione alla RTN tramite realizzazione di una nuova cabina di consegna collegata in antenna dalla futura cabina primaria AT/MT "Cellino"- IMPIANTO SV94</i>				
Regione	<i>Puglia</i>				
Comune	<i>Brindisi (BR)</i>				
Proponente	<i>HEPV 12 srl Sede Legale via Alto Adige, 160/A 38121 Trento (TN)</i>				
Redazione SIA	<i>ATECH S.R.L. – Società di Ingegneria e Servizi di Ingegneria Sede Legale Via della Resistenza 48 70125 Bari (BA)</i>				
Documento	<i>Studio di compatibilità idraulica e idrogeologica</i>				
Revisione	<i>00</i>				
Emissione	<i>Marzo 2021</i>				
Redatto	<i>B.B. - M.G.F. – ed altri (vedi sotto)</i>	Verificato	<i>A.A.</i>	Approvato	<i>O.T.</i>
Redatto: Gruppo di lavoro	<i>Ing. Alessandro Antezza Arch. Berardina Boccuzzi Ing. Alessandrina Ester Calabrese Arch. Claudia Cascella Geol. Anna Castro Arch. Valentina De Paolis Dott. Naturalista Maria Grazia Fraccalvieri Ing. Emanuela Palazzotto Ing. Orazio Tricarico</i>				
Verificato:	<i>Ing. Alessandro Antezza (Socio di Atech srl)</i>				
Approvato:	<i>Ing. Orazio Tricarico (Amministratore Unico e Direttore Tecnico di Atech srl)</i>				

*Questo rapporto è stato preparato da Atech Srl secondo le modalità concordate con il Cliente, ed esercitando il proprio giudizio professionale sulla base delle conoscenze disponibili, utilizzando personale di adeguata competenza, prestando la massima cura e l'attenzione possibili in funzione delle risorse umane e finanziarie allocate al progetto.*

*Il quadro di riferimento per la redazione del presente documento è definito al momento e alle condizioni in cui il servizio è fornito e pertanto non potrà essere valutato secondo standard applicabili in momenti successivi. Le stime dei costi, le raccomandazioni e le opinioni presentate in questo rapporto sono fornite sulla base della nostra esperienza e del nostro giudizio professionale e non costituiscono garanzie e/o certificazioni. Atech Srl non fornisce altre garanzie, esplicite o implicite, rispetto ai propri servizi.*

*Questo rapporto è destinato ad uso esclusivo di HEPV30 S.r.l., Atech Srl non si assume responsabilità alcuna nei confronti di terzi a cui venga consegnato, in tutto o in parte, questo rapporto, ad esclusione dei casi in cui la diffusione a terzi sia stata preliminarmente concordata formalmente con Atech Srl.*

*I terzi sopra citati che utilizzino per qualsivoglia scopo i contenuti di questo rapporto lo fanno a loro esclusivo rischio e pericolo.*

*Atech Srl non si assume alcuna responsabilità nei confronti del Cliente e nei confronti di terzi in relazione a qualsiasi elemento non incluso nello scopo del lavoro preventivamente concordato con il Cliente stesso.*



## INDICE

1. PREMESSA .....	3
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....	5
2.1 Inquadramento Territoriale .....	6
2.2 Descrizione degli interventi .....	7
3. AREE SOGGETTE A TUTELA DA PARTE DELL'AUTORITA' DI BACINO DELLA PUGLIA	8
4. INQUADRAMENTO DEI BACINI IDROGRAFICI .....	12
4.1 Inquadramento geologico .....	17
4.2 Uso del suolo .....	18
5. ANALISI REGIONALE DELLE PIOGGE IN PUGLIA .....	19
5.1 Curve di possibilità climatica .....	24
6. ANALISI IDRAULICA .....	27
6.1 Valutazione portate di piena .....	27
6.2 Considerazioni finali sulla portata di piena .....	37
7. MODELLAZIONE IDRAULICA .....	44
8. CONCLUSIONI .....	48
ALLEGATI .....	49



## 1. PREMESSA

La presente **Relazione di Compatibilità Idrologica ed Idraulica** è stata redatta nell'ambito di un progetto per **realizzazione di un impianto agrovoltaiico avente potenza nominale pari a 11.000 kW e di potenza installabile pari a 14.271,4 kWp, da realizzarsi nei Comuni di Brindisi e Cellino San Marco (BR), con connessione alla RTN tramite realizzazione di una nuova cabina di consegna collegata in antenna dalla futura cabina primaria AT/MT "Cellino"**.

In realtà il presente intervento consiste in un **progetto integrato** di un **impianto agro-ovi-fotovoltaico** in quanto rientra in un intervento più vasto occupati sia dall'impianto fotovoltaico che da un progetto di **agricoltura biologica**, con **aree dedicate all'apicoltura** e a **diversi tipi di colture**, tra cui le **colture cerealicole dedicate all'alimentazione animale** ed **aree dedicate al pascolo**.

La società proponente è la **HEPV12 s.r.l.**, con sede legale in via Alto Adige, 160/A - 38121 Trento (TN).

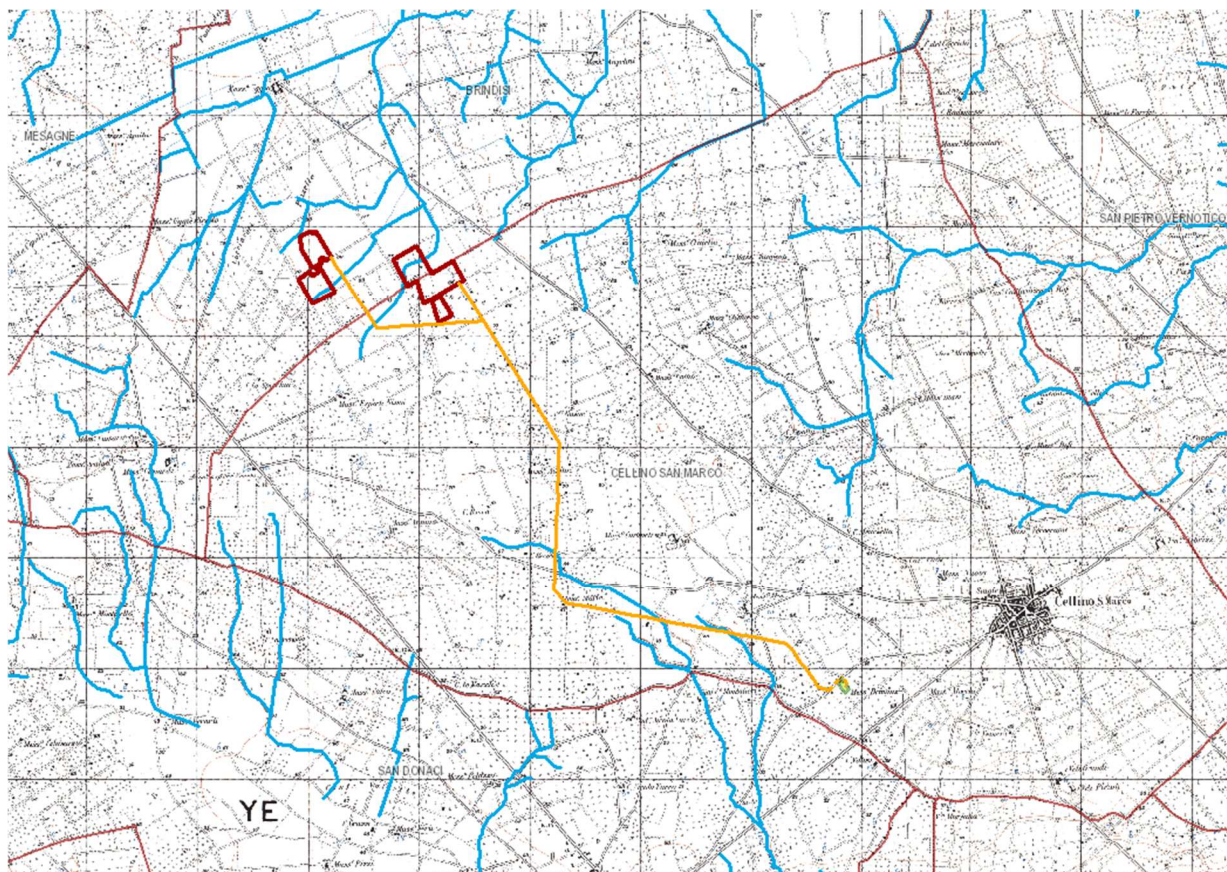


Figura 1 - Stralcio Corografia



Figura 2 - Stralcio Google Earth



## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area di intervento ricade nel territorio comunale di Brindisi ad una distanza di circa 17 km in direzione Sud-ovest rispetto al nucleo urbano.

Essa è identificata dalle seguenti coordinate geografiche:

- Latitudine: 40°29'59.20"N;
- Longitudine: 17°54'12.16"E;
- Ricadenti nell' elemento 495072 e 495111 della Carta Tecnica Regionale.

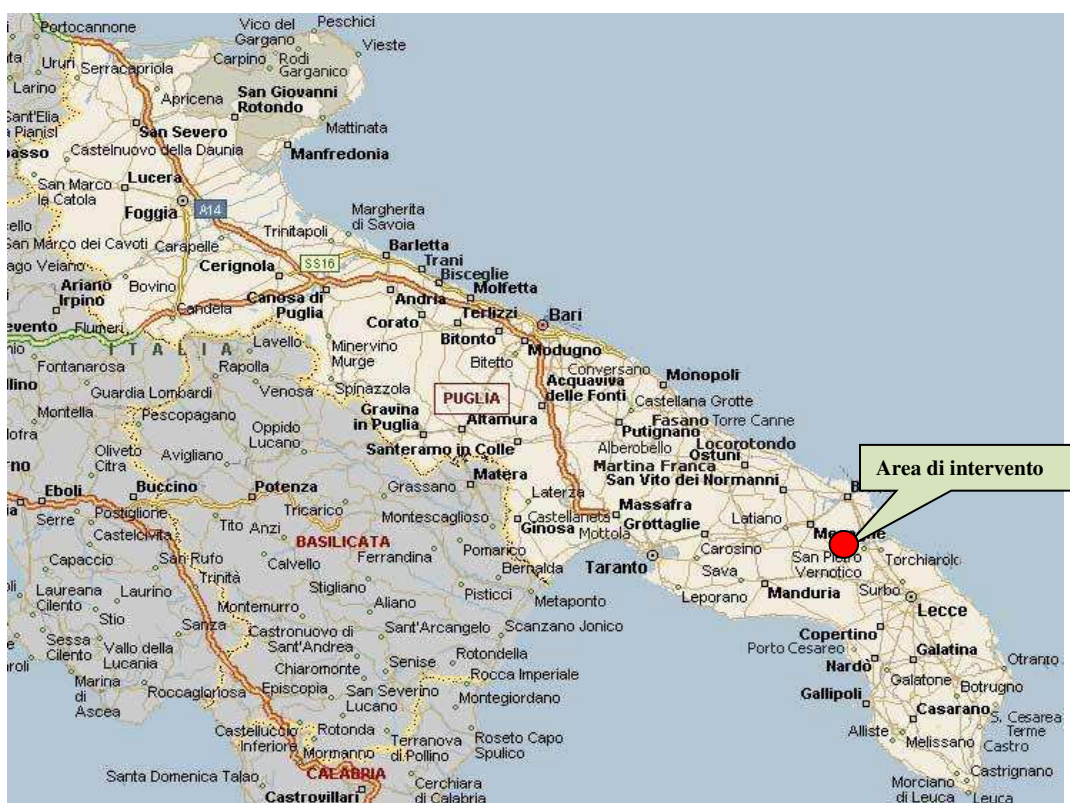


Figura 3: Inquadramento regionale

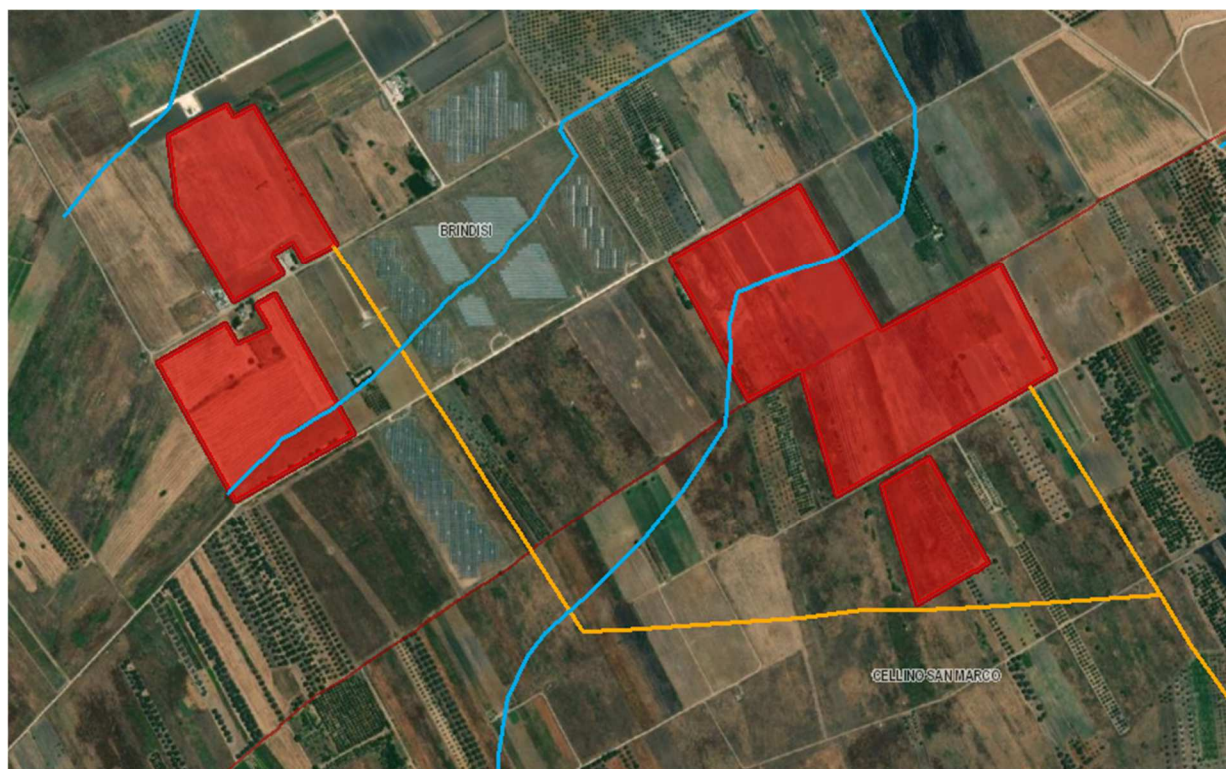


## **2.1 Inquadramento Territoriale**

L'area di installazione dell'impianto è ubicata in zona agricola del Comune di Brindisi (BR), a circa 4 km dalla futura Cabina Primaria CP Cellino.

Il sito è per lo più pianeggiante e non si evidenziano particolari criticità legate alla presenza di liquidi e/o polveri.

Dalla foto aerea (Figura 1) di seguito riportata si evince l'ubicazione dell'impianto e l'uso delle aree circostanti.



**Figura 4: ortofoto della zona dove sarà ubicato il futuro impianto**



## **2.2 Descrizione degli interventi**

Rimandando per una più dettagliata descrizione a quanto riportato nella Relazione tecnica illustrativa (doc. RelazioneDescrittiva), in questa sede ci si limita ad evidenziare come la potenza nominale dell'impianto fotovoltaico in progetto ai sensi della norma CEI 0-16 è pari a 7,99 MWp, mentre la potenza nominale dei moduli è pari a 400 Wp.

L'impianto fotovoltaico sarà installato su opportune strutture di sostegno, appositamente progettate e realizzate in acciaio zincato, infisse nel terreno. Le modalità di installazione prevedono la realizzazione di un impianto poggiato sul terreno, ascrivibile alla categoria "impianto con moduli ubicati al suolo", codice impianto F.7, indicate nell'allegato 2, tabella 1 del Regolamento Regionale n.24 del 30 dicembre 2010.

Non si prevede la realizzazione di particolari volumetrie, fatte salve quelle associate ai poli tecnici, indispensabili per la realizzazione dell'impianto fotovoltaico.

Per garantire la sicurezza dell'impianto, tutta l'area di intervento sarà recintata mediante rete a maglia metallica (tipo a maglia larga) sostenuta da pali in acciaio zincato infissi nel terreno. L'altezza complessiva della recinzione che si realizzerà sarà complessivamente di 2.00 m.

La presenza di una recinzione di apprezzabile lunghezza potrebbe avere ripercussioni negative in termini di deframmentazione degli habitat o di eliminazione di habitat essenziali per lo svolgimento di alcune fasi biologiche della piccola fauna selvatica presente in loco.

Per evitare il verificarsi di situazioni che potrebbero danneggiare l'ecosistema locale tutta la recinzione verrà posta ad un'altezza di 30 cm dal suolo, per consentire il libero transito delle piccole specie animali selvatiche tipiche del luogo. Così facendo la recinzione non costituirà una barriera al movimento dei piccoli animali sul territorio ed al deflusso delle eventuali acque di ruscellamento.





### 3. AREE SOGGETTE A TUTELA DA PARTE DELL'AUTORITA' DI BACINO DELLA PUGLIA

Poiché l'area di intervento ricade su un suolo di competenza dell'Autorità di Bacino della Regione Puglia (di seguito semplicemente denominata AdBP), in relazione alle condizioni idrauliche, alla tutela dell'ambiente ed alla prevenzione da possibili effetti dannosi prodotti dall'intervento antropico proposto, sono prese in esame le Norme Tecniche di Attuazione del Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) redatte dalla stessa Autorità.

Conformemente al D.P.C.M. del 29 Settembre 1998, l'Autorità di Bacino della Puglia ha individuato i tempi di ritorno  $T_r$  in 30, 200 e 500 anni per l'individuazione, rispettivamente, delle aree soggette ad Alta Probabilità (A.P.), Media Probabilità (M.P.) e Bassa Probabilità (B.P.) di esondazione.

Dall'analisi della Carta delle Aree soggette a Rischio Idrogeologico del PAI, l'area di intervento **non è perimetrata per pericolosità idraulica o geomorfologica** (cfr. figure seguenti).

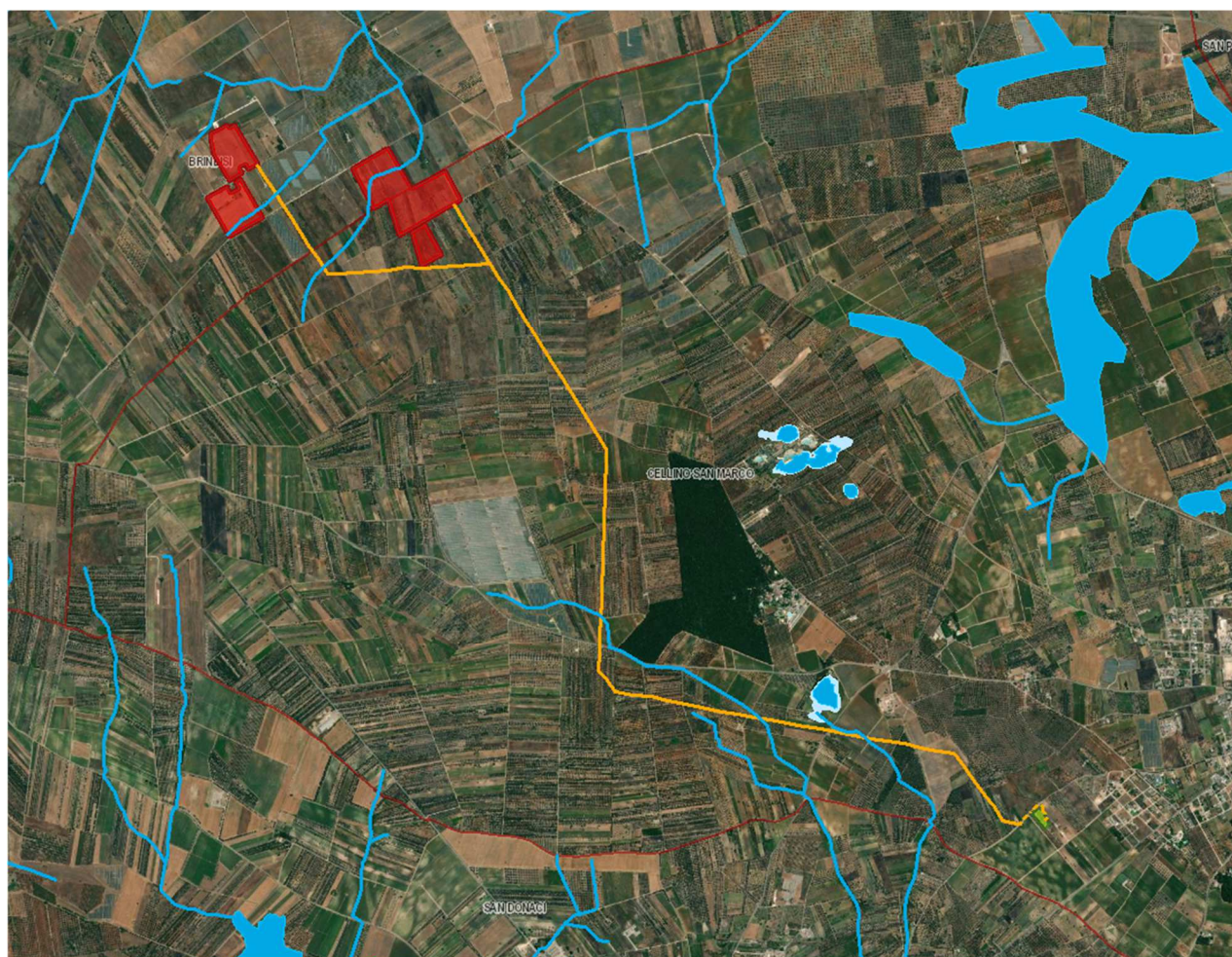
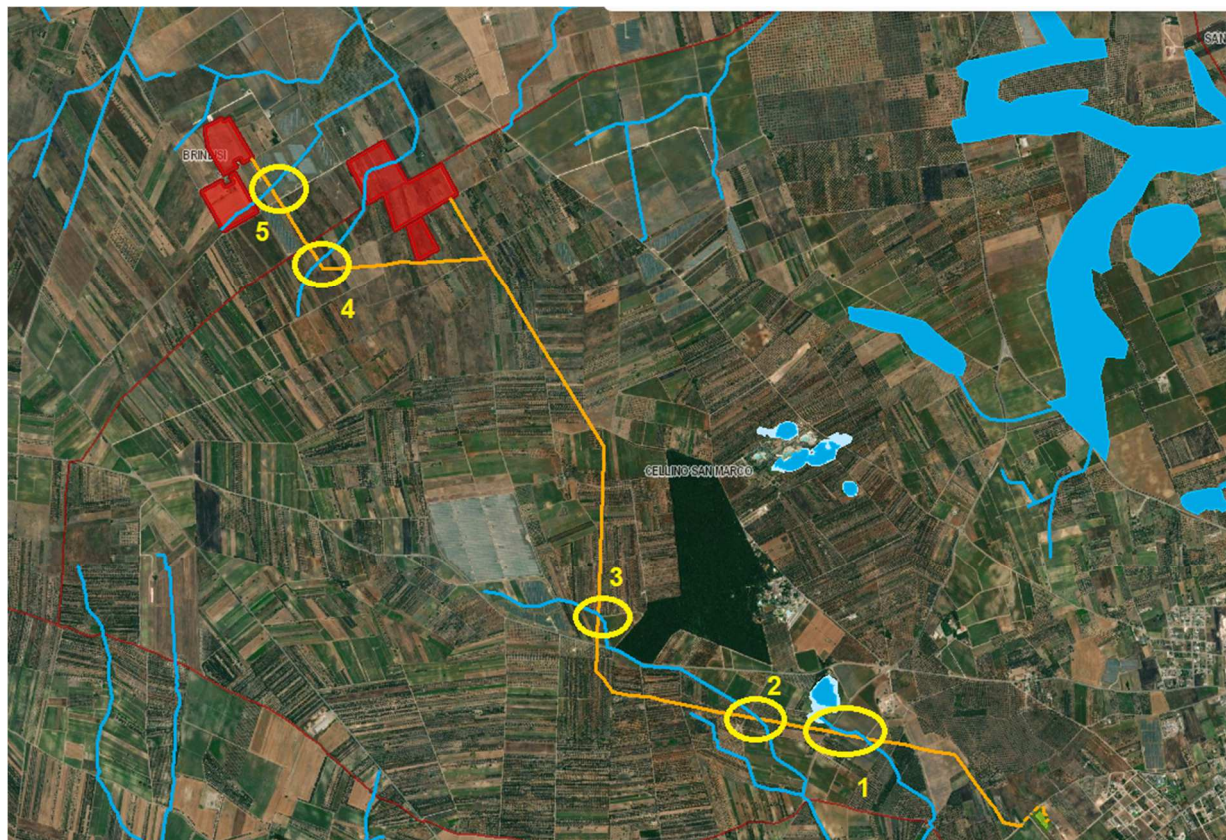


Figura 5 – Mappe della pericolosità da alluvione e mappe del rischio di alluvioni del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni



Tuttavia, come è possibile desumere dall'immagine precedente, che riporta uno stralcio della carta idrogeomorfologica redatta dall'AdB Puglia, il tracciato del cavidotto è interessato dalla presenza del reticolo ufficiale (cerchi gialli).



**Figura 6.1- Stralcio Ortofoto con reticolo idrogeomorfologico**

Tuttavia, come è possibile desumere dall'immagine precedente, che riporta uno stralcio della carta idrogeomorfologica redatta dalla Regione Puglia, l'area di installazione d'impianto è interessata dalla presenza del reticolo ufficiale, in particolare da due aste, denominate A e B, site a meno di 150 m dall'area di installazione dei pannelli.

Per ciò che concerne il cavidotto di collegamento MT si riscontrano n.5 intersezioni con il reticolo della cartografia ufficiale; tuttavia, essendo un cavidotto aereo il presente studio si è limitato a verificare che i pali di sostegno siano esterni all'area inondabile duecentennale.

Infine, per le stazioni di consegna si riscontra una distanza oltre i 150 m dai corsi d'acqua.

Gli impianti di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, 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 da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità), e pertanto sono consentite anche in aree classificate come Alvei fluviali in modellamento attivo e Aree golenali, **ai sensi dell'art. 6 e 10 delle NTA del PAI**, purché coerenti con gli obiettivi del Piano stesso.



Pertanto, tutti questi gli attraversamenti siti a meno di 150 metri sono assoggettati agli artt. 6 e 10 delle N.T.A. del PAI, soggetti all'acquisizione del parere dall'Autorità di Bacino della Puglia.

Nello specifico, l'opera **in oggetto risulta essere non delocalizzabile** e sostanzialmente si configura come *"...l'ampliamento e la ristrutturazione delle infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico esistenti, comprensive dei relativi manufatti di servizio, riferite a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico, comprensive dei relativi manufatti di servizio, parimenti essenziali e non diversamente localizzabili, purché risultino coerenti con gli obiettivi del presente Piano e con la pianificazione degli interventi di mitigazione. Il progetto preliminare di nuovi interventi infrastrutturali, che deve contenere tutti gli elementi atti a dimostrare il possesso delle caratteristiche sopra indicate anche nelle diverse soluzioni presentate, è sottoposto al parere vincolante dell'Autorità di Bacino"* rientrando pertanto tra le opere assensibili ai sensi dell'**articolo 6 "Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali" comma 4 delle NTA del PAI.**

Pertanto, al **comma 7**, si richiede *"in funzione della valutazione del rischio ad essi associato, la redazione di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica che ne analizzi compiutamente gli effetti sul regime idraulico a monte e a valle dell'area interessata."* ed al **comma 8** si definisce che *"Quando il reticolo idrografico e l'alveo in modellamento attivo e le aree golenali non sono arealmente individuate nella cartografia in allegato e le condizioni morfologiche non ne consentano la loro individuazione, le norme si applicano alla porzione di terreno a distanza planimetrica, sia in destra che in sinistra, dall'asse del corso d'acqua, non inferiore a 75 m."*

Le **NTA del PAI all' art. 10** "Disciplina delle fasce di pertinenza fluviale", chiariscono che sono possibili interventi di realizzazione di opere di interesse pubblico interessanti gli alvei fluviali e le fasce di pertinenza fluviale definite dal **comma 3** *"Quando la fascia di pertinenza fluviale non è arealmente individuata nelle cartografie in allegato, le norme si applicano alla porzione di terreno, sia in destra che in sinistra, contermina all'area golenale, come individuata all'art. 6 comma 8, di ampiezza comunque non inferiore a 75 m."*

In considerazione di quanto su citato la presente relazione viene richiesta come integrazione alla documentazione progettuale ai fini della valutazione del rilascio del nulla osta da parte della stessa AdB.

Lo studio è stato suddiviso nei seguenti punti:

- Fase di inquadramento generale dell'area di intervento: analisi di tutti gli elementi significativi di carattere geologico, geomorfologico ed idrogeologico della porzione di territorio oggetto di intervento;
- Fase di acquisizione dei dati: cartografia, rilievi topografici, modello digitale del terreno (DEM) e raccolta accurata di dati idrologici storici del tratto fluviale in esame;
- Fase di analisi idrologica nell'ipotesi di verifica della "Sicurezza Idraulica" ovvero per un



---

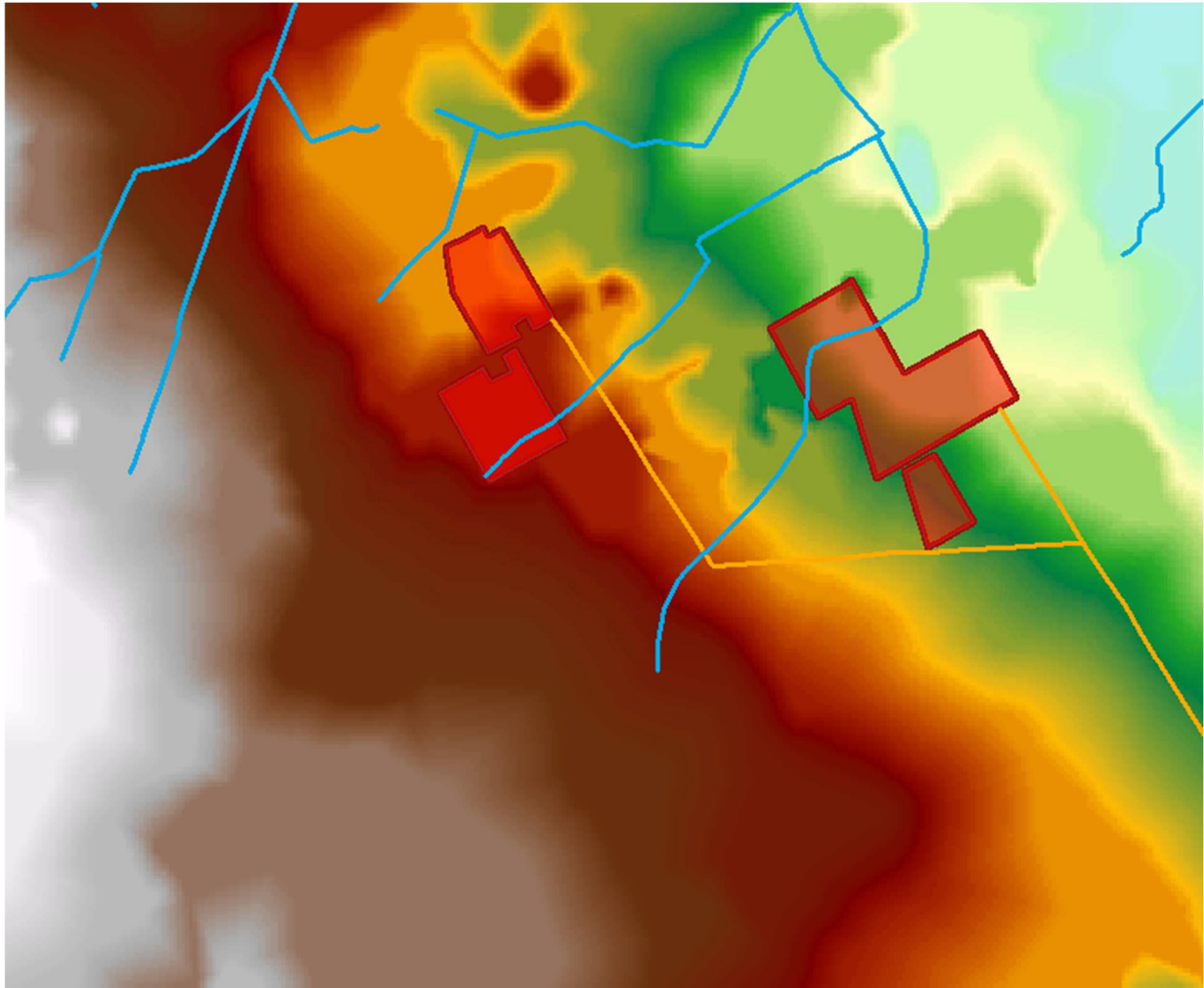
tempo di ritorno  $T_r$  pari a 200 anni;

- 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.



#### 4. INQUADRAMENTO DEI BACINI IDROGRAFICI

Prima di delimitare il bacino idrografico sotteso dall'corso d'acqua potenzialmente interferente con le aree di interesse, si è provveduto a verificare la posizione planimetrica della linea di impluvio lungo profili topografici estrapolati dal DTM della Regione Puglia.



**Figura 7.1 - Andamento della linea di impluvio ottenuto dall'analisi 3D del DTM della Regione Puglia**



Dall'analisi dell'orografia dell'area di intervento è stato individuato un bacino idrografico la cui sezione di chiusura è prossima alle aree di interesse. Esso si sviluppa nei territori comunali di Brindisi e Cellino San Marco, all'interno del foglio 495 della cartografia I.G.M. 25.000

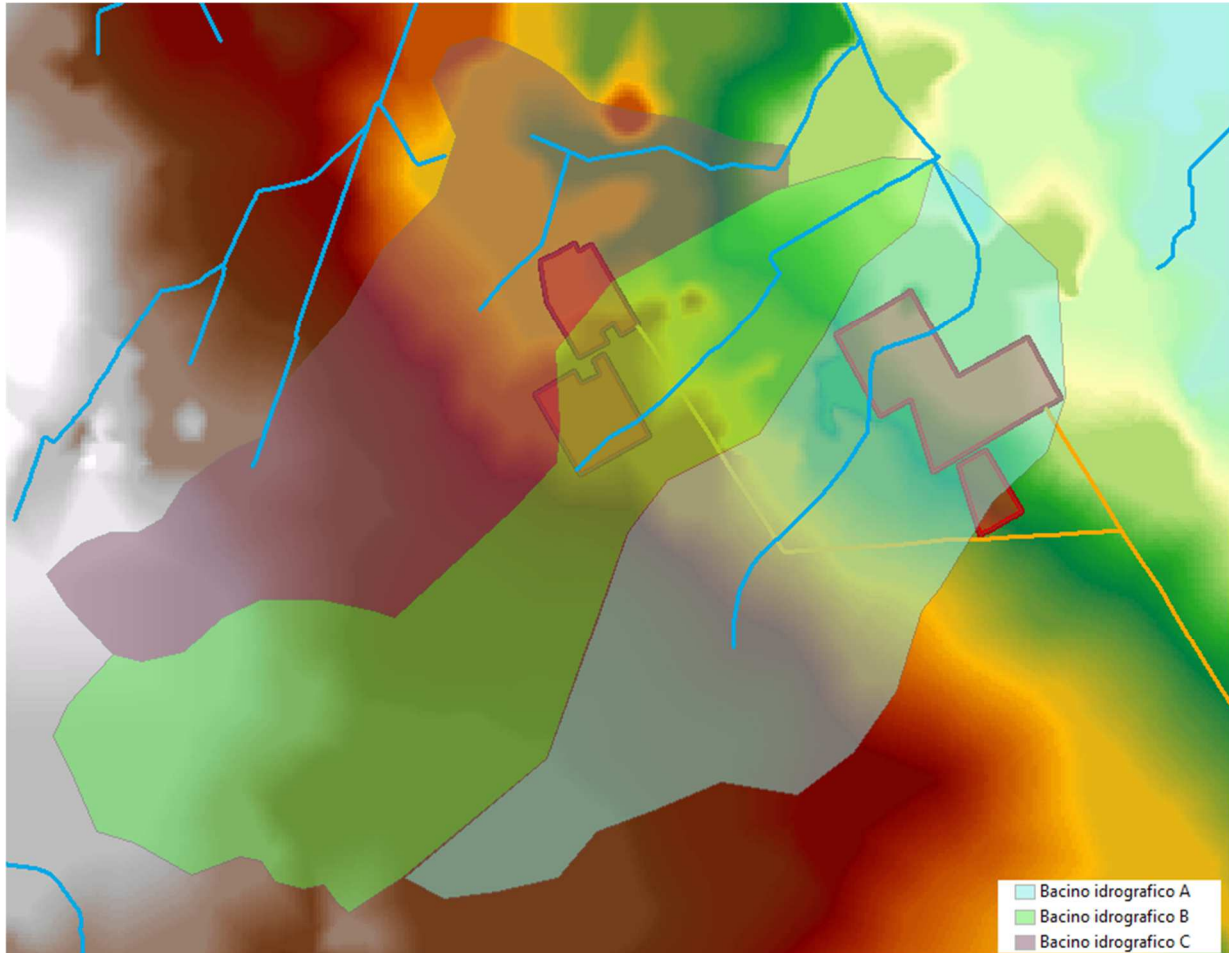


Figura 8.2 - Inquadramento dei bacini idrografici su DTM della Regione Puglia

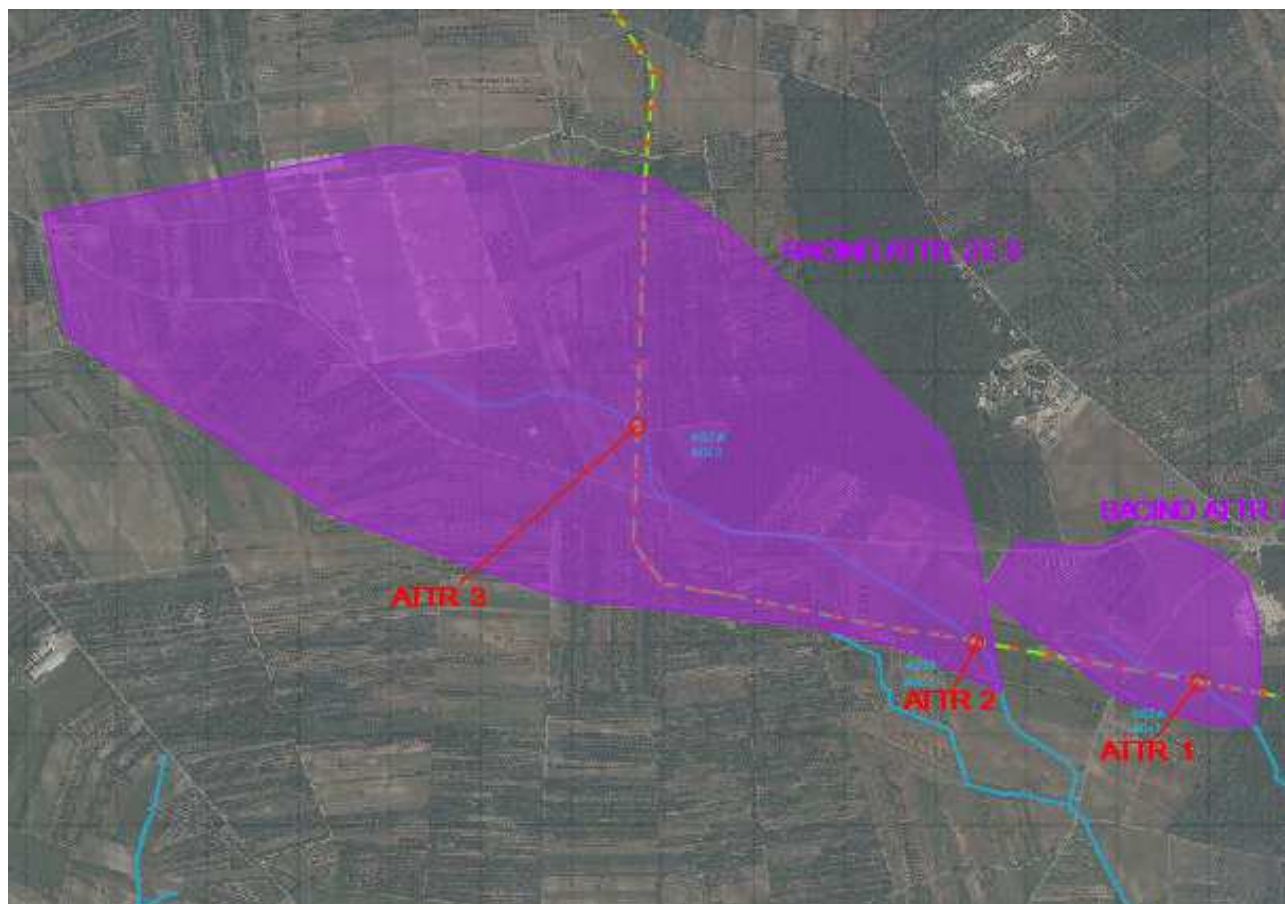


Figura 9.2 - Inquadramento dei bacini idrografici degli attraversamenti stradali nn.1-2 e 3

I parametri geomorfologici caratteristici del bacino idrografico sono indicati nella tabella seguente:

Bacino A		
<i>Lungh. dell'asta princ.</i>	<i>[Km]</i>	1.11
<i>H massima del bacino</i>	<i>[m]</i>	72.96
<i>H media del bacino</i>	<i>[m]</i>	68.97
<i>H minima del bacino</i>	<i>[m]</i>	64.98
<i>H monte dell'asta princ.</i>	<i>[m]</i>	68.53
<i>H media dell'asta princ</i>	<i>[m]</i>	66.76
<i>Superficie del Bacino</i>	<i>[Kmq]</i>	1.46
<i>Pendenza media del bacino</i>	<i>[%]</i>	0.33
<i>Pendenza media dell'asta principale</i>	<i>[m/m]</i>	0.0032



<b>Bacino B</b>		
<i>Lungh. dell'asta princ.</i>	[Km]	1.01
<i>H massima del bacino</i>	[m]	75.47
<i>H media del bacino</i>	[m]	71.14
<i>H minima del bacino</i>	[m]	65.17
<i>H monte dell'asta princ.</i>	[m]	70.64
<i>H media dell'asta princ</i>	[m]	65.57
<i>Superficie del Bacino</i>	[Kmq]	1.60
<i>Pendenza media del bacino</i>	[%]	0.31
<i>Pendenza media dell'asta principale</i>	[m/m]	0.0025
<b>Bacino C</b>		
<i>Lungh. dell'asta princ.</i>	[Km]	1.26
<i>H massima del bacino</i>	[m]	76.00
<i>H media del bacino</i>	[m]	71.26
<i>H minima del bacino</i>	[m]	66.00
<i>H monte dell'asta princ.</i>	[m]	69.49
<i>H media dell'asta princ</i>	[m]	68.16
<i>Superficie del Bacino</i>	[Kmq]	1.34
<i>Pendenza media del bacino</i>	[%]	0.40
<i>Pendenza media dell'asta principale</i>	[m/m]	0.0036

<b>Bacino Attr.1</b>		
<i>Lungh. dell'asta princ.</i>	[Km]	0.52
<i>H massima del bacino</i>	[m]	62.00
<i>H media del bacino</i>	[m]	60.50
<i>H minima del bacino</i>	[m]	59.00
<i>H monte dell'asta princ.</i>	[m]	62.00
<i>H media dell'asta princ</i>	[m]	60.50
<i>Superficie del Bacino</i>	[Kmq]	0.27
<i>Pendenza media del bacino</i>	[%]	0.58
<i>Pendenza media dell'asta principale</i>	[m/m]	0.01





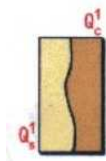
<b>Bacino Attr. 2-3</b>		
<i>Lungh. dell'asta princ.</i>	<i>[Km]</i>	2.08
<i>H massima del bacino</i>	<i>[m]</i>	70.00
<i>H media del bacino</i>	<i>[m]</i>	65.00
<i>H minima del bacino</i>	<i>[m]</i>	60.00
<i>H monte dell'asta princ.</i>	<i>[m]</i>	68.00
<i>H media dell'asta princ</i>	<i>[m]</i>	64.00
<i>Superficie del Bacino</i>	<i>[Kmq]</i>	2.26
<i>Pendenza media del bacino</i>	<i>[%]</i>	0.48
<i>Pendenza media dell'asta principale</i>	<i>[m/m]</i>	0.005



#### 4.1 Inquadramento geologico

Le aree interessate dalla realizzazione dell'opera in progetto ricadono nel Foglio 203 (Brindisi) della Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000.

Dal punto di vista geologico, la litologia dell'area in esame è rappresentata da unità a prevalente componente calcarea.



Sabbie argillose giallastre, talora debolmente cementate, in strati di qualche cm. di spessore, che passano inferiormente a sabbie argillose e argille grigio-azzurrastre (Q<sub>1</sub><sup>1</sup>); spesso l'unità ha intercalati banchi arenacei e calcarenitici ben cementati (Q<sub>1</sub><sup>c</sup>). Nelle sabbie più elevate si notano talora *Cassidulina laevigata* D'ORB., *Bulimina marginata* D'ORB., *Ammonia beccarii* (LIN.), *Ammonia perlucida* (HER. ALL. EARL.) (PLEISTOCENE). Nelle sabbie argillose ed argille sottostanti, accanto a *Arctica islandica* (LIN.), *Chlamys septemradiata* MULL. ed altri molluschi, sono frequenti: *Hyalinea balthica* (SCHR.), *Cassidulina laevigata* D'ORB., *carinata* SILV., *Bulimina marginata* D'ORB., *Bolivina catanensis* SEG. (CALABRIANO). FORMAZIONE DI GALLIPOLI.

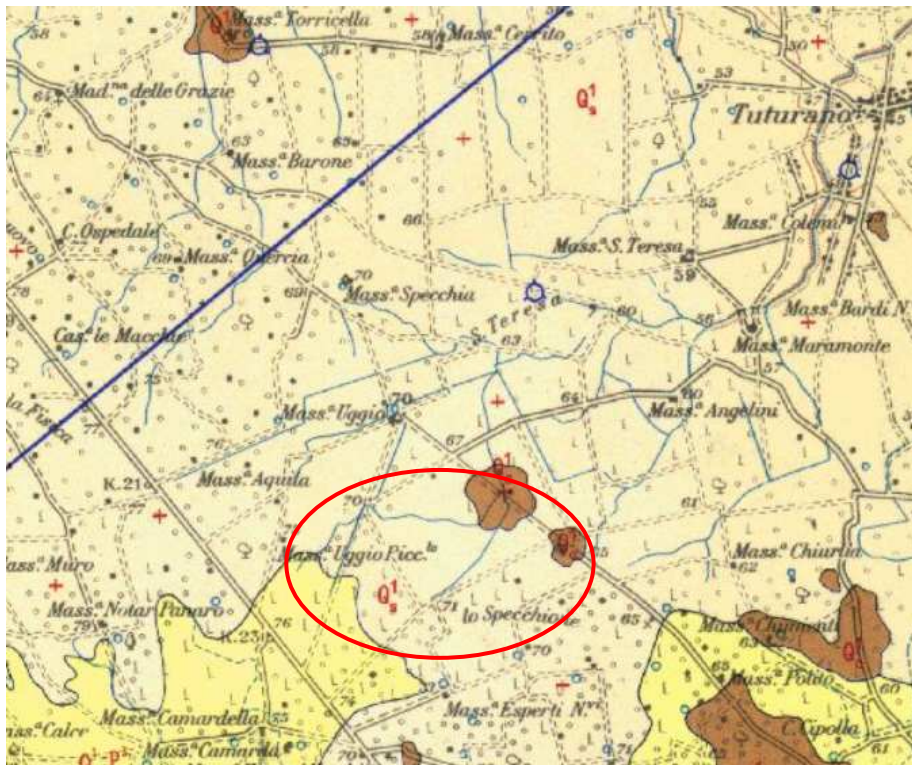
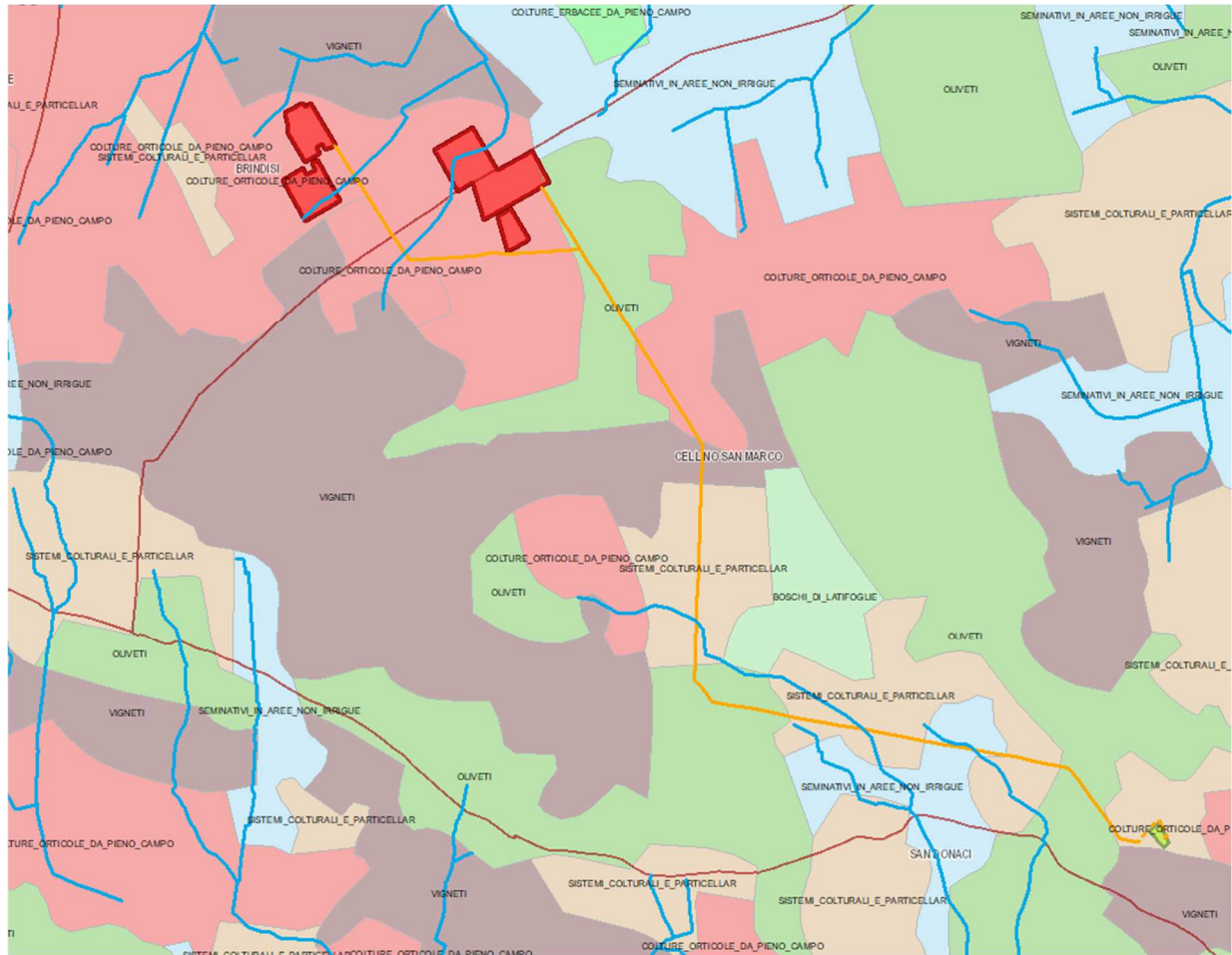


Figura 10 - Stralcio non in scala del foglio n°203 "Brindisi" della Carta Geologica d'Italia con individuazione area di intervento



## **4.2 Uso del suolo**

Per quanto riguarda l'uso del suolo, i bacini idrografici di interesse sono caratterizzati esclusivamente da colture orticole e vigneti.



**Figura 11 – Carta Uso del suolo**



## 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  $T_R$  e indipendente dalla durata.

Tale fattore è, in generale, funzione del tempo di ritorno  $T_R$  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  $T_R$  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  $K_{TR}$  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  $T_R$  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  $\mu(X_g)$  e quota. Ognuna di esse è caratterizzata da una correlazione lineare con elevati valori dell'indice di determinazione tra i valori  $\mu(X_g)$  e le quote sul mare  $h$ :

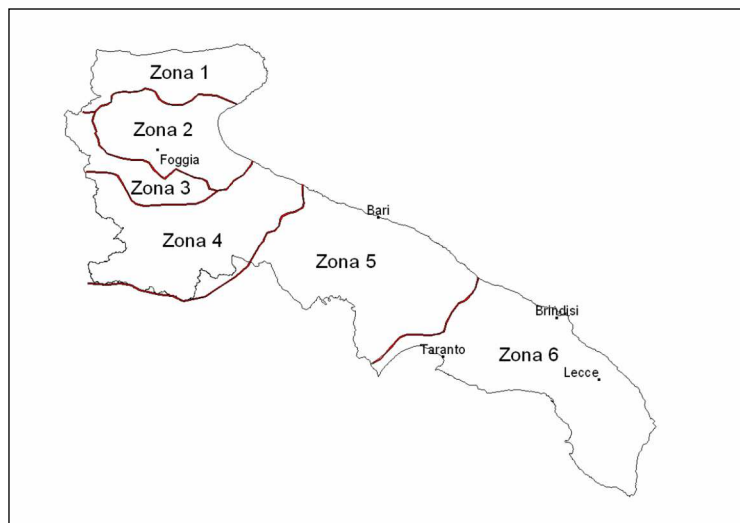
<b>ZONA 1-3</b>	$\mu(h,t) = at^{(ch+D+\ln a - \ln a)/\ln 24}$
<b>ZONA 2-4</b>	$\mu(h,t) = at^n$

**Tabella 2- Correlazione tra  $\mu(X_g)$  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.



**Figura 12 - 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:

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

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 **San Pancrazio Salentino**, che interessa per la maggior parte il bacino idrografico di interesse e di cui si riporta l'annale idrologico.

Stazione di:	SAN PANCRAZIO SALENTINO				
anni	durate [ore]				
	1	3	6	12	24
1957	40.2	69.0	77.2	96.0	103.0
1958	26.4	32.8	41.2	53.8	61.0
1960	57.0	82.0	110.4	143.0	175.0
1962	30.4	32.0	37.0	38.0	58.6
1963	36.4	39.4	39.6	49.6	53.2
1964	34.2	45.4	46.0	63.4	80.4
1965	11.0	17.2	19.2	32.6	44.2
1967	32.4	32.4	32.4	32.4	37.4
1968	47.8	98.2	104.0	105.0	105.0
1969	45.2	51.2	55.2	58.8	76.0
1970	45.0	52.8	56.4	56.4	74.2
1972	31.4	50.0	80.0	97.6	120.8
1973	23.0	29.4	41.0	52.4	59.2
1974	60.0	62.2	65.0	65.4	75.6
1975	53.4	82.0	82.0	82.0	82.0
1976	17.2	36.6	61.0	86.0	110.4
1977	41.6	43.6	45.4	46.6	47.4
1978	30.6	31.2	31.2	40.6	42.2
1979	20.0	20.4	22.2	41.6	79.0
1980	52.0	113.0	123.0	124.2	124.8
1981	57.0	65.6	65.6	73.8	99.0
1982	23.6	27.0	38.8	51.6	66.2
1983	23.0	25.0	36.8	51.4	66.2
1985	33.8	38.0	50.0	58.6	73.4
1987	28.6	48.6	57.4	94.0	94.8
1989	48.8	48.8	48.8	48.8	49.0
1990	>>	>>	>>	41.8	68.8
1991	>>	>>	>>	>>	>>
1992	21.6	33.8	43.2	58.4	61.2
1993	>>	61.2	72.2	72.4	85.2
1994	>>	25.6	32.6	40.0	48.2
1996	45.8	63.2	104.4	139.4	139.8
1997	36.0	64.4	88.0	89.8	91.2
1998	37.4	41.2	41.8	48.2	74.6
1999	72.8	105.4	105.6	105.6	105.6
2000	26.8	40.2	69.8	81.6	92.6
2001	27.2	28.2	28.2	28.6	47.0
2002	39.2	39.2	41.0	41.2	41.2
2003	22.4	33.8	56.0	86.6	91.0
2004	32.6	43.8	49.2	73.8	80.6
2005	62.2	68.8	71.2	71.4	71.8
2006	54.2	67.2	68.4	72.6	85.4
2007	13.8	28.2	45.8	76.0	76.6
2008	28.2	53.6	65.8	74.0	91.4
2009	33.2	51.0	52.0	79.8	84.0
2010	25.4	39.6	64.8	65.0	74.6



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.

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

$$x(t,z) = 33,70 t^{(0.488+0.022z)/3.178} \quad (5)$$

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

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):

Tr = 30 anni					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	69.31	89.08	104.36	122.27	143.24
VAPI	69.48	95.04	112.47	131.70	153.39

Tabella 4 – Tr = 30 anni - Altezze di pioggia (mm).

Tr = 200 anni					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	95.15	121.53	141.82	165.49	193.12
VAPI	124.15	169.83	200.97	235.33	274.07

Tabella 5 – Tr = 200 anni - Altezze di pioggia (mm).

Tr = 500 anni					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	106.46	135.73	158.20	184.40	214.94
VAPI	149.19	204.08	241.50	282.79	329.35

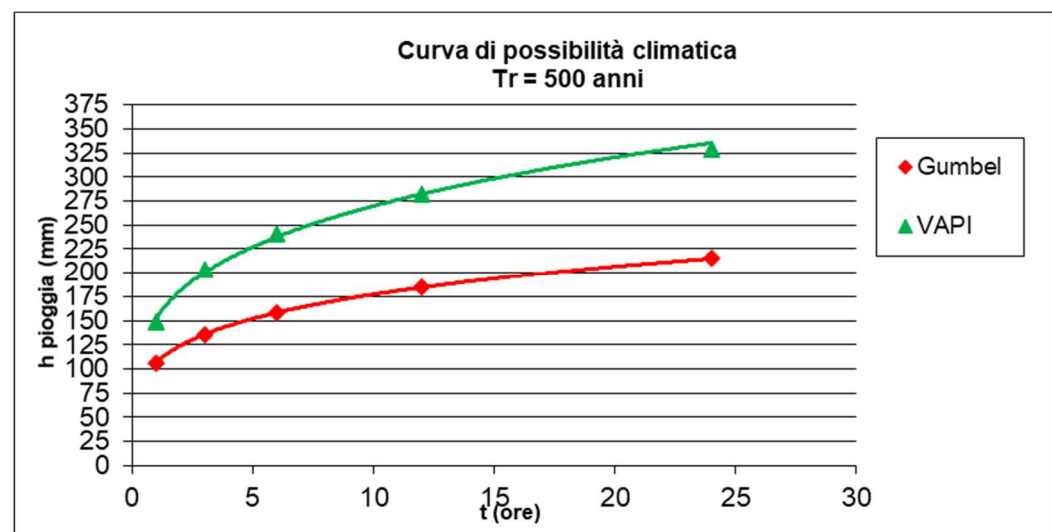
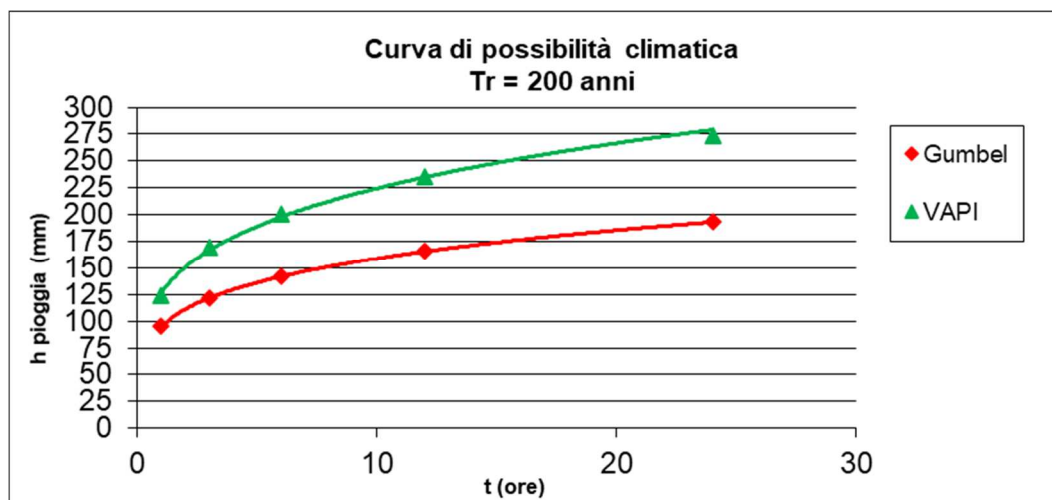
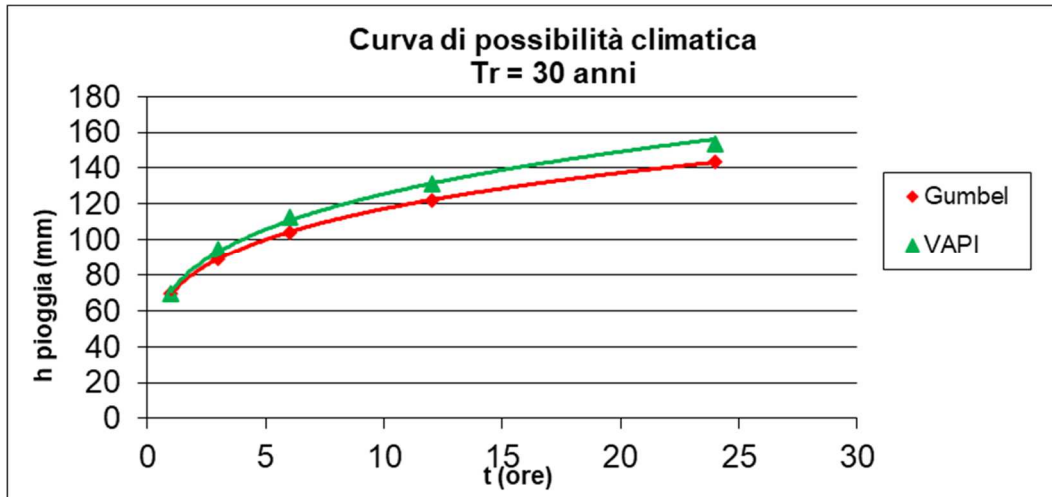
Tabella 6 – Tr = 500 anni - Altezze di pioggia (mm).

Confrontando le due metodologie adottate si evince che **le altezze di pioggia determinate utilizzando il metodo VAPI siano quasi sempre maggiori di quelle derivate dall'utilizzo della metodologia GUMBEL. Pertanto, nel presente studio è utilizzata la curva di possibilità climatica determinata dall'applicazione del metodo che ha fornito i valori più elevati delle altezze di pioggia.**

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.





## 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 e 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 ( $t_c$ ).

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 a:

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



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<sub>c</sub> 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<sub>m</sub>, 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<sub>c</sub> è espresso in ore e L in km. Il parametro i<sub>a</sub> 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 seguenti risultati:

	P-C-W-K	Giandotti	Pezzoli	Kirpich
	[ora]	[ora]	[ora]	[ora]
<b>BACINO A</b>	1.012	31.282	1.087	0.660
<b>BACINO B</b>	1.030	26.660	1.111	0.671
<b>BACINO C</b>	1.062	40.989	1.155	0.692
<b>BACINO ATTR.1</b>	0.428	2.916	0.371	0.289
<b>BACINO ATTR.2-3</b>	1.540	5.105	1.838	0.989

**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.**

**Il valore del tempo di corrivazione desunto dalla media è riportato nella tabella seguente:**

	P-C-W-K
	[ora]
<b>BACINO A</b>	1.012
<b>BACINO B</b>	1.030
<b>BACINO C</b>	1.062
<b>BACINO ATTR.1</b>	0.428
<b>BACINO ATTR.2-3</b>	1.540



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		$\phi$	
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	

Effettuando una media pesata per i bacini di interesse si ottiene un coefficiente di deflusso pari a 0,20.

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

Tr	tc [h]	h [mm]	ic [mm]	Q [mc/s]
<b>30 anni</b>	1.012	64.88	64.13	<b>5.20</b>
<b>200 anni</b>	1.012	98.05	96.92	<b>7.86</b>
<b>500 anni</b>	1.012	114.07	112.75	<b>9.14</b>

**Valori delle portate di piena con il metodo razionale del Bacino A.**

Tr	tc [h]	h [mm]	ic [mm]	Q [mc/s]
<b>30 anni</b>	1.030	65.30	63.42	<b>5.64</b>
<b>200 anni</b>	1.030	98.69	95.85	<b>8.52</b>
<b>500 anni</b>	1.030	114.81	111.51	<b>9.91</b>

**Valori delle portate di piena con il metodo razionale del Bacino B.**



Tr	tc [h]	h [mm]	ic [mm]	Q [mc/s]
<b>30 anni</b>	1.060	66.06	62.19	<b>4.63</b>
<b>200 anni</b>	1.060	99.83	93.99	<b>7.00</b>
<b>500 anni</b>	1.060	116.14	109.35	<b>8.14</b>

**Valori delle portate di piena con il metodo razionale del Bacino C.**

Tr	tc [h]	h [mm]	ic [mm]	Q [mc/s]
<b>30 anni</b>	1.001	75.148	75.077	2.265
<b>200 anni</b>	1.001	101.508	101.412	3.060
<b>500 anni</b>	1.001	114.156	114.048	3.441

**Valori delle portate di piena con il metodo razionale del Bacino dell'attr.1**

Tr	tc [h]	h [mm]	ic [mm]	Q [mc/s]
<b>30 anni</b>	2.368	94.253	39.802	10.014
<b>200 anni</b>	2.368	127.655	53.907	13.563
<b>500 anni</b>	2.368	143.683	60.675	15.265

**Valori delle portate di piena con il metodo razionale del Bacino dell'attr.2-3**





## 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

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

Classe AMC	Precipitazioni nei dieci giorni precedenti (mm)
<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)	$P > 110$

**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, a vantaggio di sicurezza, adottare un valore di Curve Number pari al CN(III)**, in quanto trattasi di aree non completamente urbanizzate.

Nel caso in esame, quindi, sono stati sovrapposti i bacini idrografici sulla carta di uso del suolo e sulla carta geologica e ricavate le superfici specifiche in base alla qualità colturale e tipo di suolo.

Il valore del CN è stato stimato effettuando una media pesata dei valori corrispondenti alle differenti sub-aree isoparametriche caratterizzate da un determinato valore di uso del suolo e di tipo di suolo; i pesi sono stati calcolati in funzione delle aree delle singole parcelle sull'area totale del bacino individuato.

Per quanto riguarda la tipologia di terreno, è stato utilizzato, a vantaggio di sicurezza, il GRUPPO C (***Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta; scarsa capacità di infiltrazione e saturazione***).

Dalla media pesata in funzione della superficie sono stati ricavati i valori relativi al CN, riportati nella tabella seguente:

	CN <sub>II</sub>	CN <sub>III</sub>
BACINO A	77.00	88.62

Tale procedimento ha reso possibile la stima dei due parametri  $S$  ed  $l_a$  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 corrivazione).

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:



$T_R$	P [mm]	$P_{net}$	$T_L$ [h]	$t_a$ [h]	$Q_p$ [m <sup>3</sup> /s]
30 anni	64.88	37.197	2.12	2.63	<b>4.38</b>
200 anni	98.05	67.099	2.12	2.63	<b>7.87</b>
500 anni	114.07	82.072	2.12	2.63	<b>9.61</b>

**Valori delle portate di piena con il metodo Curve Number del Bacino A**

$T_R$	P [mm]	$P_{net}$	$T_L$ [h]	$t_a$ [h]	$Q_p$ [m <sup>3</sup> /s]
30 anni	63.42	37.80	0.37	0.52	<b>4.38</b>
200 anni	95.85	68.07	0.37	0.52	<b>7.87</b>
500 anni	111.51	83.22	0.37	0.52	<b>9.61</b>

**Valori delle portate di piena con il metodo Curve Number del Bacino B**

$T_R$	P [mm]	$P_{net}$	$T_L$ [h]	$t_a$ [h]	$Q_p$ [m <sup>3</sup> /s]
30 anni	62.19	38.46	0.33	0.54	<b>4.38</b>
200 anni	93.99	69.13	0.33	0.54	<b>7.87</b>
500 anni	109.35	84.47	0.33	0.54	<b>9.61</b>

**Valori delle portate di piena con il metodo Curve Number del Bacino C**

$T_R$	P [mm]	$P_{net}$	$T_L$ [h]	$t_a$ [h]	$Q_p$ [m <sup>3</sup> /s]
30 anni	64.613	37.197	0.470	0.970	<b>2.16</b>
200 anni	97.647	67.099	0.470	0.970	<b>3.91</b>
500 anni	113.602	82.072	0.470	0.970	<b>4.77</b>

**Valori delle portate di piena con il metodo Curve Number del Bacino dell'attr.1**

$T_R$	P [mm]	$P_{net}$	$T_L$ [h]	$t_a$ [h]	$Q_p$ [m <sup>3</sup> /s]
30 anni	76.662	47.870	1.575	2.759	<b>8.17</b>
200 anni	115.856	84.204	1.575	2.759	<b>14.37</b>
500 anni	134.786	102.252	1.575	2.759	<b>17.45</b>

**Valori delle portate di piena con il metodo Curve Number del Bacino dell'attr.2-3**



## 6.2 Considerazioni finali sulla portata di piena

Il confronto tra le due metodologie adottate ha evidenziato come le portate derivate utilizzando il metodo Curve Number (CN), per i bacini idrografici di interesse siano risultate, al variare del tempo di ritorno, quasi sempre maggiori di quelle derivate dall'utilizzo del metodo Razionale.

Si è scelto, pertanto, di utilizzare i valori derivanti dalla metodologia che ha restituito i valori di portata maggiori, tra metodo Razionale e del CN, a vantaggio di sicurezza:

Q (m <sup>3</sup> /sec)	Alta Pericolosità idraulica	Media Pericolosità idraulica	Bassa Pericolosità idraulica
	Tr= 30 anni	Tr= 200 anni	Tr= 500 anni
<b>BACINO A</b>	5,20	7,87	9,61
<b>BACINO B</b>	5,64	8,52	9,91
<b>BACINO C</b>	4,63	7,00	8,14
<b>BACINO ATTR.1</b>	2.26	3.91	4.78
<b>BACINO ATTR.2-3</b>	10.01	14.37	17.45



## 7. MODELLAZIONE IDRAULICA IMPIANTO

Il tracciamento dei profili di corrente è stato condotto utilizzando il codice di calcolo HEC-RAS versione 4.1.0, 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 tracciamento dei profili di corrente e delle aree inondabili è stato condotto utilizzando il codice di calcolo FLO-2D versione 2007.06, sviluppato dalla FLO-2D Software, Inc.

Il FLO-2D è un software per la modellazione idraulica bidimensionale utilizzato per diversi tipi di verifiche idrauliche, come la propagazione delle piene anche quando siano interessate le golene, deflussi in zone non confinate, deflussi in aree urbane, trasformazione afflussi-deflussi, deflusso delle piene in aree costiere e colate fangose e detritiche.

Esso permette di simulare un'inondazione su una topografia complessa e con una data scabrezza basando il suo funzionamento sulla conservazione del volume, caratteristica fondamentale per avere un'esatta distribuzione della piena.

Il modello usa l'equazione completa del moto di un'onda dinamica ed uno schema centrale alle differenze finite con otto potenziali direzioni di flusso per prevedere il deflusso dell'idrogramma di piena su una griglia di elementi quadrati.

L'inondazione che si sviluppa in due dimensioni è portata a termine tramite un'integrazione numerica delle equazioni del moto e della conservazione del volume fluido, sia per un'inondazione di acqua sia per un flusso di sedimento.

Quindi le equazioni costitutive su cui si basa il modello sono:

1. l'equazione di continuità: 
$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h v_x}{\partial x} = i$$
2. l'equazione del moto (equazione del momento di un'onda dinamica):

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{v_x}{g} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{v_x}{g} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial t}$$

dove  $h$  è la profondità di flusso,  $V_x$  è la componente della velocità mediata lungo la profondità,  $S_{fx}$  è la componente di attrito del pendio, basata sull'equazione di Manning,  $S_{ox}$  è la pendenza del letto,  $\delta y/\delta x$  è il gradiente della pressione,  $V\delta V/g\delta x$  è l'accelerazione convettiva e  $\delta V/g\delta t$  è l'accelerazione locale.

L'equazione del moto è risolta calcolando la velocità di flusso media attraverso un elemento di griglia di confine, considerando una direzione alla volta. Ci sono otto direzioni potenziali di flusso, le quattro perimetrali (nord, sud, est, ovest) e le quattro diagonali (nordest, sudest, nordovest,



sudovest). Ogni calcolo di velocità è essenzialmente monodimensionale in natura ed è risolto indipendentemente delle altre sette direzioni.

La stabilità di questo schema numerico esplicito è basata su uno specifico criterio di controllo della misura della variabile computazionale "intervallo temporale".

La grandezza delle componenti dell'accelerazione relative alla pendenza del fondo ed ai termini di pressione è importante.

Henderson nel 1966 calcolò i termini dell'equazione del moto per un canale alluvionale ripido ed un idrogramma crescente velocemente. I risultati di Henderson sono i seguenti:

	Bed Slope	Pressure Gradient	Convective Acceleration	Local Acceleration
Momentum Equation Term:	$S_o$	$\partial h / \partial x$	$V \partial V / g \partial x$	$\partial V / g \partial t$
Magnitude (ft/mi)	26	0.5	0.12 - 0.25	0.05

Figura 13 – Valori utilizzati dal software FLO-2D per le diverse grandezze.

Egli dimostrò su varie applicazioni per diverse pendenze, che l'applicazione dell'onda cinematica ( $S_o=S_f$ ) è sufficiente per modellare la progressione dell'onda di piena e che il contributo del gradiente di pressione e delle accelerazioni può essere trascurato. L'aggiunta del gradiente di pressione migliorerà la simulazione del flusso su superfici caratterizzate da una complessa topografia.

L'equazione di onda diffusiva con il gradiente di pressione è necessaria se il sistema di griglie presenta depressioni topografiche. I termini dell'accelerazione locale e convettiva sono importanti soprattutto per la soluzione di canali con pendenze nulle (secche) o con pendenze molto elevate o con condizioni di flusso instabile.

Quindi è sempre usata l'equazione completa del moto, senza apportare nessuna delle semplificazioni suddette, enunciate soltanto per chiarire meglio il modello teorico che è alla base del FLO-2D.





## Condizioni al contorno e condizioni iniziali

La topografia della superficie di flusso potenziale è rappresentata da un sistema di maglie quadrate. Un'applicazione del FLO-2D, denominata GDS (Grid Developer System), genera il sistema a griglia ed assegna ad ognuna di essa le quote altimetriche. Il GDS sovrappone le celle sui punti del Modello Digitale del Terreno (DTM) della Regione Puglia, con risoluzione a terra di 8 m, ed interpolando per mezzo di particolari punti, detti filtri, determina le quote di ogni elemento del sistema a griglia.

Nel caso specifico è stata creata un'area bidimensionale che circoscrive tutto il territorio contermini al sito in oggetto. **La discretizzazione del dominio è stata effettuata utilizzando celle correnti quadrate di lato 4 metri** al fine di ottenere un dettaglio massimo e un modello quanto più aderente alla realtà.

Nei modelli di calcolo:

- le condizioni al contorno di monte hanno riguardato un idetogramma di pioggia costante, avente tempo di ritorno pari a 200 anni, applicato su tutto il dominio di calcolo, inserendo per ogni cella il valore di Curve Number corrispondente;
- le condizioni al contorno di valle (celle di outflow con libera uscita dal dominio in moto uniforme) sono state inserite poco a valle dell'area.

Grid Element Ground Surface Elevation

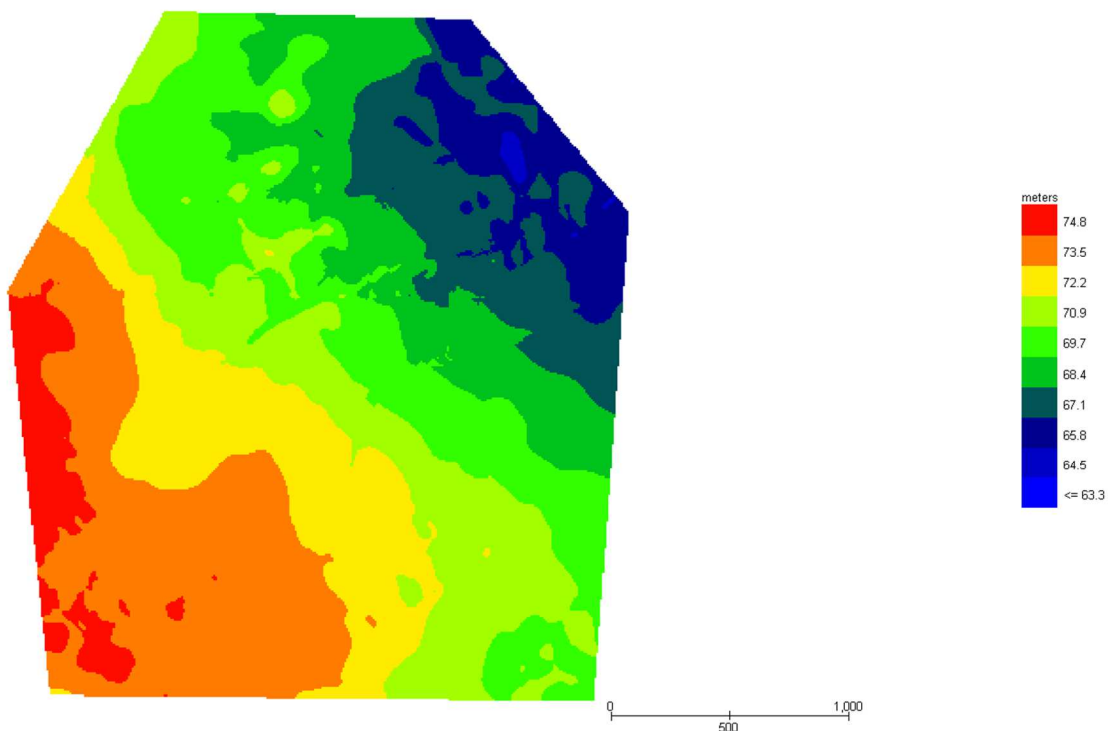


Figura 14 – DTM del terreno nel software FLO-2D.



## Scabrezza di Manning

La simulazione è stata condotta utilizzando un valore del coefficiente di scabrezza “n” secondo Manning pari a 0.04. Il valore adottato è quello consigliato dal manuale Cremonese per alvei con presenza di vegetazione ed è cautelativo ai fini delle determinazioni idrauliche conseguenti.

## Risultati delle simulazioni

Nel seguito si riportano e si commentano i risultati dello studio idraulico relativo all’area di intervento, effettuato in condizioni di moto vario con la portata di piena caratterizzata dal tempo di ritorno di 200 anni.

Tali verifiche hanno consentito, grazie all’ausilio del software FLO-2D, di definire le caratteristiche proprie del deflusso e, in particolare, il massimo livello idrico raggiunto in ogni maglia del territorio, oltre che la velocità media della corrente, la larghezza del pelo libero, il numero di Froude della corrente, ecc..

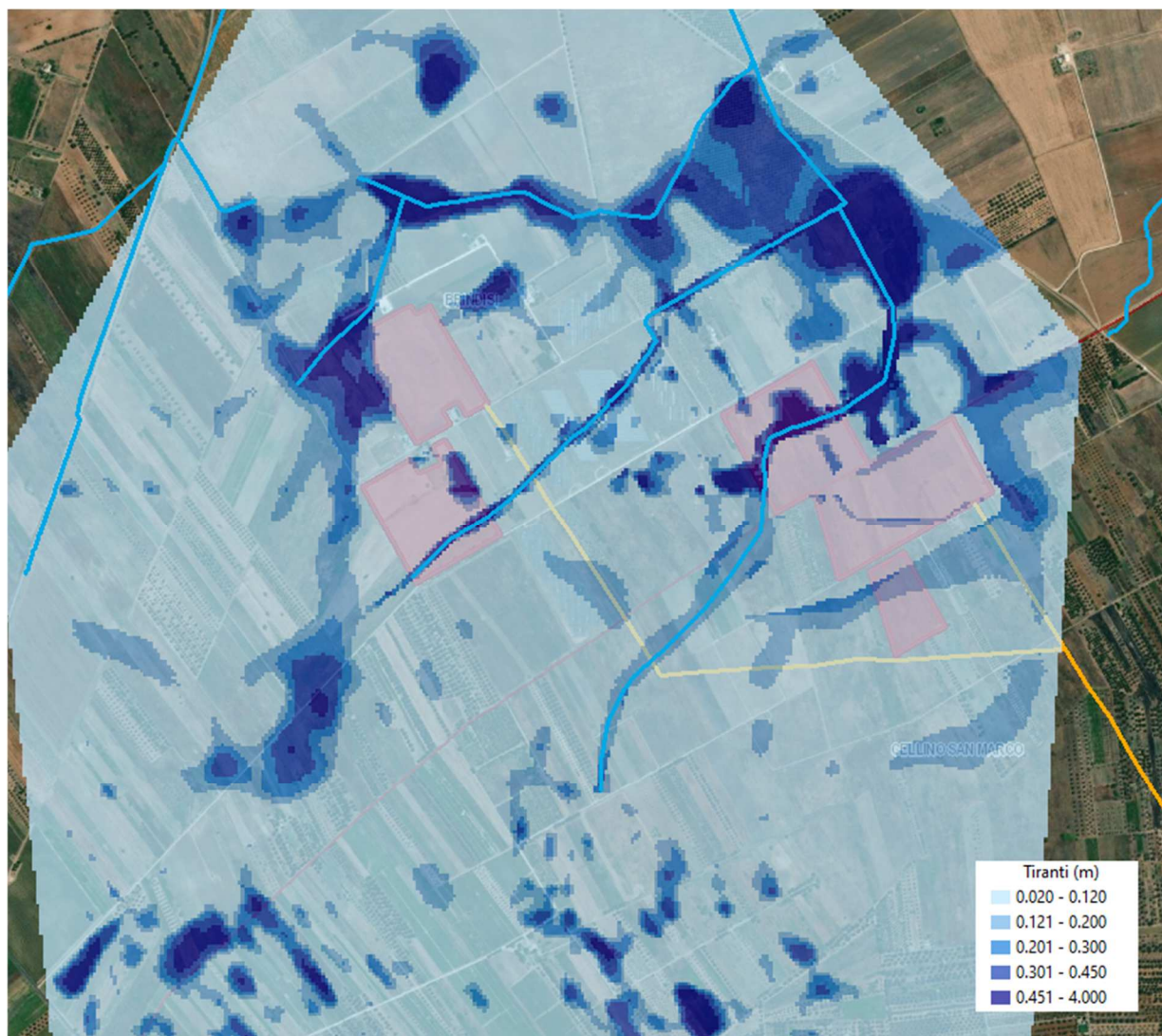


Figura 15 – Planimetria con indicazione dei tiranti con tempo di ritorno pari a 200 anni.

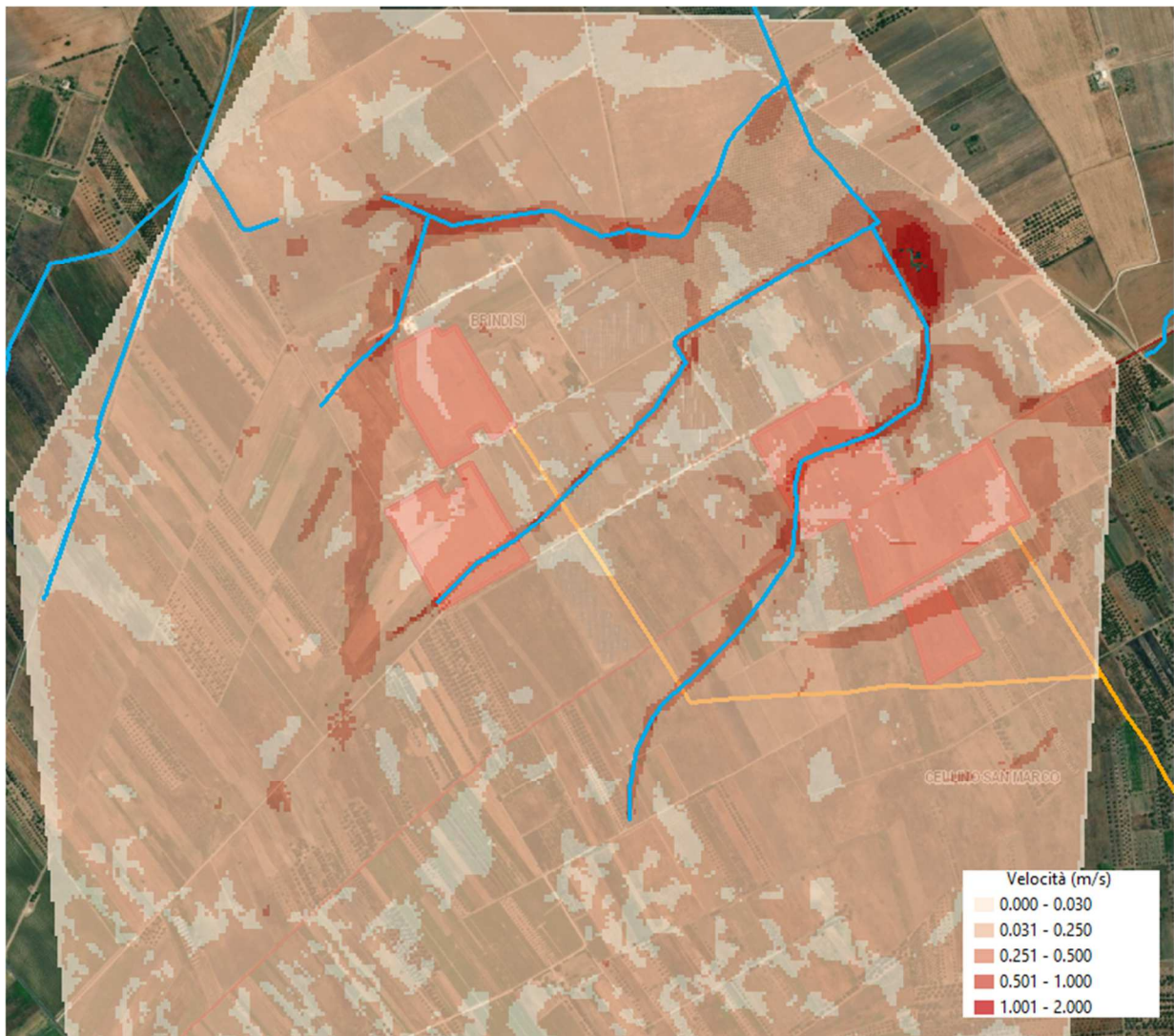
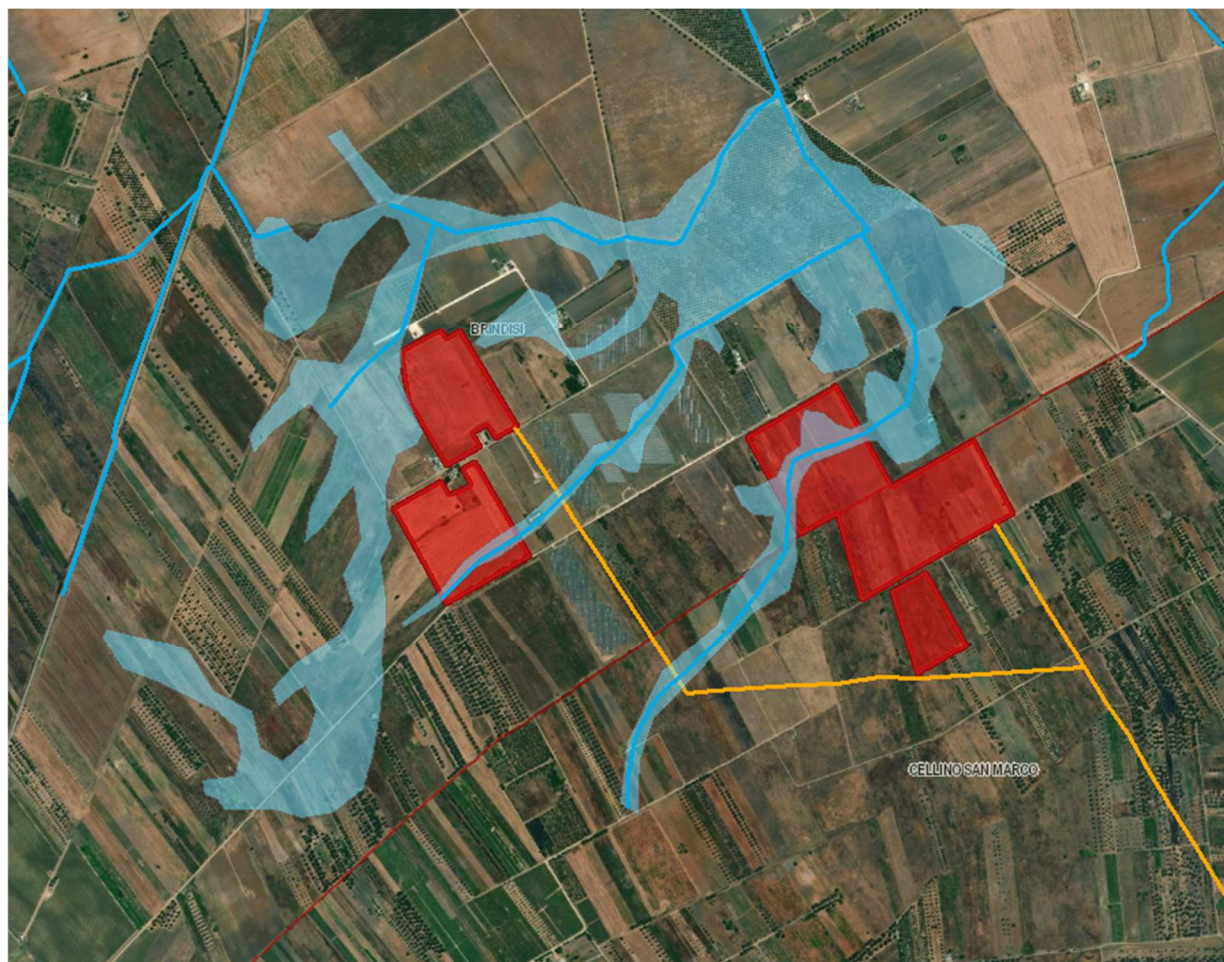


Figura 16 – Planimetria con indicazione delle delle velocità con tempo di ritorno pari a 200 anni.



Le aree inondabili, tracciate considerando i dati di output del software FLO-2D noti i livelli idrici nelle varie celle del sistema, sono riportate nella figura seguente.



**Figura 17 – Planimetria con indicazione delle aree inondabili duecentennali.**



## 8. MODELLAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI STRADALI

Il tracciamento dei profili di corrente è stato condotto utilizzando il codice di calcolo HEC-RAS versione 4.1.0, 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 dei modelli degli affluenti 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 formati da un numero variabile di sezioni costanti ogni 10 m

Tutte le sezioni sono poste a distanza variabile a seconda del diverso assetto morfologico dell'alveo. 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 delle simulazioni effettuate, in condizioni di moto permanente in corrispondenza di portate di piena caratterizzate dal tempo di ritorno di 200 anni.

Tali verifiche hanno 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<sup>3</sup>/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).

River	Reach	River Sta	Profile	Q Total [m <sup>3</sup> /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 [m <sup>2</sup> ]	Top Width [m]	Froude # Chl
Attr 3	Attr 3	10	Tr=200anni	14.37	64.00	64.89	64.59	65.02	0.004079	1.61	8.93	10.18	0.55
Attr 3	Attr 3	9	Tr=200anni	14.37	63.80	64.67		64.81	0.004287	1.63	8.79	10.17	0.56
Attr 3	Attr 3	8	Tr=200anni	14.37	63.60	64.39		64.56	0.005840	1.80	7.97	10.16	0.65
Attr 3	Attr 3	7	Tr=200anni	14.37	63.30	64.14		64.28	0.004876	1.70	8.44	10.17	0.60
Attr 3	Attr 3	6	Tr=200anni	14.37	63.00	63.98	63.59	64.08	0.003000	1.46	9.85	10.20	0.47
Attr 2	Attr 2	5	Tr=200anni	14.37	58.00	58.89	58.59	59.02	0.004069	1.61	8.94	10.18	0.55
Attr 2	Attr 2	4	Tr=200anni	14.37	57.80	58.67		58.81	0.004246	1.63	8.82	10.17	0.56
Attr 2	Attr 2	3	Tr=200anni	14.37	57.60	58.42		58.57	0.005260	1.74	8.24	10.16	0.62
Attr 2	Attr 2	2	Tr=200anni	14.37	57.30	58.23		58.35	0.003494	1.53	9.38	10.19	0.51
Attr 2	Attr 2	1	Tr=200anni	14.37	57.10	58.08	57.69	58.18	0.003000	1.46	9.85	10.20	0.47
Attr 1	Attr 1	5	Tr=200anni	3.91	59.00	59.57	59.44	59.65	0.006039	1.25	3.13	7.99	0.64
Attr 1	Attr 1	4	Tr=200anni	3.91	58.70	59.27		59.35	0.005973	1.24	3.14	8.00	0.63
Attr 1	Attr 1	3	Tr=200anni	3.91	58.40	58.97		59.05	0.005945	1.24	3.15	8.01	0.63
Attr 1	Attr 1	2	Tr=200anni	3.91	58.10	58.66		58.75	0.006312	1.27	3.08	7.93	0.65
Attr 1	Attr 1	1	Tr=200anni	3.91	57.80	58.48	58.24	58.53	0.003001	0.97	4.04	8.93	0.46

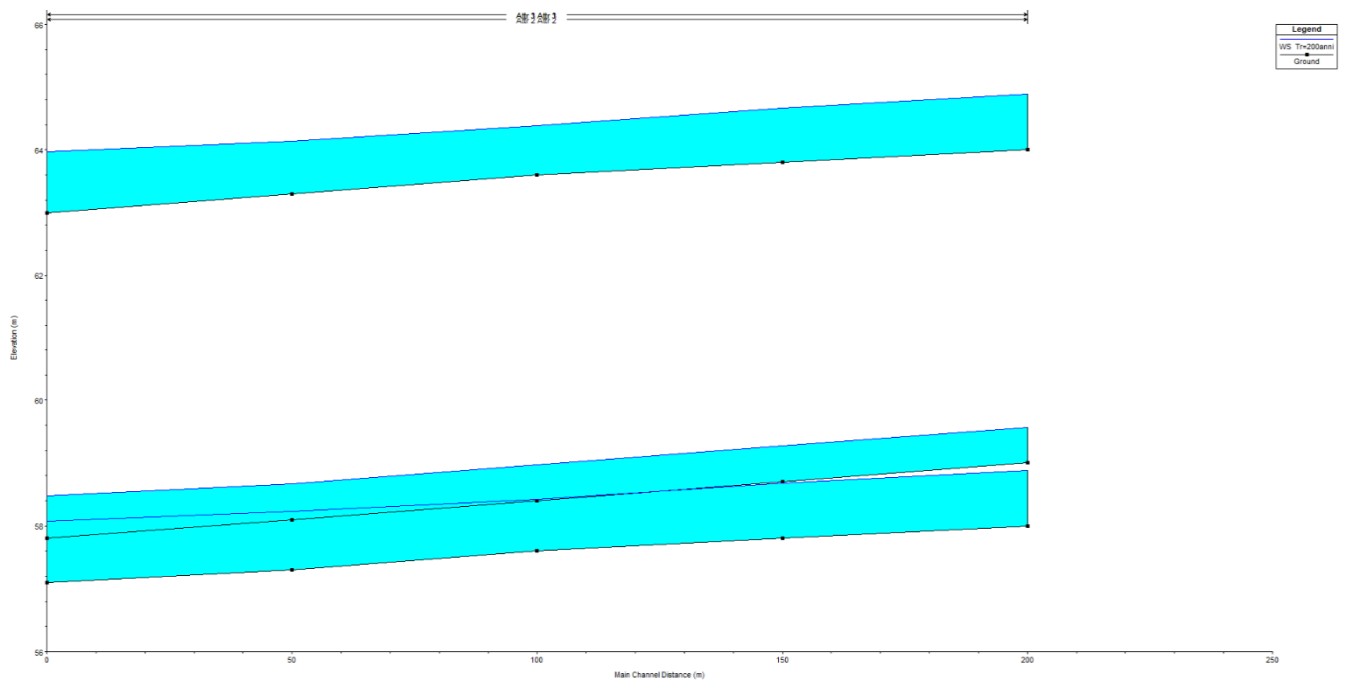
Figura 18 – Parametri idraulici del calcolo in moto permanente

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 duecentennali.

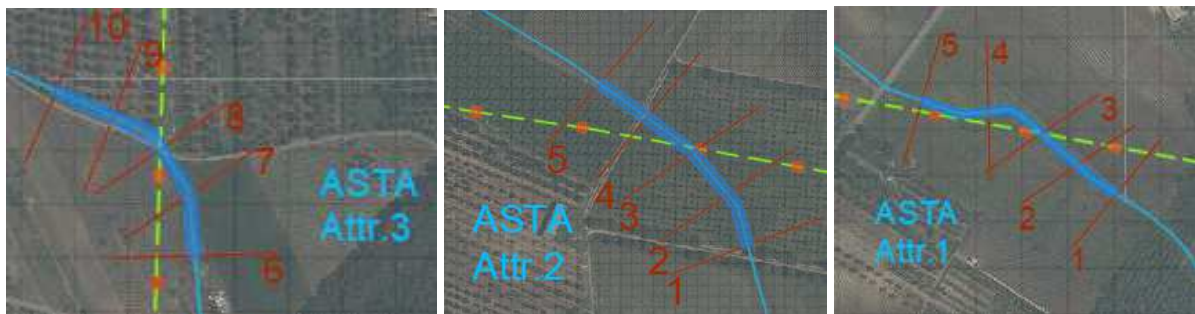


Figura 19 – Planimetria con indicazione delle sezioni su Hec-Ras



**Figura 20 - 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, ma soprattutto mai interferente con le aree di installazione dei pannelli e con i pali del cavidotto aereo di collegamento MT.



**Figura 21 – Planimetria 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 (cfr. Quaderno delle sezioni in allegato).





## 9. CONCLUSIONI

Il presente Studio è stato redatto al fine di valutare la compatibilità idrologica ed idraulica relativo alla **realizzazione di un impianto agrovoltaico avente potenza nominale pari a 11.000 kW e di potenza installabile pari a 14.271,4 kWp, da realizzarsi nei Comuni di Brindisi e Cellino San Marco (BR), con connessione alla RTN tramite realizzazione di una nuova cabina di consegna collegata in antenna dalla futura cabina primaria AT/MT "Cellino".**

Dall'analisi della cartografia riguardante l'assetto idraulico delle aree a pericolosità e rischio idraulico del Piano di Bacino stralcio Assetto Idrogeologico (PAI), redatto dall'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.

Tuttavia, l'area di intervento, appartenente al territorio comunale di Brindisi (BR), è interessata da corsi d'acqua episodici.

Conseguentemente al transito della portata al colmo di piena, per assegnato tempo di ritorno  $T_r = 200$  anni (sussistenza della sicurezza idraulica), valutata nell'analisi idrologica secondo il modello discendente dall'analisi regionale delle piogge, proprio del progetto VaPi sulla Valutazione delle Piene in Puglia, si è **evidenziato il rispetto della sicurezza idraulica dell'area e delle opere di progetto a farsi.**

**Le opere in progetto risultano, pertanto, compatibili con le finalità del Piano di Assetto Idraulico, garantendo altresì la sicurezza idraulica dell'area.**



---

## ALLEGATI

Appendice – Sezioni trasversali Hec Ras

Tav B.1 Inquadramento dei Bacini Idrografici Ortofoto

Tav B.2 Inquadramento dei Bacini Idrografici su I.G.M. 1:25.000

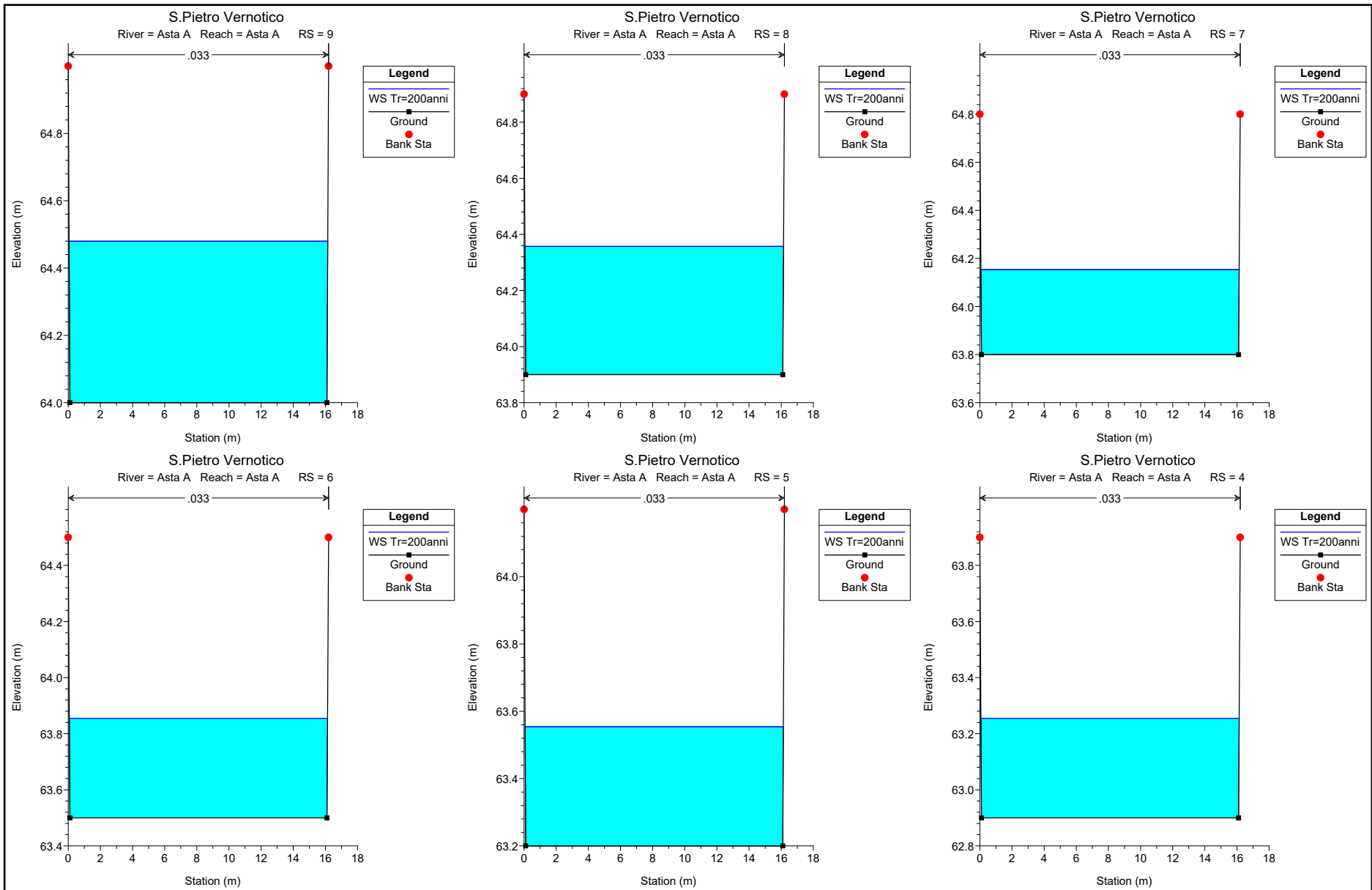
Tav B.3 Planimetria con indicazione delle aree inondabili duecentennali - Impianto

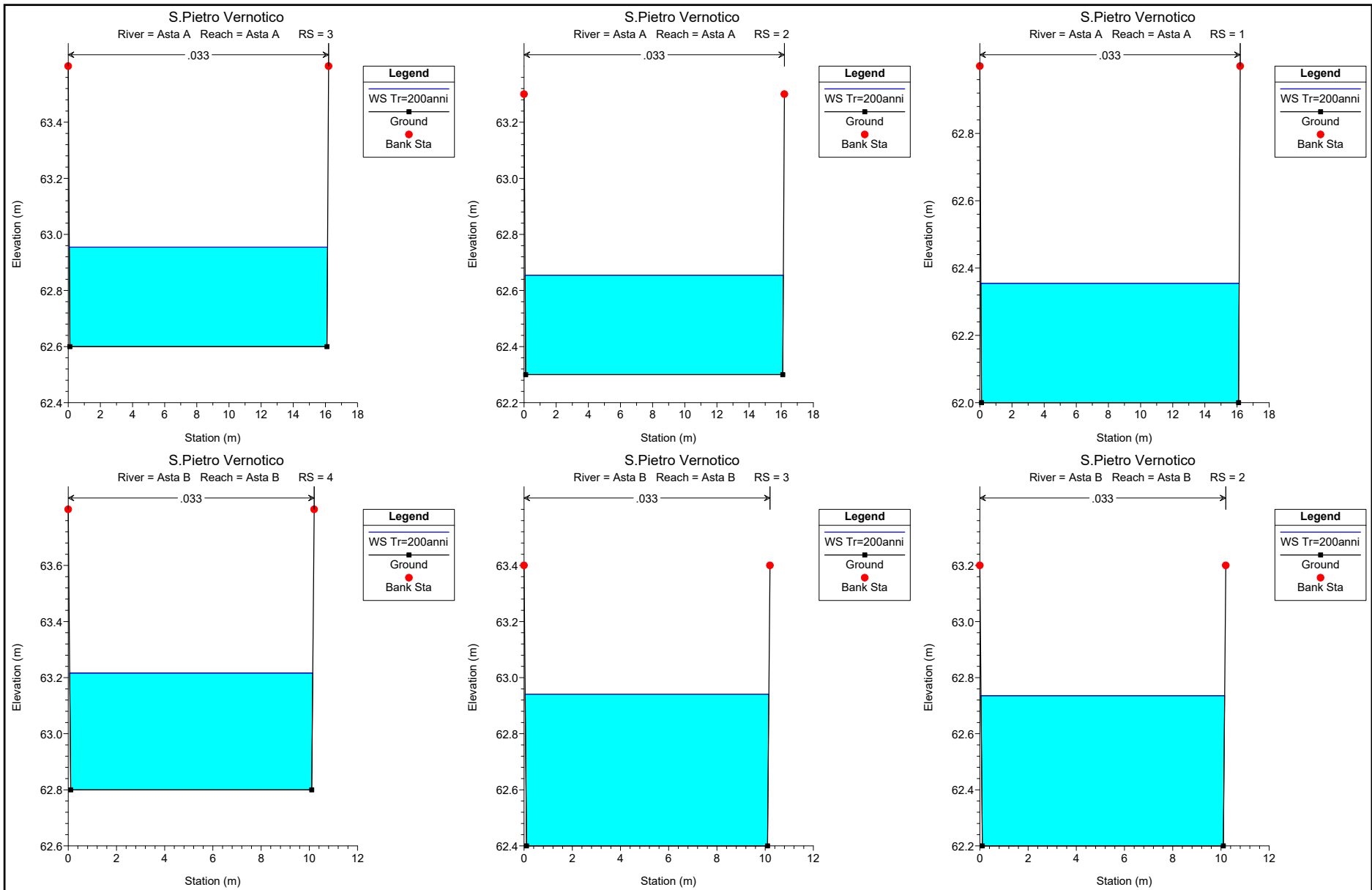
Tav B.4 Planimetria con indicazione delle aree inondabili duecentennali - Cavidotto

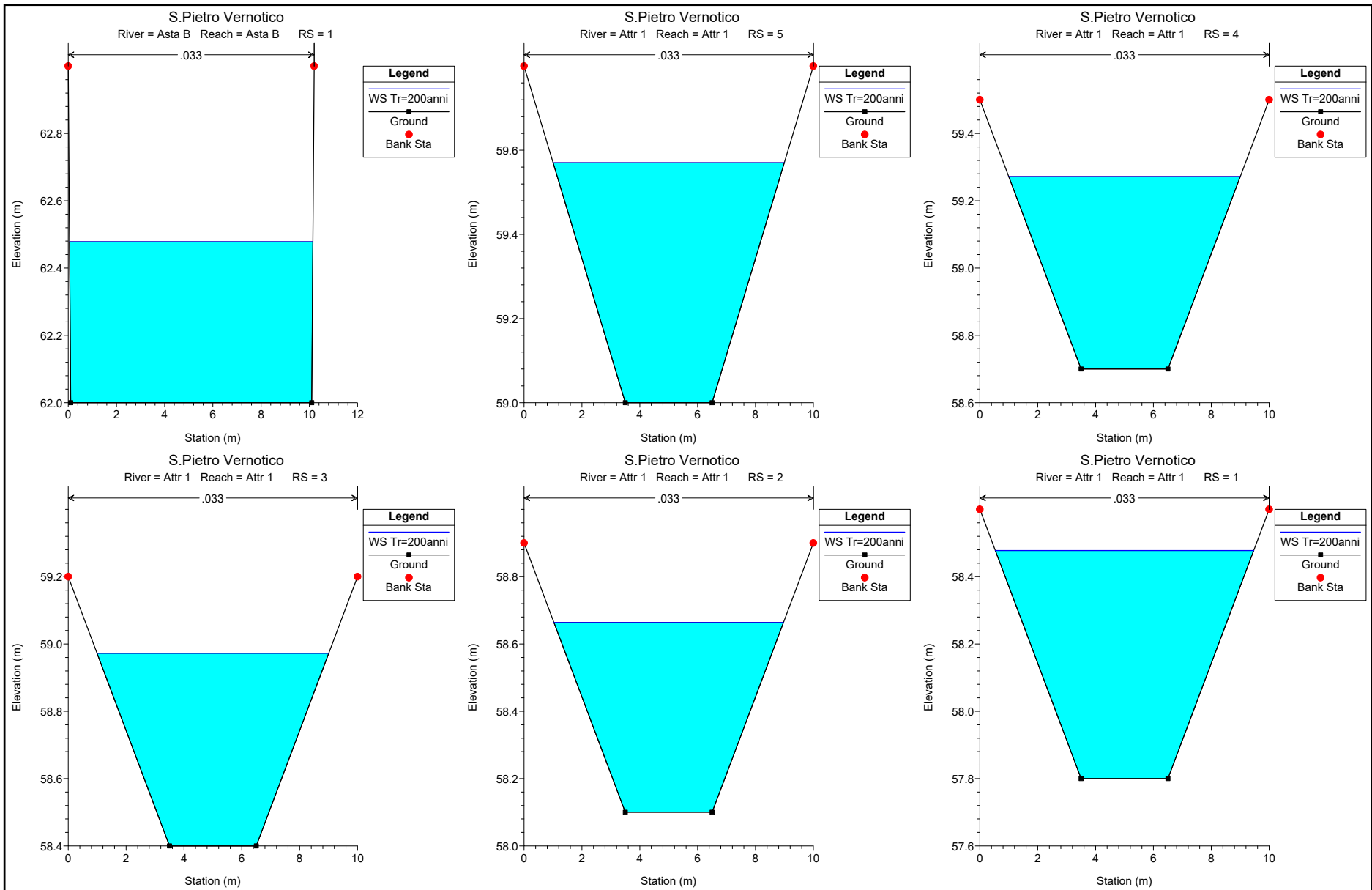


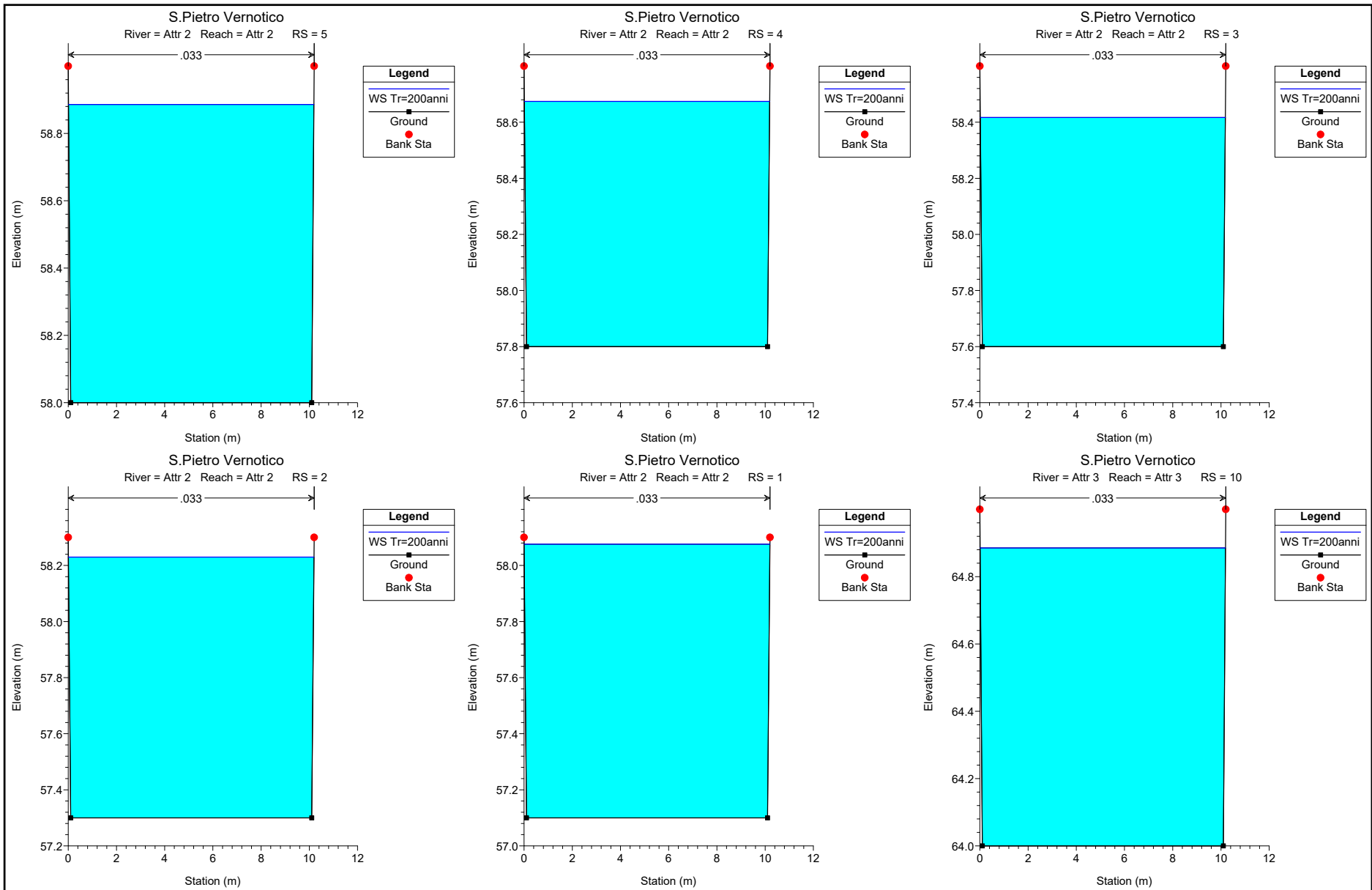
# Appendice

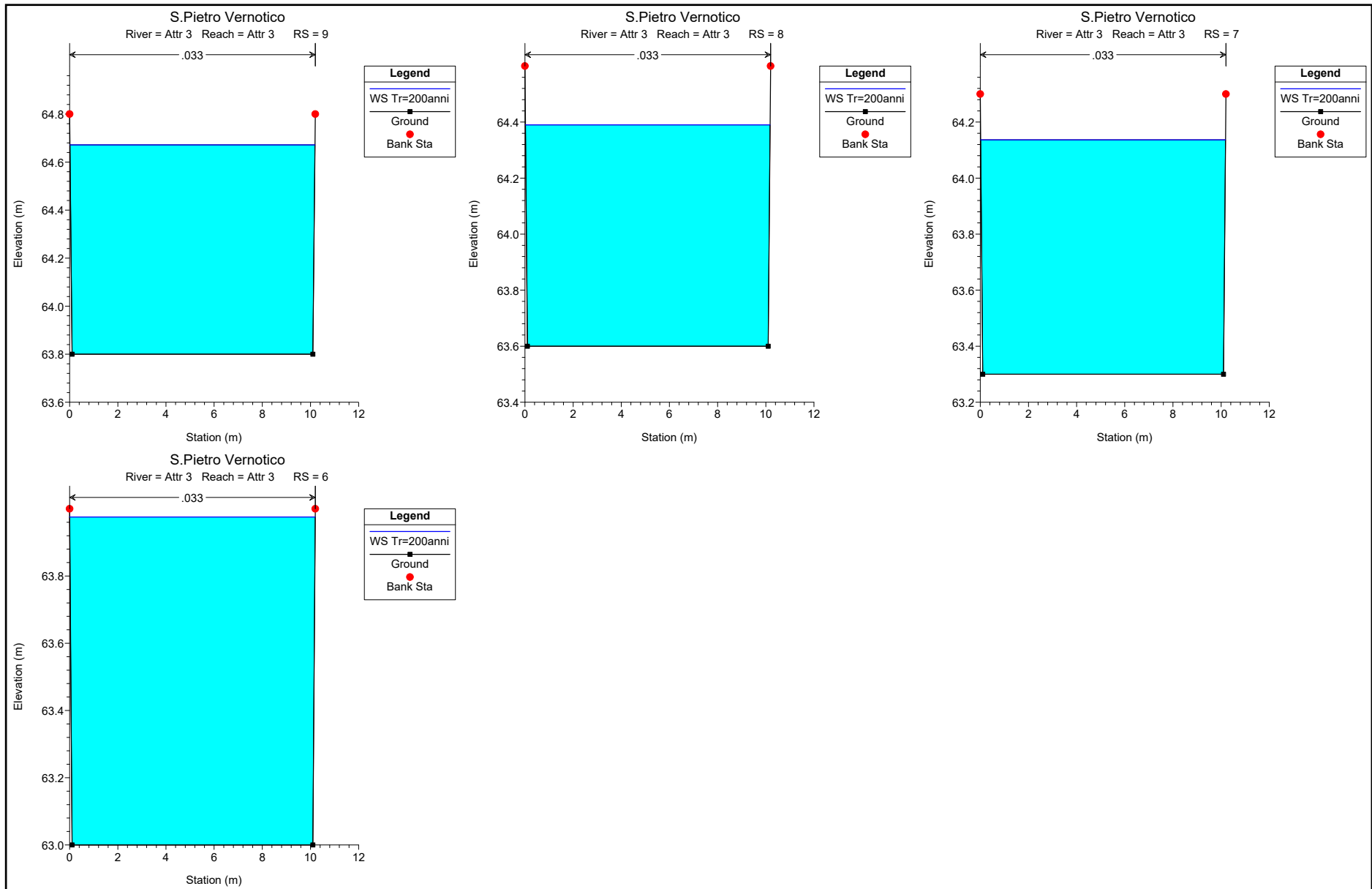
## Sezioni trasversali Hec Ras





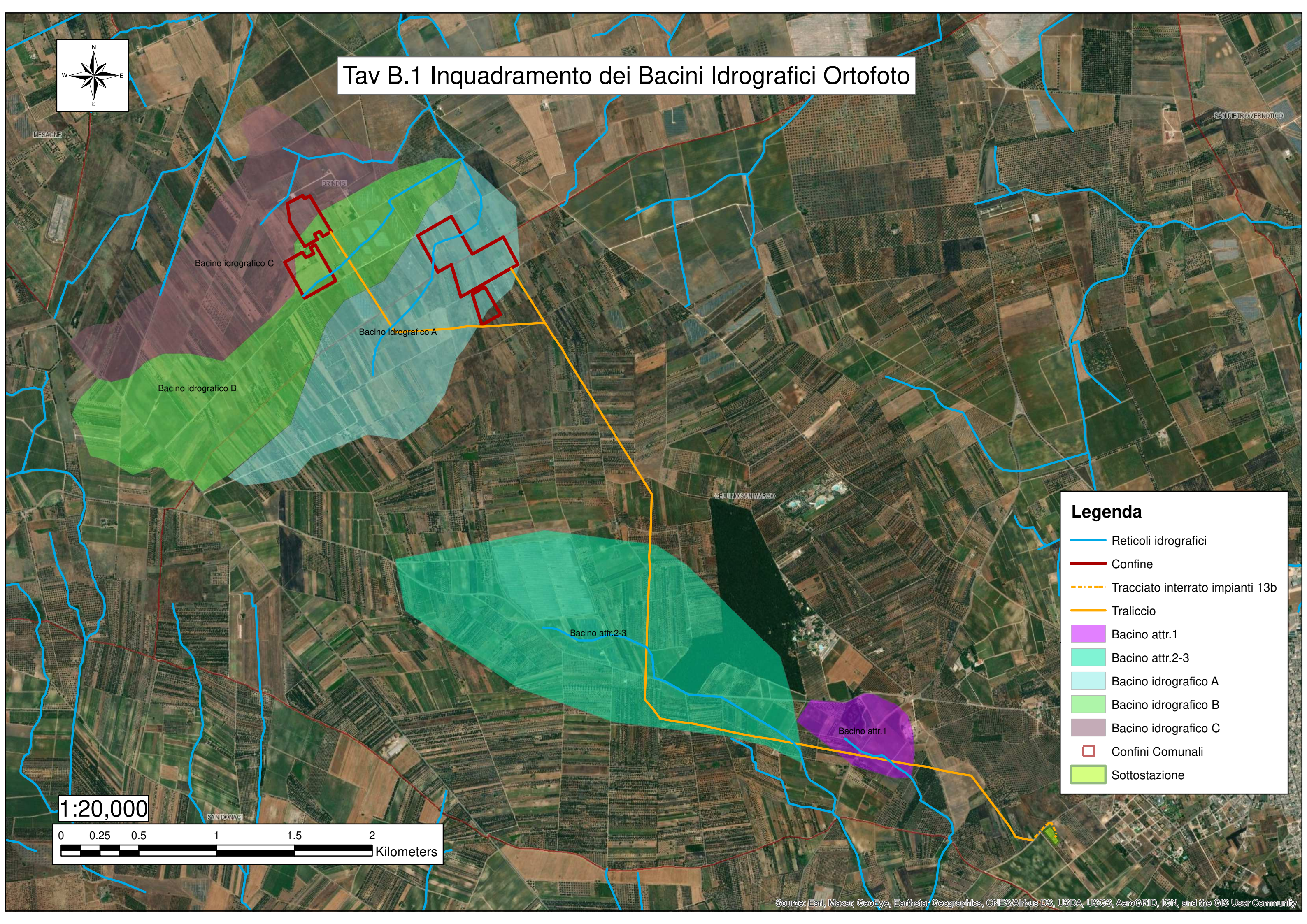








Tav B.1 Inquadramento dei Bacini Idrografici Ortofoto

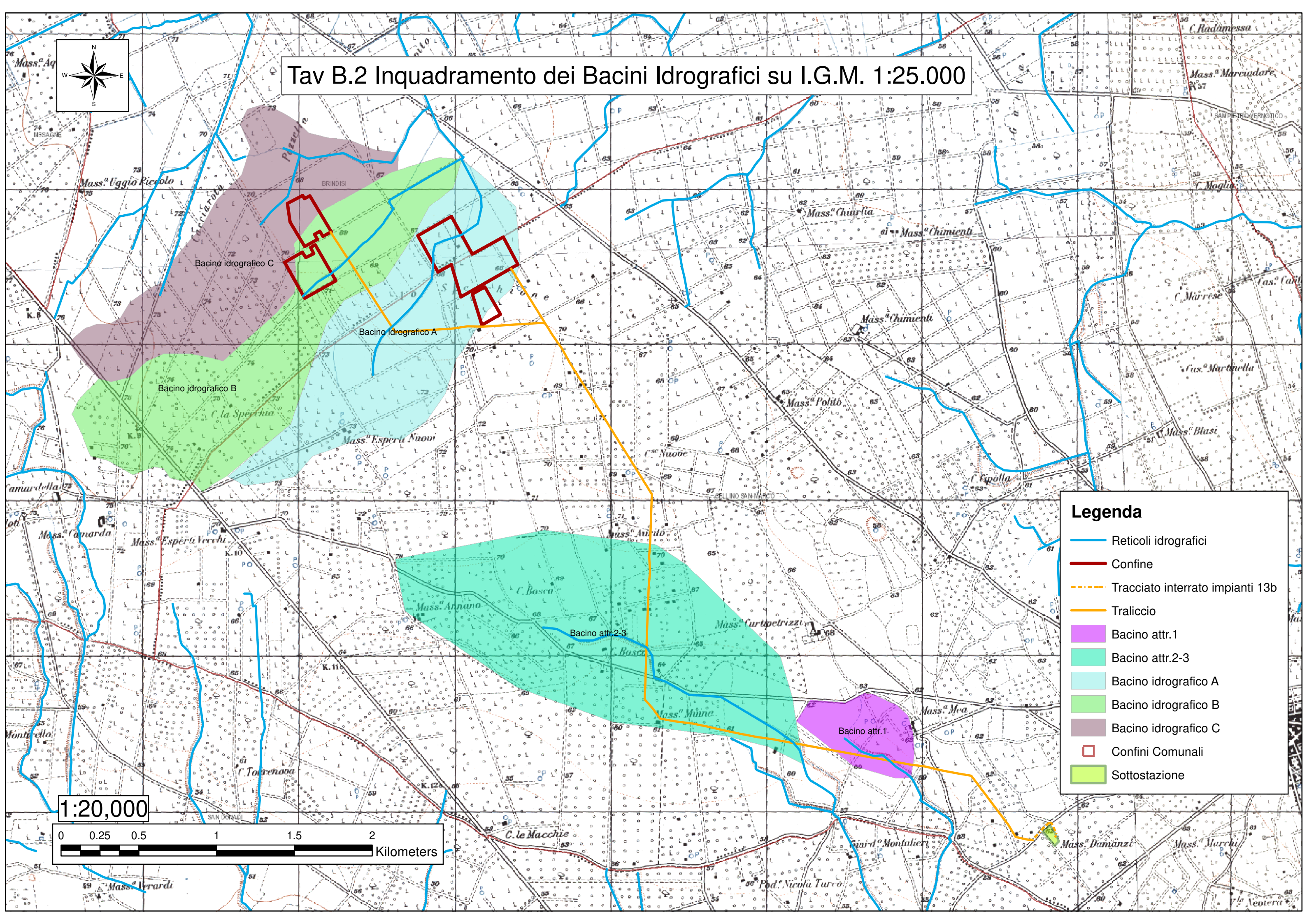
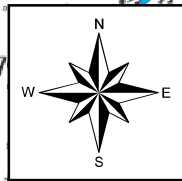


**Legenda**

- Reticoli idrografici
- Confine
- - - Tracciato interrato impianti 13b
- Traliccio
- Bacino attr.1
- Bacino attr.2-3
- Bacino idrografico A
- Bacino idrografico B
- Bacino idrografico C
- Confini Comunali
- Sottostazione

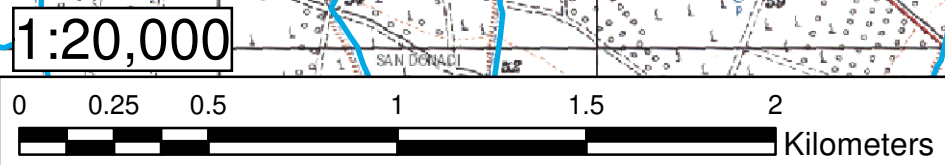


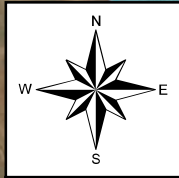
Tav B.2 Inquadramento dei Bacini Idrografici su I.G.M. 1:25.000



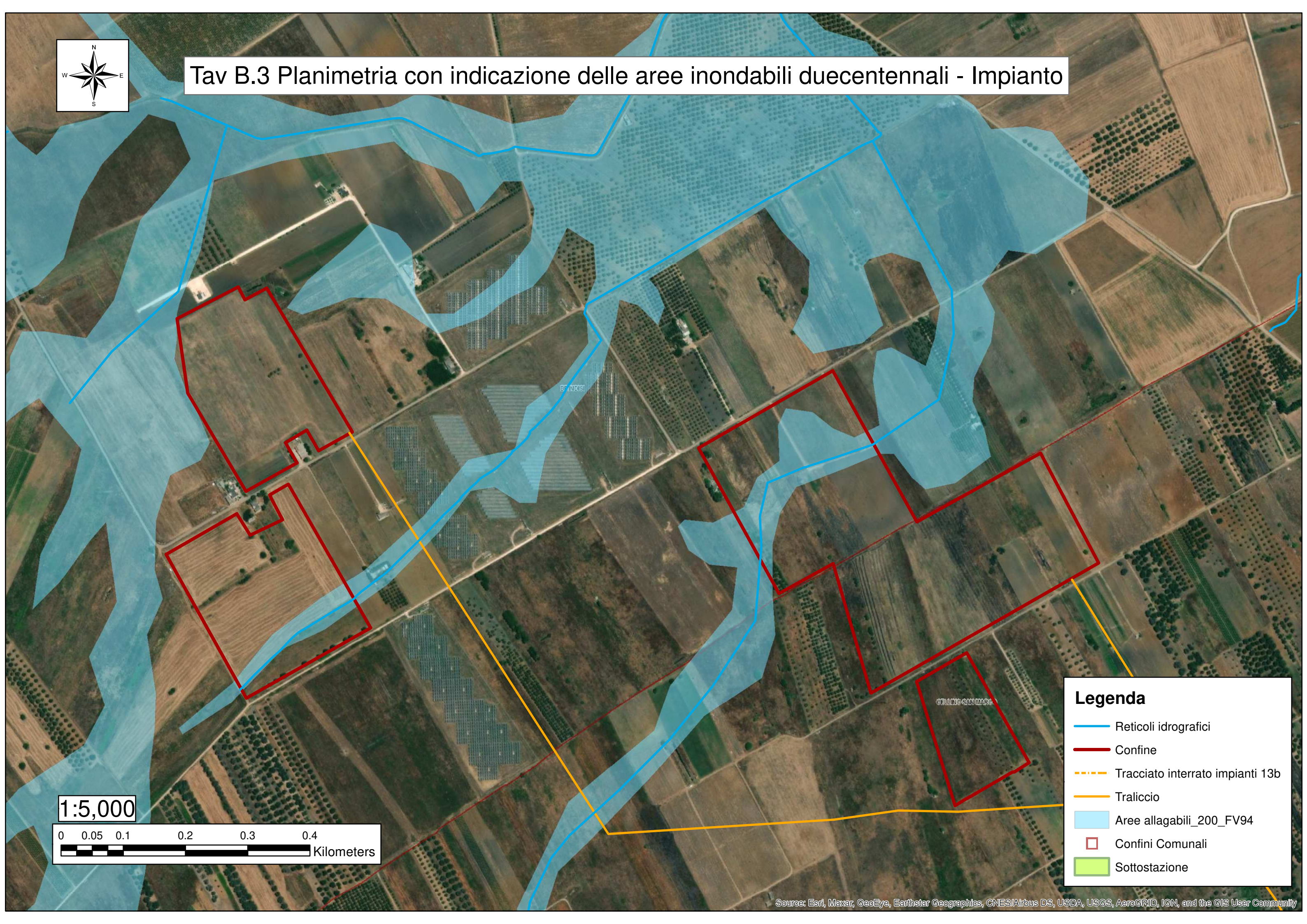
**Legenda**

- Reticoli idrografici
- Confine
- Tracciato interrato impianti 13b
- Traliccio
- Bacino attr.1
- Bacino attr.2-3
- Bacino idrografico A
- Bacino idrografico B
- Bacino idrografico C
- Confini Comunali
- Sottostazione

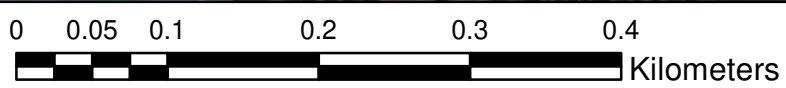




# Tav B.3 Planimetria con indicazione delle aree inondabili duecentennali - Impianto



1:5,000

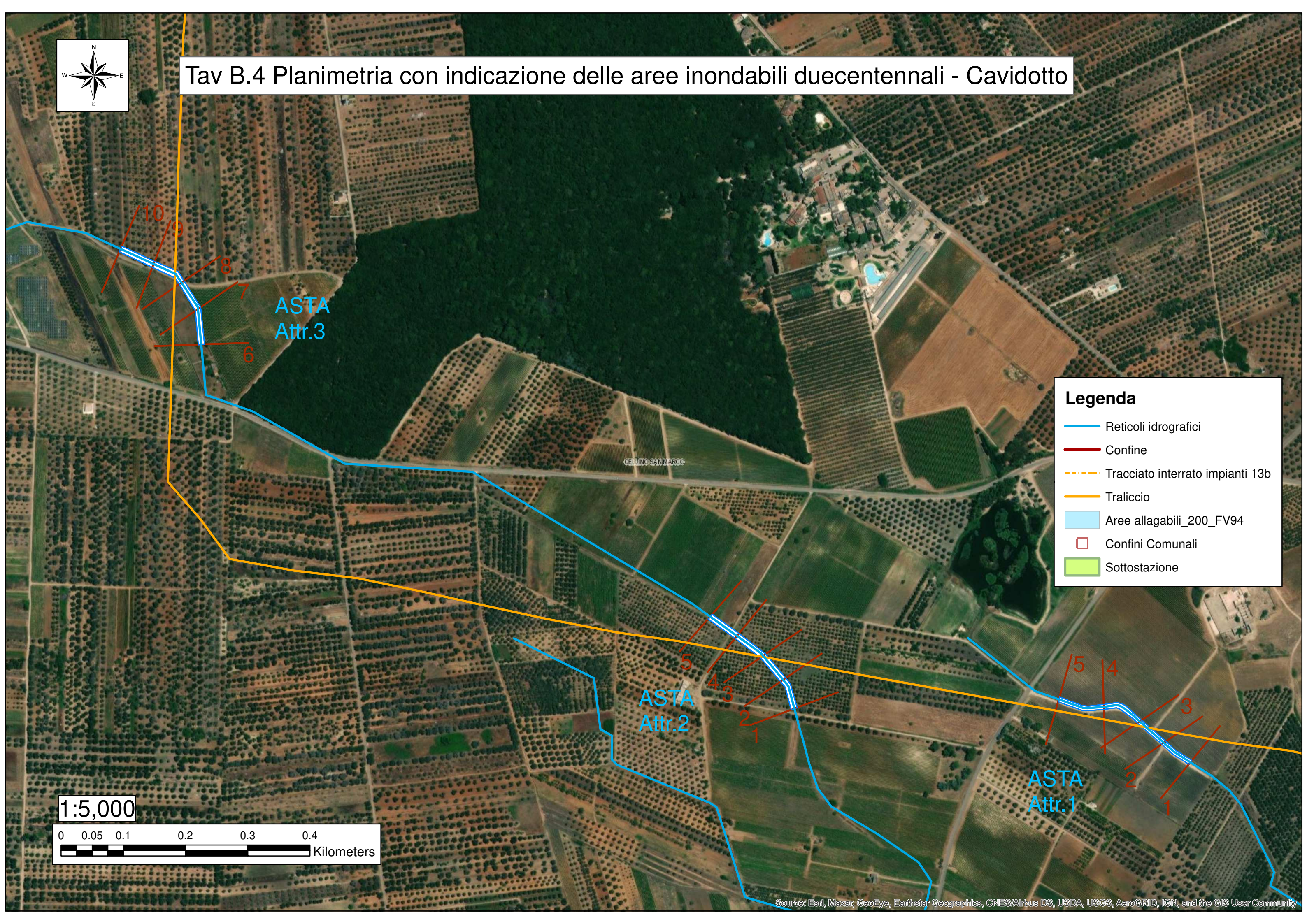


**Legenda**

- Reticoli idrografici
- Confine
- Tracciato interrato impianti 13b
- Traliccio
- Aree allagabili\_200\_FV94
- Confini Comunali
- Sottostazione



# Tav B.4 Planimetria con indicazione delle aree inondabili duecentennali - Cavidotto



**Legenda**

- Reticoli idrografici
- Confine
- Tracciato interrato impianti 13b
- Traliccio
- Aree allagabili\_200\_FV94
- Confini Comunali
- Sottostazione

