

Geo Rinnovabile S.r.l.

Impianto agro-fotovoltaico "Padalazzu" da 96.138 kWp e opere connesse

Comune di Sassari (SS)

Progetto Definitivo Impianto agro-fotovoltaico ed opere elettriche di Utenza

Allegato C.08 - Studio idrologico-idraulico di supporto alla progettazione di un tombino stradale



Professionisti incaricati: Ing. Daniele Cavallo – Ordine Ingegneri Prov. Brindisi n. 1220

Dott Geol. Michele Ognibene – Ordine Regionale geologi di Sicilia n. 3003

Dott Geol. Rosario Fria – Ordine Regionale geologi di Sicilia n. 1663

Rev. 0

Novembre 2022

Indice

1	Introduzione	3
2	Inquadramento del sito	4
3	Cenni sulle caratteristiche idrografiche e morfologiche	5
4	Analisi Idrologica	6
	4.1 Descrizione dei parametri richiesti dalla Formula Razionale	6
	4.2 Calcolo delle Curve di Probabilità Pluviometrica	13
	4.3 Calcolo delle portate di massima piena	14
5	Analisi Idraulica	15
	5.1 <i>Metodologia dell'analisi idraulica</i>	15
	5.2 <i>Parametri di input e risultati delle simulazioni</i>	16
	5.2.1 Risultati simulazione Tr 50 anni	18
	5.2.2 Risultati simulazione Tr 100 anni	19
	5.2.3 Risultati simulazione Tr 200 anni	20
	5.2.4 Risultati simulazione Tr 500 anni	21
	5.3 <i>Valutazioni sul franco idraulico del tombino</i>	22
	5.3.1 Valutazioni franco idraulico Tr 200 anni (Compatibilità Idraulica)	22
	5.3.2 Valutazioni franco idraulico Tr 500 anni (Rischio residuo)	24
6	Conclusioni	25

Appendici

Appendice 01 Elaborati Cartografici

Appendice 02 Calcoli Idrologici

Questo documento è di proprietà di Geo Rinnovabile S.r.l. e il detentore certifica che il documento è stato ricevuto legalmente. Ogni utilizzo, riproduzione o divulgazione del documento deve essere oggetto di specifica autorizzazione da parte di Geo Rinnovabile S.r.l.

1 Introduzione

Su incarico ricevuto in data 04/11/2022 dalla Società Geo Rinnovabile S.r.l. (Numero d'ordine: GEO/SAS/ORD/2022/12), si redige il presente studio idrologico-idraulico di supporto alla progettazione di un tombino stradale per il progetto definitivo dell'Impianto agro-fotovoltaico denominato "Padalazzu" da 96.138 kWp e relative opere connesse che la società intende realizzare nel Comune di Sassari.

Le opere progettuali dell'impianto agro-fotovoltaico da realizzare si possono così sintetizzare:

1. Impianto agro-fotovoltaico ad inseguimento monoassiale ubicato nel comune di Sassari (SS), in località Padalazzu, Contrada Saccheddu e Gianna de Mare;
2. Linee in cavo interrato a 36 kV (di seguito "Dorsali 36 kV"), per il collegamento dell'impianto fotovoltaico alla cabina elettrica a 36 kV di proprietà della Società, il cui tracciato ricade nel Comune di Sassari;
3. Cabina elettrica a 36 kV (di seguito "Cabina Utente") di proprietà della Società, che sarà realizzata nel Comune di Sassari (SS), in località Saccheddu;
4. Collegamenti in cavo a 36 kV tra la Cabina Utente e lo stallo produttore nella sezione a 36 kV della futura stazione elettrica di trasformazione 380/150/36 kV della RTN denominata "Olmedo", di proprietà di Terna;
5. Nuova Stazione elettrica di trasformazione 380/150/36 kV denominata "Olmedo" (di seguito "Stazione RTN") e relativi nuovi raccordi di collegamento alla linea RTN esistente a 380 kV "Fiumesanto Carbo – Ittiri" (congiuntamente di seguito definiti come "Impianto di Rete"). La Stazione RTN sarà anch'essa ubicata nel Comune di Sassari, in località Saccheddu.

Le opere di cui ai precedenti punti 1), 2), 3) e 4) costituiscono il **Progetto Definitivo dell'Impianto agro-fotovoltaico e delle opere elettriche di Utenza**.

Le opere di cui al precedente punto 5) rappresentano l'Impianto di Rete, che sarà di proprietà del gestore di rete (Terna S.p.A.) e costituiscono il **Progetto Definitivo dell'Impianto di Rete**.

Il presente studio è stato essenzialmente svolto in 2 fasi:

1° fase

La prima fase ha visto un iniziale studio di tipo bibliografico con l'acquisizione di tutto quanto è stato possibile reperire in termini di dati esistenti quali, cartografie, ortofoto, modelli digitali del terreno (DTM), studi precedenti, con particolare riferimento alla Relazione Monografica di Bacino n.06 relativa all'areale identificato come dominio idrografico dei "bacini minori compresi tra il Mannu di Porto Torres ed il Temo", all'interno del quale ricade l'area di interesse. Successivamente è stato predisposto un sopralluogo al fine di effettuare una valutazione in situ delle caratteristiche morfologiche e litologiche dell'area di progetto nonché verificare la corrispondenza tra il materiale cartografico ufficiale e il reale stato dei luoghi.

2° fase

La seconda fase ha visto una iniziale elaborazione dei dati acquisiti, effettuata in ambiente GIS, propedeutica alle successive analisi idrologica ed idraulica.

L'analisi idrologica, nello specifico, per come indicato nelle linee guida PAI – Sardegna, è stata effettuata mediante l'utilizzo della Formula Razionale basata sulla distribuzione TCEV.

I risultati delle analisi, in relazione al sottobacino idrografico sotteso, hanno permesso di determinare le portate di massima piena per vari tempi di ritorno considerati, utilizzate poi per il dimensionamento nella successiva valutazione idraulica, qui effettuata mediante modellazione numerica.

Lo studio è stato condotto ai sensi dell'art. 21 delle N.A. PAI-Sardegna 2022 "Indirizzi per la progettazione, realizzazione ed identificazione delle misure di manutenzione delle nuove infrastrutture" con specifico riferimento

2 Inquadramento del sito

L'area interessata dalla realizzazione dell'impianto agro-fotovoltaico si estende su una superficie di circa 146 ha ed è situata nella zona centro-orientale del territorio del comune di Sassari (SS), in località Padalazzu, Saccheddu e Gianna de Mare. Il sito è sostanzialmente delimitato:

- a sud, dalla Strada Provinciale N. 65;
- a est, dalla Strada Statale N. 291 var della Nurra;
- a nord, dalla Strada Provinciale N. 18;
- a ovest, dalla cava di Monte Nurra (posta ad una distanza di circa 2,5 km).

L'impianto agro-fotovoltaico è suddivisibile in N. 2 aree, entrambe ubicate nel Comune di Sassari e poste rispettivamente ad ovest (Area 1) e ad est (Area 2) della Cabina Utente e della Stazione RTN.

Il sito è facilmente accessibile dalla viabilità ordinaria, essendo costeggiato dalla Strada Provinciale N. 65 e attraversato dalla strada vicinale "Saccheddu".

Il centro abitato di Saccheddu (Frazione del comune di Sassari) è ubicato circa 300 m a nord rispetto all'area prevista per la realizzazione dell'impianto agro-fotovoltaico e risulta essere il centro abitato più prossimo al sito.

Da un punto di vista morfologico, l'impianto è collocato in un territorio prevalentemente pianeggiante, che raggiunge una quota variabile tra i 64 e gli 80 m s.l.m..

L'area prescelta per l'installazione dell'impianto agro-fotovoltaico è attualmente coltivata a seminativo e in parte minore utilizzata a pascolo. La zona interessata dalle opere è poco antropizzata, con la presenza di alcuni capannoni sparsi nell'agro utilizzati come ricovero dei mezzi agricoli o per l'attività zootecnica. Si segnalano le seguenti strutture in cui vi è la presenza continuativa di persone:

- Alcune abitazioni sparse a sud e ad ovest dell'Area 1;
- Il "Circolo aeromodellistico Turritano" ad est dell'Area 1;
- Un piccolo nucleo di abitazioni a sud dell'Area 2;
- Un paio di capannoni utilizzati come ricovero mezzi agricoli e/o per l'attività zootecnica nella parte centrale dell'Area 2.

La Cabina Utente sarà ubicata nel Comune di Sassari, in località Saccheddu (adiacente alla futura Stazione RTN), nelle immediate vicinanze rispetto al sito dell'impianto agro-fotovoltaico. Occuperà un'area molto limitata, di circa 465 m² e sarà facilmente raggiungibile dalla viabilità esistente, essendo a ridosso della SP 65 "La Ginestra Sella Larga". Trattasi di un'area pianeggiante, ad una quota di circa 75 m s.l.m.

Le Dorsali 36 kV per il vettoriamento dell'energia prodotta dall'impianto agro-fotovoltaico alla Cabina Utente si svilupperanno su un percorso realizzato nel sedime delle strade interessate (vicinale e provinciale), ricadenti nel Comune di Sassari.

Geograficamente il sito dell'impianto agro-fotovoltaico è inquadrabile nel F° 459 Sez.IV "LA CRUCCA" in scala 1:25.000 (IGM) e nella Carta Tecnica Regionale nella Sezione 459050 e 459060 in scala 1:10.000.

3 Cenni sulle caratteristiche idrografiche e morfologiche

Dal punto di vista idrografico, la sezione idraulica oggetto di studio sottende un modestissimo sottobacino idrografico relativo ad un impluvio di ordine 1 (secondo la classificazione Horton-Strahler) del Rio Barca, il quale con un bacino idrografico di circa 353 km² risulta essere uno dei principali corsi d'acqua della Sardegna nord-occidentale.

Il Rio Barca, nella porzione di monte, presenta una struttura molto ampia e fortemente ramificata, con presenza di molteplici tronchi di un certo rilievo idrografico, tra i quali il Rio Su Mattone all'interno del cui bacino idrografico ricade l'impianto agro-fotovoltaico, proprio in corrispondenza della linea di spartiacque principale tra il Rio Barca ed il Fiume Mannu di Porto Torres (Tav. 02).

L'impluvio oggetto di studio, con riferimento alla sezione idraulica di interesse, presenta un sottobacino idrografico con una estensione areale di appena 0,053 km² ed è ubicato sempre in corrispondenza della linea di spartiacque principale tra il Rio Barca ed il Fiume Mannu (Tav. 03). Dal punto di vista morfologico l'area si presenta sostanzialmente sub-pianeggiante con quote altimetriche tipiche di pianura interna, mediamente comprese tra i 50 ed i 100 metri s.l.m. (Tav. 04 e 05).

Il sottobacino idrografico in oggetto, nello specifico, si inquadra in questo contesto sub-pianeggiante con quote comprese tra i 70 ed i 75 metri s.l.m. e pendenza media inferiore ai 2°.

Dal punto di vista litologico la Carta Geologica Regionale indica per il sottobacino un substrato carbonatico, costituito dai Calcari a Rudiste del cretaceo, con locali coperture di vulcaniti (piroclastiti ed ignimbriti).

In funzione della conformazione morfologica e litologica evidenziate l'areale risulta scarsamente predisposto a fenomeni gravitativi di dissesto morfologico o idraulico in ragione della prossimità con una linea di spartiacque principale.

La Tavola 06 riporta gli elementi di Rischio e Pericolosità geomorfologica ed Idraulica reperibile tramite il servizio WebGis del Geoportale della Sardegna; il sottobacino idrografico di interesse, per la sua intera estensione, non risulta interessato da aree a Rischio o Pericolo idraulico (Rev.41 – Rischio o Pericolo alluvioni PAI) o da aree a Rischio o Pericolo Geomorfologico (Rev.42 - Rischio o Pericolo Frana PAI) riportate nel Piano Assetto Idrogeologico della Sardegna.

4 Analisi Idrologica

La determinazione delle *Portate di Massima Piena* è stata effettuata mediante l'utilizzo della *Formola Razionale* basata sulla distribuzione TCEV, per come suggerito nelle linee guida PAI - Sardegna.

4.1 Descrizione dei parametri richiesti dalla Formola Razionale

La relazione che definisce in modo esplicito la Formola Razionale nel modello basato sulla distribuzione TCEV è:

$$Q = \frac{\Phi \cdot h[\Theta, T_R] \cdot r[\Theta, A] \cdot A}{\Theta}$$

Dove

Q = portata di massima Piena (m³/s)

A = area del bacino idrografico sotteso (km²)

Φ = coefficiente di deflusso

h[Θ, TR] = altezza di pioggia critica di durata Θ e tempo di ritorno TR

r[Θ, A] = fattore di ragguaglio della precipitazione

Θ = T_c + t_f durata critica

T_c = tempo di corrivazione

$$t_f = \frac{I_a}{i(\Theta, r)} = \text{tempo di formazione del deflusso superficiale}$$

i(Θ,r) = intensità di pioggia ragguagliata di durata critica

I_a = 0.2*S assorbimento iniziale

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) = \text{assorbimento del bacino}$$

CN = curve number

- Valutazione Curve Number

Il valore del Curve Number è stato definito utilizzando la *Carte del Curve Number Regionale* consultabile tramite il servizio WMS del Geoportale della Regione Sardegna (<https://webgis.regione.sardegna.it/geoserver>), un estratto della carta è riportato nella Tavola 07.

Nella **Tabella 4-1** vengono riportati i dettagli per il calcolo del CN globale del sottobacino oggetto di studio, ottenuto mediante somma aritmetica ponderale tenendo conto dei vari areali, rispettivamente:

Tabella 4-1- Dettagli per il calcolo del CN globale del sottobacino

Sottobacino Impluvio				
Uso del Suolo	Classe di terreno	% di copertura	CN da tabella	Peso
Seminativo semplice e/o colture erbacee a pieno campo (CLC 2121)	A	26.42	63	16.6
	D	69.81	83	57.9

Sottobacino Impluvio				
Macchia mediterranea	D	3.77	77	2.9
Totale		100		77.5

Il valore finale risulta del parametro, adimensionale, risulta **77,5**.

- Valutazione del Tempo di corrivazione

La stima del flusso idrico globale all'interno di un bacino si deduce a partire dalle curve di probabilità pluviometrica, ovvero dalle altezze delle piogge critiche previste (generalmente in senso probabilistico), in corrispondenza di una determinata durata temporale t e le stesse caratteristiche della portata di piena (portata massima, tempo di picco, volume di deflusso, idrogramma di piena, ecc) dipendono da uno stesso valore temporale noto come tempo di corrivazione (t_c).

Il tempo di corrivazione t_c , è definibile come "il tempo richiesto ad una singola particella d'acqua per raggiungere, dal punto più distante, la sezione di chiusura del bacino". Sostanzialmente esso indica l'istante nel quale tutto il bacino sotteso dalla sezione di riferimento contribuirà contemporaneamente alla formazione del deflusso; se infatti la durata della pioggia t risulta inferiore a t_c , le porzioni più distanti del bacino alla fine della precipitazione (istante t) non avranno ancora contribuito al deflusso nella sezione di chiusura e quando questo avverrà le zone più vicine alla sezione di chiusura avranno già smesso di contribuire.

Il calcolo del tempo di corrivazione è ad oggi oggetto di molte incertezze; in letteratura sono disponibili numerose formulazioni empiriche ricavate da modelli basati su bacini reali, che tuttavia restituiscono valori anche significativamente diversi per lo stesso bacino. L'applicazione di una formula piuttosto che un'altra è quindi legata alla ricerca di una somiglianza tra il bacino in esame e il modello utilizzato.

Nel presente studio la valutazione del t_c è stata effettuata esclusivamente con riferimento alle formule previste nelle Linee Guida del PAI (Figura 4.1), adottando per i calcoli successivi il valore più basso ottenuto, come specificatamente richiesto nelle suddette linee guida.

<i>Soil Conservation Service</i> ¹¹	$t_c = 1.67 * \frac{100L^{0.8} \cdot [(1000/CN) - 9]^{0.7}}{1900 \cdot i_{versante}^{0.5}} \text{ [minuti]}$ <p>L = Lunghezza asta principale in piedi i = pendenza media del bacino (%)</p>
<i>Formula di Giandotti</i>	$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - h}} \text{ [ore]}$ <p>dove : A in Km², L in Km, h quota sezione chiusura, H_m quota media del bacino.</p>
<i>Formula di Pasini</i>	$T_c = 0.108 \cdot \frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{J_m}} \text{ [ore]}$ <p>dove : A in Km², L in Km, J_m pendenza media del reticolo idrografico</p>
<i>Formula VAPI-Sardegna</i> ¹²	$T_c = 0.212 \cdot A^{0.231} \cdot \left(\frac{H_m}{J_m}\right)^{0.289} \text{ [ore]}$ <p>dove : A in Km², L in Km, h quota sezione chiusura, J_m pendenza media del reticolo</p>

Figura 4.1: Formule utilizzate per il calcolo del tempo di corrivazione

Tutte le formulazioni richiedono, in ogni caso, la determinazione di alcuni parametri morfometrici, caratteristici del bacino stesso; tali parametri sono stati definiti mediante un'analisi morfometrica effettuata in ambiente GIS utilizzando diversi algoritmi di calcolo implementati nel software Q-Gis, usando come base di elaborazione il *Modello Digitale del Terreno* a passo 10 metri (DTM), disponibile liberamente on-line su *SardegnaGeoportale*.

I risultati dell'analisi, sia in termini di caratteristiche morfometriche sia di stima finale del tempo di corrivazione, vengono riportati nelle tabelle a seguire:

Tabella 4-2- Caratteristiche Morfometriche Sottobacino Idrografico

Analisi Morfometrica Sottobacino Idrografico		
Superficie Totale Bacino	0.053	Km ²
Altezza Massima Bacino	75.0	metri (s.l.m.)
Altezza Media Bacino	72.9	metri (s.l.m.)
Lunghezza Asta Principale	0.459	km
Quota Sezione di Chiusura	70.0	metri (s.l.m.)
Pendenza Media Asta Principale	1.09	%
Pendenza Media Bacino	1.52	%

Tabella 4-3 - Stima tempo di corrivazione

Formula	Tempo di corrivazione t_c (ore)
Formula Giandotti	1,181
Formula Pasini	0,300
Formula VA.PI. Sardegna	1,371
Formula SCS	0,745

Per le successive analisi idrologiche, come accennato, è stato utilizzato il valore più basso, ovvero quello della formulazione di Pasini pari a 0,300 ore.

- Altezza di pioggia critica di durata Θ e tempo di ritorno T_R

Per la valutazione dei parametri idrologici richiesti nella Formula Razionale sopra riportata si rende necessaria un'analisi probabilistica delle piogge attese (per un dato tempo di ritorno).

La piena di un corso d'acqua infatti, salvo casi particolari, è generata dalle precipitazioni meteoriche e la sua entità dipenderà da numerose variabili, che vanno dalla distribuzione stessa della pioggia, nel tempo e nello spazio, alle caratteristiche morfologiche del bacino e della rete idrografica; in siffatte condizioni è praticamente impossibile calcolare la massima portata prevedibile in senso deterministico e bisognerà, quindi, affrontare il problema nel solo approccio possibile ovvero in termini probabilistici.

La portata di piena va quindi considerata come una variabile casuale, la quale, conseguentemente, dovrà essere stimata relativamente ad un livello di probabilità che essa ha di non essere superata o, meglio ancora, relativamente ad un periodo di tempo (detto tempo di ritorno) che intercorre, in media, tra due eventi in cui il valore di tale portata viene superato.

In genere, è possibile ricondurre l'analisi a due tipologie di studio, a seconda del tipo di informazioni di cui si dispone:

- a) stima della portata di piena di progetto *dall'analisi probabilistica di osservazioni dirette* di portata fatte in passato nel sito;
- b) stima della portata di piena di progetto *attraverso l'analisi probabilistica preliminare delle precipitazioni* nel bacino idrografico interessato e la simulazione conseguente del processo della loro trasformazione in deflussi.

L'analisi che seguirà si occupa del secondo caso, quello cioè riguardante il caso più comune di piccoli bacini idrografici non monitorati e di non eccessive dimensioni (al massimo qualche decina di km²), per i quali, al massimo, si dispone dei dati sulle precipitazioni meteoriche in alcuni punti nell'intorno del bacino. La portata sarà stimata simulando, attraverso modelli matematici, l'afflusso meteorico nel bacino e successivamente, mediante la formula razionale, il processo di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi.

- Metodo TCEV Sardegna

Volendo stimare eventi di piena di dato tempo di ritorno, bisogna prima ricostruire l'evento di pioggia di pari tempo di ritorno (assumendo come vera l'ipotesi che un evento di pioggia di tempo di ritorno T genera un evento di piena con la stessa probabilità di non superamento), in altre parole bisogna definire la *curva di probabilità pluviometrica*, indicata spesso con l'acronimo c.p.p., per la cui definizione è stato qui utilizzato il metodo TCEV.

Il modello TCEV (*Two Component Extreme Value Distribution*) permette di determinare le altezze di pioggia **h** e le relative intensità **i**, seguendo una tecnica di regionalizzazione dei dati pluviometrici messa a punto nell'ambito del progetto VA.PI. (Progetto per la Valutazione delle Piene in Italia, portato avanti dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche) che ha avuto come obiettivo quello di predisporre una procedura uniforme sull'intero territorio nazionale.

La regionalizzazione delle piogge mira a superare i limiti relativi alla scarsa informazione pluviometrica (spesso costituita da singole serie di durata limitata e poco attendibili per le elaborazioni statistiche), utilizzando in modo coerente tutta l'informazione pluviometrica disponibile sul territorio, per individuare la distribuzione regionale delle caratteristiche delle precipitazioni.

La peculiarità del modello TCEV è quella di tradurre in termini statistici la differente provenienza degli estremi idrologici, riconducendosi formalmente al prodotto di due funzioni di probabilità del tipo Gumbel. La prima, denominata componente base, assume valori non elevati ma frequenti, mentre la seconda (componente straordinaria) genera eventi più rari ma mediamente più rilevanti (appartenenti ad una differente fenomenologia meteorologica).

La TCEV rappresenta pertanto la distribuzione del massimo valore di una combinazione di due popolazioni ed ha, quindi, la caratteristica di prestarsi all'interpretazione di variabili fortemente asimmetriche, con presenza di alcuni valori molto elevati, di cui difficilmente le distribuzioni usuali (Gumbel, Log-Normale, etc.) riescono a rendere conto.

Per il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica si farà riferimento alla procedura descritta nel progetto VA.PI. Sardegna (Cao et al., 1991) utilizzando la modellazione introdotta successivamente da Deidda et al., 1997.

La procedura gerarchica di regionalizzazione si articola su tre livelli successivi in ognuno dei quali è possibile ritenere costanti alcuni valori statistici.

Nel primo livello di regionalizzazione si ipotizza che il coefficiente di asimmetria teorico G_t delle serie dei massimi annuali delle piogge di assegnata durata t sia costante a scala regionale. A questo livello la Sardegna viene pertanto ritenuta una zona pluviometrica omogenea ed i valori dei parametri di forma delle curve probabilistiche $\Theta^*=2.207$ e $\Lambda^*=0.5717$ sono costanti ed indipendenti dalla durata dell'evento t .

Il secondo livello di regionalizzazione riguarda l'individuazione di sottozone omogenee (SZO), interne a quella individuata al primo livello, nelle quali risulti costante, oltre al coefficiente di asimmetria, anche il coefficiente di variazione della legge teorica. Al secondo livello di regionalizzazione la Sardegna è stata suddivisa in tre sottozone pluviometriche omogenee (Figura 4.2). A ciascuna sottozona è stato attribuito un valore costante del parametro λ_1 (parametro della TCEV che rappresenta il numero medio di eventi della componente base) indicato con il simbolo Λ_1 in tabella:

Tabella 4-4: coefficiente Λ_1 per sottozona

	Sottozona		
	SZO 1	SZO 2	SZO 3
Λ_1	74,50	21,20	6.68

Il terzo livello di regionalizzazione prevede, infine, la ricerca di relazioni regionali tra il parametro centrale della distribuzione di probabilità μ e le grandezze, prevalentemente geografiche (altitudine, distanza dal mare, superficie del bacino idrografico), relative al sito di misura; lo studio ha consentito di individuare una relazione di tipo monomio tra il valore della pioggia indice $\mu(T)$ e quello della durata t , i cui coefficienti sono funzione del valore della media μ_g intesa come pioggia giornaliera sul sito. Esprimendo la durata t in ore e l'altezza di pioggia in mm, la relazione risulta:

$$\mu(t) = a_1 \cdot \tau^{b_1}$$

dove i due coefficienti a_1 e b_1 assumono le seguenti espressioni:

$$a_1 = \mu_g / (0.886 \cdot 24^{b_1})$$

$$b_1 = -0.493 + 0.476 \cdot \text{Log } \mu_g$$

con Log μ_g logaritmo decimale.

Per il valore μ_g è stato fatto riferimento alla distribuzione riportata nel P.A.I. (Figura 4.3 e Figura 4.4), assumendo un valore **$\mu_g = 47$ mm**

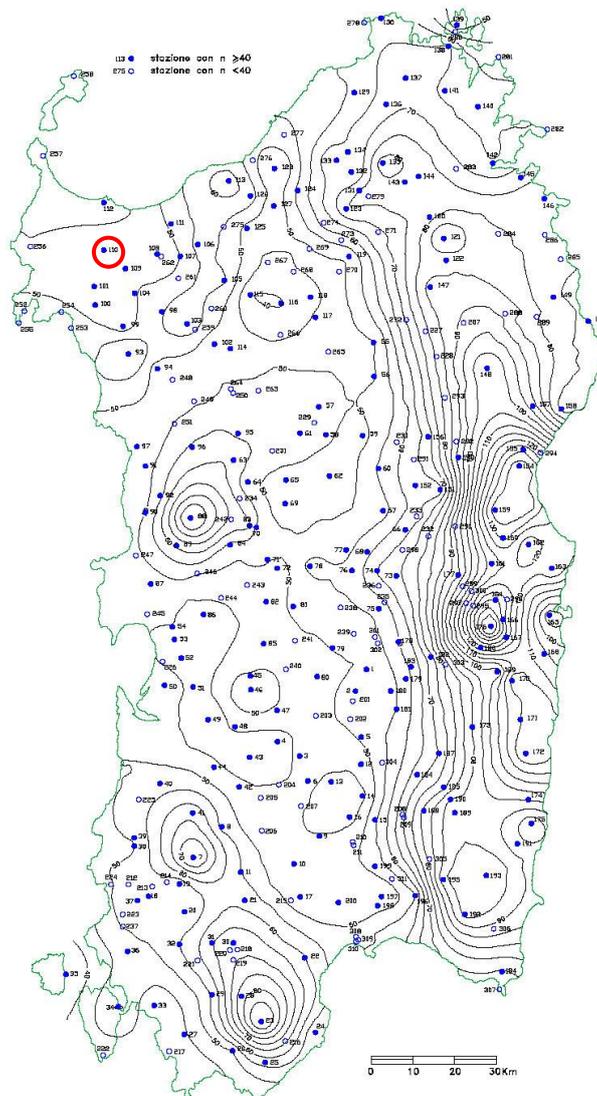


Figura 4.3: Distribuzione spaziale delle altezze di pioggia giornaliere in Sardegna.

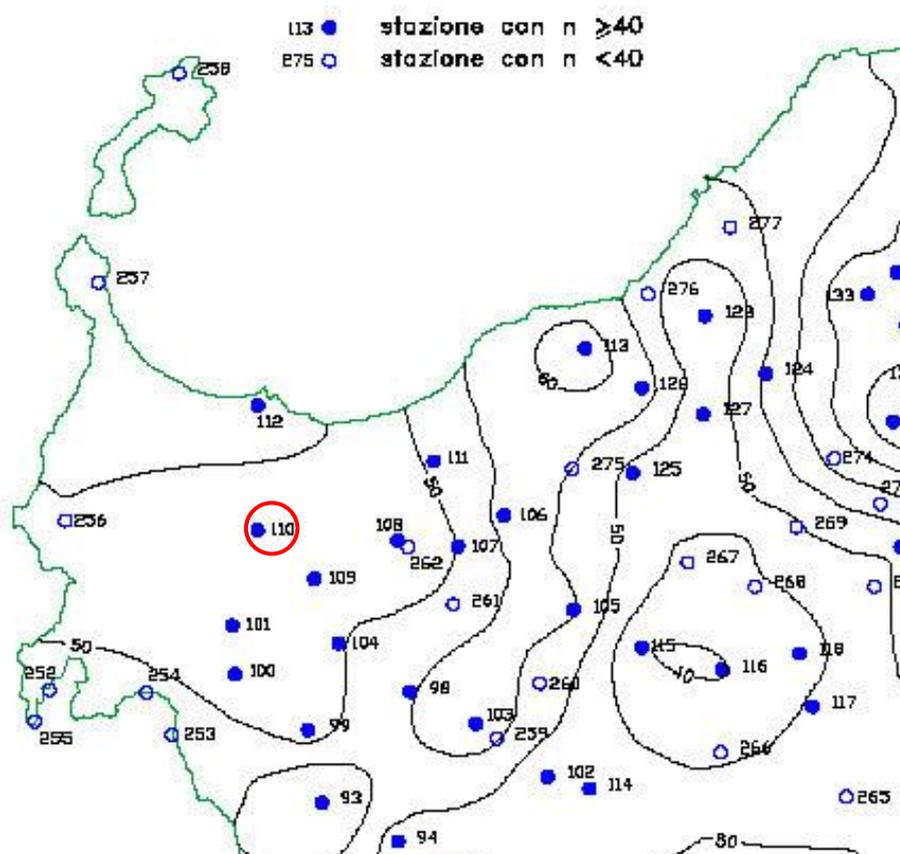


Figura 4.4: Particolare figura 3 con riferimento all'area di interesse

Allo scopo di evitare complesse determinazioni numeriche in funzione del tempo di ritorno T, l'Agenzia Regionale del Distretto Idrografico della Sardegna ha fornito delle relazioni esplicite dell'altezze di pioggia (Soglie di allerta pluviometriche nella Regione Sardegna), in quanto la dipendenza delle piogge brevi ed intense, dipendendo dalla durata dell'evento portava a procedimenti molto complessi.

In definitiva l'altezza di pioggia di durata τ e con assegnato tempo di ritorno T assume la forma:

$$h_{\tau}(T) = (a_1 a_2) * \tau^{(b_1 + b_2)}$$

dove i coefficienti a_2 e b_2 per la sottozona omogenea di interesse (SZO 2) assumono i seguenti valori:

$$a_2 = 0.43797 + 1.0890 * \text{LOG}_{10} T$$

$$b_2 = -0.18722 + 0.24862 * \text{LOG}_{10} T - 3.6305 * 10^{-2} * (\text{LOG}_{10} T)^2 \quad (\text{per } \tau \leq 1 \text{ ora})$$

$$b_2 = -6.3887 * 10^{-3} - 4.5420 * 10^{-3} * \text{LOG}_{10} T \quad (\text{per } \tau \geq 1 \text{ ora})$$

4.2 Calcolo delle Curve di Probabilità Pluviometrica

Applicando la metodologia sopra esposta è stato possibile calcolare le *Curve di Probabilità Pluviometrica* (C.P.P.), ovvero le altezze di pioggia, per gli eventi di pioggia attesi con i vari tempi di ritorno desiderati sia per le canoniche durate di 1, 2, 3, 6, 12 e 24 ore che per precipitazioni con durata inferiore ad 1 ora, rispettivamente:

I) C.P.P. con $Tr = 50$ anni

C.P.P. per $t > 1$ ora		C.P.P. per $t < 1$ ora	
t (ore)	$H_{t/T}$ (mm)	t (minuti)	$H_{t/T}$ (mm)
1	46.18	5	15.99
2	62.08	10	21.49
3	73.81	15	25.55
6	99.22	30	34.35
12	133.38	45	40.84
24	179.30	60	46.18

II) C.P.P. con $Tr = 100$ anni

C.P.P. per $t > 1$ ora		C.P.P. per $t < 1$ ora	
t (ore)	$H_{t/T}$ (mm)	t (minuti)	$H_{t/T}$ (mm)
1	52.77	5	16.80
2	72.62	10	23.12
3	87.53	15	27.87
6	120.45	30	38.35
12	165.74	45	46.22
24	228.07	60	52.77

III) C.P.P. con $Tr = 200$ anni

C.P.P. per $t > 1$ ora		C.P.P. per $t < 1$ ora	
t (ore)	$H_{t/T}$ (mm)	t (minuti)	$H_{t/T}$ (mm)
1	59.37	5	17.67
2	83.26	10	24.77
3	101.47	15	30.19
6	142.29	30	42.34
12	199.54	45	51.60
24	279.81	60	59.37

IV) C.P.P. con $T_r = 500$ anni

C.P.P. per $t > 1$ ora		C.P.P. per $t < 1$ ora	
t (ore)	$H_{t/T}$ (mm)	t (minuti)	$H_{t/T}$ (mm)
1	68.09	5	18.98
2	97.23	10	27.11
3	119.77	15	33.39
6	171.03	30	47.68
12	244.23	45	58.73
24	348.77	60	68.09

4.3 Calcolo delle portate di massima piena

Poiché l'utilizzo della Formula Razionale basata sulla distribuzione TCEV, indicata nelle *Linee Guida PAI-Sardegna* presenta delle formule iterative è stato utilizzato un foglio di calcolo automatizzato (tipo excel), settato per la realizzazione in automatico di 100 iterazioni (Figura 4.5); in calce (Appendice A) vengono presentati tutti i valori dei parametri idrologici calcolati mediante screenshots dei fogli di calcolo utilizzati.



Figura 4.5: Impostazioni foglio di calcolo

I risultati finali dell'analisi in termini di portata di piena sono riportati a seguire:

Tabella 4-5: Calcolo portata di picco per diversi T_r

Tempo di Ritorno	Portata di Picco(m ³ /s)
50 anni	0.31
100 anni	0.40
200 anni	0.50
500 anni	0.63

5 Analisi Idraulica

In questo paragrafo vengono riportati i risultati della modellazione idraulica del manufatto di interesse, in condizioni ex-ante ed ex-post, per tutte le portate calcolate nel paragrafo precedente; per l'attraversamento del corso d'acqua è stato considerato un tombino con pareti in calcestruzzo piane, di forma rettangolare.

L'analisi idraulica dell'interferenza è stata effettuata mediante modellazione numerica utilizzando i codici di calcolo del software HEC-RAS (qui utilizzato nella versione 5.0.7), distribuito gratuitamente dallo U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineer Center e liberamente scaricabile all'indirizzo web: www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras.

HEC-RAS permette il calcolo di profili idraulici sia in moto permanente che in moto vario ed è utilizzabile in canali naturali o artificiali, anche in ambiente urbano. Il software allo stato attuale presenta numerose caratteristiche che lo rendono estremamente affidabile, prima fra tutte la possibilità di effettuare modellazioni sia monodimensionali che bidimensionali, in regime di moto permanente o di moto vario e anche la possibilità di effettuare modellazioni combinate 1D-2D; nelle simulazioni è inoltre possibile inserire attraversamenti (ponti o tombini) sia a pelo libero che in pressione.

In funzione delle finalità dello studio (dimensionamento di tombini e valutazione del franco idraulico) è stata ritenuta idonea una modellazione monodimensionale in regime di Moto Permanente utilizzando come portata in ingresso i valori delle portate di massima piena ottenute in precedenza e considerando come portata di verifica la piena con Tr a 200 anni, secondo i criteri di compatibilità idraulica espressi nella Circolare Esplicativa NTC-2018 del 21 gennaio 2019 (Par. C5.1.2.3), valutando pertanto la portata con Tr 500 anni come analisi del rischio residuo.

5.1 Metodologia dell'analisi idraulica

In questa sede si tralascia la descrizione dei principi teorici e delle molteplici possibilità di modellazione, in termini di equazioni, messe a disposizione dal software, per le quali si rimanda ai manuali ufficiali, liberamente scaricabili all'indirizzo web sopra riportato, nella sezione "Documentation", limitandosi ad evidenziare unicamente i parametri di input utilizzati nel calcolo riguardanti:

- Geometrie dell'area di simulazione
- Geometria del Tombino e relativi parametri idraulici
- Coefficienti di scabrezza (del canale e dei tombini)
- Condizioni a contorno

- Geometria

I dati relativi alla morfologia del terreno derivano da un rilievo strumentale di campagna, interpolati linearmente, con passo a 1 metro, in ambiente GIS; in tutto sono state considerate 6 sezioni di analisi per uno sviluppo di circa 30 metri a valle e 30 metri a monte del manufatto (Figura 5.1).

Per quanto riguarda il tombino di attraversamento, da intendersi come da norme NTC 2018, ovvero un manufatto totalmente rivestito in sezione in grado di condurre portate fino a 50 m³/s, è stata considerata una geometria rettangolare con una campata (Span) pari a 1.5 metri, altezza (Rise) pari a 1,3 metri e lunghezza pari a 6 metri.

In Figura 5.3 sono riportati tutti i parametri idraulici utilizzati per il calcolo; la simulazione è stata effettuata in regime di moto permanente e con flusso a pelo libero (Low Flow Methods). Nella modellazione, HEC-RAS permette di utilizzare 4 metodologie diverse, in funzione della tipologia di corrente, nella simulazione è stata utilizzata l'impostazione di default che effettua tutte le analisi restituendo quella con risposta energetica maggiore.

- Coefficienti di scabrezza del suolo

I coefficienti di scabrezza del suolo (coefficienti di Manning) sono stati fissati in funzione della natura del substrato e della copertura vegetale rispettivamente, in 0,030 s*m^{1/3} per il canale centrale e di 0,040 s*m^{1/3} per le zone golenali.

- Condizioni a contorno e portate di Piena

Per quanto riguarda le condizioni a contorno (Boundary Conditions), necessarie per la simulazione, sia monte che a valle è stata utilizzata la condizione di Critical Depth, con un regime di flusso "Misto"; HEC-RAS modifica automaticamente il regime di flusso all'occorrenza.

Per quanto riguarda i parametri relativi alle tolleranze ed ai settaggi da considerare nei calcoli sono stati lasciati quelli di default previsti dal software.

5.2 Parametri di input e risultati delle simulazioni

In questo paragrafo vengono riportati gli input e le geometrie utilizzate nelle modellazioni nonché i risultati, sia in forma grafica che tabellare; nello specifico verranno restituiti:

- Modello 3D con inserimento del manufatto e tiranti idrici ex-ante /ex-post;
- Confronto longitudinale ex-ante/ex-post dei principali parametri idraulici della simulazione;

Tabella 5-1: Parametri di input per le simulazioni

Parametri di input		
n° sezioni di analisi	6	
Sviluppo lineare simulazione	60	metri
Geometria Impluvio (intorno tombino)	-----	Fig. 6
Geometria e parametri idraulici tombino	-----	Fig. 7
Condizione al contorno di monte	-----	Critical Depth (Upstream)
Condizione al contorno di monte	-----	Critical Depth (Downstream)
Regime di moto	Permanente	a pelo libero (Low Flow Methods)
Regime di flusso	Misto	(mixed)
Portata di progetto (Tr 50)	0.31	m3/s
Portata di progetto (Tr 100)	0.40	m3/s
Portata di progetto (Tr 200)	0.50	m3/s
Portata di progetto (Tr 500)	0.63	m3/s

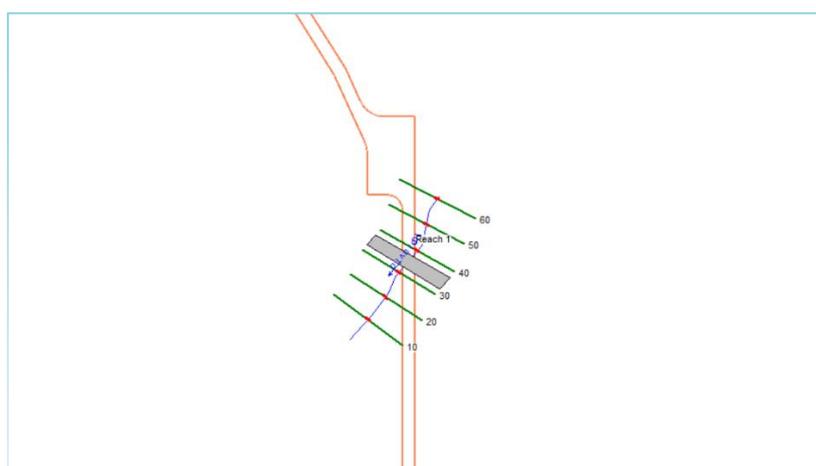


Figura 5.1: Geometria area di simulazione (HEC-RAS)

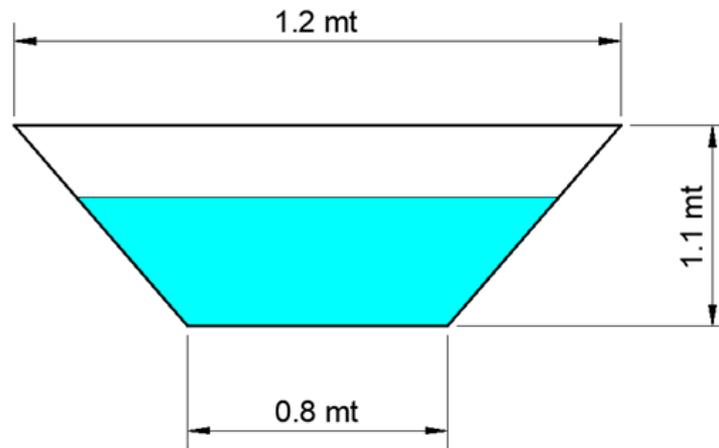


Figura 5.2: Geometria impluvio (intorno tombino)

Culvert Data Editor

Add ... Copy Delete ... Culvert Group: Culvert #1

Solution Criteria: Computed Flow Co Rename ...

Shape: Box Span: 1.5 Rise: 1.3

Chart #: 8 - flared wingwalls

Scale #: 1 - Wingwall flared 30 to 75 deg.

Distance to Upstrm XS: 4

Culvert Length: 6

Entrance Loss Coeff: 0.5

Exit Loss Coeff: 1

Manning's n for Top: 0.011

Manning's n for Bottom: 0.013

Depth to use Bottom n: 0

Depth Blocked: 0

Upstream Invert Elev: 68.84

Downstream Invert Elev: 68.74

Culvert Barrel Data

Barrel Name	US Sta	DS Sta
1 Rombino 1	15	15
2		
3		
4		
5		

Barrel GIS Data: Rombino 1

Length: 0

X	Y
1	
2	
3	
4	
5	

Individual Barrel Centerlines ... Show on Map OK Cancel Help

Select culvert to edit

Figura 5.3: Parametri idraulici e geometria tombino (culvert)

5.2.1 Risultati simulazione Tr 50 anni

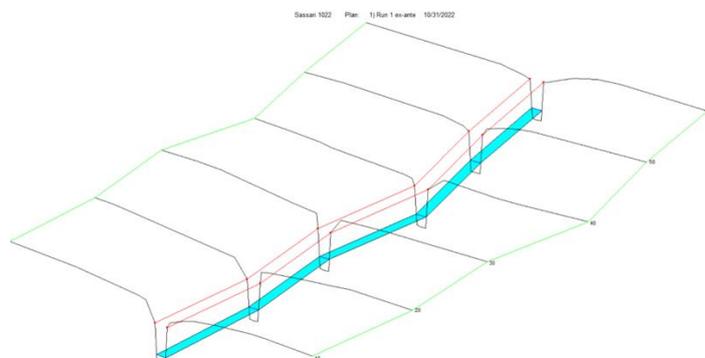


Figura 5.4: Geometria 3D; condizione ex ante

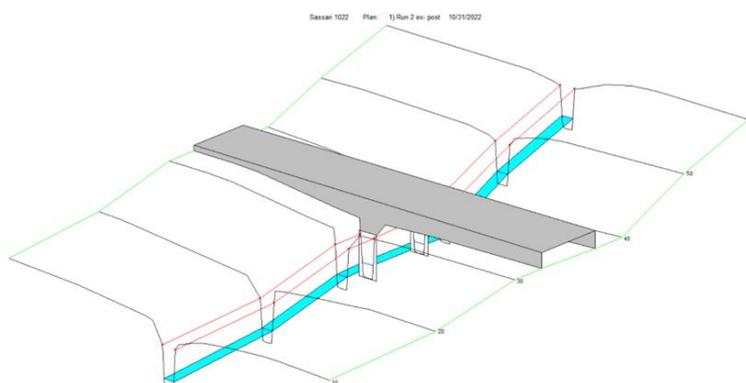


Figura 5.5: Geometria; condizione ex post

Reach	River Sta	Profile	Plan	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Reach 1	60	Tr 50	Run 1 ex-ante	0.31	69.04	69.38	69.44	0.009932	1.11	0.28	0.91	0.64
Reach 1	60	Tr 50	Run 2 ex- post	0.31	69.04	69.38	69.44	0.009554	1.09	0.28	0.91	0.63
Reach 1	50	Tr 50	Run 1 ex-ante	0.31	68.94	69.28	69.34	0.009693	1.10	0.28	0.91	0.63
Reach 1	50	Tr 50	Run 2 ex- post	0.31	68.94	69.29	69.35	0.008553	1.05	0.29	0.91	0.59
Reach 1	40	Tr 50	Run 1 ex-ante	0.31	68.84	69.19	69.25	0.008835	1.06	0.29	0.91	0.60
Reach 1	40	Tr 50	Run 2 ex- post	0.31	68.84	69.09	69.21	0.023753	1.52	0.20	0.88	1.00
Reach 1	35	Tr 50	Run 2 ex- post	0.31								
Reach 1	30	Tr 50	Run 1 ex-ante	0.31	68.74	69.12	69.17	0.007035	0.98	0.32	0.92	0.53
Reach 1	30	Tr 50	Run 2 ex- post	0.31	68.74	69.12	69.17	0.007035	0.98	0.32	0.92	0.53
Reach 1	20	Tr 50	Run 1 ex-ante	0.31	68.67	69.05	69.10	0.007070	0.98	0.32	0.92	0.53
Reach 1	20	Tr 50	Run 2 ex- post	0.31	68.67	69.05	69.10	0.007070	0.98	0.32	0.92	0.53
Reach 1	10	Tr 50	Run 1 ex-ante	0.31	68.60	68.85	68.97	0.023724	1.52	0.20	0.88	1.00
Reach 1	10	Tr 50	Run 2 ex- post	0.31	68.60	68.85	68.97	0.023724	1.52	0.20	0.88	1.00

Figura 5.6: Confronto parametri idraulici ex ante/ex post

I risultati della simulazione non indicano aumenti del *tirante idraulico* (W.S. Elevation) e velocità di deflusso ex-ante / ex-post del tutto simili; si evidenzia unicamente un lieve aumento della velocità di deflusso appena a monte del tombino con valori in senso assoluto nell'ordine massimo di 1,5 m/s.

5.2.2 Risultati simulazione Tr 100 anni

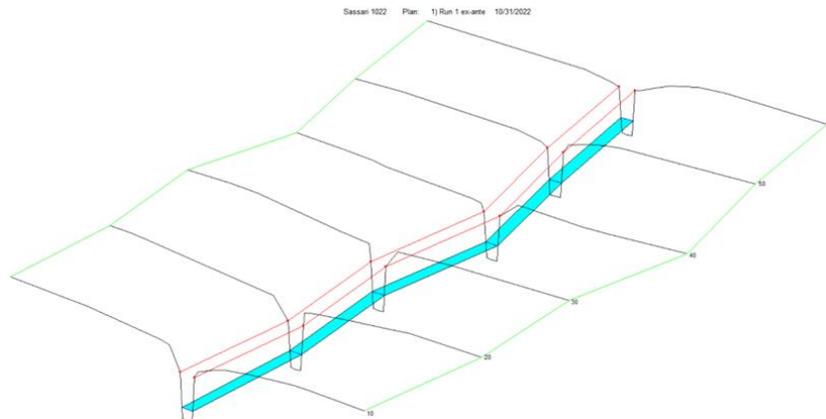


Figura 5.7: Geometria 3D; condizione ex ante

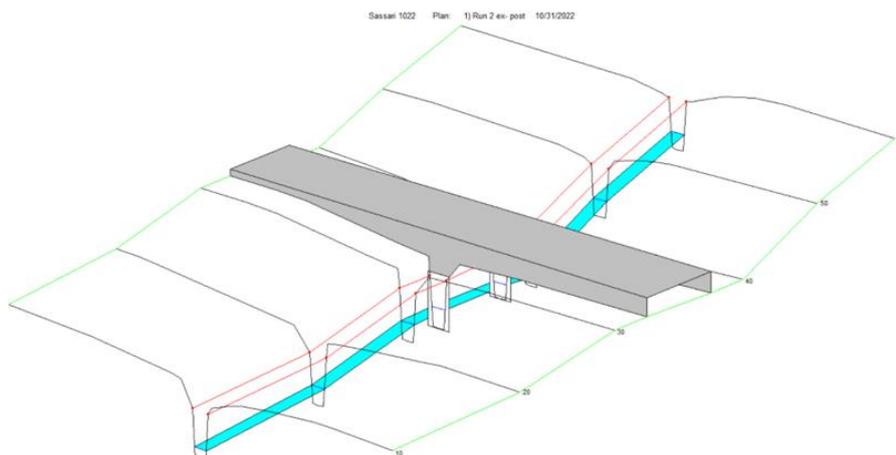


Figura 5.8: Geometria; condizione ex post

Reach	River Sta	Profile	Plan	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Reach 1	60	Tr 100	Run 1 ex-ante	0.40	69.04	69.44	69.51	0.009838	1.18	0.34	0.93	0.63
Reach 1	60	Tr 100	Run 2 ex-post	0.40	69.04	69.44	69.51	0.009603	1.17	0.34	0.93	0.62
Reach 1	50	Tr 100	Run 1 ex-ante	0.40	68.94	69.35	69.42	0.009507	1.17	0.34	0.93	0.62
Reach 1	50	Tr 100	Run 2 ex-post	0.40	68.94	69.35	69.42	0.008938	1.14	0.35	0.93	0.60
Reach 1	40	Tr 100	Run 1 ex-ante	0.40	68.84	69.26	69.32	0.008709	1.13	0.35	0.93	0.59
Reach 1	40	Tr 100	Run 2 ex-post	0.40	68.84	69.14	69.28	0.024190	1.64	0.24	0.89	1.01
Reach 1	35	Tr 100	Run 2 ex-post	0.40								
Reach 1	30	Tr 100	Run 1 ex-ante	0.40	68.74	69.18	69.24	0.007251	1.06	0.38	0.94	0.53
Reach 1	30	Tr 100	Run 2 ex-post	0.40	68.74	69.18	69.24	0.007253	1.06	0.38	0.94	0.53
Reach 1	20	Tr 100	Run 1 ex-ante	0.40	68.67	69.11	69.17	0.007528	1.07	0.37	0.94	0.54
Reach 1	20	Tr 100	Run 2 ex-post	0.40	68.67	69.11	69.17	0.007534	1.07	0.37	0.94	0.54
Reach 1	10	Tr 100	Run 1 ex-ante	0.40	68.60	68.90	69.04	0.024202	1.64	0.24	0.89	1.01
Reach 1	10	Tr 100	Run 2 ex-post	0.40	68.60	68.90	69.04	0.024202	1.64	0.24	0.89	1.01

Figura 5.9: Confronto parametri idraulici ex ante/ex post

I risultati della simulazione non indicano aumenti del tirante idraulico (W.S. Elevation) e velocità di deflusso ex-ante / ex-post del tutto simili; si evidenzia unicamente un lieve aumento della velocità di deflusso appena a monte del tombino con valori in senso assoluto nell'ordine massimo di 1,65 m/s.

5.2.3 Risultati simulazione Tr 200 anni

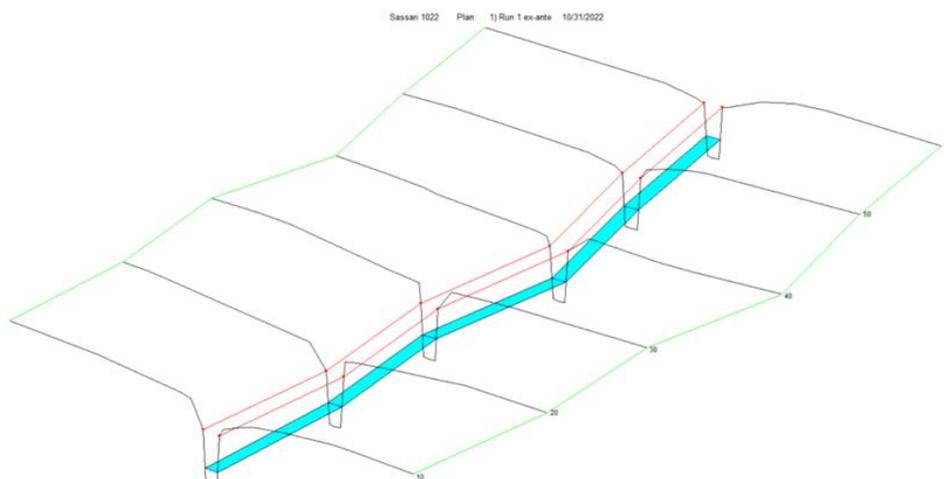


Figura 5.10: Geometria 3D; condizione ex ante

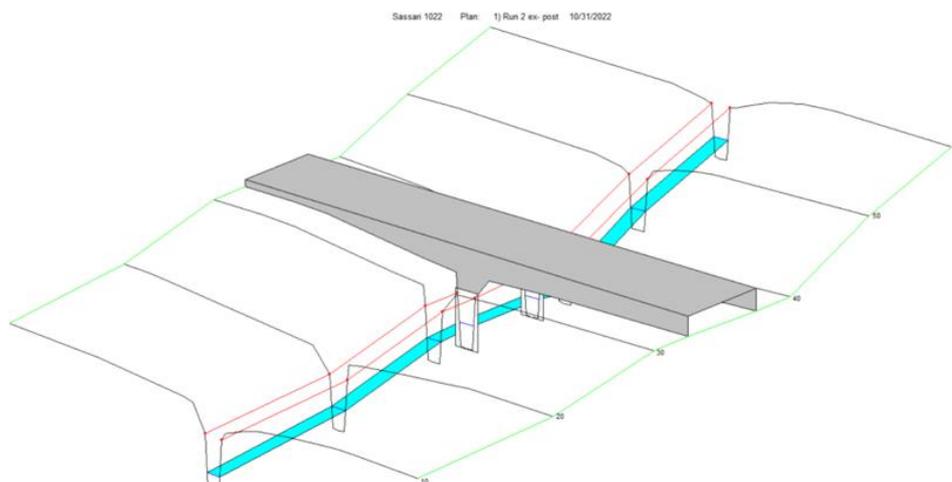


Figura 5.11: Geometria; condizione ex post

Reach	River Sta	Profile	Plan	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Reach 1	60	Tr 200	Run 1 ex-ante	0.50	69.04	69.51	69.59	0.009749	1.25	0.40	0.95	0.62
Reach 1	60	Tr 200	Run 2 ex- post	0.50	69.04	69.51	69.59	0.009698	1.25	0.40	0.95	0.61
Reach 1	50	Tr 200	Run 1 ex-ante	0.50	68.94	69.41	69.49	0.009394	1.23	0.41	0.95	0.60
Reach 1	50	Tr 200	Run 2 ex- post	0.50	68.94	69.42	69.49	0.009293	1.23	0.41	0.95	0.60
Reach 1	40	Tr 200	Run 1 ex-ante	0.50	68.84	69.33	69.40	0.008675	1.20	0.42	0.96	0.58
Reach 1	40	Tr 200	Run 2 ex- post	0.50	68.84	69.18	69.34	0.024729	1.76	0.28	0.91	1.01
Reach 1	35	Tr 200	Run 2 ex- post	0.50								
Reach 1	30	Tr 200	Run 1 ex-ante	0.50	68.74	69.25	69.32	0.007482	1.13	0.44	0.97	0.53
Reach 1	30	Tr 200	Run 2 ex- post	0.50	68.74	69.25	69.32	0.007482	1.13	0.44	0.97	0.53
Reach 1	20	Tr 200	Run 1 ex-ante	0.50	68.67	69.17	69.24	0.007952	1.16	0.43	0.96	0.55
Reach 1	20	Tr 200	Run 2 ex- post	0.50	68.67	69.17	69.24	0.007952	1.16	0.43	0.96	0.55
Reach 1	10	Tr 200	Run 1 ex-ante	0.50	68.60	68.94	69.10	0.024582	1.76	0.28	0.91	1.00
Reach 1	10	Tr 200	Run 2 ex- post	0.50	68.60	68.94	69.10	0.024582	1.76	0.28	0.91	1.00

Figura 5.12: Confronto parametri idraulici ex ante / ex post

I risultati della simulazione non indicano aumenti del tirante idraulico (W.S. Elevation) e velocità di deflusso ex-ante / ex-post del tutto simili; si evidenzia unicamente un lieve aumento della velocità di deflusso appena a monte del tombino con valori in senso assoluto nell'ordine massimo di 1,75 m/s.

5.2.4 Risultati simulazione Tr 500 anni

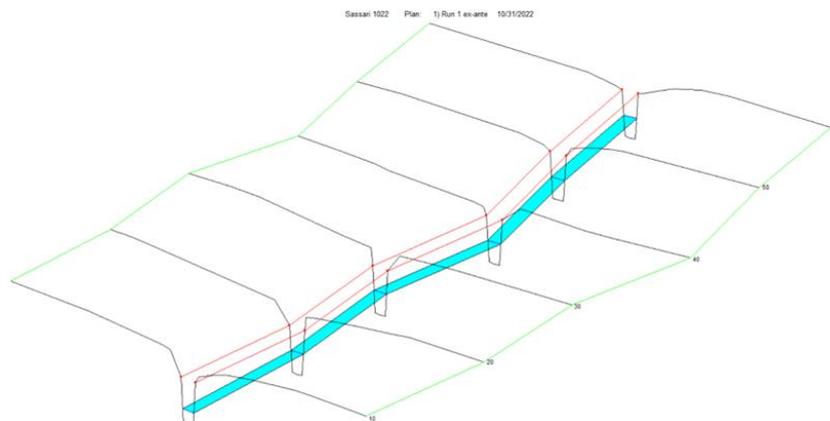


Figura 5.13: Geometria 3D; condizione ex ante

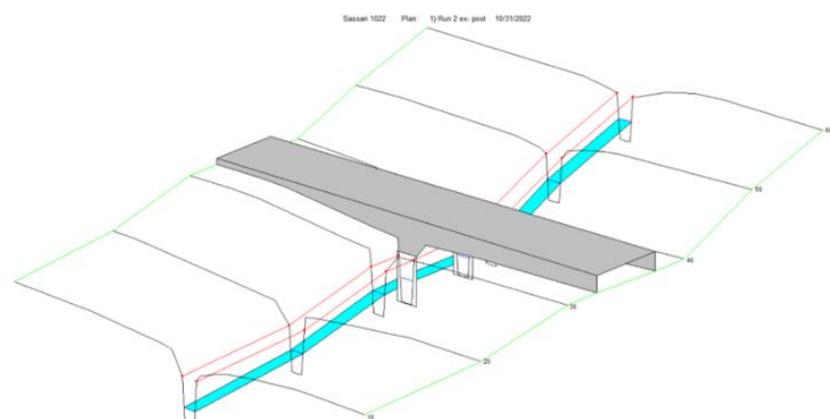


Figura 5.14: Geometria; condizione ex post

Reach	River Sta	Profile	Plan	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Reach 1	60	Tr 500	Run 1 ex-ante	0.63	69.04	69.59	69.68	0.009668	1.32	0.48	0.98	0.60
Reach 1	60	Tr 500	Run 2 ex-post	0.63	69.04	69.58	69.67	0.010085	1.34	0.47	0.98	0.62
Reach 1	50	Tr 500	Run 1 ex-ante	0.63	68.94	69.49	69.58	0.009328	1.30	0.48	0.98	0.59
Reach 1	50	Tr 500	Run 2 ex-post	0.63	68.94	69.48	69.57	0.010257	1.35	0.47	0.98	0.62
Reach 1	40	Tr 500	Run 1 ex-ante	0.63	68.84	69.41	69.49	0.008718	1.27	0.50	0.99	0.57
Reach 1	40	Tr 500	Run 2 ex-post	0.63	68.84	69.26	69.42	0.021180	1.77	0.36	0.94	0.92
Reach 1	35	Tr 500	Run 2 ex-post	0.63								
Reach 1	30	Tr 500	Run 1 ex-ante	0.63	68.74	69.33	69.41	0.007771	1.21	0.52	0.99	0.54
Reach 1	30	Tr 500	Run 2 ex-post	0.63	68.74	69.33	69.41	0.007771	1.21	0.52	0.99	0.54
Reach 1	20	Tr 500	Run 1 ex-ante	0.63	68.67	69.24	69.32	0.008438	1.25	0.50	0.99	0.56
Reach 1	20	Tr 500	Run 2 ex-post	0.63	68.67	69.24	69.32	0.008438	1.25	0.50	0.99	0.56
Reach 1	10	Tr 500	Run 1 ex-ante	0.63	68.60	69.00	69.18	0.025010	1.88	0.33	0.93	1.00
Reach 1	10	Tr 500	Run 2 ex-post	0.63	68.60	69.00	69.18	0.025009	1.88	0.33	0.93	1.00

Figura 5.15: Confronto parametri idraulici ex ante / ex post

I risultati della simulazione non indicano aumenti del tirante idraulico (W.S. Elevation) e velocità di deflusso ex-ante / ex-post del tutto simili; si evidenzia unicamente un lieve aumento della velocità di deflusso appena a monte del tombino con valori in senso assoluto nell'ordine massimo di 1,9 m/s.

5.3 Valutazioni sul franco idraulico del tombino

Le valutazioni sul franco idraulico del tombino sono state effettuate con riferimento alle indicazioni riportate nelle Norme di Attuazione del P.A.I – 2020 (art. 21, comma 2), relativamente ad opere di attraversamento trasversale con velocità medie della corrente inferiori ad 8 m/s, ovvero il valore massimo tra:

- 1) $0,7 v^2 / 2g$, dove v indica la velocità media della corrente;
- 2) il valore minimo del franco idraulico come definito dalle Norme tecniche per le costruzioni (NTC) di cui all'art. 52 del D.P.R. n. 380/2001 e delle relative circolari applicative;
- 3) $0,87\sqrt{y} + \alpha y'$, dove y è la profondità media della corrente, y' è l'altezza della corrente areata e α un coefficiente che varia linearmente tra 0 e 1 quando la velocità varia tra 5 m/s e 15 m/s, con le limitazioni che il valore $0,87\sqrt{y}$ sarà assunto al massimo pari a 1,5 ed y' viene assunto pari a 2 metri o alla profondità media y , se questa risulta minore di 2.

Il valore y della profondità media della corrente è pari alla media pesata sulla base del contributo di ciascuna area di sezione liquida associata alla corrispondente larghezza della corrente sul pelo libero. Nelle sezioni idrauliche non confinate o nelle quali vi siano zone ove le velocità medie sono modeste, per la valutazione dell'area bagnata attiva si considerano le sole parti aventi velocità della corrente superiori a 0,1 m/s.

La valutazione del franco idraulico è stata effettuata sia nella condizione di Tr 200 anni relativamente alla verifica di compatibilità idraulica del manufatto, come da vigente normativa NTC-2018, sia nella condizione Tr 500 anni, unicamente per una valutazione del Rischio Residuo e ritenendo, per ovvie ragioni, poco significative valutazioni del franco idraulico per tempi di ritorno inferiori.

5.3.1 Valutazioni franco idraulico Tr 200 anni (Compatibilità Idraulica)

- Condizione (1):

Considerando una velocità media, relativamente alle 2 sezioni immediatamente a monte ed alle 2 a valle del manufatto, pari a 1.39 m/s (Figura 5.12) si ottiene un valore del franco idraulico pari a 0.06 metri.

- Condizione (2):

Con riferimento alle NTC 2018 il tirante idrico deve essere inferiore ai 2/3 dell'altezza del tombino, garantendo comunque un minimo pari a 0.5 metri; tenuto conto dell'altezza del tombino (1,3 m) ciò implica un franco netto pari a 0.43 (1/3*h) m ovvero il valore minimo pari a 0.5 metri.

- Condizione (3):

Considerando una altezza media della corrente (y), relativamente alle 2 sezioni immediatamente a monte ed alle 2 valle del manufatto, pari a 0.53 m/s (Figura 5.12) e ponendo il coefficiente $\alpha=0$, essendo la velocità della corrente inferiore a 5 m/s, si ottiene un valore del franco idraulico pari a 0.63 metri; tale valore essendo il maggiore tra i 3 calcolati rappresenterà il franco idraulico di verifica.

Poiché la modellazione numerica indica valori del franco netto comunque superiori (Figura 5.16), il tombino per come dimensionato risulta idraulicamente compatibile.

Tabella 5-2: Valutazione franco idraulico (TR 200 anni) (Parametri da analisi Figura 5.16)

Tempo di Ritorno 200 anni	Altezza Tirante Idrico (metri)	Franco Netto (metri)
Sezione di Monte	0.45	0.85
Sezione di Valle	0.56	0.74

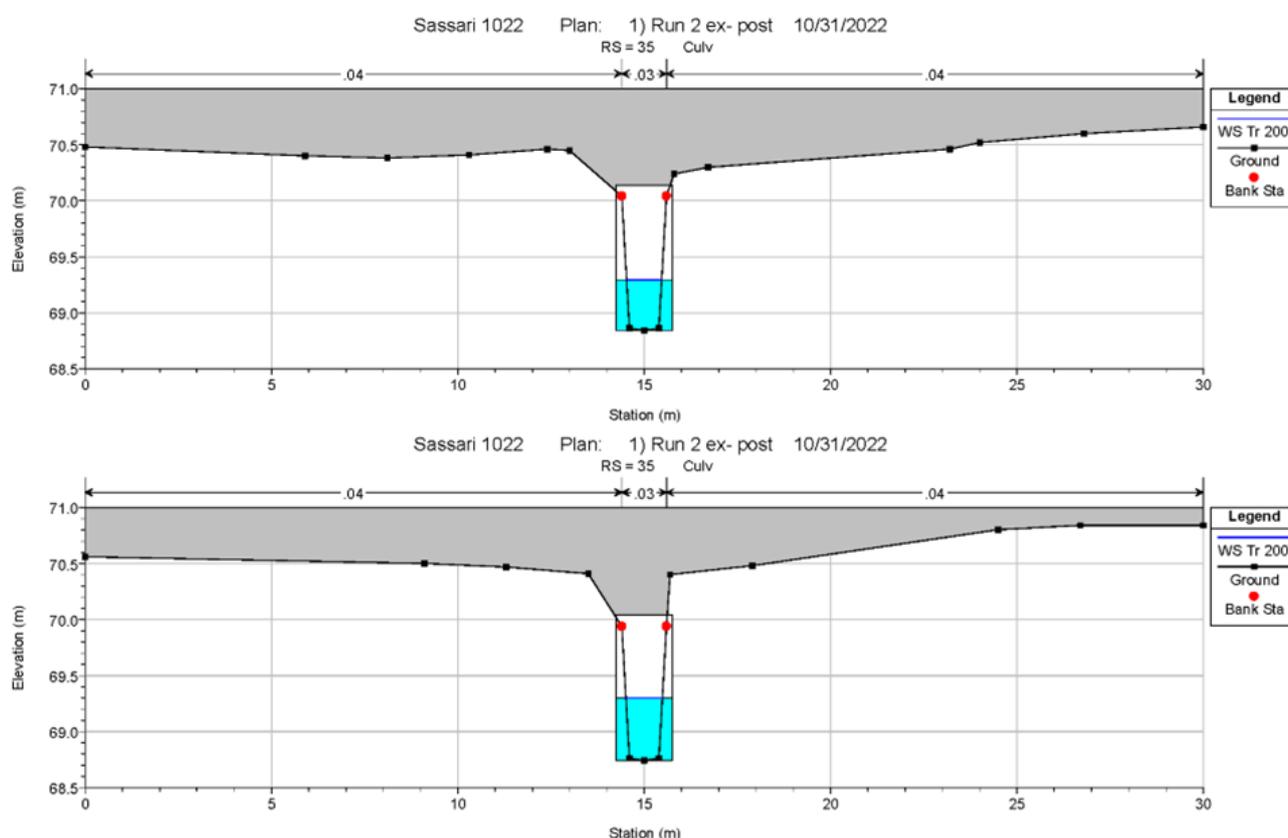


Figura 5.16: Sezioni tombino (scala altezza amplificata) con indicazione Tirante idrico Tr 200 anni

5.3.2 Valutazioni franco idraulico Tr 500 anni (Rischio residuo)

Condizione (1):

Considerando una velocità media, relativamente alle 2 sezioni immediatamente a monte ed a valle del manufatto, pari a 1.32 m/s (Figura 5.15) si ottiene un valore del franco idraulico pari a 0.07 metri.

Condizione (2):

Con riferimento alle NTC 2018 il tirante idrico deve essere inferiore ai 2/3 dell'altezza del tombino, garantendo comunque un minimo pari a 0.5 metri; tenuto conto dell'altezza del tombino (1,3 m) ciò implica un franco netto pari a 0.43 (1/3*h) m ovvero il valore minimo pari a 0.5 metri.

Condizione (3):

Considerando una altezza media della corrente (y), relativamente alle 2 sezioni immediatamente a monte ed alle 2 a valle del manufatto, pari a 0.53 m/s (Figura 5.15) e ponendo il coefficiente $\alpha=0$, poiché la velocità della corrente risulta inferiore a 5 m/s si ottiene un valore del franco idraulico pari a 0.63 metri; anche in questo tale valore risulta il più elevato e pertanto esso rappresenta il franco idraulico di verifica.

La modellazione numerica, anche in questo caso, indica valori del franco netto comunque superiori, seppur di poco ad indicare che il tombino. Per come dimensionato è comunque in grado di far defluire le portate di progetto.

Tabella 5-3: Valutazione franco idraulico (TR 500 anni) (parametri da analisi Figura 5.17)

Tempo di Ritorno 500 anni	Altezza Tirante Idrico (metri)	Franco Netto (metri)
Sezione di Monte	0.54	0.76
Sezione di Valle	0.64	0.66

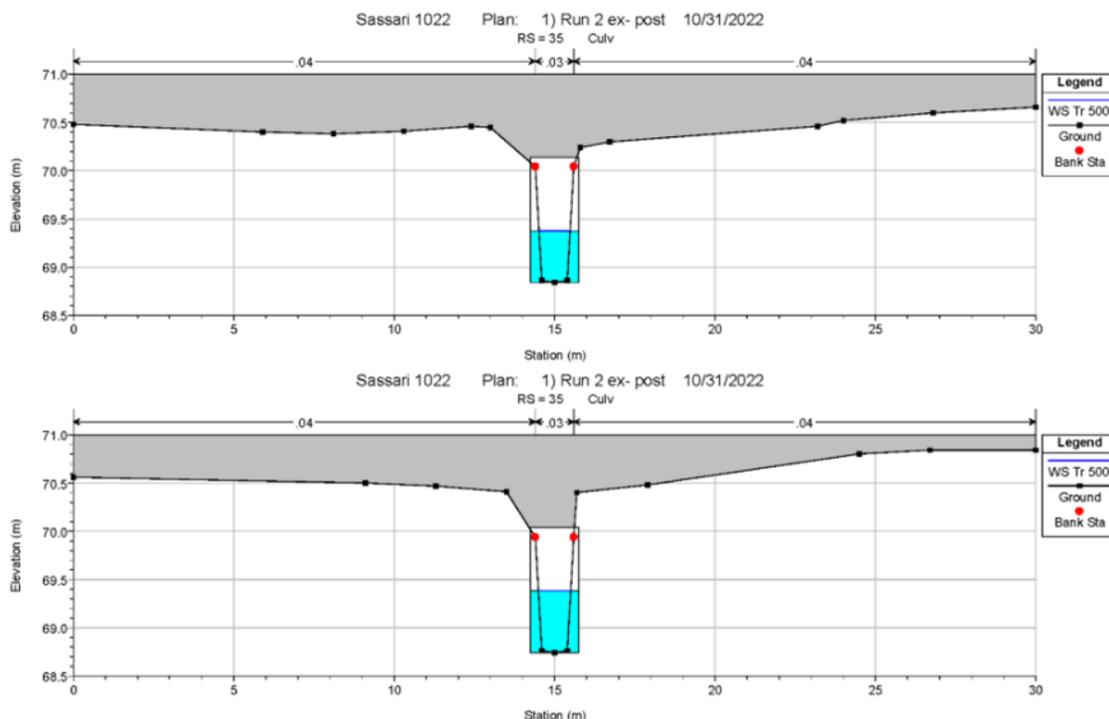


Figura 5.17: Sezioni tombino (scala altezza esagerata) con indicazione Tirante idrico Tr 500 anni

6 Conclusioni

I risultati finali dello studio, svolto sia da un punto di vista qualitativo che quantitativo, sono di seguito sinteticamente riepilogati:

- Analisi preliminare

L'analisi preliminare ha permesso di effettuare un inquadramento litologico, morfologico ed idrogeologico dell'area nonché una ricostruzione del sottobacino idrografico di interesse e del relativo reticolo idrografico.

- Studio Idrologico

Per il calcolo delle portate di massima piena è stata utilizzata la Formula Razionale basata sulla distribuzione TCEV, per come suggerito nelle Linee Guida PAI-Sardegna, considerando tutti e quattro in tempi di ritorno indicati nelle Linee Guida.

Il calcolo del Tempo di Corrivazione è stato effettuato secondo le formule illustrate nelle linee guida del P.A.I. utilizzando per le analisi il valore più basso tra quelli ottenuti.

- Studio Idraulico

La verifica di idoneità idraulica è stata effettuata in riferimento ad un tombino a sezione rettangolare con dimensioni pari a 1,5 metri x 1,3 metri, nell'ipotesi di pareti in calcestruzzo ed un'inclinazione pari a quella del pendio naturale (circa 1%).

L'analisi idraulica è stata condotta mediante modellazione numerica utilizzando i codici di calcolo del software HEC-RAS distribuito dallo U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineer Center nella sua versione 5.0.7, con modellazione monodimensionale.

La modellazione idraulica è stata effettuata sia in condizione ex ante che ex post per tutti i tempi di ritorno considerati.

Per la determinazione del franco idraulico, ai fini della verifica di compatibilità idraulica del manufatto è stato fatto riferimento alle indicazioni riportate nelle Norme di Attuazione del P.A.I – 2020 (art. 21, comma 2), relativamente ad opere di attraversamento trasversale con velocità medie della corrente inferiori ad 8 m/s.

La modellazione numerica indica che il tombino, per come dimensionato, è in grado di far defluire le portate di progetto, disponendo dei franchi idraulici previsti dalla normativa.

Novembre 2022

Ing. Daniele Cavallo
**Ordine Ingegneri Provincia
di Brindisi n. 1220**

Dott. Geol. Michele Ognibene
**Ordine Regionale geologi di
Sicilia
n. 3003**

Dott. Geol. Rosario Fria
**Ordine Regionale geologi di
Sicilia
n. 1663**

Appendice 01

Elaborati Cartografici

Tav: 01 - INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Scala 1:50.000

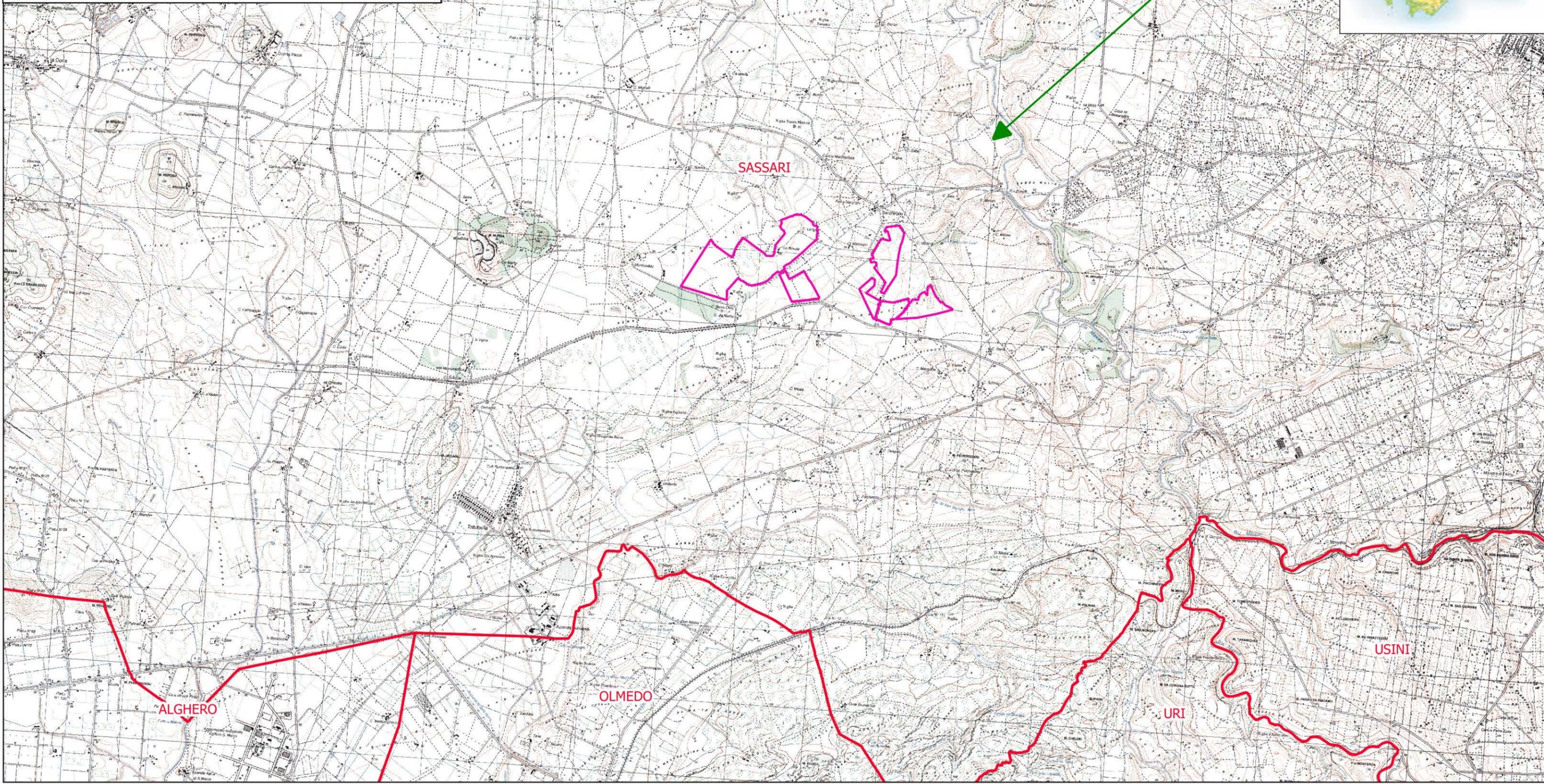
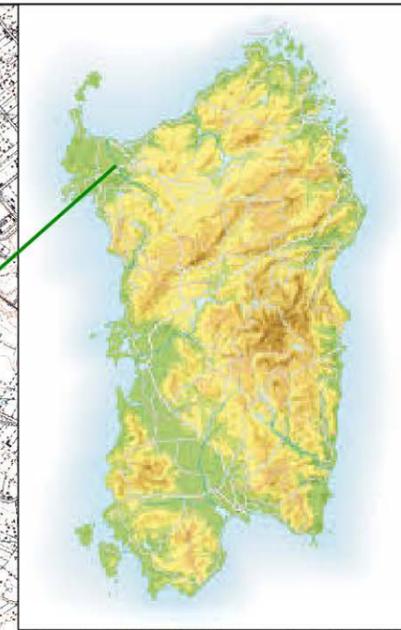
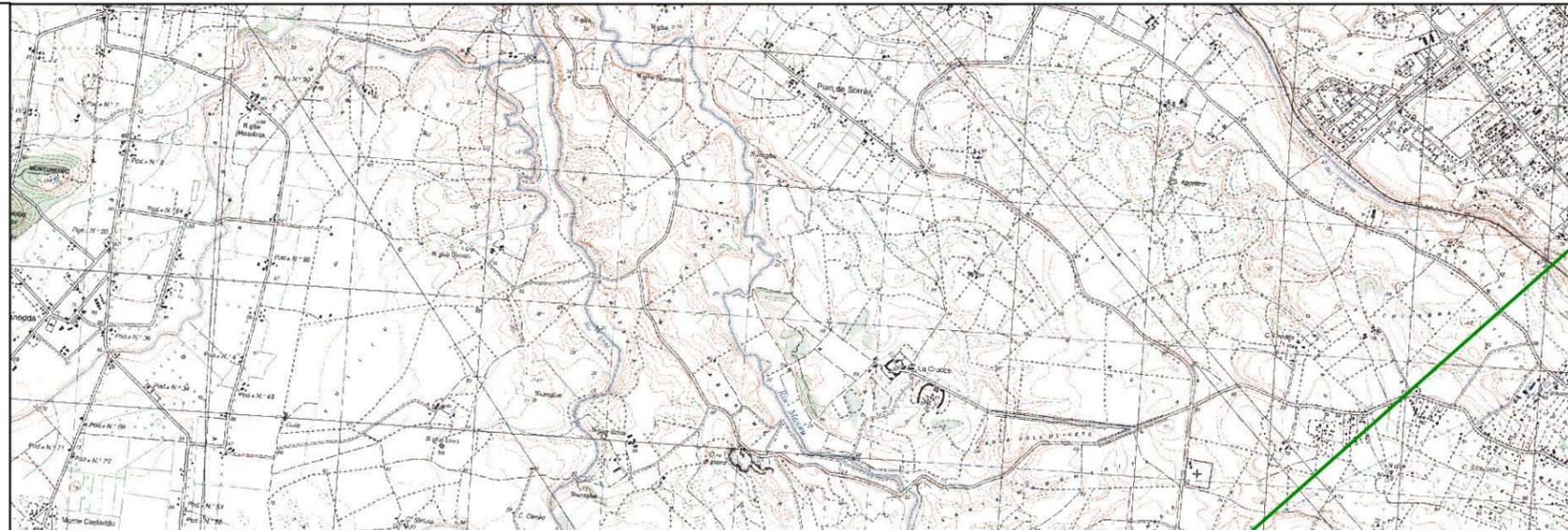
0 1 2 km



Legenda

— Limite Impianto agro-fotovoltaico

□ Limiti amministrativi Comunali



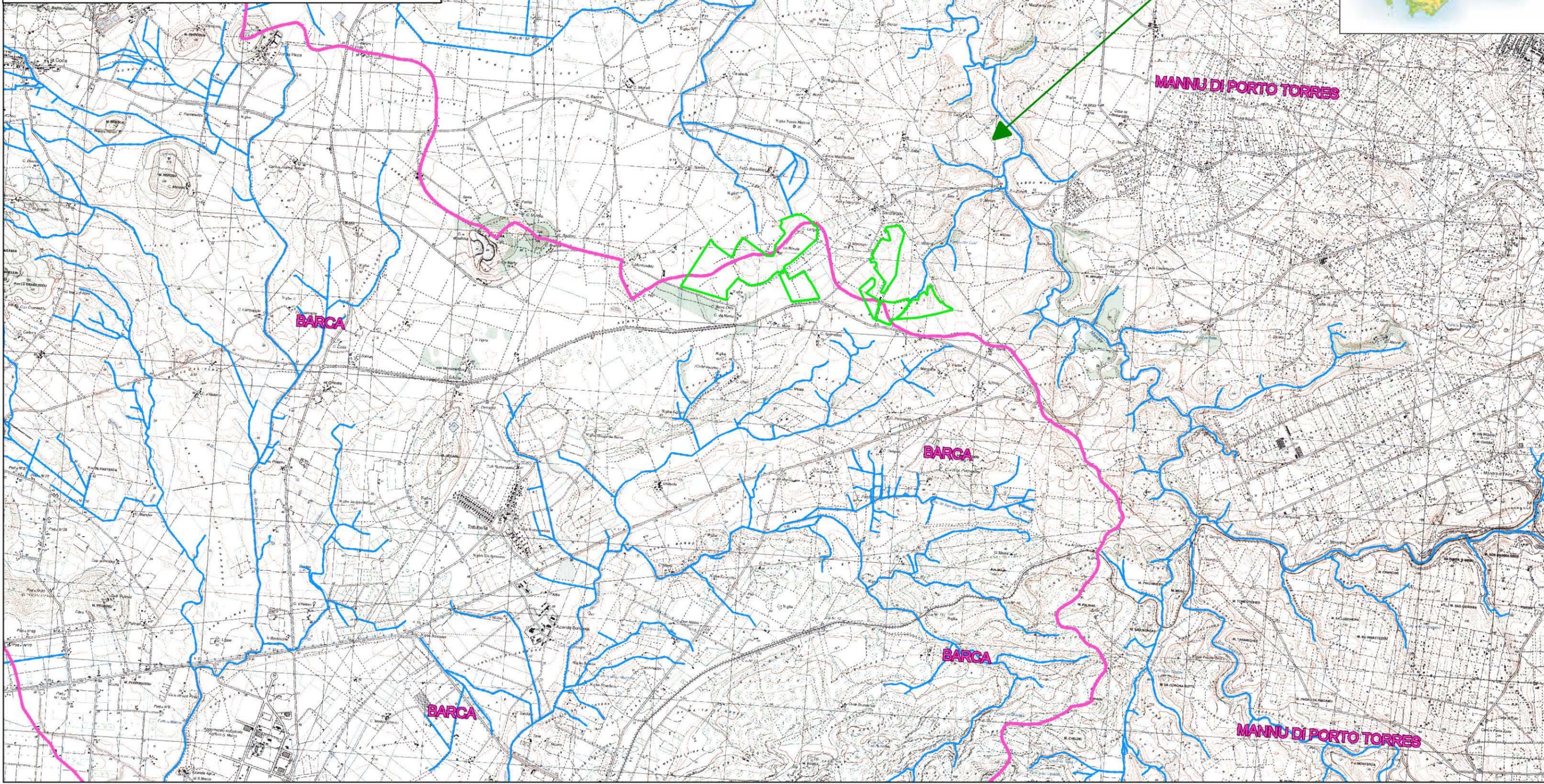
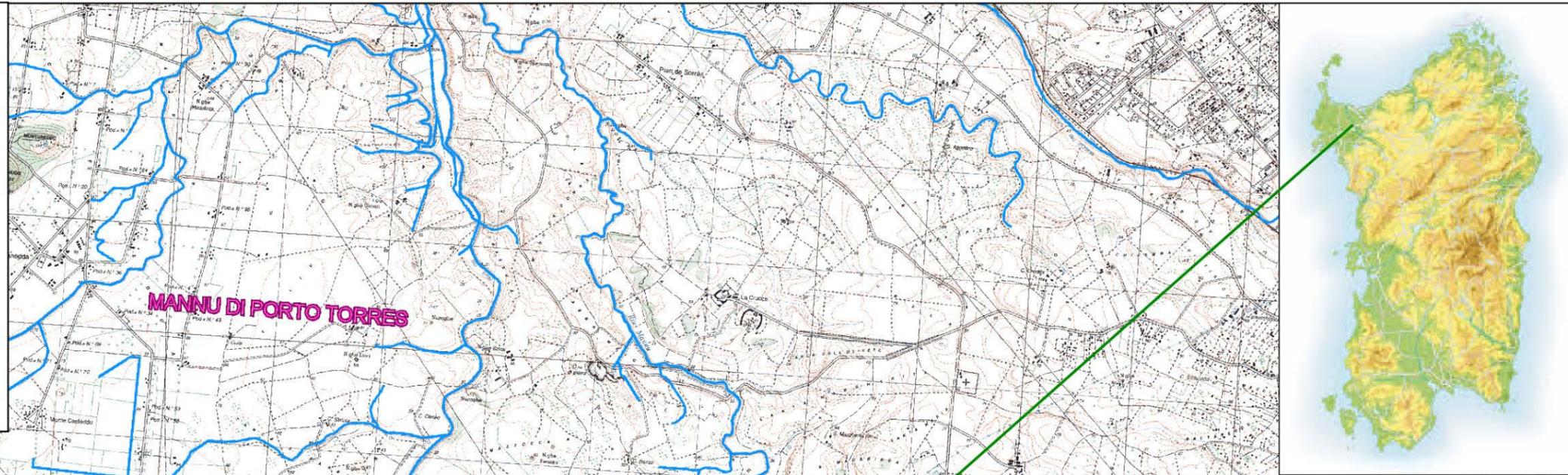
Tav: 02 - INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

Scala 1:50.000



Legenda

— Limite Impianto agro-fotovoltaico



Tav: 04 - CARTA QUOTE s.l.m.

Scala 1:10.000

0 250 500 m



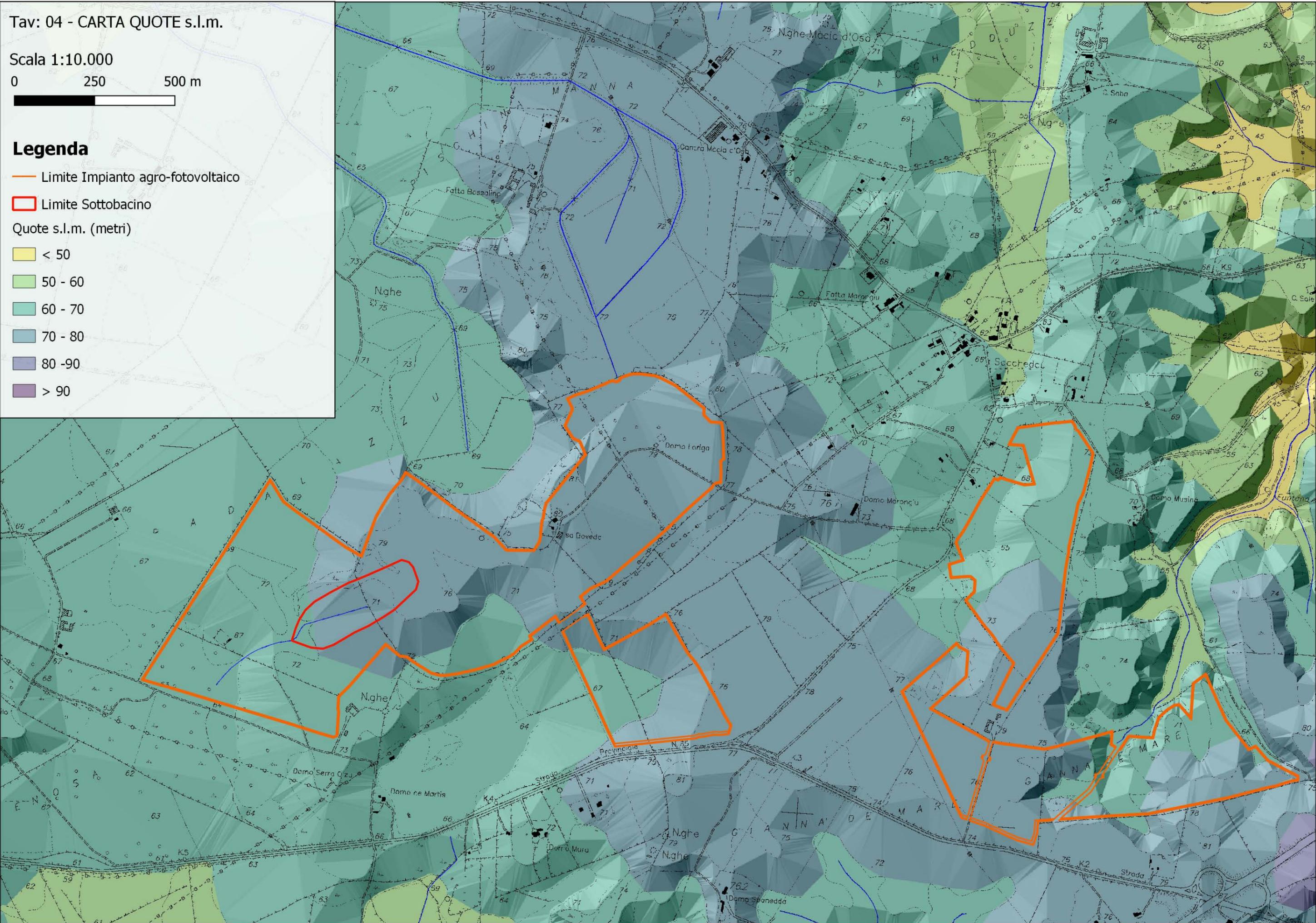
Legenda

— Limite Impianto agro-fotovoltaico

▭ Limite Sottobacino

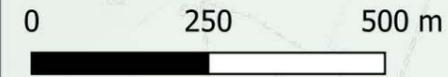
Quote s.l.m. (metri)

- < 50
- 50 - 60
- 60 - 70
- 70 - 80
- 80 - 90
- > 90



Tav: 05 - CARTA DELLE PENDENZE

Scala 1:10.000



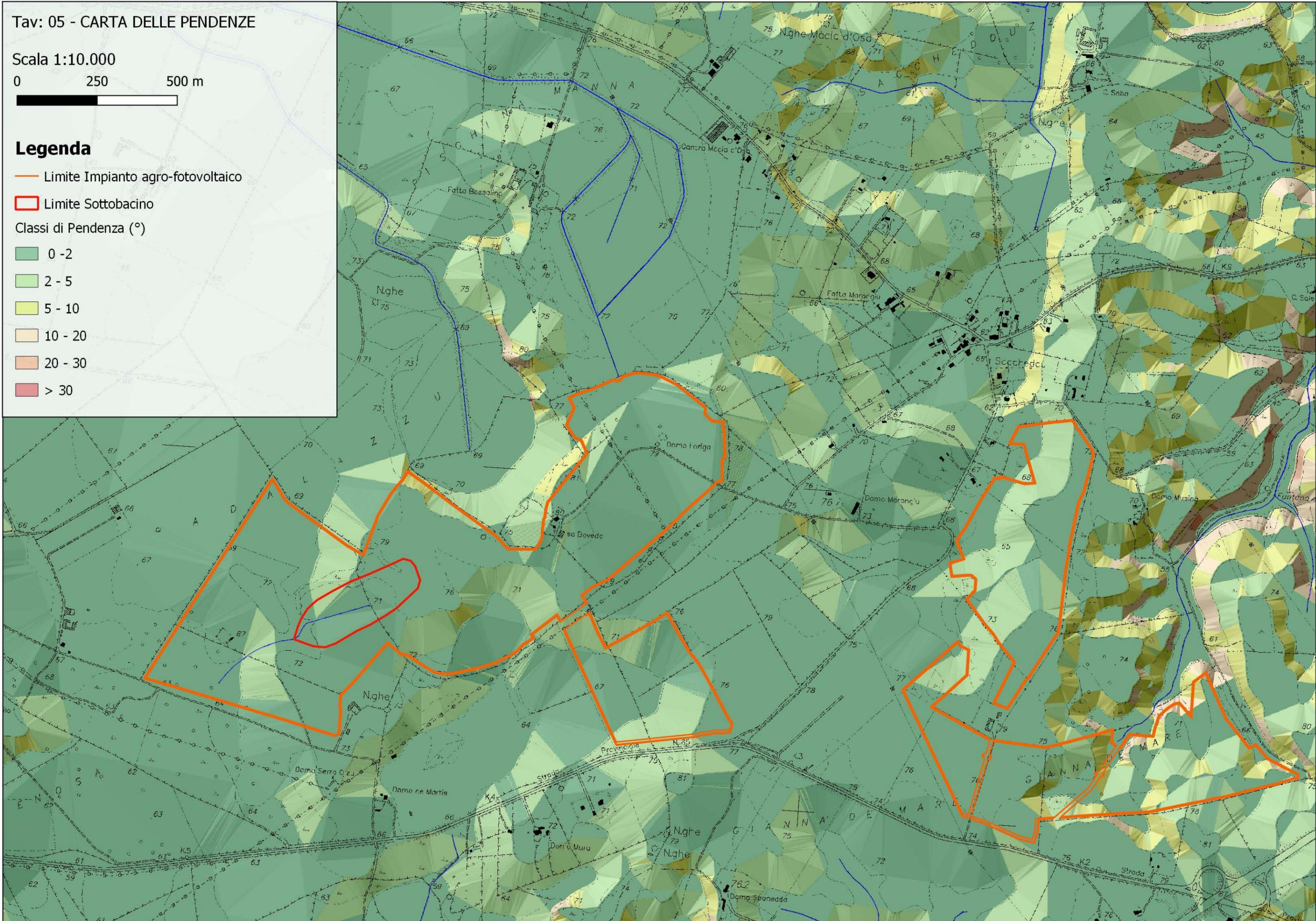
Legenda

— Limite Impianto agro-fotovoltaico

▭ Limite Sottobacino

Classi di Pendenza (°)

- 0 - 2
- 2 - 5
- 5 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- > 30



Tav: 06 - ESTRATTO CARTE P.A.I.

Scala 1:10.000

0 250 500 m



Legenda

— Limite Impianto agro-fotovoltaico

□ Limite Sottobacino

Rischio Geomorfologico Rev. 42 (Rischio Frana PAI)

- Rg0
- Rg1
- Rg2
- Rg3
- Rg4
- V

Art.8 Hg V.09 (Pericolo Frana Art.8)

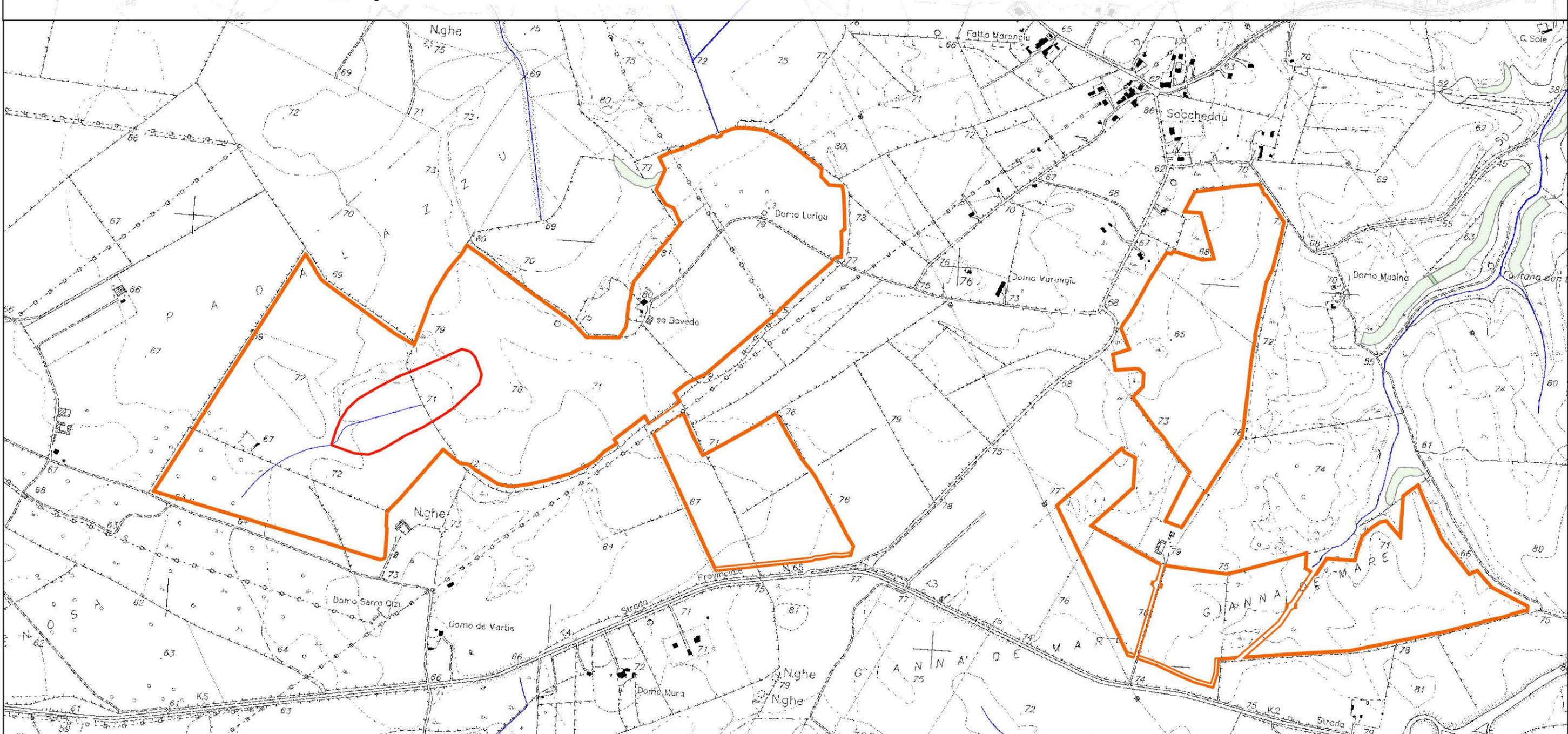
- Hg0
- Hg1
- Hg2
- Hg3
- Hg4

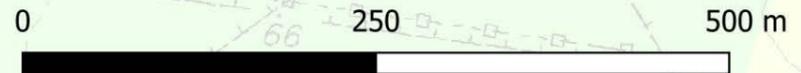
Rischio Idraulico Rev. 41 (Rischio Alluvioni PAI)

- Ri1
- Ri2
- Ri3
- Ri4

Art. 8 Hi V.09 (Pericolo Alluvioni Art.8)

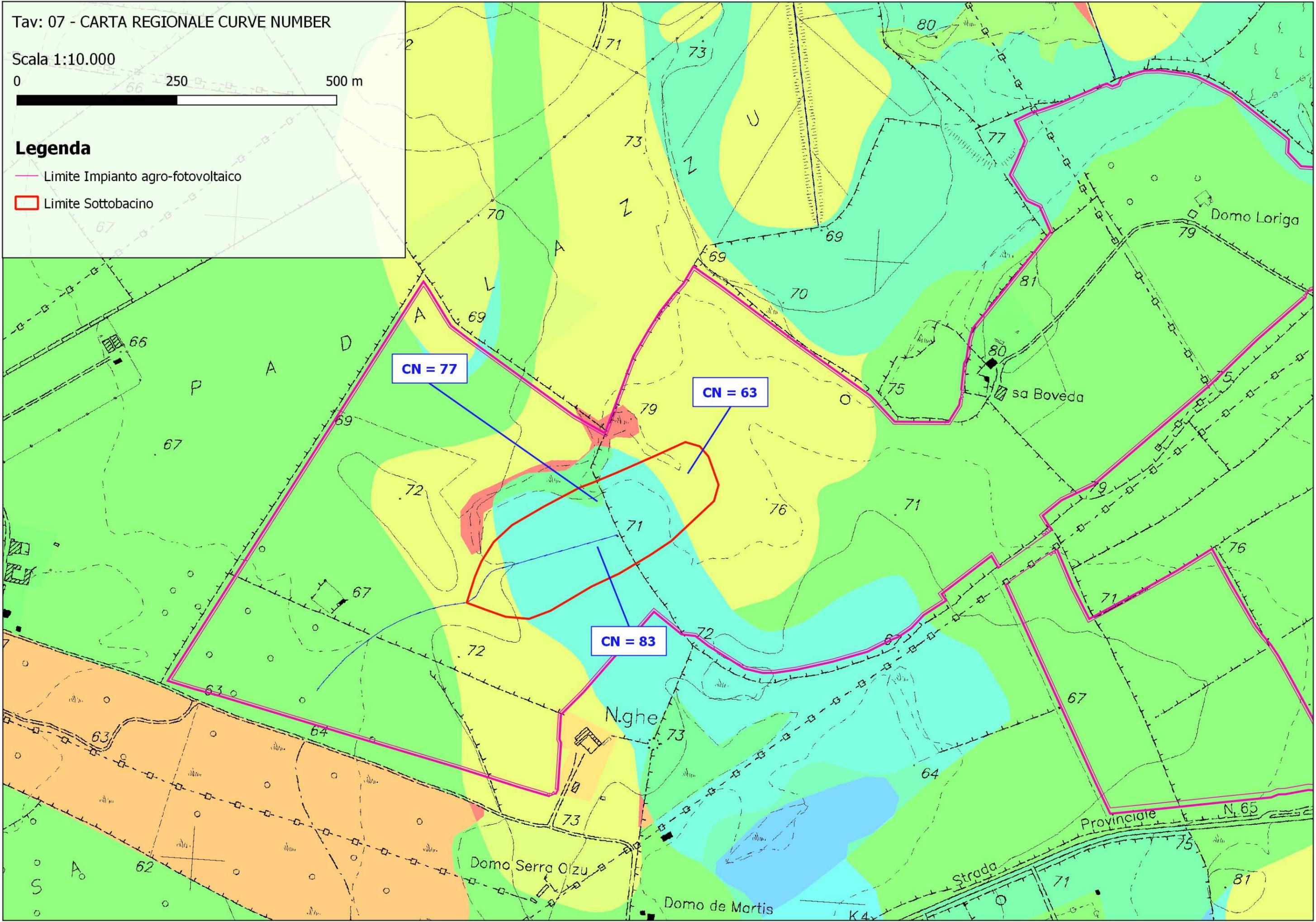
- Hi1
- Hi2
- Hi3
- Hi4





Legenda

- Limite Impianto agro-fotovoltaico
- ▭ Limite Sottobacino



CN = 77

CN = 63

CN = 83

Appendice 02

Calcoli Idrologici

CALCOLO PER TR 50 anni

a1 **20.257**
 n1 **0.303**
 u(g) **47**

minuti

< 1h

a2	2.279596
n2	0.123925
T	50
KT	2.764

> 1h

a2	2.279626
n2	-0.0126
T	50
KT	2.230

Ab **0.053** Km2
 CN **77.5**
 Tc **0.300** ore
 S 73.742
 Ia 14.748
 Tf 0.382
 Θc 0.68
 φ 0.15
 ARF 0.9840

18 min

40.93

minuti	Piogge brevi <1 ora		Piogge > 1ora	
5	0.0833	15.99	1	46.18
10	0.1667	21.49	2	62.08
15	0.2500	25.55	3	73.81
30	0.5000	34.35	6	99.22
45	0.7500	40.84	12	133.38
60	1.0000	46.18	24	179.30
40.93	0.6821	39.22		

Hc
I(fc,r)
38.59

Q **0.31**

ln (ab) -2.93746
 ln 4,6- 2.019886
 elev di Tc -0.35799
 Ab^ 0.353503
 φ NUM 568.6426
 φ DEN 97.588
 h netta 5.826963

CALCOLO PER TR 100 anni

a1 **20.257** minuti
 n1 **0.303**
 u(g) **47**

< 1h

a2	2.60522
n2	0.157628
T	100
KT	3.331

> 1h

a2	2.60525
n2	-0.01383
T	100
KT	2.542

Ab **0.053** Km2
 CN **77.5**
 Tc **0.300** ore 18 min
 S 73.742
 Ia 14.748
 Tf 0.347
 Θc 0.65 38.83
 φ 0.18
 ARF 0.9837

Piogge brevi <1 ora		Piogge > 1ora	
5	0.0833	16.80	1 52.77
10	0.1667	23.12	2 72.62
15	0.2500	27.87	3 87.53
30	0.5000	38.35	6 120.45
45	0.7500	46.22	12 165.74
60	1.0000	52.77	24 228.07
38.83	0.6471	43.19	

42.49


Hc
I(fc,r)

Q **0.40**

ln (ab) -2.93746
 ln 4,6- 2.019886
 elev di Tc -0.35799
 Ab^ 0.353503
 φ NUM 769.3695
 φ DEN 101.479
 h netta 7.58153

CALCOLO PER TR 200 anni

a1 **20.257** minuti
 n1 **0.303**
 u(g) **47**

< 1h
 a2 2.930844
 n2 0.184906
 T **200**
 KT 3.911

> 1h
 a2 2.930874
 n2 -0.01506
 T **200**
 KT 2.851

Ab **0.053** Km2
 CN **77.5**
 Tc **0.300** ore 18 min
 S 73.742
 Ia 14.748
 Tf 0.319
 Θc 0.62 37.15
 φ 0.20
 ARF 0.9835

Piogge brevi <1 ora		Piogge > 1ora	
5	0.0833	17.67	1 59.37
10	0.1667	24.77	2 83.26
15	0.2500	30.19	3 101.47
30	0.5000	42.34	6 142.29
45	0.7500	51.60	12 199.54
60	1.0000	59.37	24 279.81
37.15	0.6191	46.99	

Q **0.50**

46.21
 Hc
 l(fc,r)

ln (ab) -2.93746
 ln 4,6- 2.019886
 elev di Tc -0.35799
 Ab^ 0.353503
 φ NUM 989.9624
 φ DEN 105.206
 h netta 9.409788

CALCOLO PER TR 500 anni

a1 **20.257** minuti
 n1 **0.303**
 u(g) **47**

< 1h
 a2 3.361296
 n2 0.211104
 T **500**
 KT 4.673

> 1h
 a2 3.361326
 n2 -0.01669
 T **500**
 KT 3.258

Ab **0.053** Km2
 CN **77.5**
 Tc **0.300** ore 18 min
 S 73.742
 Ia 14.748
 Tf 0.289
 Θc 0.59 35.35
 φ 0.23
 ARF 0.9832

Piogge brevi <1 ora		Piogge > 1ora		
5	0.0833	18.98	1	68.09
10	0.1667	27.11	2	97.23
15	0.2500	33.39	3	119.77
30	0.5000	47.68	6	171.03
45	0.7500	58.73	12	244.23
60	1.0000	68.09	24	348.77
35.35	0.5892	51.88		

Q **0.63**

51.00
 Hc
 l(fc,r)

ln (ab) -2.93746
 ln 4,6- 2.019886
 elev di Tc -0.35799
 Ab^ 0.353503
 φ NUM 1314.454
 φ DEN 109.997
 h netta 11.94987