



PROGETTO DI UN PIANO DI LOTTIZZAZIONE IN UN AREA SITA IN C.DA S. M. DEL FOCALLO IN AREA CT SOTTOZONA CT1 DEL P.R.G. IN CATASTO AL FOGLIO 9 P.LLE 93-95-222-674-675-676-482-88-89-90 196-199-479-926-380-86

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA-IDRAULICA

COMMITTENTI: DISTEFANO MARCO, DISTEFANO SILVANA, SAIJA PIETRO, CAMPANELLA CARMELO, MACAUDA ROSA, CATAUDELLA GIORGIO, MATTIOLI SANTA

DOTT. GEOL. PAOLO MOZZICATO

DOTT. GEOL. GIUSEPPE GIUDICE

PREMESSA	3
1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
3. MODELLAZIONE IDROLOGICA	6
3.1 ANALISI PLUVIOMETRICA.....	11
4. DETERMINAZIONE DEGLI IETOGRAMMI DI PROGETTO: SCELTA DELLA DURATA CRITICA DELL'EVENTO E DELLA DISTRIBUZIONE TEMPORALE DELLE PRECIPITAZIONI.	15
4.1 DURATA CRITICA-TEMPO DI CORRIVAZIONE.....	15
4.2 IETOGRAMMA DI PROGETTO	17
4.3 TRASFORMAZIONE AFFLUSSI DEFLUSSI	26
4.4 GENERAZIONE IDROGRAMMA DI PIENA.....	28
5. MODELLAZIONE IDRAULICA.....	35
6. USO DI MODELLI IDRAULICI 2D IN AMBITO URBANO.....	36
7. PREDISPOSIZIONE DEI DATI PLANO-ALTIMETRICI PER L'ANALISI IDRAULICA.....	37
8. DEFINIZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO.....	39
8.1 DELIMITAZIONE DEI DOMINI 2D E LORO CONDIZIONI AL CONTORNO.....	39
9.2 DEFINIZIONE DELLA SCABREZZA IDRAULICA	43
10. DEFINIZIONE DEGLI ELEMENTI ESPOSTI	46
11. VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO.....	46
12. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE 2D (SCENARI SIMULATI).....	47
RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE 2D	47
13. CALIBRAZIONE	47
14. CONCLUSIONI.....	48

ALLEGATI:

CARTE DELLA PERICOLOSITÀ, DEL RISCHIO, DEI TIRANTI IDRICI E DELLA VELOCITÀ

PREMESSA

Il progetto prevede la qualificazione urbanistica di un'area sita in C.da S. M. del Focallo zona CT sottozona CT1 del P.R.G. del Comune di Pozzallo.

Come richiesto dall'art. 26 comma 1 della LR 19/2020 e sue linee guida DARTA 117 Gab. del 07/07/2021 lo studio secondo le indicazioni riportate nel D. Ass. R. Sicilia 07/07/2021 "Approvazione del documento che disciplina lo studio di compatibilità idraulica (invarianza idraulica e idrologica), di cui all'art. 22, comma 6, lett. d), della legge regionale 13 agosto 2020, n. 19" per la qualificazione urbanistica di un'area ricadente in ambito urbano si è provveduto a redigere il presente studio di compatibilità idrologico-idraulico.

Lo studio è commisurato all'entità e dimensione dell'intervento e alle effettive problematiche dell'area di intervento e di un suo congruo intorno, da premettere che l'area oggetto di studio ricade in ambito periurbano che ne rende estremamente onerosa la definizione. Il modello di calcolo adottato è pertanto subordinato al grado di approssimazione richiesto, ai risultati, all'onere economico sopportabile per le elaborazioni e per l'acquisizione dei dati.

1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Norme di attuazione del "Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico" della Regione Siciliana, approvate con Decreto del Presidente della Regione 6 maggio 2021.

Comma 1 dell'art. 26 della LR n. 19/2020, disciplinato secondo le "linee guida" di cui al Decreto Assessoriale del Territorio e dell'Ambiente n. 117 Gab. del 07/07/2021.

LR 13 agosto 2020, n. 19 "Norme per il governo del territorio".

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

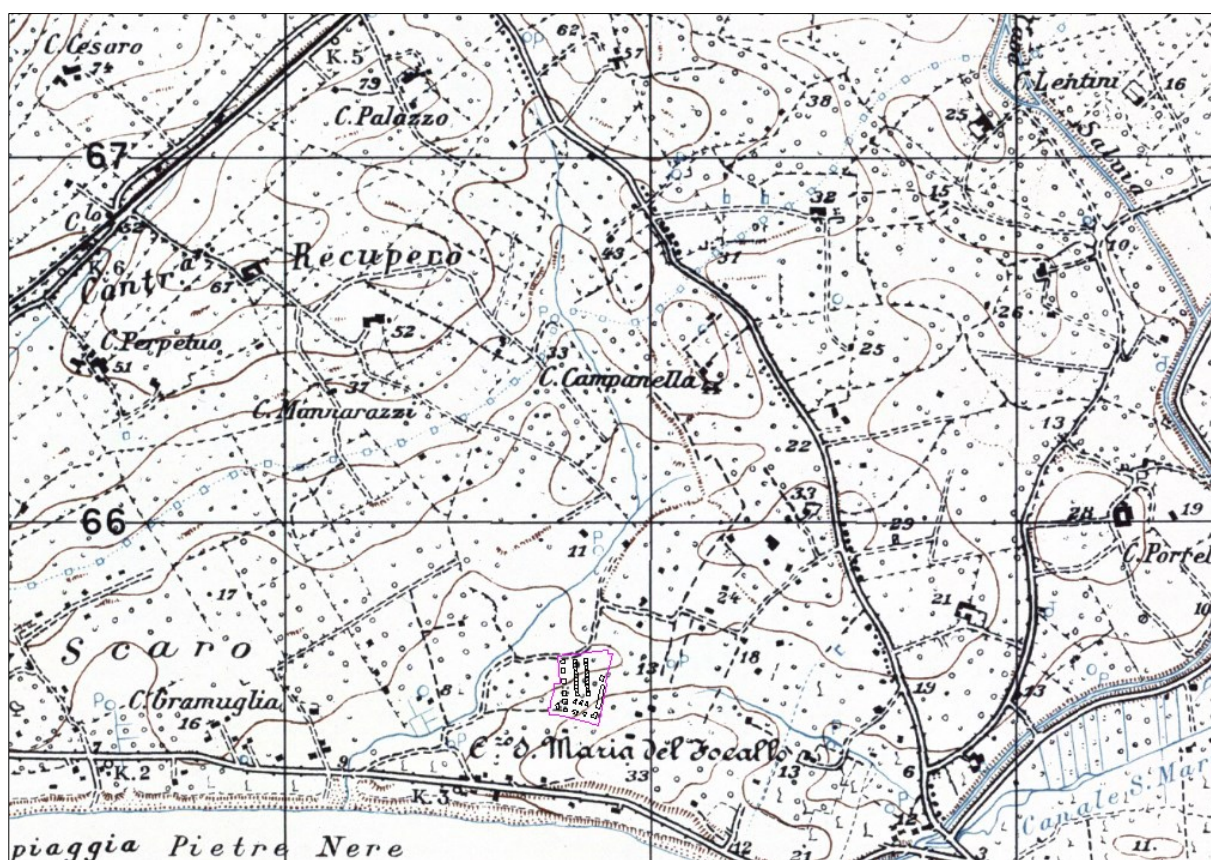
L'intervento in progetto ricade nel territorio del Comune di Pozzallo, con quota media di 13 m s.l.m., e riguarda la qualificazione urbanistica di un'area ricadente in zona CT sottozona CT1 del territorio comunale di Pozzallo. Tale intervento ricade nel bacino idrografico del Area territoriale tra il T. di Modica e Capo Passero (084).

Il sito oggetto di studio è ubicato nel Comune di Pozzallo in C.da Santa Maria del Focallo, ed è identificato in Catasto Terreni al F. 9 p.lle 93-95-222-674-675-676-482-88-89-90-196-199-479-926-380-86.

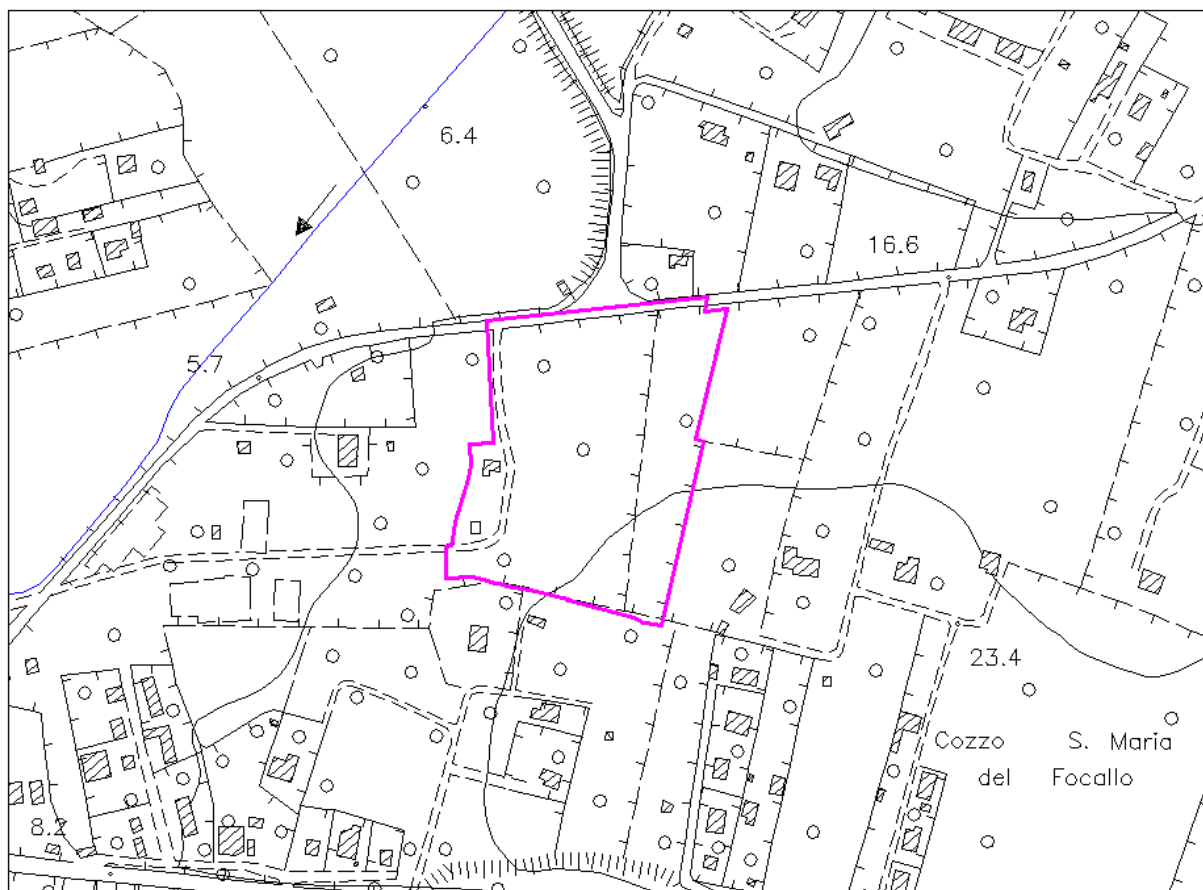
Geograficamente il sito ricade nella tavoletta di Pozzallo II SE del F. 276 della Carta d'Italia in scala 1:25.000 dell'I.G.M. e della C.T.R. 651070 sezione Pozzallo, inoltre, è identificato dalle seguenti coordinate geografiche intese al centro dell'area (sistema di riferimento geografico WGS84):

Latitudine:	36.733765°
Longitudine:	14.885178°

Complessivamente l'area oggetto di qualificazione urbanistica ricoprirà una superficie di 23.385 mq.



UBICAZIONE AREA DI QUALIFICAZIONE URBANISTICA IGM 1:25:000 F. 276 II SE POZZALLO



UBICAZIONE AREA DI QUALIFICAZIONE URBANISTICA CTR 651070 SEZ. POZZALLO



CATASTO TERRENI F.9 P.LLA 30



ORTOFOTO UBICAZIONE AREA DI QUALIFICAZIONE URBANISTICA

3. MODELLAZIONE IDROLOGICA

Lo studio idrologico è articolato nelle fasi seguenti:

- definizione e caratterizzazione dei bacini idrografici mediante l'individuazione dei principali parametri morfologici.
- determinazione degli afflussi meteorici mediante il metodo della regionalizzazione delle precipitazioni sviluppato per la redazione della Relazione Generale del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrologico dell'Assessorato Territorio e Ambiente della Regione Sicilia;
- caratterizzazione dei bacini relativamente ai parametri influenzanti la trasformazione afflussi deflussi quali: la litologia, la pedologia, la copertura e la permeabilità.

Per eseguire lo studio idrologico dell'area oggetto di intervento è stato necessario determinare il reticolo idrografico.

La prima fase dello studio si concentra sull'individuazione del bacino di riferimento sotteso dalla sezione di chiusura considerata per l'analisi idrologica.

La caratterizzazione della rete idrografica superficiale è stata condotta in prima battuta facendo riferimento alla cartografia tecnica regionale in formato digitale a scala 1:10.000 e foto aeree, per poi approfondire lo studio tramite un modello digitale delle quote del terreno (DTM) avente

dimensione delle celle di 2mx2m derivato da dati LIDAR volo ATA 2012-2013 Regione Siciliana. Si è fatto riferimento, inoltre, alla carta dell'uso del suolo Corine Land Cover (CLC) aggiornato al 2018 e al substrato geologico dell'area in esame.

Il modello digitale del terreno è stato integrato con il modello digitale degli edifici e degli ostacoli al deflusso quali muri e attraversamenti. Il bacino presenta al suo interno parti "naturali", e parti urbanizzate e/o edificate, tratti di reticolo idrografico naturali e tratti di reticolo idrografico "artificiali".

Nello specifico si è utilizzato il software free LEKAN 2.3.3, il quale consente di rappresentare potenzialmente il reticolo di drenaggio ed i bacini idrografici utilizzando una procedura automatica ovvero semi-automatica (integrata da elaborazioni manuali) in caso di condizioni singolari generalmente associate a bacini antropizzati, inoltre si è eseguita un'interpretazione preliminare della base cartografica disponibile (CTR e ortofoto) per la verifica della conformità morfologica dei reticoli e bacini estratti dal DTM per valutare le opportune modifiche al DTM originale.

La delimitazione delle aree contribuenti ha permesso di quantificare le grandezze morfometriche utilizzate per la stima del tempo critico del deflusso nel bacino.

Le sezioni di chiusura sono state poste a monte e a valle dell'area di intervento urbanistico, individuando rispettivamente i bacini idrografici 1 e 2.

PARAMETRI MORFOMETRICI DEL BACINO 1

Area totale 3D (km ²)	1,434
Quota media (m slm)	47,2
Pendenza media bacino (%)	7,29
Lunghezza asta principale K(m)	2,927
Salto di quota	88,3

PARAMETRI MORFOMETRICI DEL BACINO 2

Area totale 3D (km ²)	0,263
Quota media (m slm)	68,3
Pendenza media bacino (%)	6,48
Lunghezza asta principale (km)	1,36
Salto di quota	67,5

PARAMETRI MORFOMETRICI DEL BACINO 3

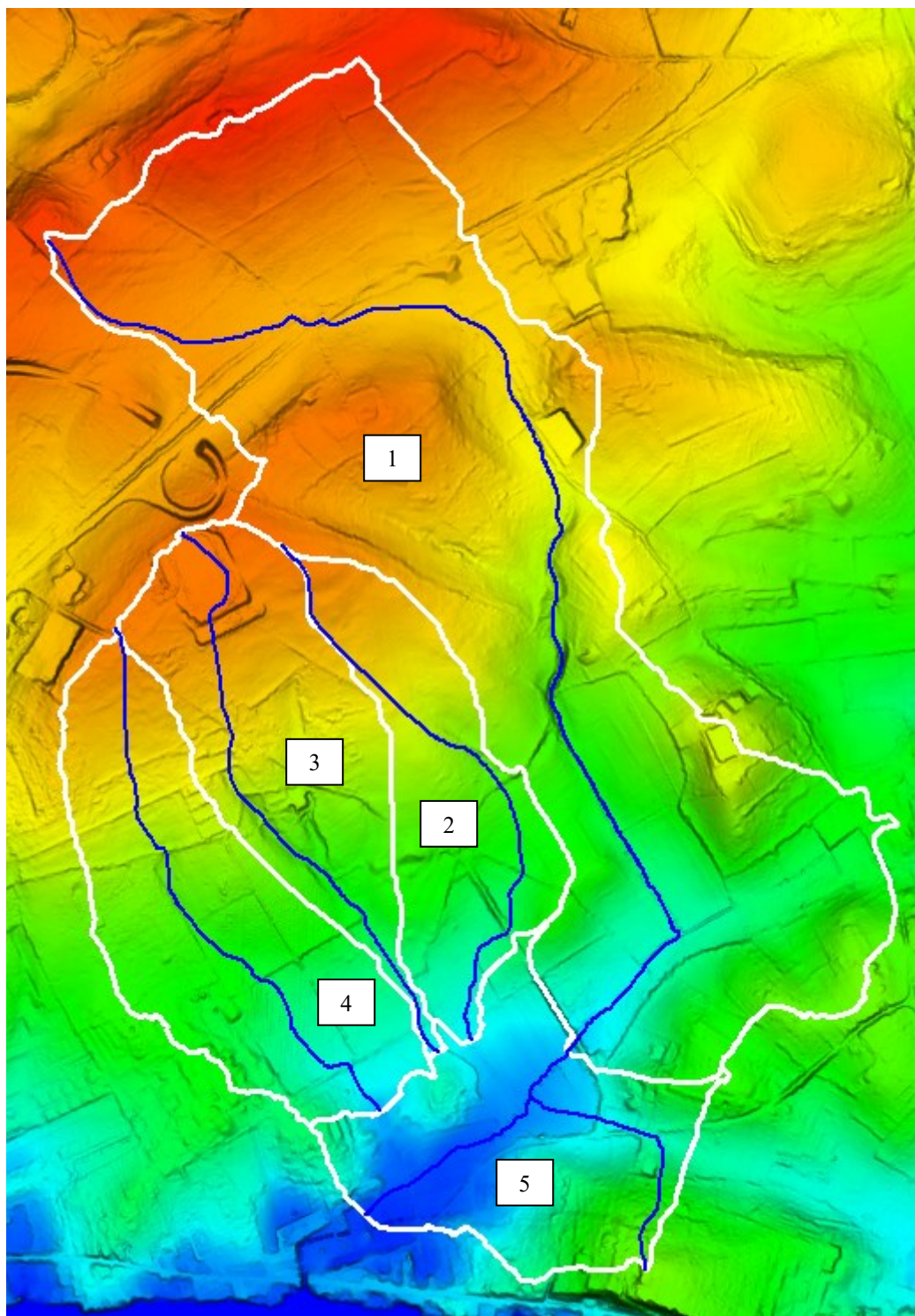
Area totale 3D (km ²)	0,33
Quota media (m slm)	48,3
Pendenza media bacino (%)	7,65
Lunghezza asta principale K(m)	1,379
Salto di quota	69,1

PARAMETRI MORFOMETRICI DEL BACINO 4

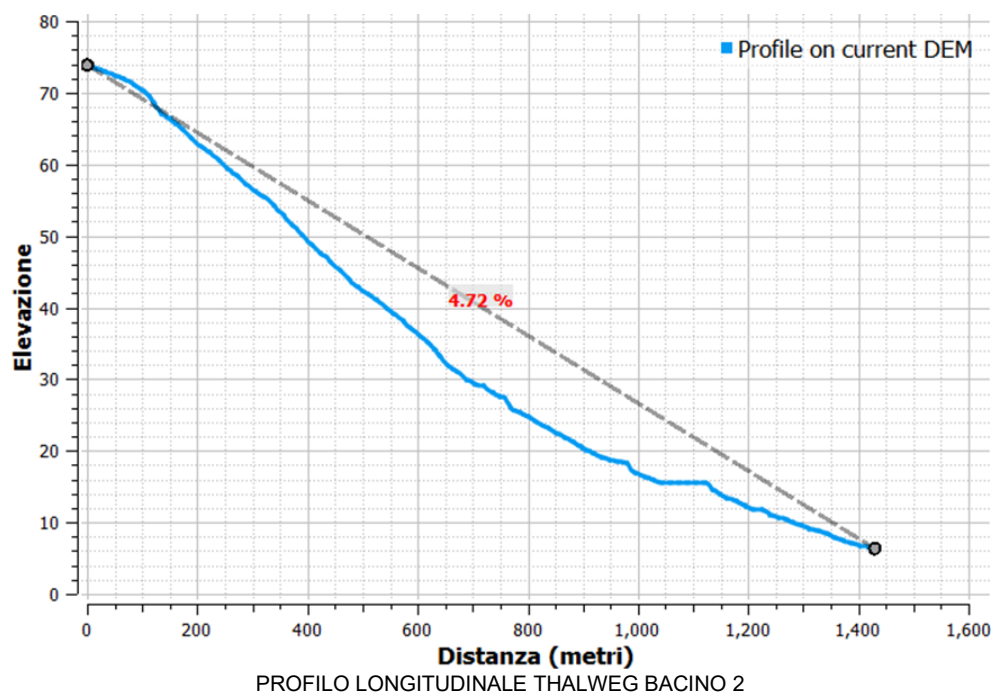
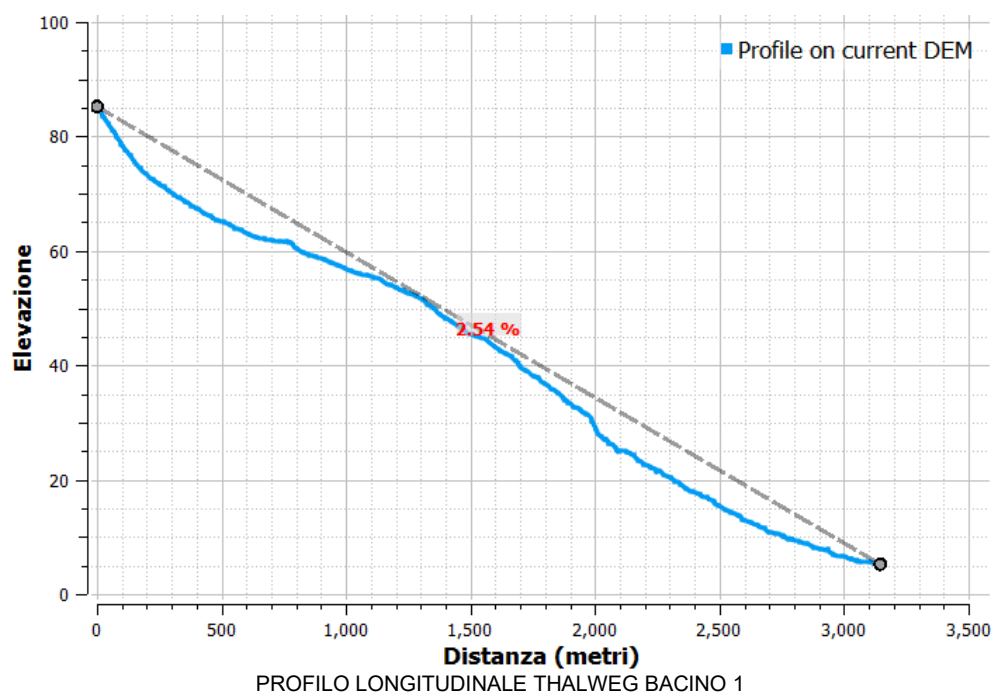
Area totale 3D (km ²)	0,399
Quota media (m slm)	29,0
Pendenza media bacino (%)	6,09
Lunghezza asta principale (km)	1,322
Salto di quota	67,5

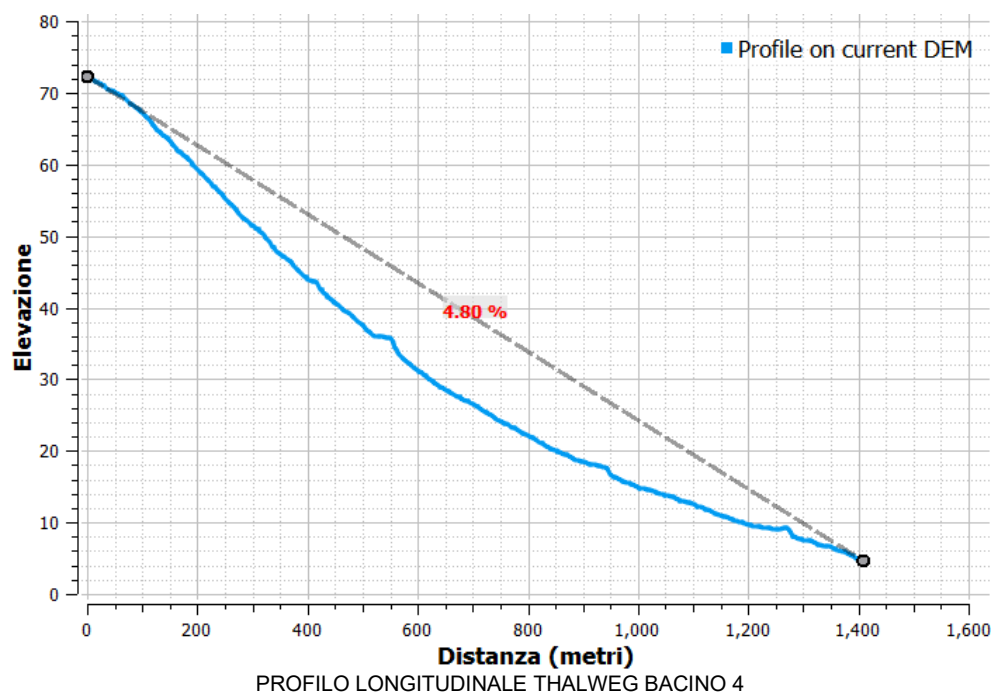
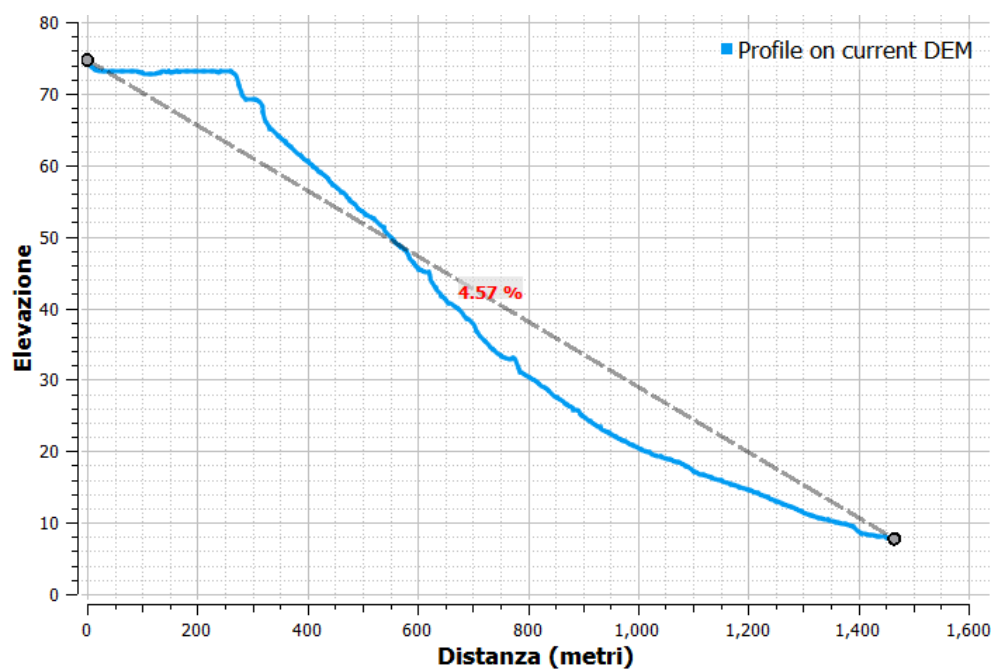
PARAMETRI MORFOMETRICI DEL BACINO 5

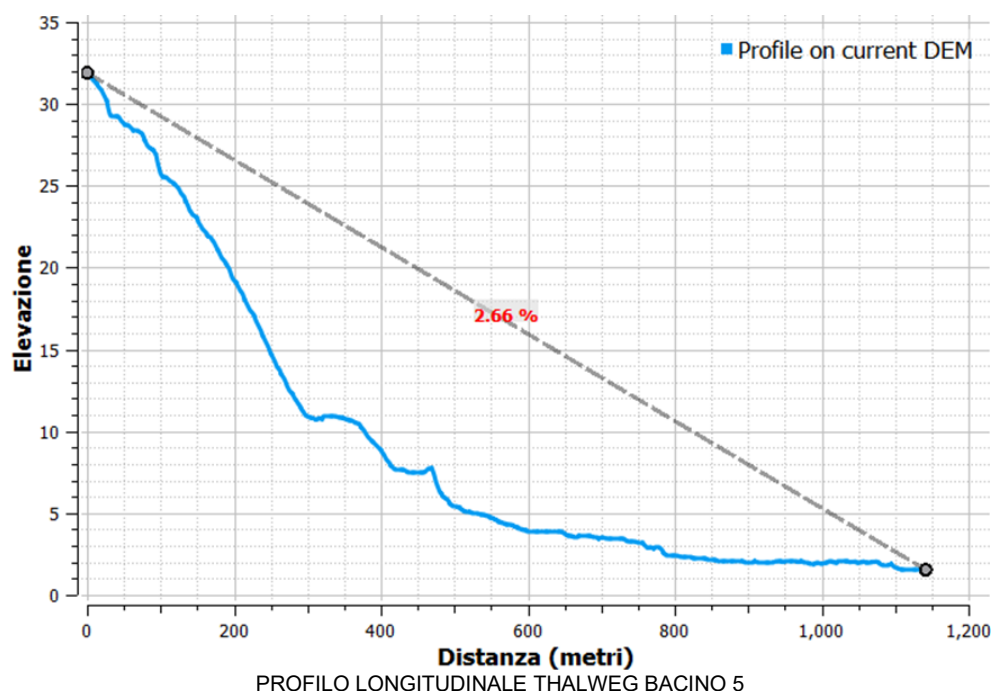
Area totale 3D (km ²)	0,333
Quota media (m slm)	9,0
Pendenza media bacino (%)	6,22
Lunghezza asta principale (km)	1,058
Salto di quota	31,6



BACINI IDROGRAFICI







3.1 ANALISI PLUVIOMETRICA

Essendo il bacino sprovvisto di stazione pluviometrica al fine di ottenere la relazione tra altezze e durata di pioggia di assegnato tempo di ritorno si sono utilizzate le curve di probabilità pluviometrica riportate nella Relazione Generale PAI:

$$h_{t,T} = K_T a t^n$$

in cui $h_{t,T}$ è l'altezza di pioggia di durata t e tempo di ritorno T , mentre K_T è il coefficiente di scala, detto coefficiente di crescita, che dipende dal tempo di ritorno T e dal coefficiente di variazione della stazione CV attraverso la seguente relazione:

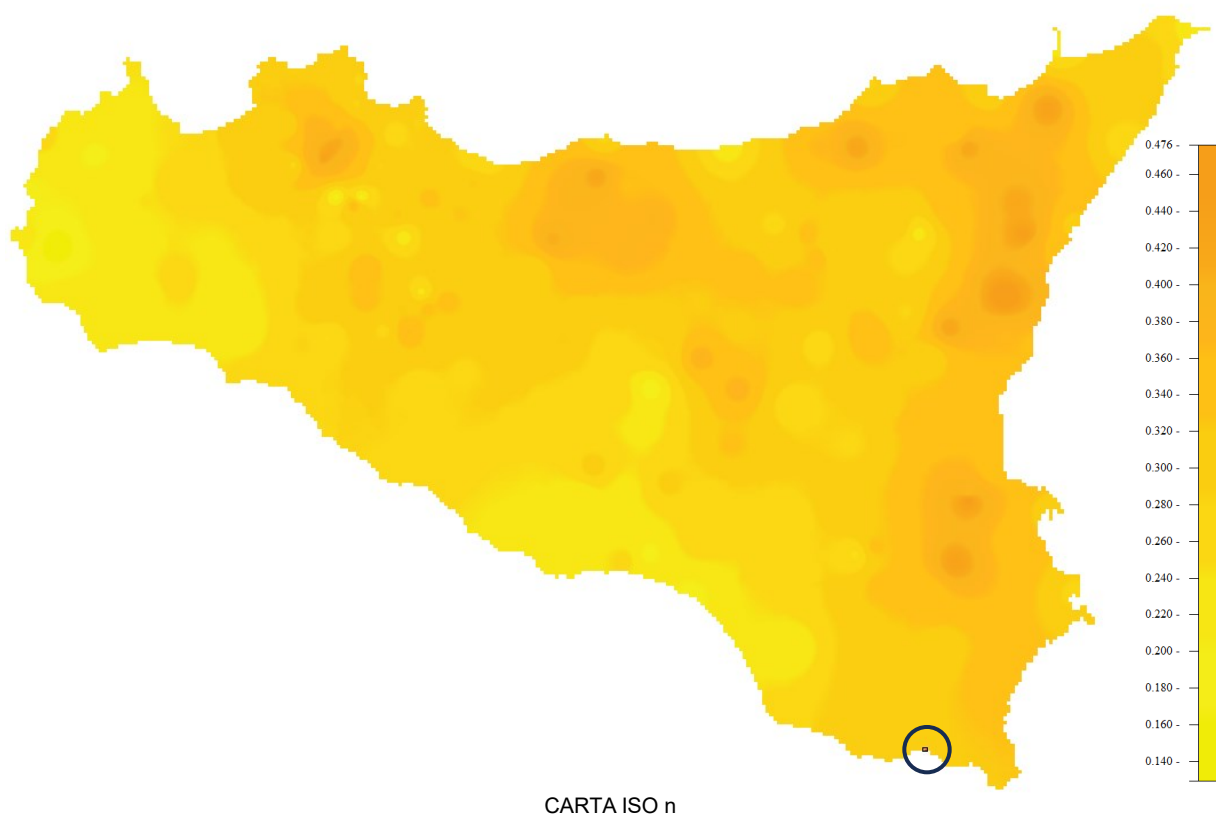
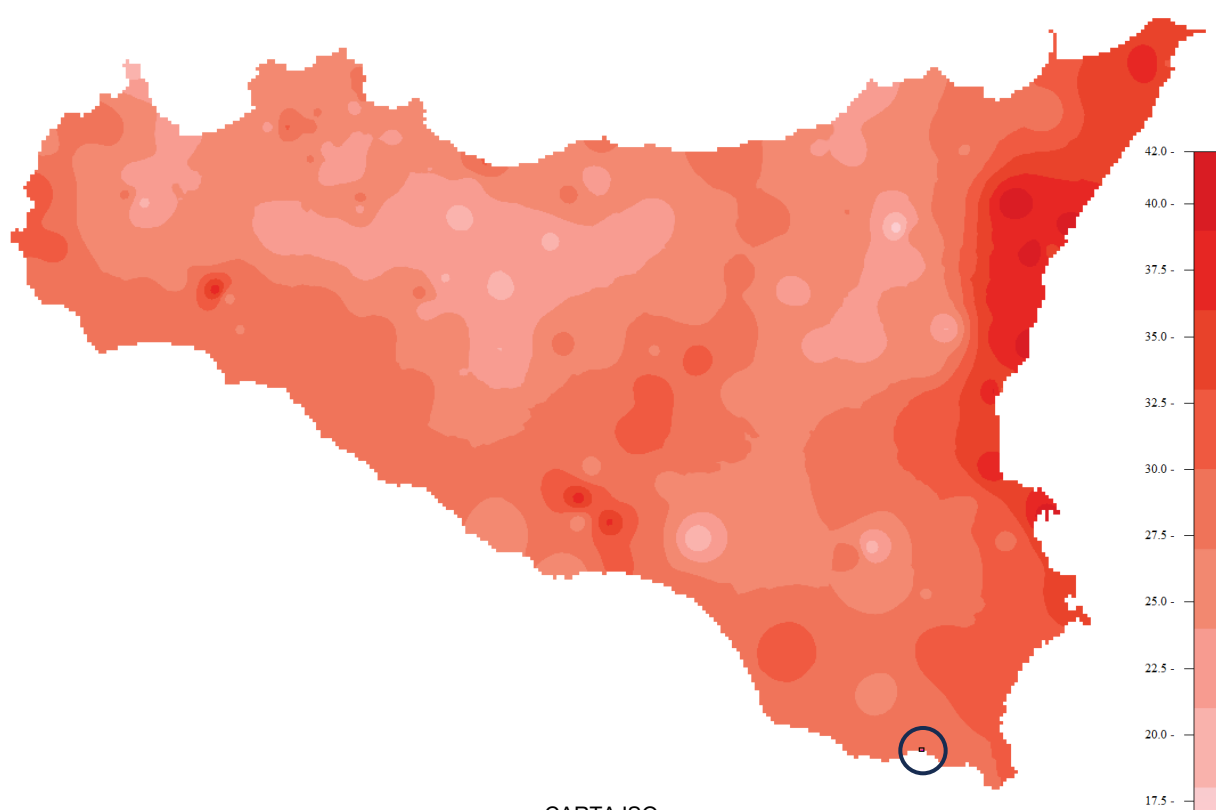
$$K_T = 1 - CV \left\{ 0,450 + 0,779 \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

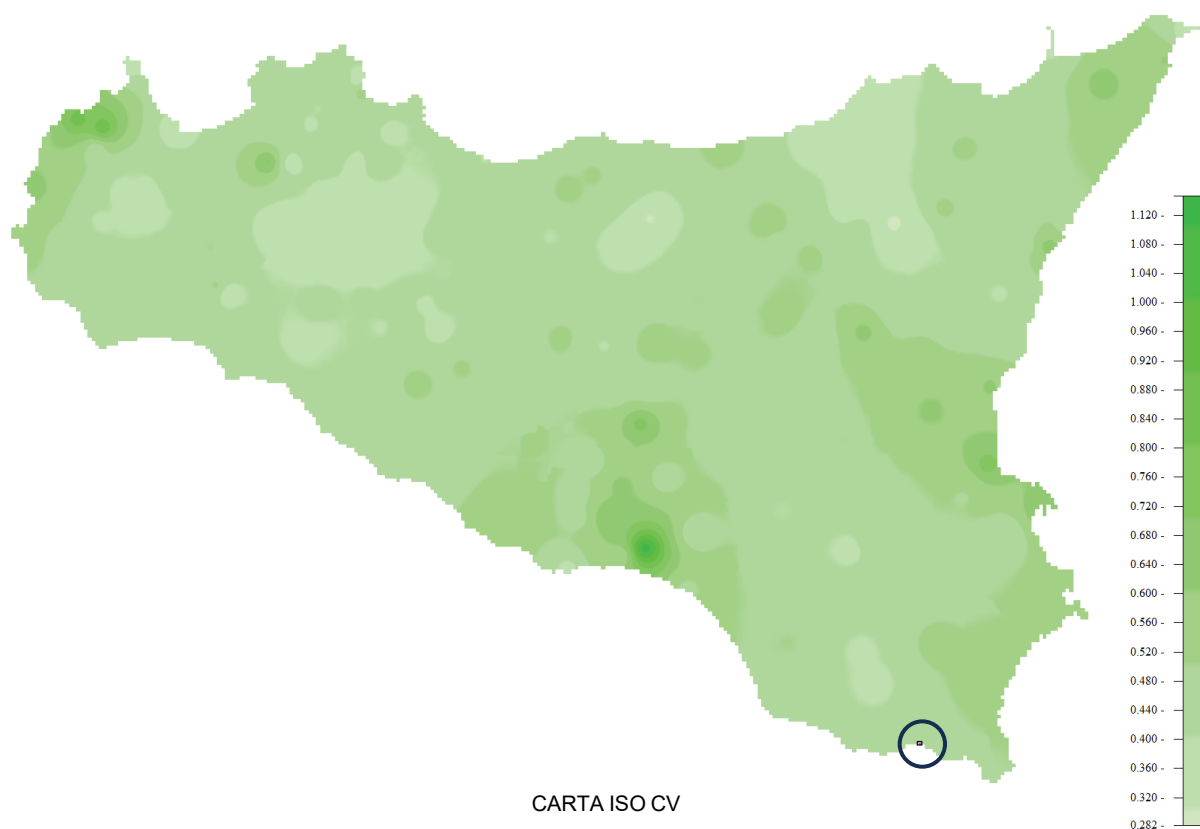
Questa fase ha condotto alla determinazione dei parametri meteorologici, “a”, “n” e “CV” relativamente alla superficie sottesa dalla sezione di chiusura.

A partire dalle carte “iso-a”, “iso-n” e “iso-CV” (Tavole 4, 5 e 6 della Relazione Generale del PAI) a scala regionale, sono stati ottenuti i valori medi a scala di bacino:

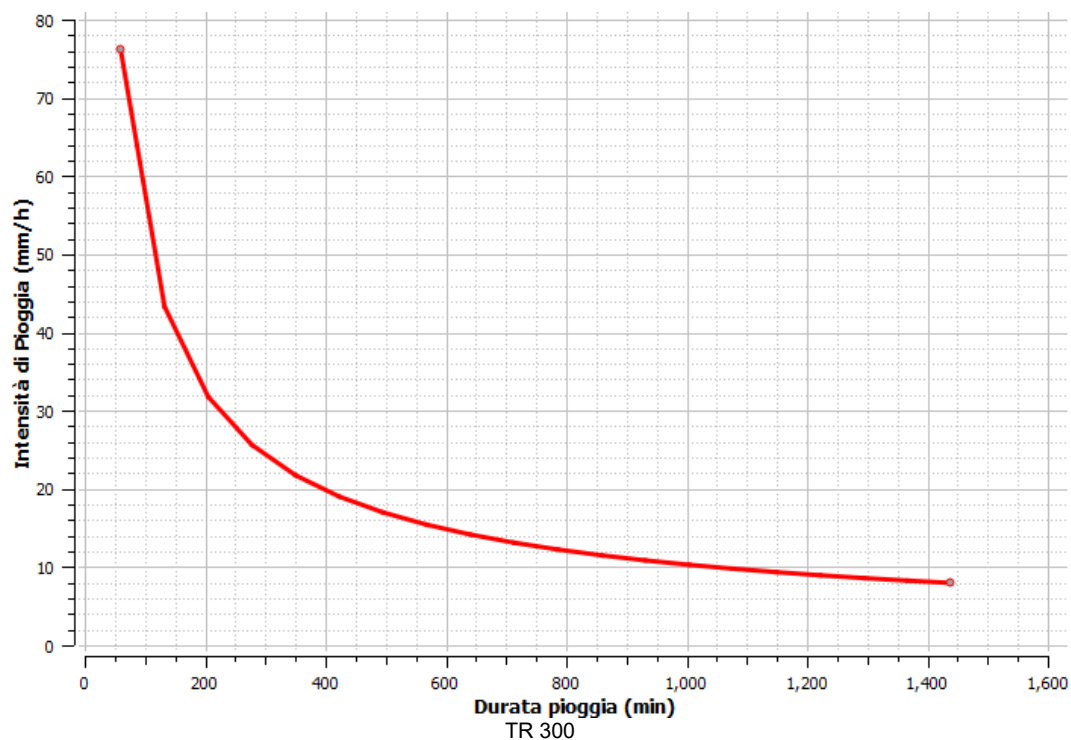
a	n	CV
28,7	0,314	0,457

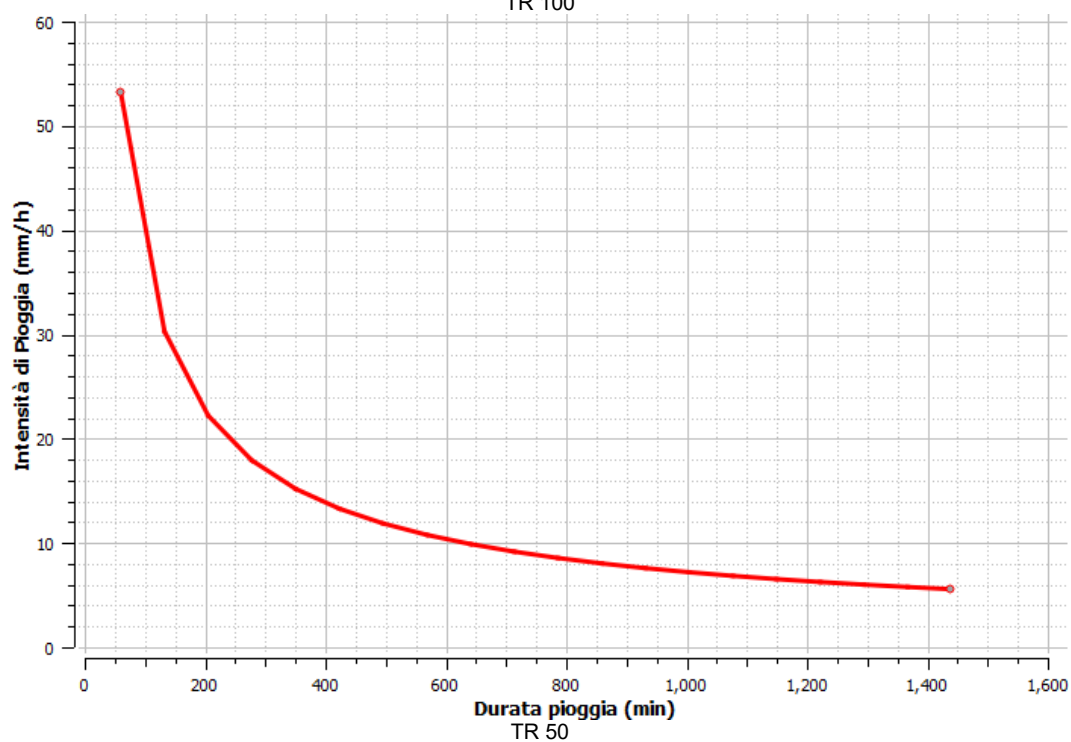
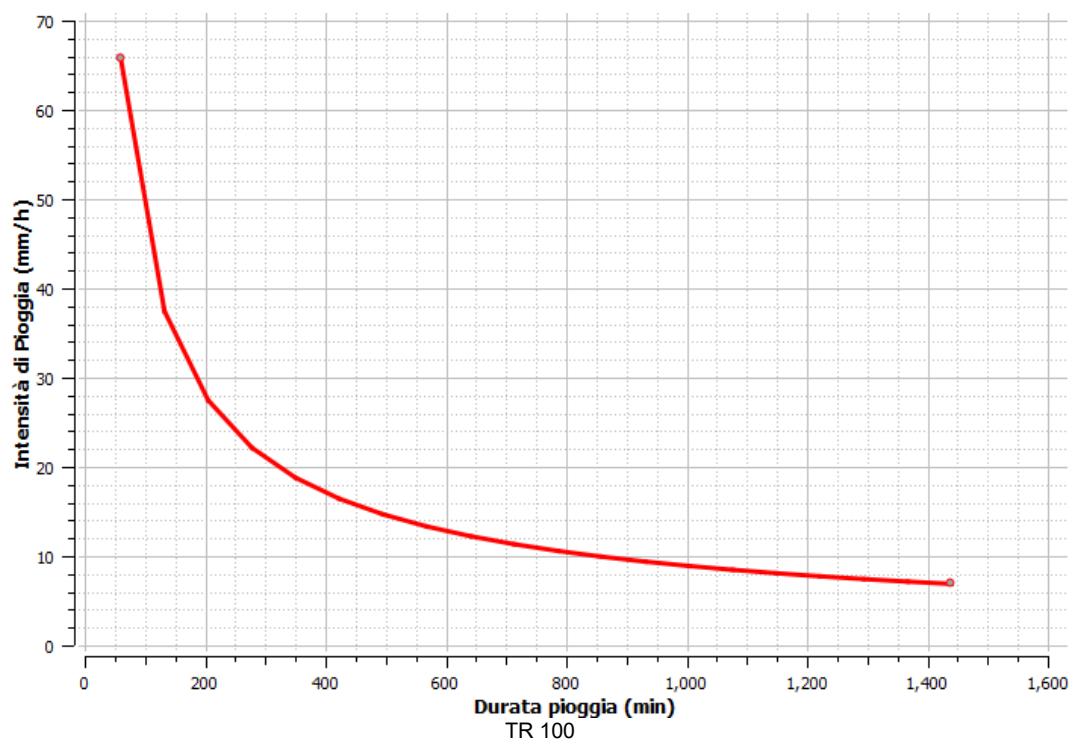
Nelle seguenti figure sono riportate le carte “iso-a”, “iso-n” e “iso-CV” in corrispondenza del bacino in esame:





Si riportano di seguito i valori delle altezze di pioggia (mm) ricavati dai parametri prima calcolati e le curve di probabilità pluviometrica (CPP), per i tre tempi di ritorno considerati.





Per le piogge di durata inferiore all'ora si è fatto riferimento alla relazione proposta da Ferrari e Ferro (1990) in cui t è espresso in minuti:

$$h_{t,T} = h_{60,T} \left(\frac{t}{60} \right)^{0.386}$$

4. DETERMINAZIONE DEGLI IETOGRAMMI DI PROGETTO: SCELTA DELLA DURATA CRITICA DELL'EVENTO E DELLA DISTRIBUZIONE TEMPORALE DELLE PRECIPITAZIONI.

4.1 DURATA CRITICA-TEMPO DI CORRIVAZIONE

Come è noto, quale tempo di corrivazione t_c si indica il tempo impiegato da un volume idrico elementare nel percorrere il percorso “idraulicamente più lungo” nel bacino e defluire alla sezione di chiusura del bacino.

Per la valutazione del tempo di corrivazione sono presenti in letteratura numerose espressioni empiriche.

Kirpich	$0.0195 \times \frac{L^{0.77}}{i^{-0.385}}$
Passini	$6.48 \times \frac{(A \times L)^{0.33}}{10^9 \times \sqrt{i}}$
Ven te Chow	$9.612 \times \left(\frac{L}{1000}\right)^{0.64} \times i^{-0.32}$
Ventura	$0.24 \times \sqrt{\frac{A \times L}{1000 \times H}}$

L: percorso più lungo (m)
 A : area bacino (m²)
 i : pendenza media (m/m)
 H : Salto di quota (m)
 Hm : elevazione media relativa (rispetto alla sezione di chiusura) (m)
 Tutti i risultati in minuti

Tempo di Concentrazione

Parametri

Percorso idraulico più lungo: 3,146.62

Salto di quota: 80.01

Pendenza media: 2.54 %

Area Bacino: 1.43 km²

Quota media: 47.23

Formule disponibili

Nome Formula	Valore calcolato
☐ Giandotti	1.83 h
☐ Johnstone	2.05 h
☐ Kirpich	0.66 h
☒ Passini	1.12 h
☒ Ven te Chow	1.08 h
☒ Ventura	0.95 h

Valore Rosso: almeno un parametro è al di fuori del dominio di validità della formula

Valore Usato

☐ Minimo ☐ Massimo ☒ Media ☐ Formula scelta

Tempo di Concentrazione: 1.05 ora

BACINO 1

Tempo di Concentrazione

Parametri

Percorso idraulico più lungo: 1,431.64

Salto di quota: 67.52

Pendenza media: 4.72 %

Area Bacino: 26.29 ha

Quota media: 31.99

Formule disponibili

Nome Formula	Valore calcolato
☐ Giandotti	62.18 min
☐ Johnstone	71.20 min
☒ Kirpich	17.00 min
☒ Passini	21.54 min
☒ Ven te Chow	32.13 min
☒ Ventura	17.99 min

Valore Rosso: almeno un parametro è al di fuori del dominio di validità della formula

Valore Usato

☐ Minimo ☐ Massimo ☒ Media ☐ Formula scelta

Tempo di Concentrazione: 22.16 minuto

BACINO 2

Tempo di Concentrazione

Parametri

Percorso idraulico più lungo: 1,466.89

Salto di quota: 66.96

Pendenza media: 4.57 %

Area Bacino: 32.92 ha

Quota media: 49.05

Formule disponibili

Nome Formula	Valore calcolato
☐ Giandotti	52.45 min
☐ Johnstone	72.66 min
☒ Kirpich	17.54 min
☒ Passini	23.79 min
☒ Ven te Chow	32.97 min
☒ Ventura	20.46 min

Valore Rosso: almeno un parametro è al di fuori del dominio di validità della formula

Valore Usato

☐ Minimo ☐ Massimo ☒ Media ☐ Formula scelta

Tempo di Concentrazione: 23.69 minuto

BACINO 3

Tempo di Concentrazione

Parametri

Percorso idraulico più lungo: 1,410.85

Salto di quota: 67.61

Pendenza media: 4.80 %

Area Bacino: 39.84 ha

Quota media: 32.97

Formule disponibili

Nome Formula	Valore calcolato
☐ Giandotti	65.39 min
☐ Johnstone	70.40 min
☒ Kirpich	16.71 min
☒ Passini	24.42 min
☒ Ven te Chow	31.66 min
☒ Ventura	21.97 min

Valore Rosso: almeno un parametro è al di fuori del dominio di validità della formula

Valore Usato

☐ Minimo ☐ Massimo ☒ Media ☐ Formula scelta

Tempo di Concentrazione: 23.69 minuto

BACINO 4

Nome Formula	Valore calcolato
☐ Giandotti	110.29 min
☐ Johnstone	73.42 min
☐ Kirpich	17.82 min
☒ Passini	28.78 min
☒ Ven te Chow	33.41 min
☒ Ventura	26.95 min

Valore Rosso: almeno un parametro è al di fuori del dominio di validità della formula

Valore Usato: ☐ Minimo ☐ Massimo ☒ Media ☐ Formula scelta

Tempo di Concentrazione: 29.71 minuto

BACINO 5

Il tempo di corrivazione adottato per ogni bacino è stato pari alla media dei valori.

4.2 IETOGRAMMA DI PROGETTO

In letteratura sono disponibili diversi ietogrammi di progetto e tra questi la formulazione di tipo Chicago (Keifer and Chu, 1957)¹ sembra essere la più performante.

Questa, rispetto alle altre forme, fornisce correttamente la stima dell'intensità media di precipitazione, pari a quella indicata dalla CPP, per qualunque durata interna all'evento. Inoltre, lo ietogramma Chicago ha il vantaggio di non essere molto sensibile al variare della durata complessiva dell'evento e quindi alla definizione del tempo di evento.

L'adozione dello ietogramma Chicago presenta alcuni elementi positivi ed altri negativi. L'elemento negativo è che ha la tendenza a sovrastimare le intensità di precipitazione e di conseguenza le portate. Ciò è dovuto alla struttura logica con cui è definito, infatti esso rappresenta un evento di pioggia ideale che si manifesta con una precipitazione critica per ogni sua durata. Per cui se il tempo di corrivazione è pari a sei ore, non solo la cumulata dell'evento

¹ Keifer, C., & Chu, H. (1957). Synthetic Storm Pattern for Drainage Design. Journal of the Hydraulics Division, (83) 1-25.

sarà la critica per le sei ore, ma esso conterrà anche le precipitazioni critiche per un'ora, due ore, e così via. Tale caratteristica in realtà potrebbe avere un risvolto positivo, infatti l'analista è così consapevole che tale ietogramma fornisce l'estremo superiore della precipitazione possibile operando quindi in favore di sicurezza. Infine, è interessante notare che lo ietogramma Chicago rende meno influente il parametro T_c . Infatti quest'ultimo condizionerà solo il volume totale dell'evento, mentre il picco di intensità sarà sempre uguale alla precipitazione critica relativa alla risoluzione temporale dell'evento.

Tale ietogramma è caratterizzato da un andamento a due rami, il primo con intensità crescente fino all'istante di picco ed il secondo con intensità decrescente dall'istante di picco al termine della pioggia. Detto ietogramma gode della proprietà che, considerando un evento di pioggia di durata θ la cui altezza complessiva di pioggia risulti avere un assegnato valore del tempo di ritorno T^* , la massima altezza di pioggia che in una qualunque durata $d < \theta$ si verifica durante l'evento suddetto possiede lo stesso tempo di ritorno T^* che compete all'altezza complessiva indicando con:

$$t_r = r\theta \text{ con } 0 \leq r \leq 1$$

l'istante di tempo in cui si verifica il picco, con a ed n i coefficienti della curva di possibilità climatica, le equazioni che forniscono l'intensità istantanea di pioggia sono le seguenti:

$$i(t) = n a [(t_r - t)/r]^{n-1} \text{ per } t \leq t_r$$

$$i(t) = n a [(t_r - t)/(1-r)]^{n-1} \text{ per } t \geq t_r$$

l'altezza di pioggia cumulata a partire dall'inizio dell'evento si può esprimere come:

$$h(t) = r a [(t_r/r)^n - ((t_r - t)/r)^n] \text{ per } t \leq t_r$$

$$h(t) = a [r (t_r/r)^n + (1-r) ((t_r - t)/(1-r))^n] \text{ per } t \geq t_r$$

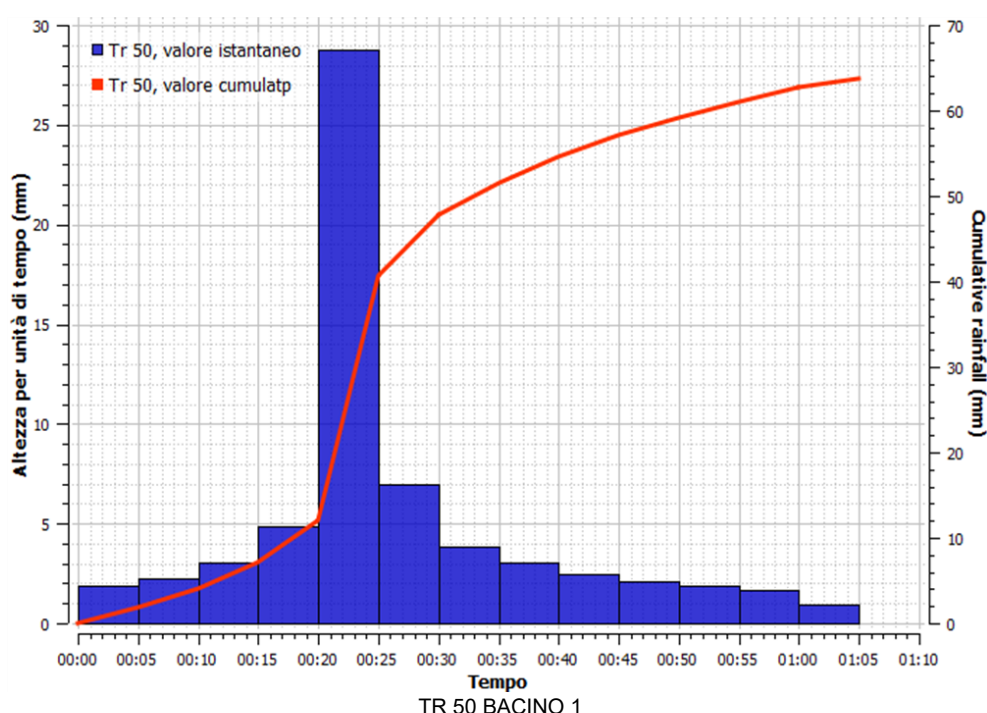
La posizione del picco è stata fissata pari a 0,4 della durata complessiva di evento adottata.

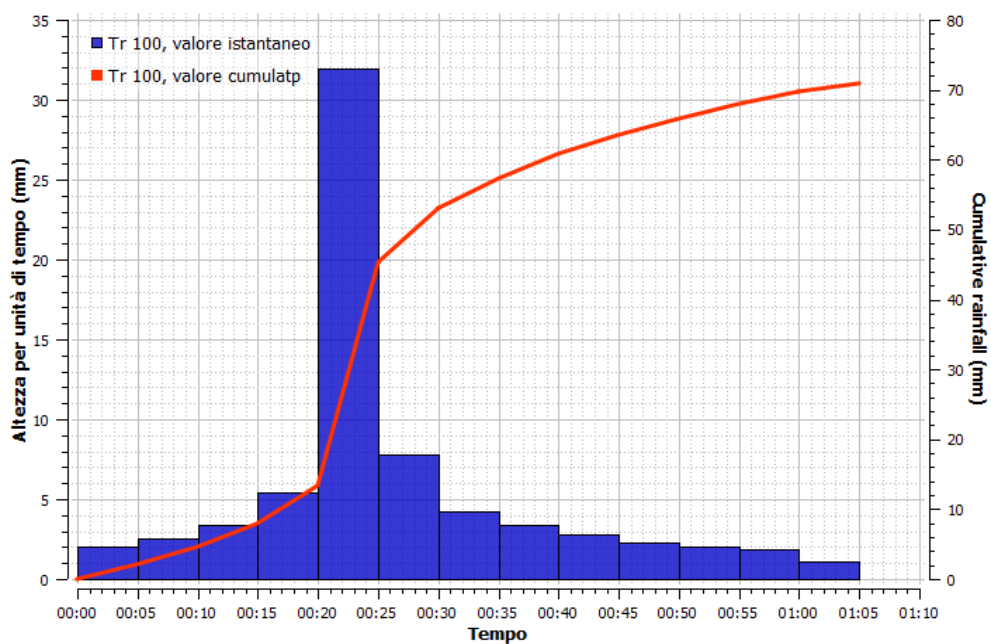
Una caratteristica importante dello ietogramma Chicago è quella di essere poco sensibile al variare della durata complessiva θ . Infatti, l'aumento di quest'ultima non influisce sulla parte centrale dello ietogramma, quella attorno al picco, che rimane immutata, ma solo sull'allungamento delle code estreme prima e dopo il picco.

L'adozione dello ietogramma Chicago presenta alcuni elementi positivi ed altri negativi. L'elemento negativo è che ha la tendenza a sovrastimare le intensità di precipitazione e di conseguenza le portate. Ciò è dovuto alla struttura logica con cui è definito, infatti esso rappresenta un evento di pioggia ideale che si manifesta con una precipitazione critica per ogni sua durata. Per cui se il tempo di corrvazione è pari a sei ore, non solo la cumulata dell'evento sarà la critica per le sei ore, ma esso conterrà anche le precipitazioni critiche per un'ora, due

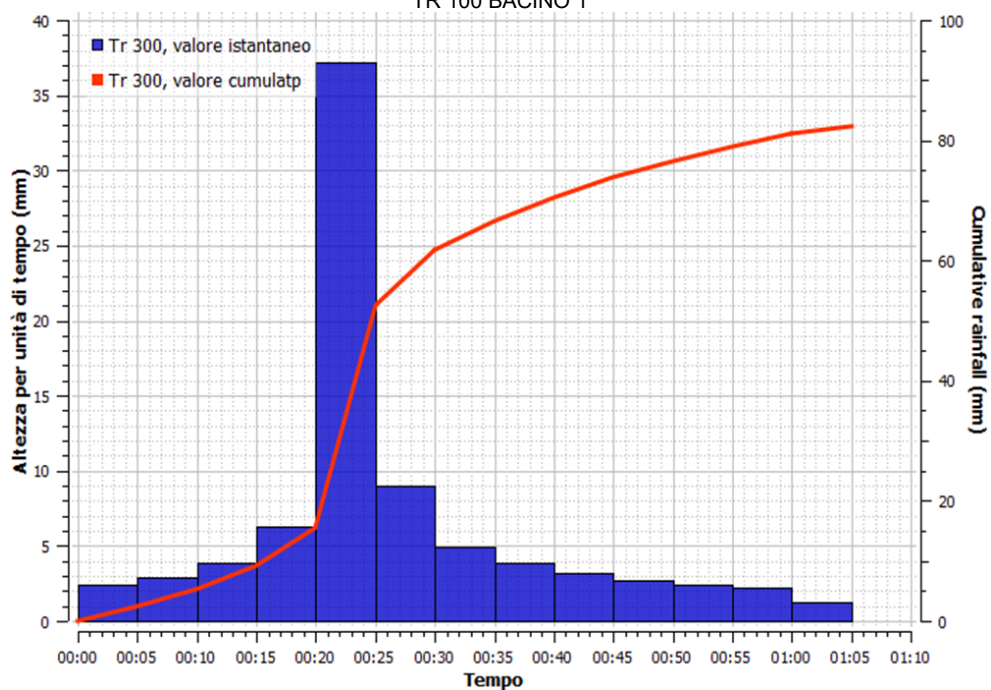
ore, e così via. Tale caratteristica in realtà potrebbe avere un risvolto positivo, infatti l'analista è così consapevole che tale ietogramma fornisce l'estremo superiore della precipitazione possibile operando quindi in favore di sicurezza. Infine, è interessante notare che lo ietogramma Chicago rende meno influente il parametro θ . Infatti quest'ultimo condiziona solo il volume totale dell'evento, mentre il picco di intensità sarà sempre uguale alla precipitazione critica relativa alla risoluzione temporale dell'evento.

Nel caso in esame si è considerata una durata dell'evento pari al tempo di corrivazione del bacino. Il passo temporale utilizzato per la discretizzazione dello ietogramma di pioggia è stato assunto pari a 2 minuti per il bacino 1 e 5 minuti per il bacino 2.

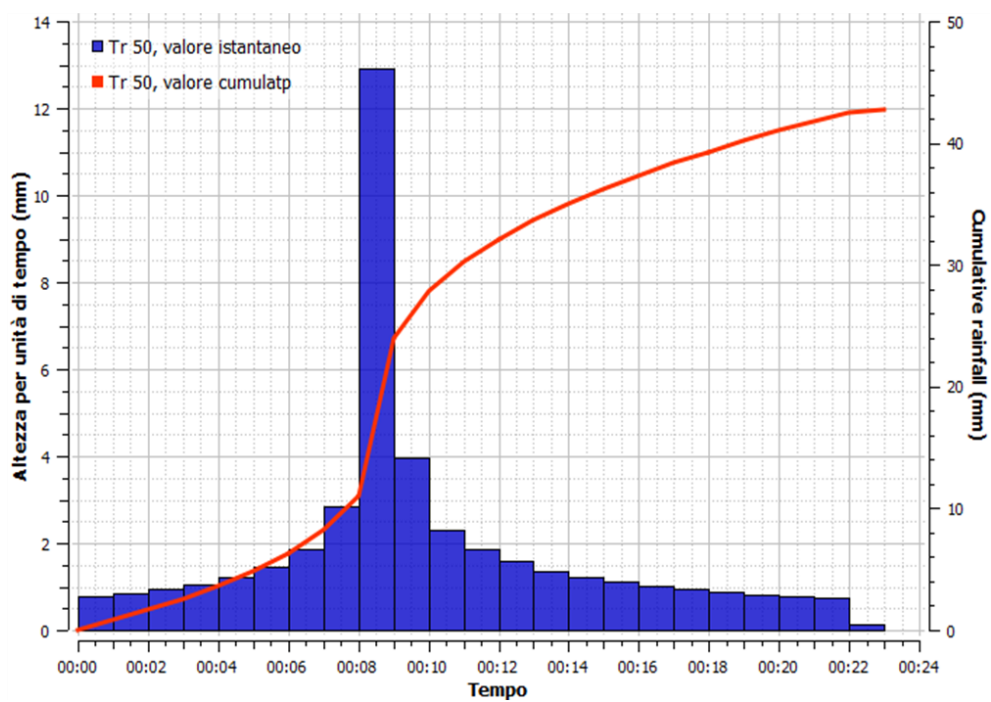




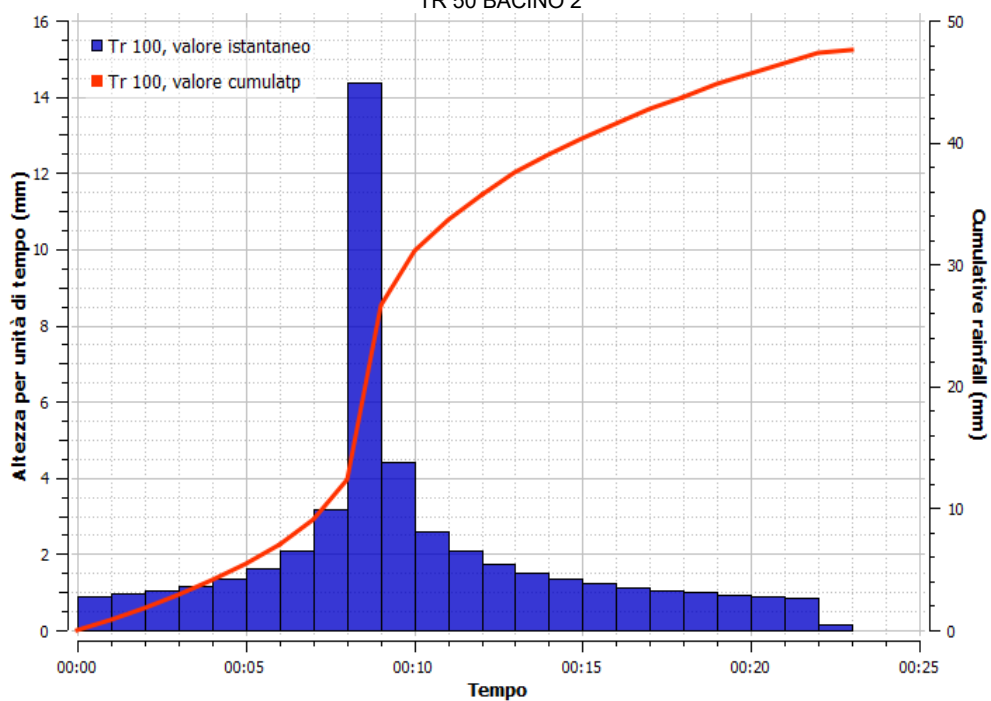
TR 100 BACINO 1



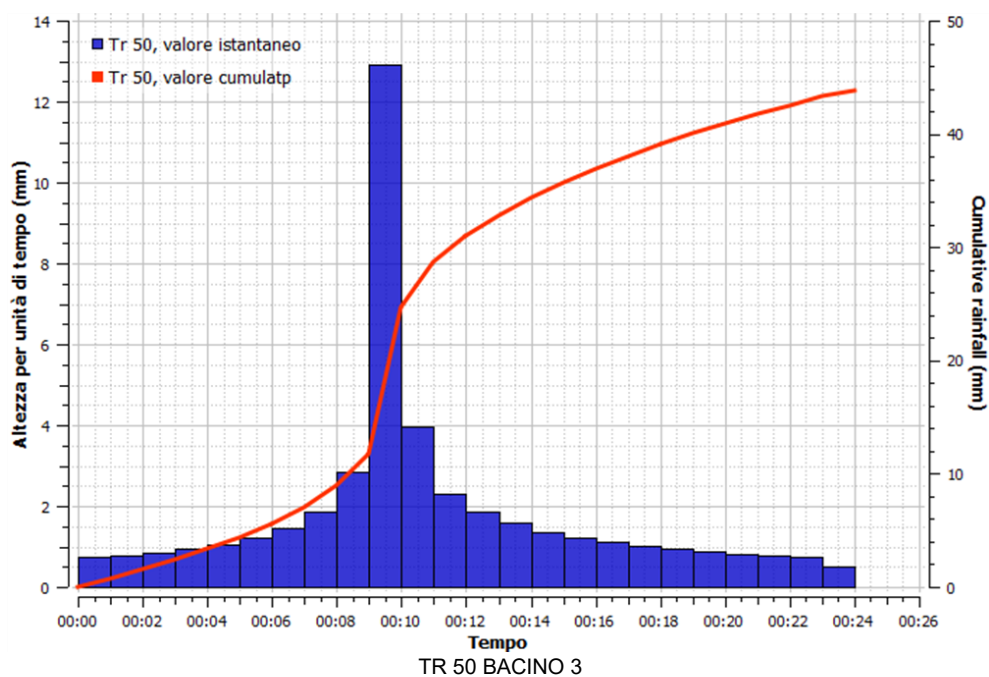
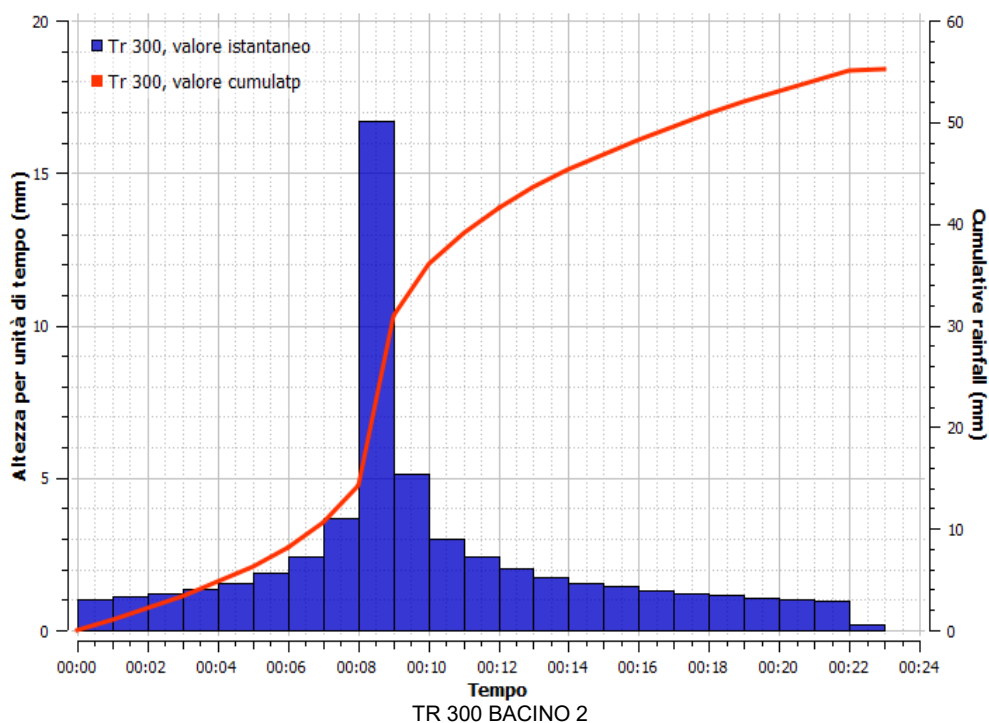
TR 300 BACINO 1

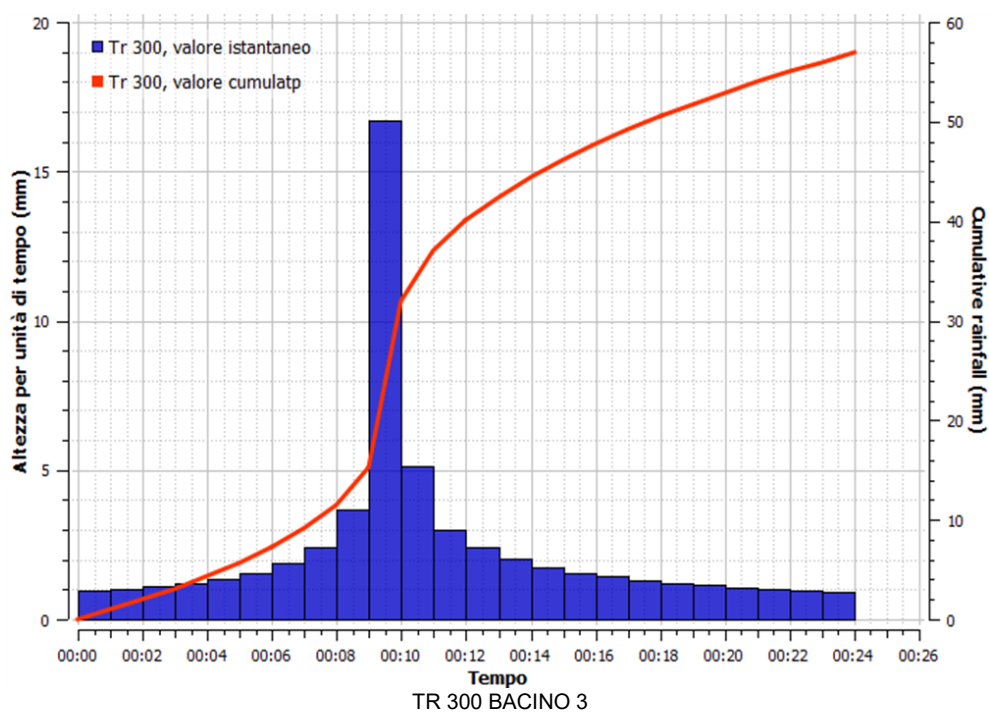
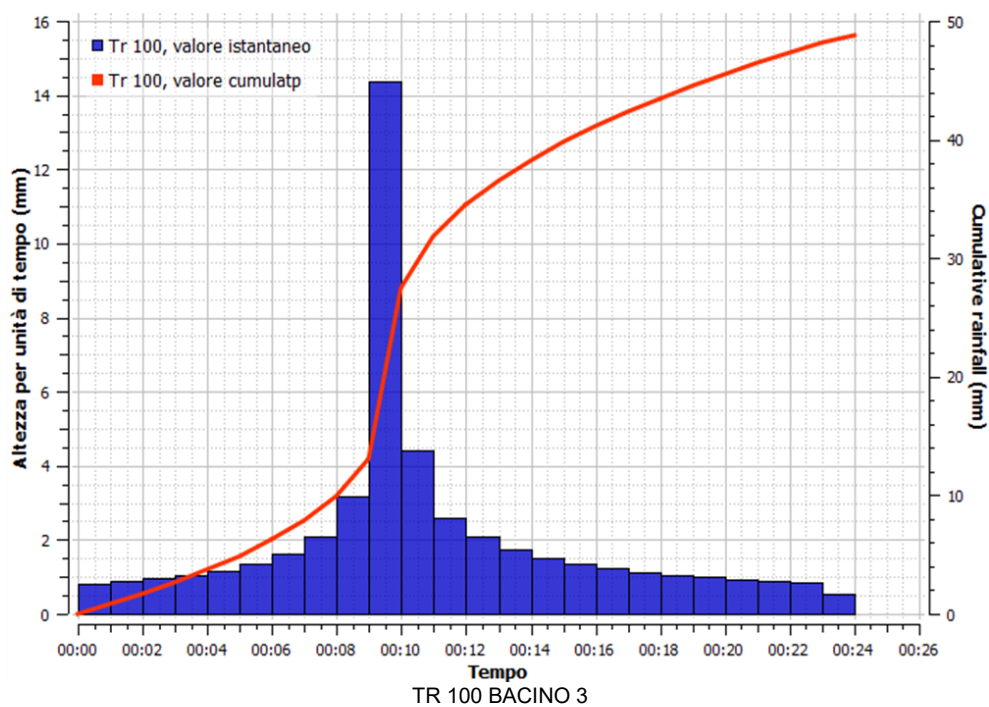


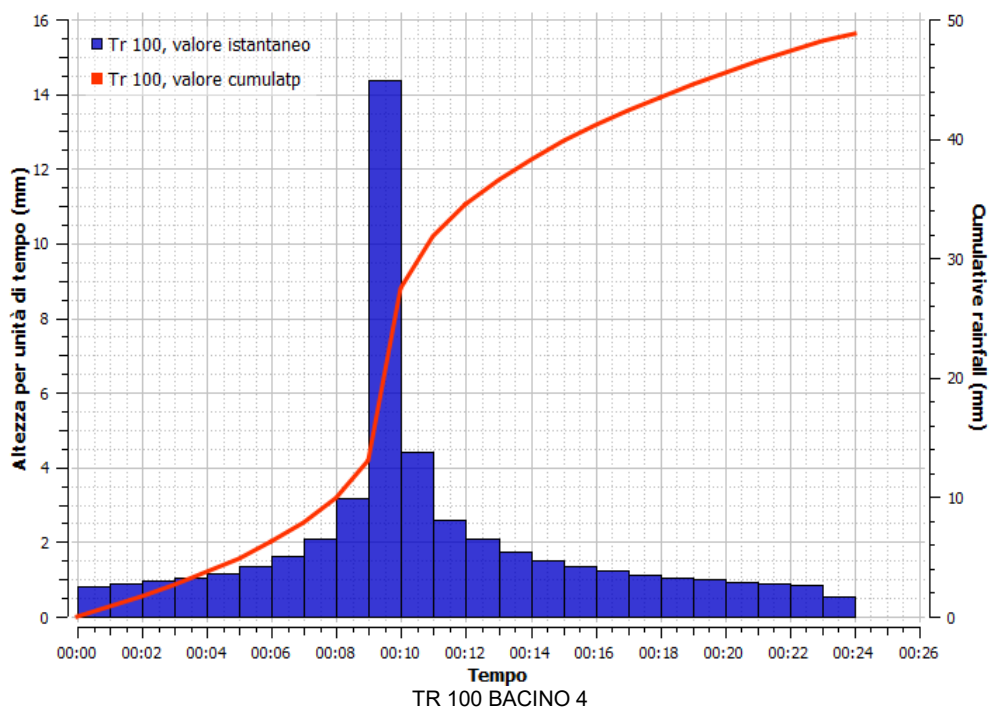
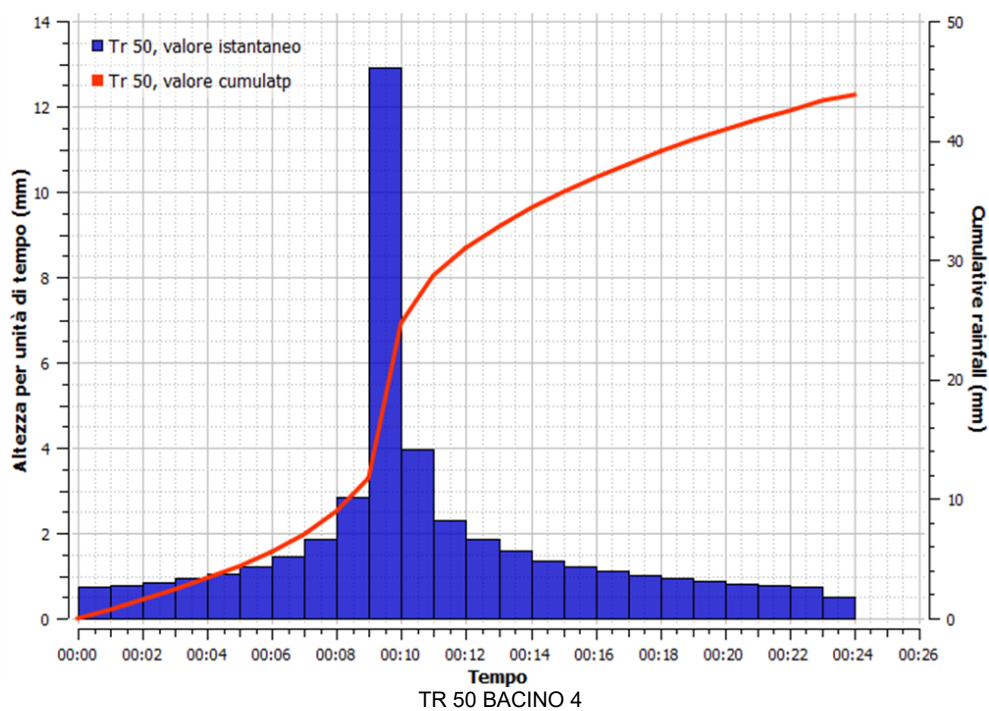
TR 50 BACINO 2

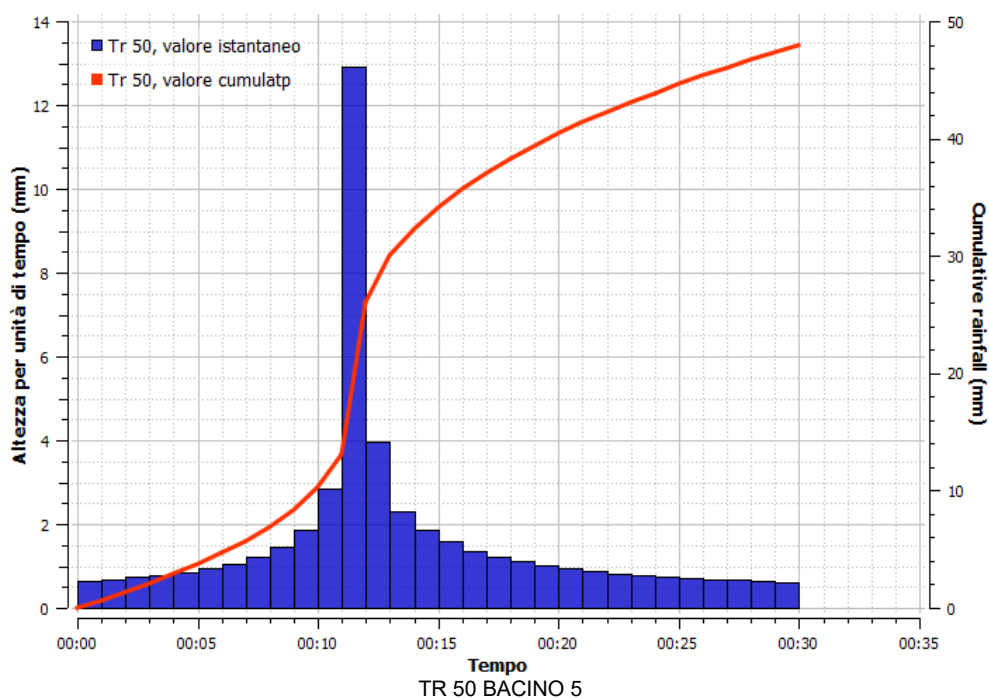
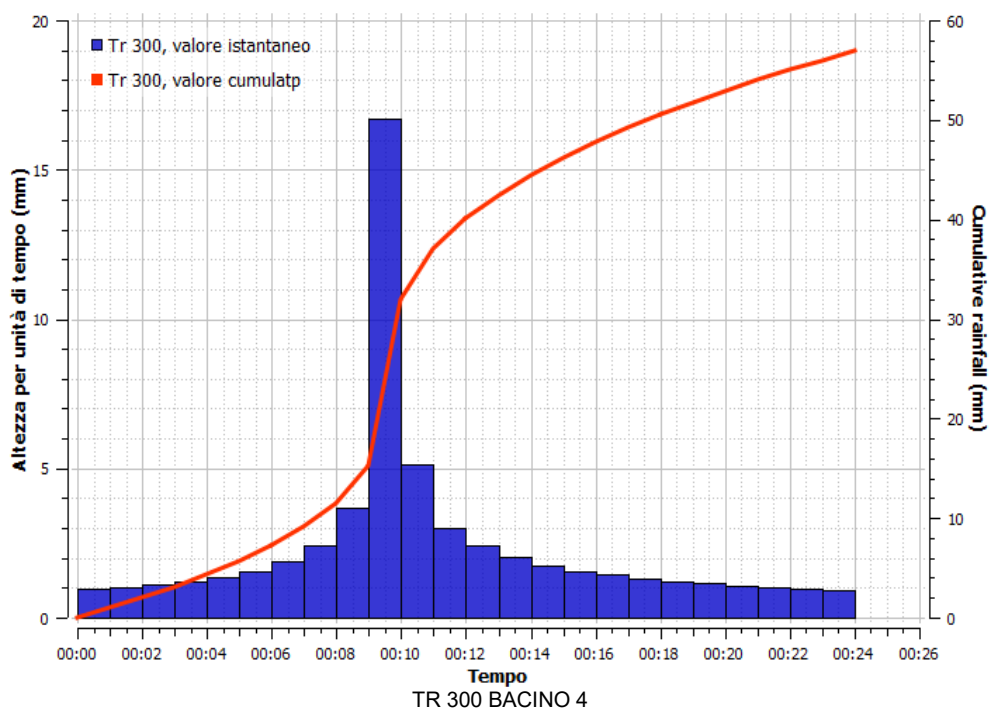


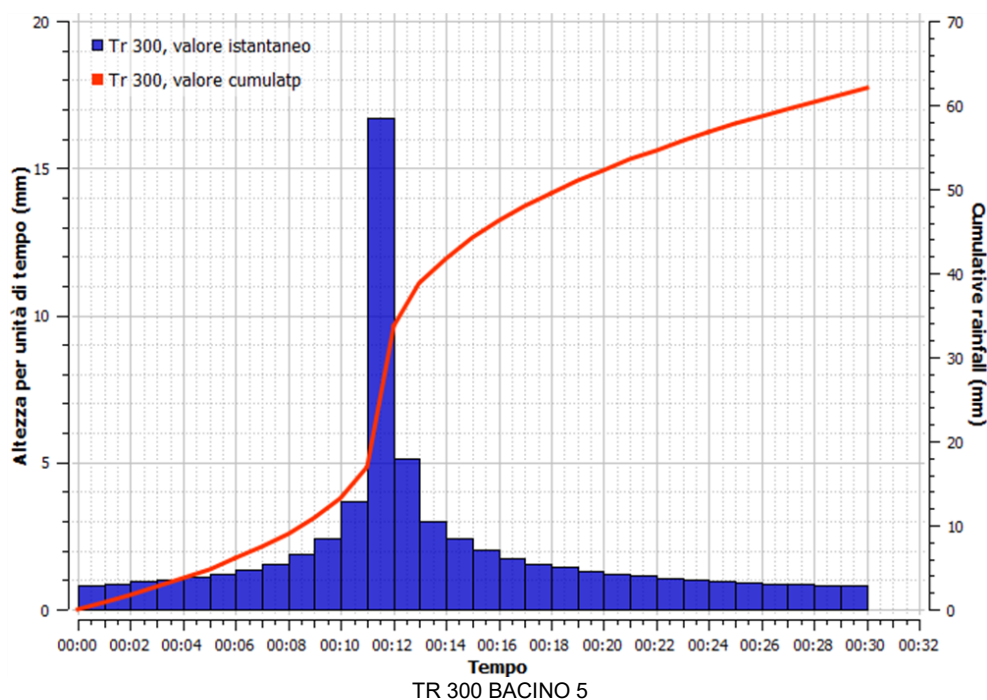
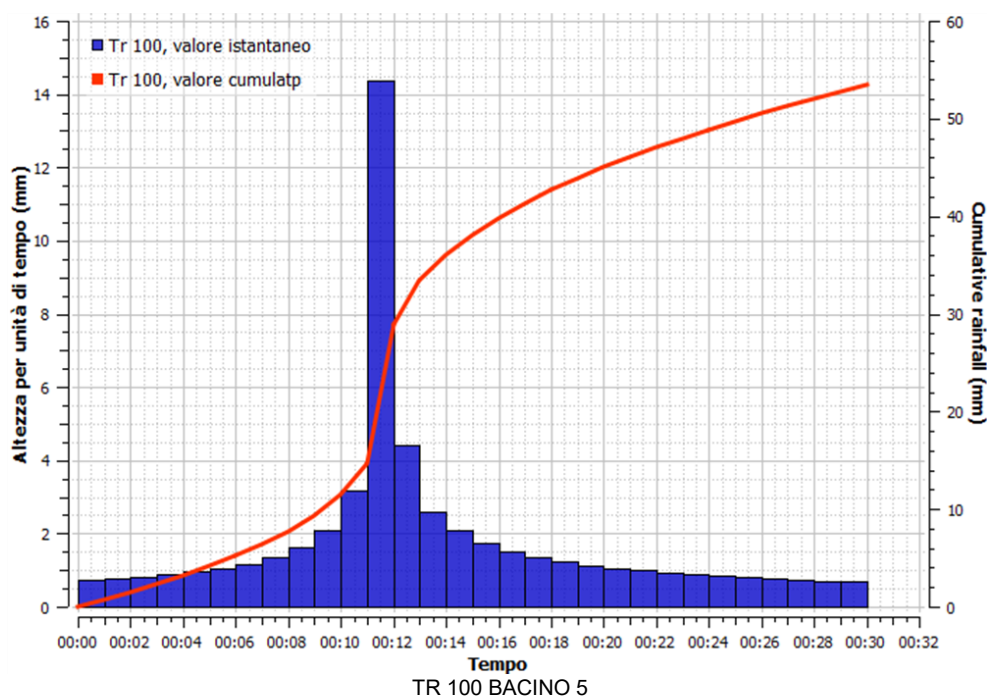
TR 100 BACINO 2











4.3 TRASFORMAZIONE AFFLUSSI DEFLUSSI

Per la stima delle perdite e della pioggia netta o effettiva, che rappresenta il volume d'acqua che raggiunge per ruscellamento superficiale la rete di drenaggio fino alla sezione di chiusura, è stato applicato il metodo del Curve Number proposto dal Soil Conservation Service (U.S. Dept. Agric., Soil Conservation Service, 1972).

Il metodo scelto assume che, in un evento di piena, il volume specifico del deflusso superficiale P , sia proporzionale a quello precipitato I , depurato dall'assorbimento iniziale I_a , in ragione del rapporto tra volume specifico infiltrato F , e un volume specifico S , che caratterizza la massima ritenzione potenziale del terreno.

Dalla formula $P = (I - I_a) F/S$ si ottiene la relazione che fornisce il deflusso superficiale:

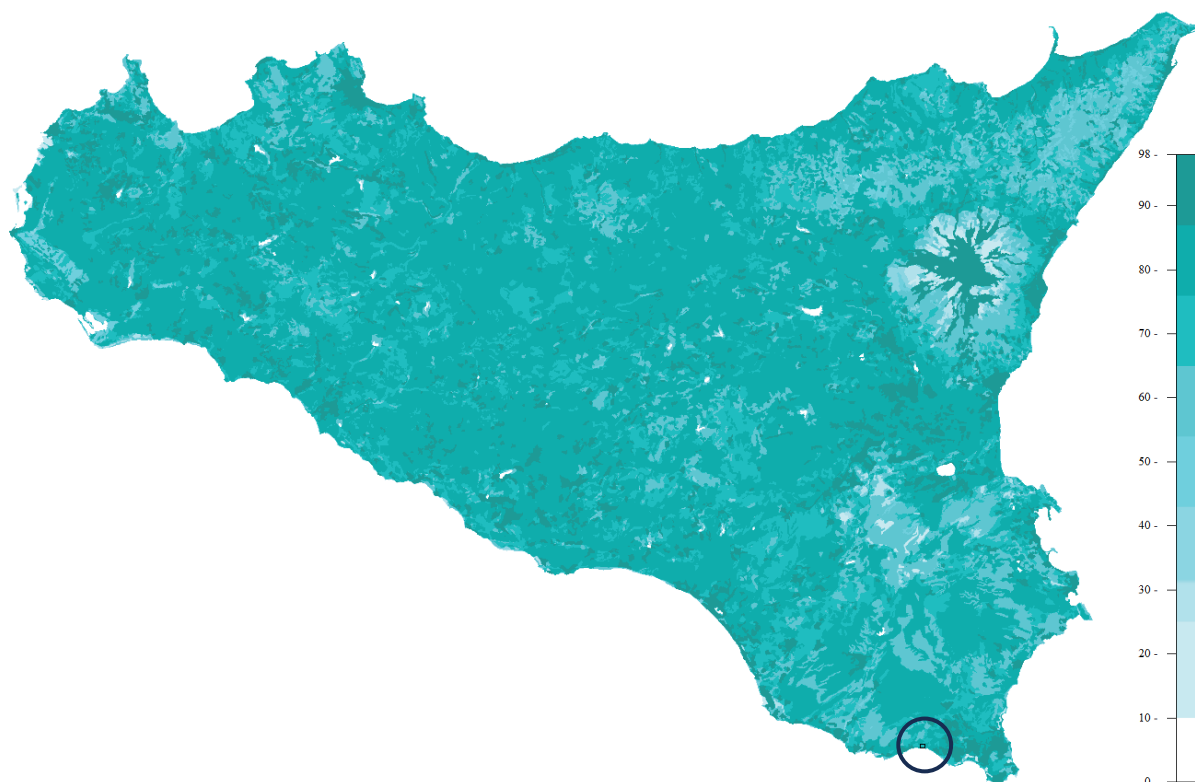
$$P = \frac{(I - I_a)^2}{I - I_a + S}$$

Il parametro S dipende fondamentalmente dalla combinazione di due fattori: la natura geopedologica del terreno e l'uso/copertura del suolo. L'effetto combinato di questi due fattori viene rappresentato globalmente dal parametro adimensionale CN ($0 < CN < 100$), legato a S dalla relazione:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

L'altro parametro da stimare è I_a che rappresenta il volume specifico di pioggia sottratto, a priori, al bilancio idrico. Dati sperimentali (U.S. Dept. Agric., Soil Conservation Service, 1972) indicano che questo parametro è sempre proporzionale a S , per cui si è stabilito di porlo pari a λS con λ pari a 0,2.

La stima del CN presuppone inizialmente la determinazione del gruppo idrologico di ciascun suolo ricadente nel bacino e, all'interno di ciascun gruppo, l'individuazione di aree omogenee per destinazione d'uso, sistemazione e condizione idrica. A ciascuna area omogenea, di nota superficie, viene attribuito l'appropriato $CN-II$; il valore di $CN-II$ dell'intero bacino si ottiene come media pesata, con peso la superficie, dei valori stimati per le singole aree omogenee.



Il metodo tiene anche conto delle condizioni di umidità del suolo antecedente all'inizio dell'evento AMC (Antecedent Moisture Condition). La definizione di AMC richiede la determinazione della precipitazione totale caduta dei cinque giorni precedenti l'evento in esame con CN-II pari a 72,5 per Bacino 1, 78,5 per il Bacino 2, 79,6 per il Bacino 3, 78,5 per il Bacino 4 e 79 per il Bacino 5.

Operativamente si è fatto riferimento alla condizione AMC (Antecedent Moisture Condition) di tipo III.

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

con CN-III pari a 86 per Bacino 1, 89 per il Bacino 2, 90 per il Bacino 3, 89 per il Bacino 4 e 90 per il Bacino 5.

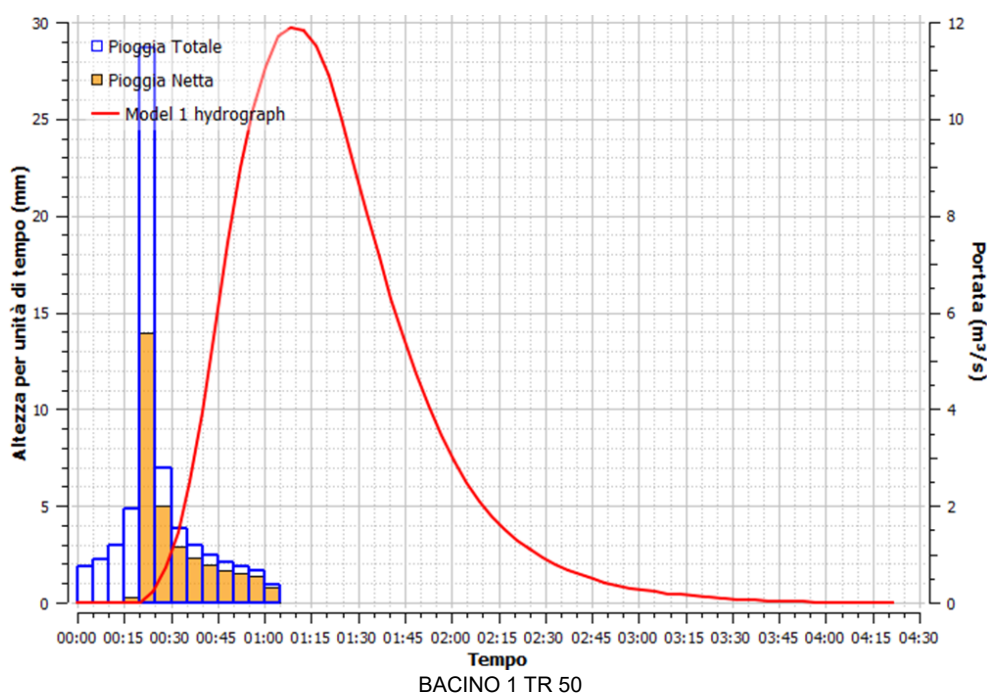
4.4 GENERAZIONE IDROGRAMMA DI PIENA

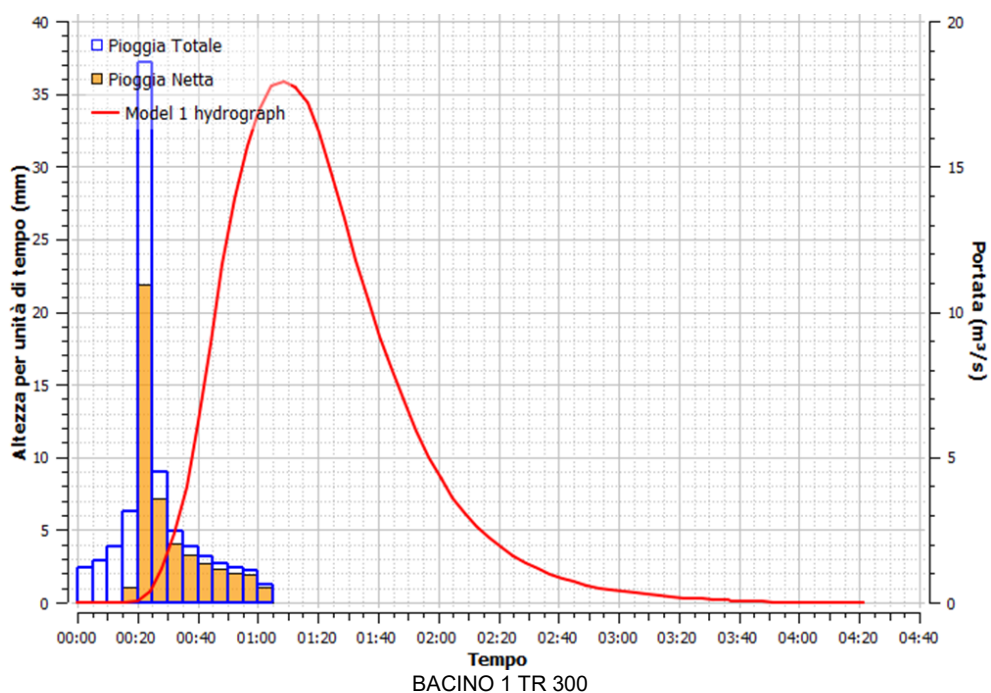
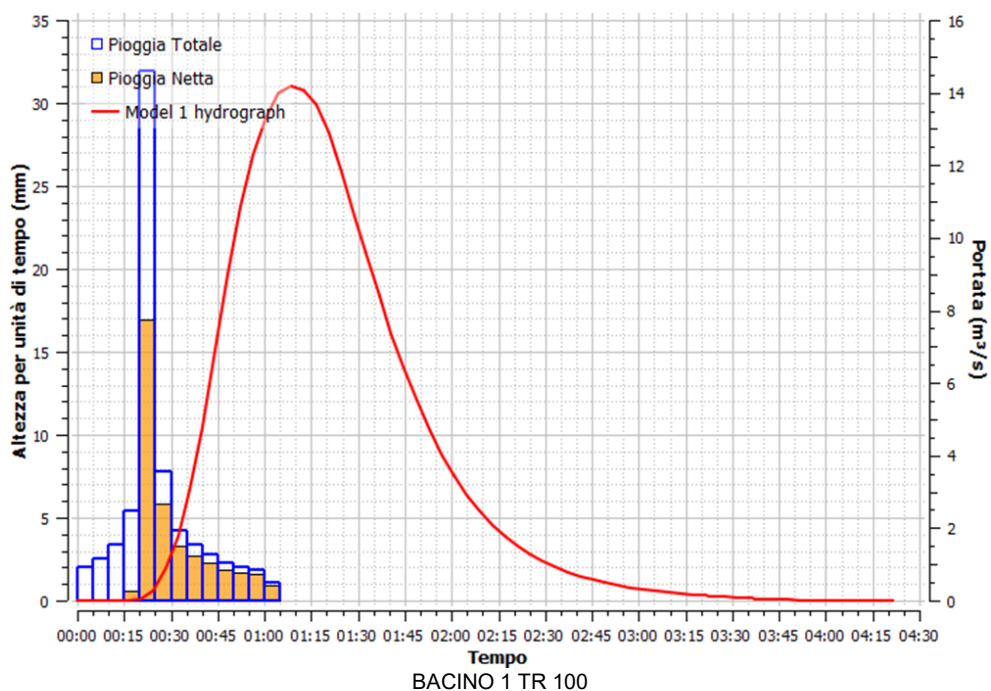
Per la determinazione degli idrogrammi di piena necessari per la modellazione idraulica si è adottato la metodologia, riportata nel Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia, che suggerisce di adottare uno ietogramma di tipo Chicago con durata di pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino e il metodo del Soil Conservation Service, questa è una procedura che

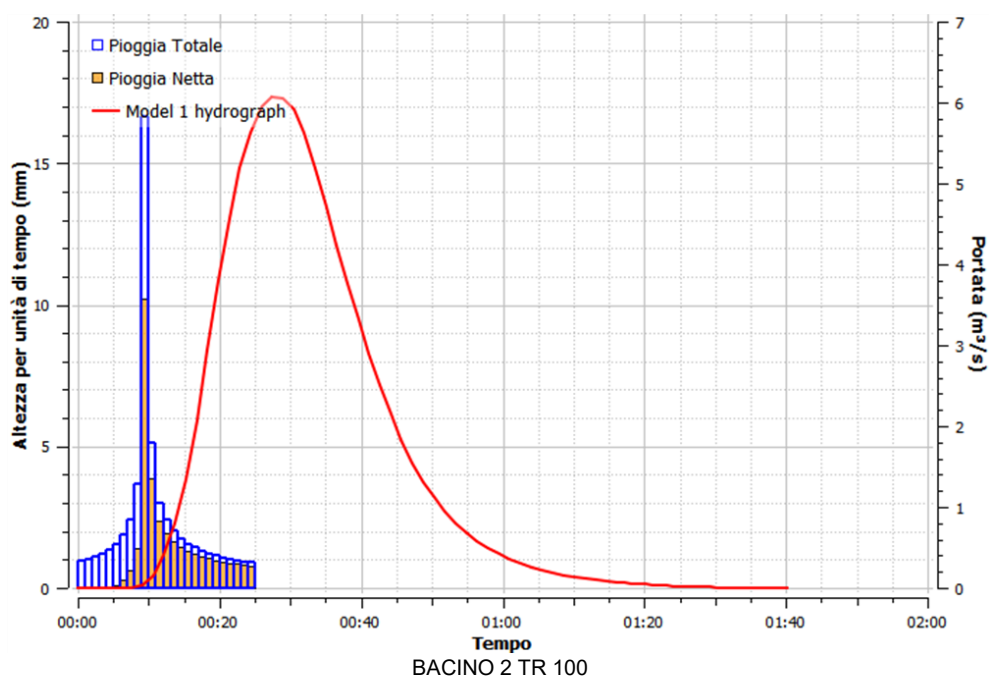
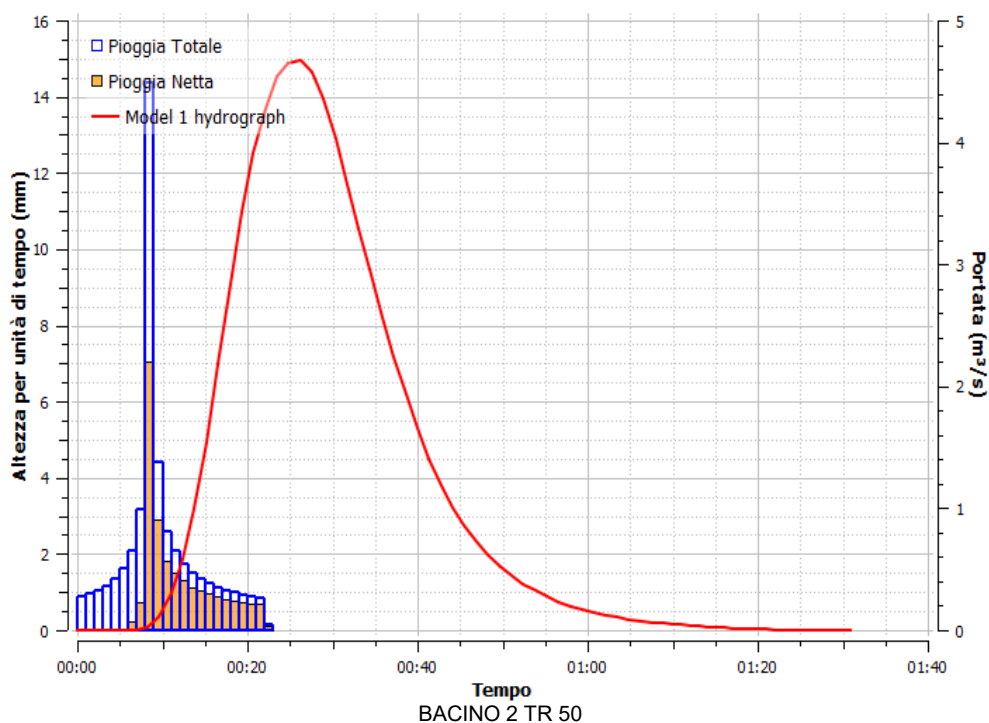
consente la ricostruzione delle piene nei bacini idrografici. Il metodo consente sia la semplice determinazione del volume della piena o della sua portata al colmo sia la completa ricostruzione dell'idrogramma di piena. La trasformazione afflussi-deflussi adottata è quella basata sul metodo del Curve Number e per la convoluzione, nell'applicazione in esame, si è scelto un idrogramma unitario del tipo SCS. I parametri di pioggia adottati sono quelli del PAI come riportato nel precedente paragrafo.

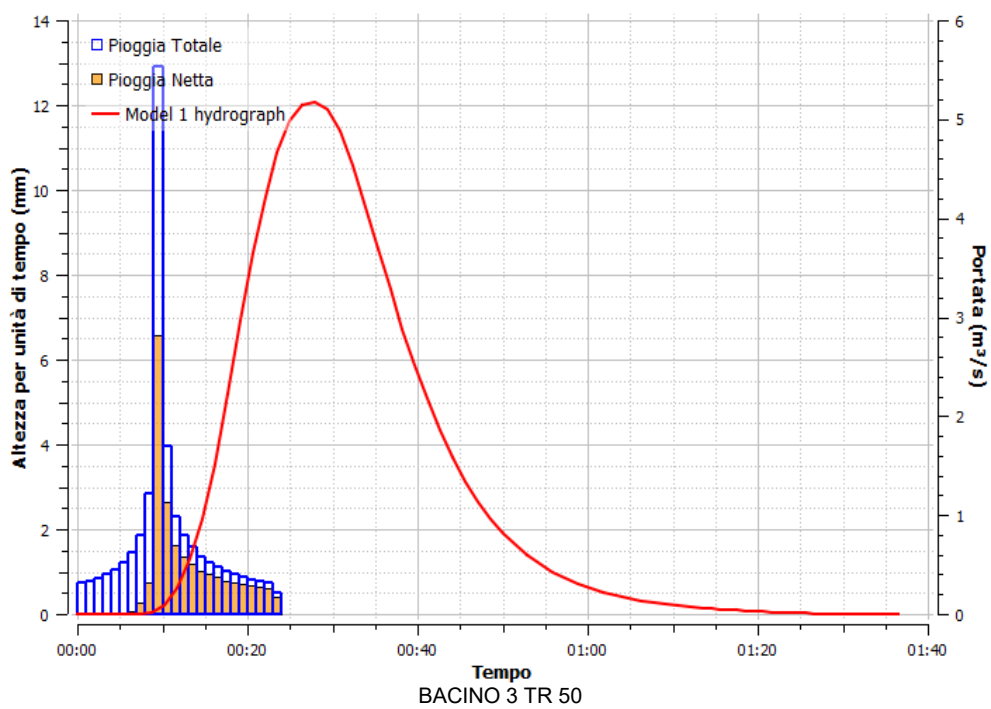
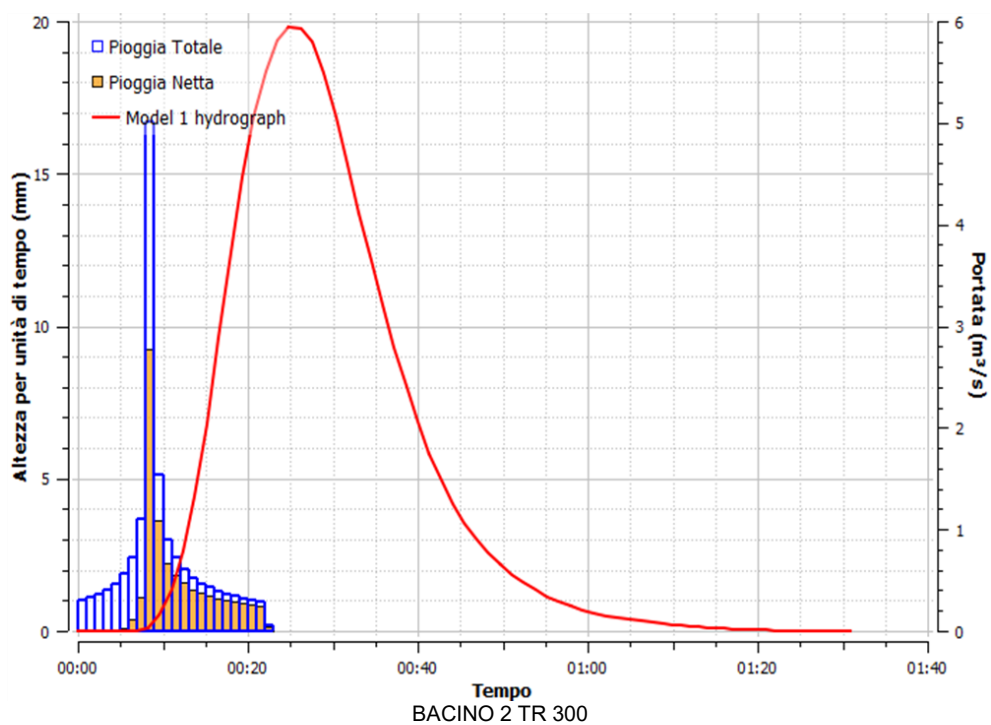
La trasformazione afflussi-deflussi è stata sviluppata con l'ausilio del software LEKAN versione 2.3.3 ed ha consentito la stima dell'idrogramma di piena atteso per i tempi di ritorno di 50, 100 e 300 anni.

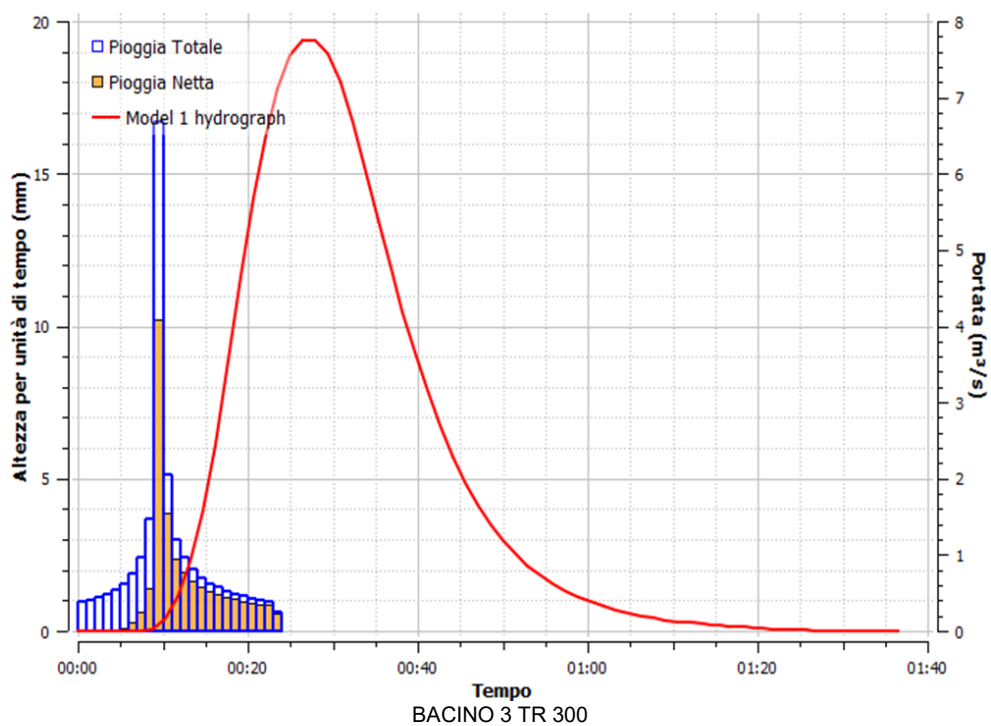
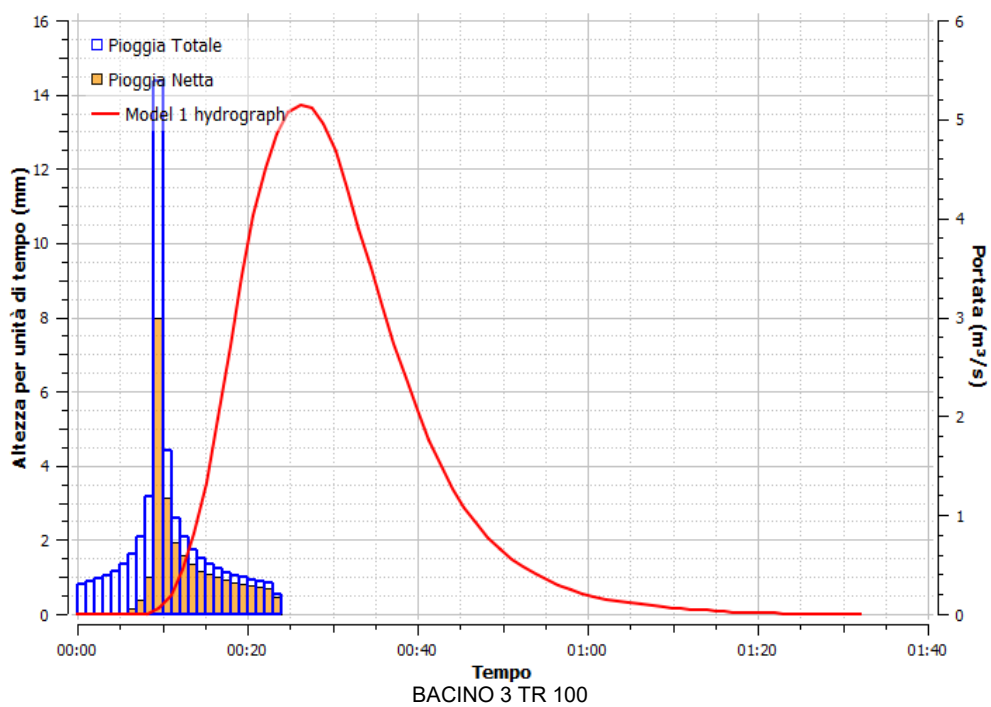
Le seguenti figure mostrano gli idrogrammi ottenuti:

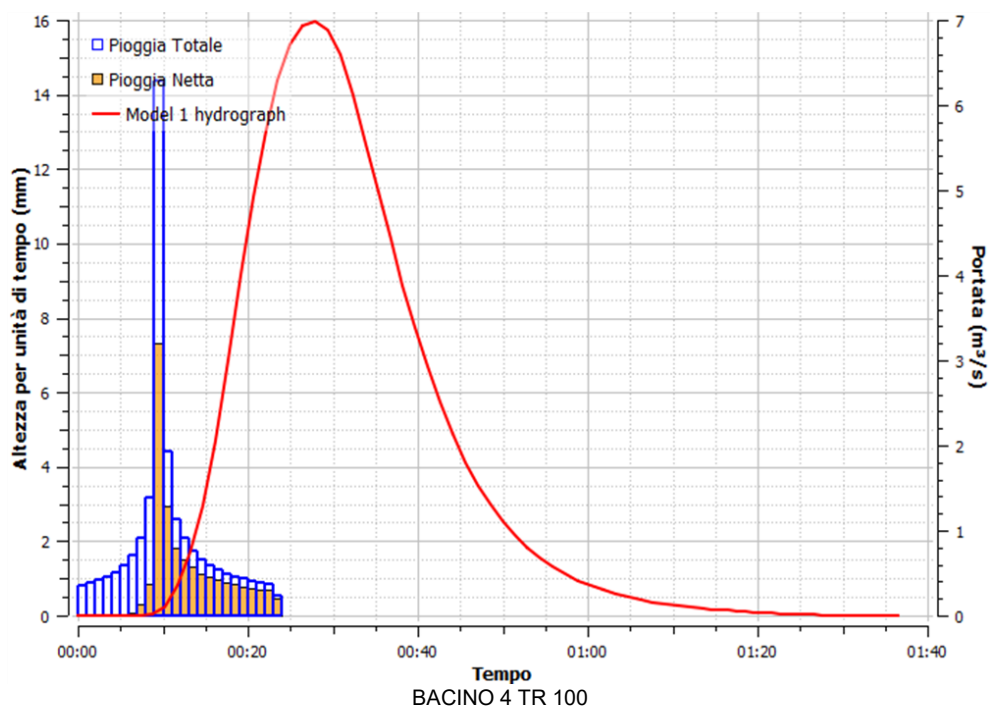
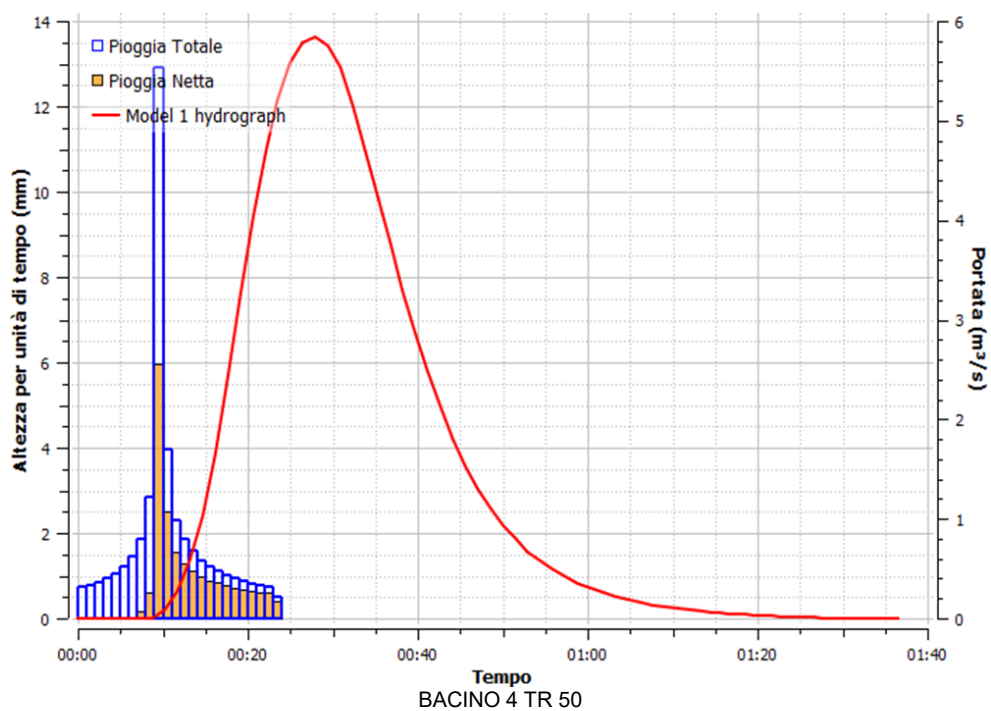


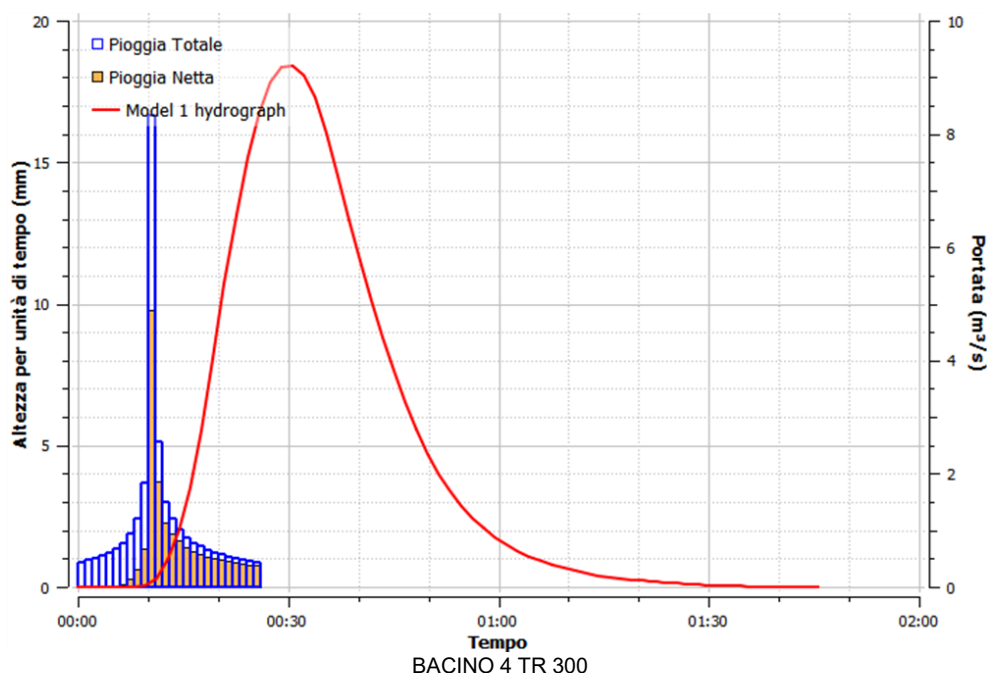












5. MODELLAZIONE IDRAULICA

È stata eseguita una modellazione puramente bidimensionale condotta in regime di moto vario utilizzando gli idrogrammi di pieni ricavati dalla modellazione idrologica descritta in precedenza e le precipitazioni ricadenti nel bacino 5 per i diversi tempi di ritorno.

La modellazione è stata eseguita impostando un dominio di calcolo tale da racchiudere l'area di indagine individuata.

Nel presente capitolo, saranno descritte le operazioni di predisposizione del modello idraulico bidimensionale utilizzato.

Il codice di calcolo utilizzato è Hec-RAS versione 6.6 sviluppato dal Hydrologic Engineering Center (HEC). L'utilizzo è motivato dalla sua ampia diffusione in ambito professionale tecnico oltre che essere un software free.



STATO ATTUALE DEI LUOGHI

6. USO DI MODELLI IDRAULICI 2D IN AMBITO URBANO

L'area in cui ricade l'opera in oggetto è soggetta ad inondazioni per accumulo di acque zenitali e carenza di drenaggio idrico superficiale naturale (assente il drenaggio artificiale). Risulta necessaria quindi un modello di simulazione 2D che tiene in considerazione la pioggia caduta e accumulata nell'area di studio e la presenza di una molteplicità di ostacoli.

Nel capitolo precedente è stato valutato lo ietogramma di pioggia lorda che verrà utilizzata come input del modello, mentre in questa sezione sarà delineato il metodo applicabile per la valutazione degli allagamenti mediante l'implementazione del modello idraulico di propagazione effettuata utilizzando gli strumenti informatici già descritti nel capitolo sulla metodologia adottata per lo studio.

L'insieme degli elementi geometrici costituenti il modello idrodinamico è una subcomponente assai importante, costituita a sua volta da uno o più modelli per rappresentare i vari elementi che sono inseriti nel modello principale, tra questi:

- il modello del terreno;
- il modello degli ostacoli presenti nell'area (edifici, muri etc).

Il processo di implementazione del modello idrodinamico 2D ad un caso reale in ambito di qualificazione urbanistica appare, quindi, parimenti complesso ed è ben noto come siano richieste numerose analisi e valutazione preliminare alla soluzione, tra le quali si ricordano:

- a) rappresentare adeguatamente il problema fisico inserendo nel modello gli aspetti e le proprietà più rappresentative della situazione reale;

- b) individuare correttamente il campo di flusso e la soluzione numerica da ricercare;
- c) discretizzare fisicamente l'area di studio con un adeguato numero di elementi;
- d) validare il modello sulla base di riscontri reali o altri modelli o eventi ben conosciuti;
- e) individuare aree specifiche dove dettagliare la soluzione del modello;
- f) applicare il modello per l'evento di interesse.

7. PREDISPOSIZIONE DEI DATI PLANO-ALTIMETRICI PER L'ANALISI IDRAULICA

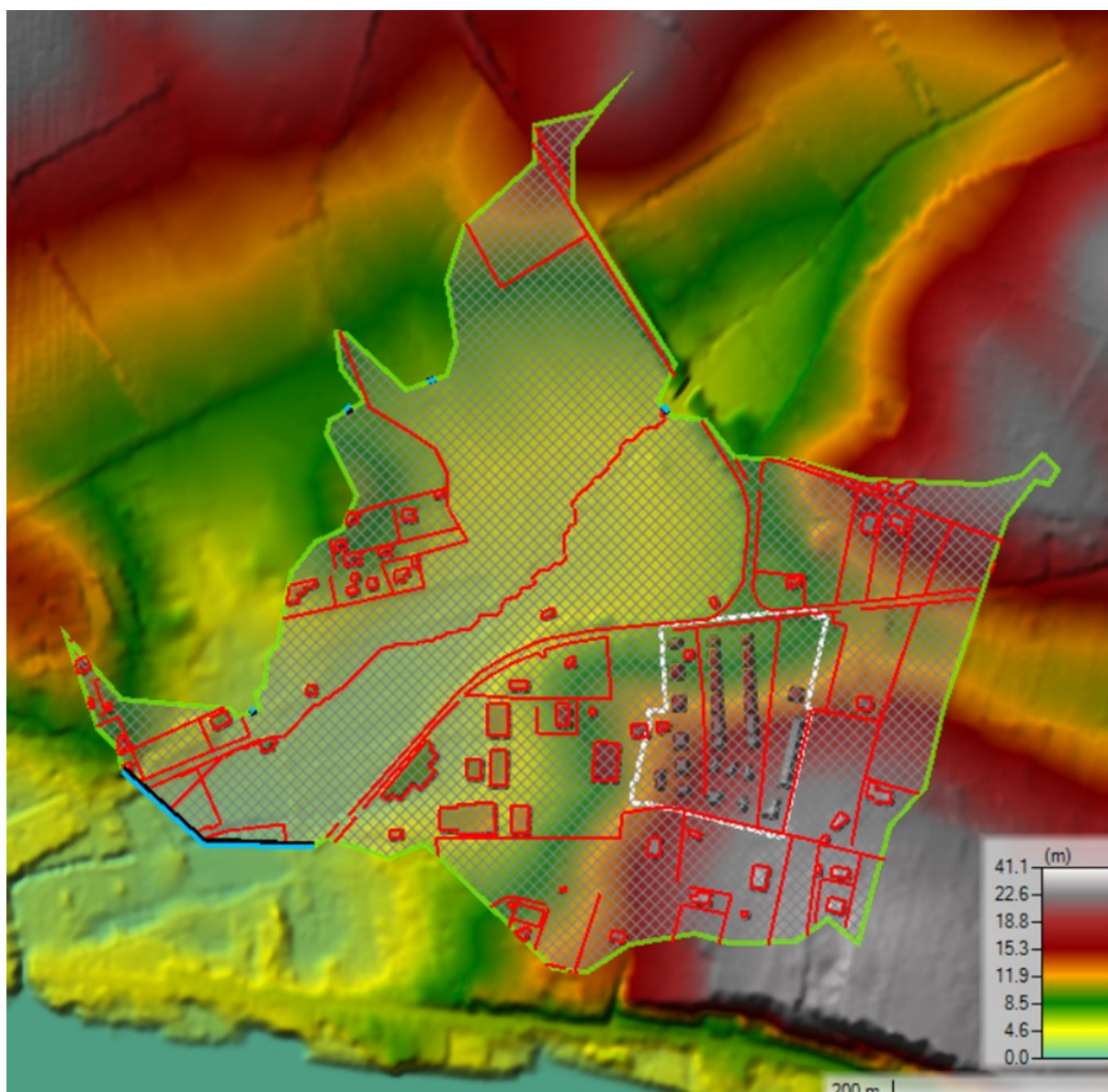
A prescindere dagli aspetti tipici dell'ambito della modellazione (fluviale, rurale o urbana), una componente basilare delle informazioni nella modellazione idraulica è costituita dal modello digitale del terreno che descrive il dominio spaziale delle variabili del moto. La predisposizione del modello digitale di terreno è una parte integrante del processo che include la modellazione idraulica e consente di individuare preliminarmente anche l'estensione più probabile del dominio del moto. Le informazioni di base concernono:

- A. Modello digitale del terreno: strato informativo ottenuto come risultato di elaborazioni del dato LiDAR con il set di punti rilevati attraverso il sistema Laser Scanning, rielaborato mediante algoritmi di filtratura per distinguere gli echi vegetazionali e quelli delle strutture di soprassuolo. Si osserva che generalmente la precisione altimetrica corrispondente a tale tipologia di dato è di circa ± 15 cm, valore che generalmente migliora in ambiti privi di vegetazione come quelli urbani. Come detto, il dato è reperibile presso il GeoPortale istituzionale regionale che copre l'intero bacino unico regionale con risoluzione pari a 2 metri. Questo è stato integrato con il DTM ottenuto dal rilievo topografico eseguito per un congruo intorno a valle e a monte dell'area.
- B. Modello digitale degli edifici e delle opere divisorie: Il modello digitale del terreno è stato integrato con il modello digitale degli edifici e degli ostacoli al deflusso quali i muri e opere divisorie, così come ricavati dal rilievo del drone, dalla cartografia, dalle ortofoto e dai sopralluoghi. Tali elementi costituiscono un'interferenza al deflusso, alle opere divisorie è stata assegnata un'altezza compresa tra 1 m-1,5 m.

Infatti, il modello di superficie ottenuto al termine di tale fase rappresenta elemento essenziale per le elaborazioni idrauliche ed è ovviamente richiesto che questo sia fornito con adeguato dettaglio.

Per giungere ad una soluzione valida sarà imprescindibile una valutazione bilanciata della risoluzione spaziale adottata. La scelta del livello del dettaglio influenzerà sostanzialmente sia l'accuratezza dei risultati che il peso computazionale nella risoluzione del modello.

Con riferimento allo strato informativo degli edifici e dei muri, le cui forme hanno gli orientamenti più vari, si consideri che la rasterizzazione delle geometrie vettoriali potrebbe provocare una eccessiva scalettatura (aliasing) ai contorni che avrebbe ricadute sulla valutazione delle resistenze viscose nel calcolo idraulico.



Mesh contains	79011 cells
Max cell (77457)	8,12 m ²
Min cell	0,76 m ²
Avg cell	3,83 m ²

DETTAGLIO DEL DTM CON GLI EDIFICI: SI NOTA LA RUGOSITÀ DEI CONTORNI SENZA GIUNGERE AD UNO SCALETTEAMENTO DELLE SUPERFICI

Le dimensioni tipiche del pixel in questo caso sono state di 0,2 m per muri ed edifici.

La prima fase consiste nella predisposizione dei dati plano-altimetrici utili per l'implementazione del modello, così come descritto nei paragrafi precedenti.

Scenari simulati

- ante operam: si intende la geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato attuale;
- post operam: si intende la geometria ottenuta dal modello del terreno unitamente alle opere in progetto.

8. DEFINIZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO

8.1 DELIMITAZIONE DEI DOMINI 2D E LORO CONDIZIONI AL CONTORNO

La definizione dei domini bidimensionali rappresenta una fase fondamentale dell'implementazione del modello 2D. Il software Hec-Ras consente di inserire diverse tipologie di input in funzione dei quali va definita l'area 2D di riferimento.

Qualora l'input del modello sia una pioggia il cui ietogramma è distribuito in modo omogeneo sul bacino (approccio *Rainfall on grid*) è necessario considerare un dominio 2D che comprende l'intero bacino idrologico precedentemente calcolato per permettere di considerare l'effettivo e totale volume di pioggia che darà luogo all'allagamento del territorio. L'approccio "*Rainfall on grid*" risulta sempre più utilizzato in letteratura ed in ambito professionale (David and Schmalz, 2020; Costabile et al., 2020)².

ASSEGNAZIONE CONDIZIONI AL CONTORNO

HEC-RAS ha permesso di inserire 3 tipologie di condizioni al contorno:

- Precipitation;
- Flow Hydrograph;
- Normal Depth.

La prima è stata impiegata per ipotizzare un ingresso di acqua nell'area (approccio *Rainfall on grid*) e si sono utilizzate le piogge lorde ricavate dalla modellazione idrologica per i diversi periodi di ritorno. Queste vengono trasformate in piogge nette dal software stesso mediante il

²David, A., Schmalz, B., 2020. Flood hazard analysis in small catchments: Comparison of hydrological and hydrodynamic approaches by the use of direct rainfall. *Journal of Flood Risk Management*, 13 (4), art. no. e12639.

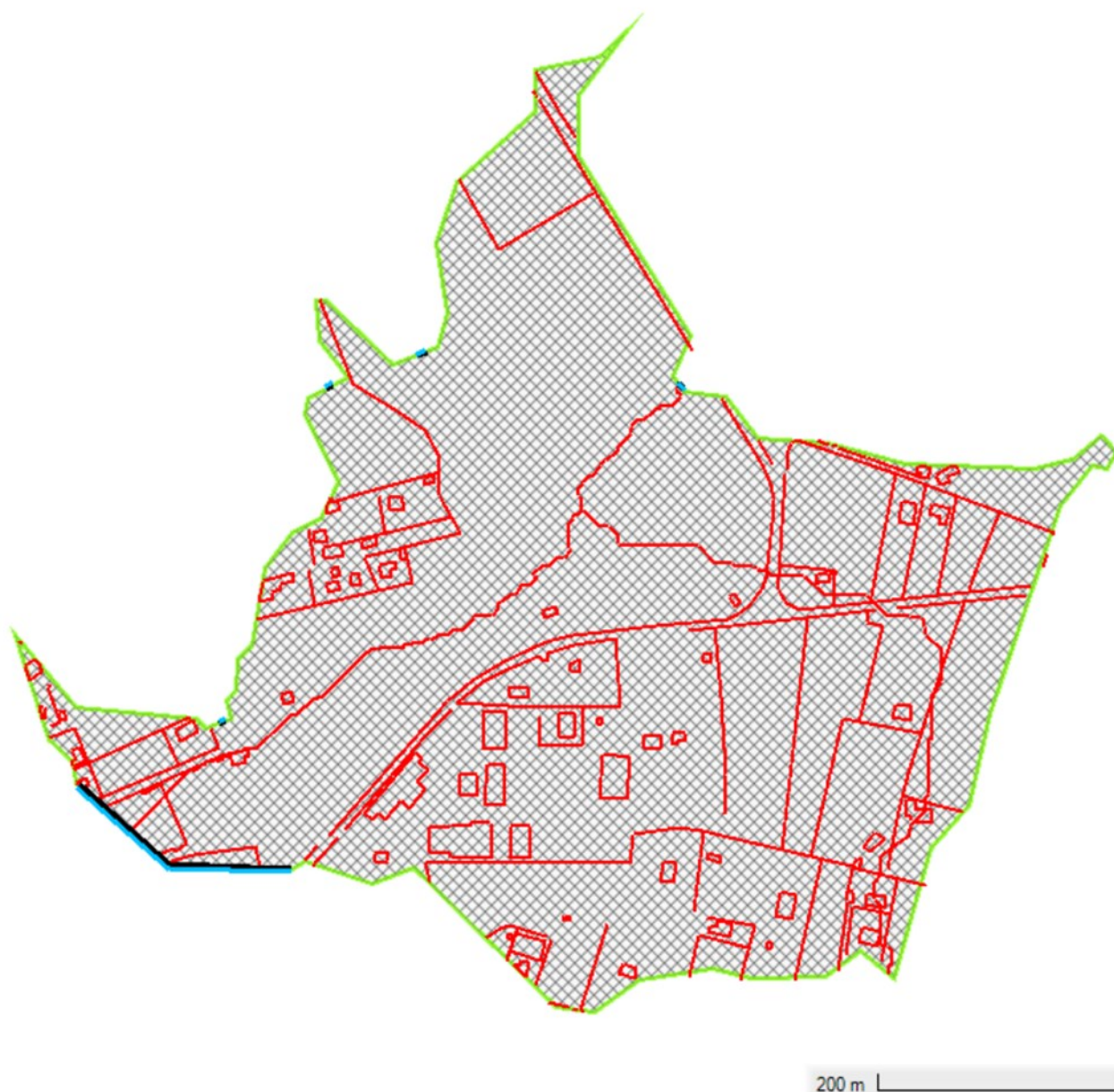
Costabile, P., Costanzo, C., Ferraro, D., Macchione, F., Petaccia, G., 2020a. Performances of the new HEC-RAS version 5 for 2-D hydrodynamic-based rainfall-runoff simulations at basin scale: Comparison with a state-of-the art model. *Water*, 12 (9), art. no. 3433.

metodo del Curve Number proposto dal Soil Conservation Service (U.S. Dept. Agric., Soil Conservation Service, 1972, vedi paragrafo sopra) dopo aver importato il layer contenente la distribuzione spaziale dei valori di CN.

La seconda condizione è stata impiegata per ipotizzare un ingresso di acqua nell'area relativamente all'area di calcolo e si sono utilizzati gli idrogrammi ricavati dalla modellazione idrologica, imposti come condizione al contorno di monte.

La terza condizione al contorno, a valle, è stata impiegata per simulare l'uscita dell'acqua dall'area in corrispondenza della sezione di chiusura. Per il caso in esame si è supposta una Normal Depth corrispondente alla pendenza del terreno, (si ricorda che HEC RAS richiede l'inserimento di un fattore di attrito che impiega per calcolare l'altezza critica mediante l'utilizzo dell'equazione di Manning).

In termini cautelativi, per gli idrogrammi di piena sottesi alle sezioni 1, 2, 3 e 4 e le precipitazioni sul bacino residuo (5) si è ipotizzata la concomitanza dei colmi di piena e del picco di precipitazione.

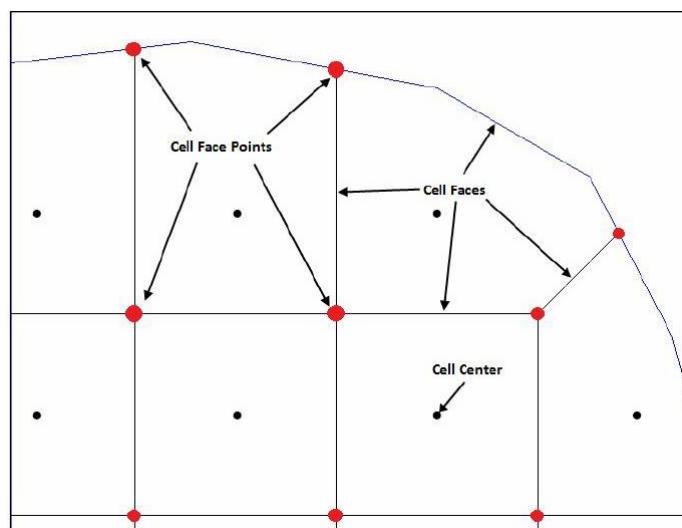


UBICAZIONE DELLE CONDIZIONI AL CONTERNO INDIVIDUATE ALL'INTERNO DELL'AMBITO DI INTERESSE IN AZZURRO USCITA DEL MODELLO (CONDIZIONI AL CONTERNO APPLICATA NORMAL DEPTH) IN VERDE CONTERNO ESTERNO AREA DI FLUSSO 2D (CONDIZIONE AL CONTERNO APPLICATA PRECIPITATION) IN GRIGIO LA GRIGLIA DI CALCOLO, IN ROSSO BREAKLINES

La griglia di calcolo utilizzata è stata di 1m x 1m, il software comunque adatta la forma e le dimensioni delle celle di calcolo alla topografia sottostante e al contorno, per cui si possono avere celle quadrate e rettangolari (celle strutturate) sia elementi triangolari o quadrilateri con dimensioni diverse (celle non strutturate); non si possono avere celle con più di otto lati.

La griglia di calcolo risulta costituita da 408678 celle, di dimensione media 0,98 m², minima 0,19 m² e massima 1,79 m².

All'interno della griglia ogni cella presenta le seguenti caratteristiche:

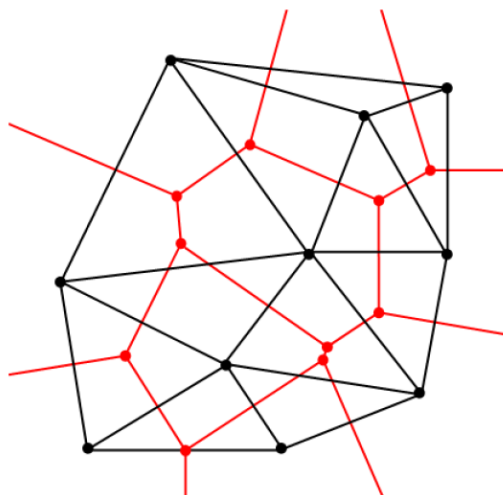


Cell Center (Centro della Cella): rappresenta il punto dove viene computato il livello idrico.

Cell Faces (Lati della Cella): rappresentano i contorni esterni della cella. Generalmente sono delle linee rette, ma in corrispondenza del bordo esterno della 2D Flow Area, si adattano a questo perimetro.

Cell Face Points (Vertici delle Celle): sono i punti che vengono utilizzati per collegare la 2D Flow Area alla Lateral Structure ed anche per collegare gli elementi 2D con elementi 1D.

HEC-RAS costruisce la rete computazionale seguendo la tecnica di triangolazione Delaunay Triangolazione, e quindi la costruzione di un Diagramma Voronoi (triangoli in nero nella figura sottostante).



In tal modo poiché le cellule riescono a rappresentare in modo ottimale i dettagli del terreno sottostante a differenza di molti altri modelli 2D che utilizzano semplicemente una quota costante per l'intera cella che viene così ad essere modellata come "piatta". Analogo

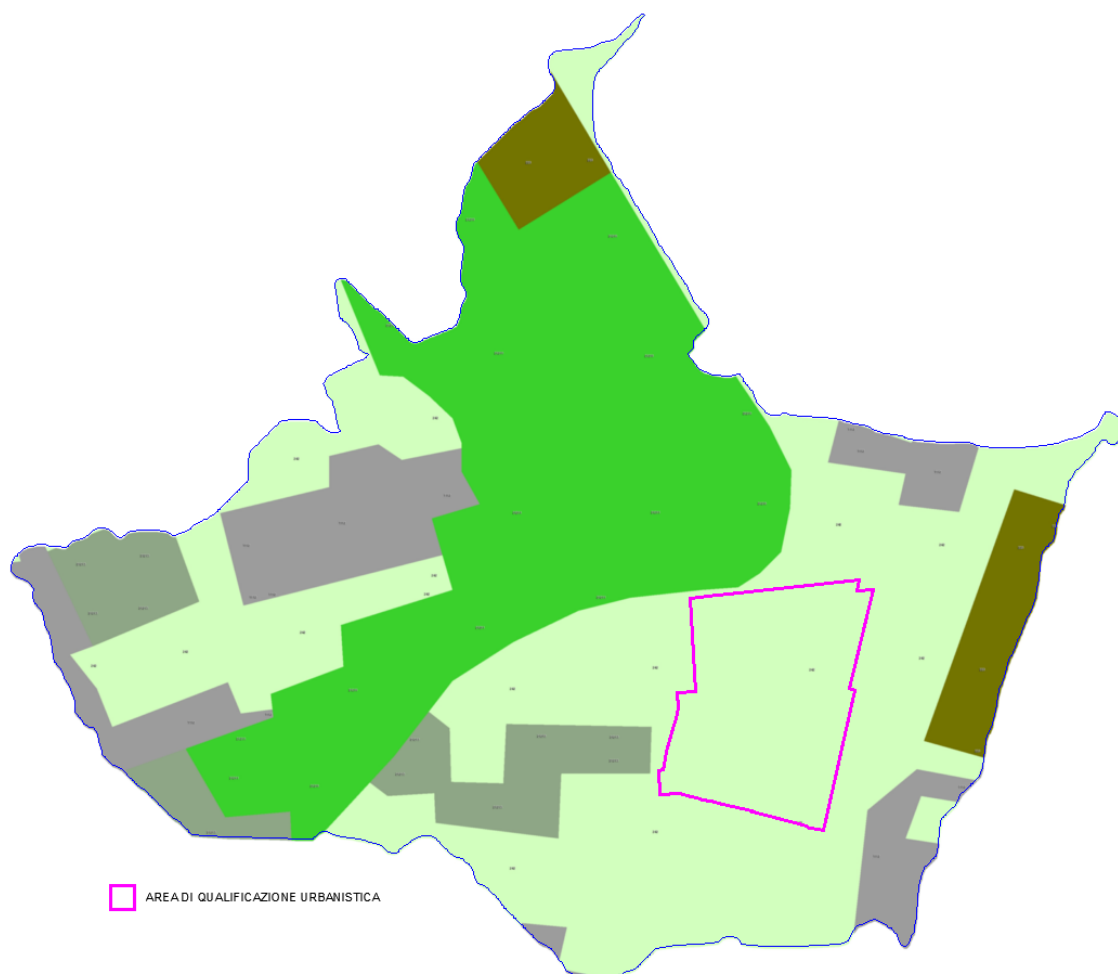
ragionamento per le facce della cella le quali modellano il flusso seguendo il reale andamento del terreno senza interpolazioni e appiattimenti.

Per garantire maggior precisione al calcolo bidimensionale, sono state inserite nel modello opportune break lines lungo le quali si allineano le facce delle celle, per rappresentare eventuali barriere fisiche presenti sul terreno (muri, edifici, strade), che di fatto possono costituire elementi di disconnessione interni all'area di calcolo.

9.2 DEFINIZIONE DELLA SCABREZZA IDRAULICA

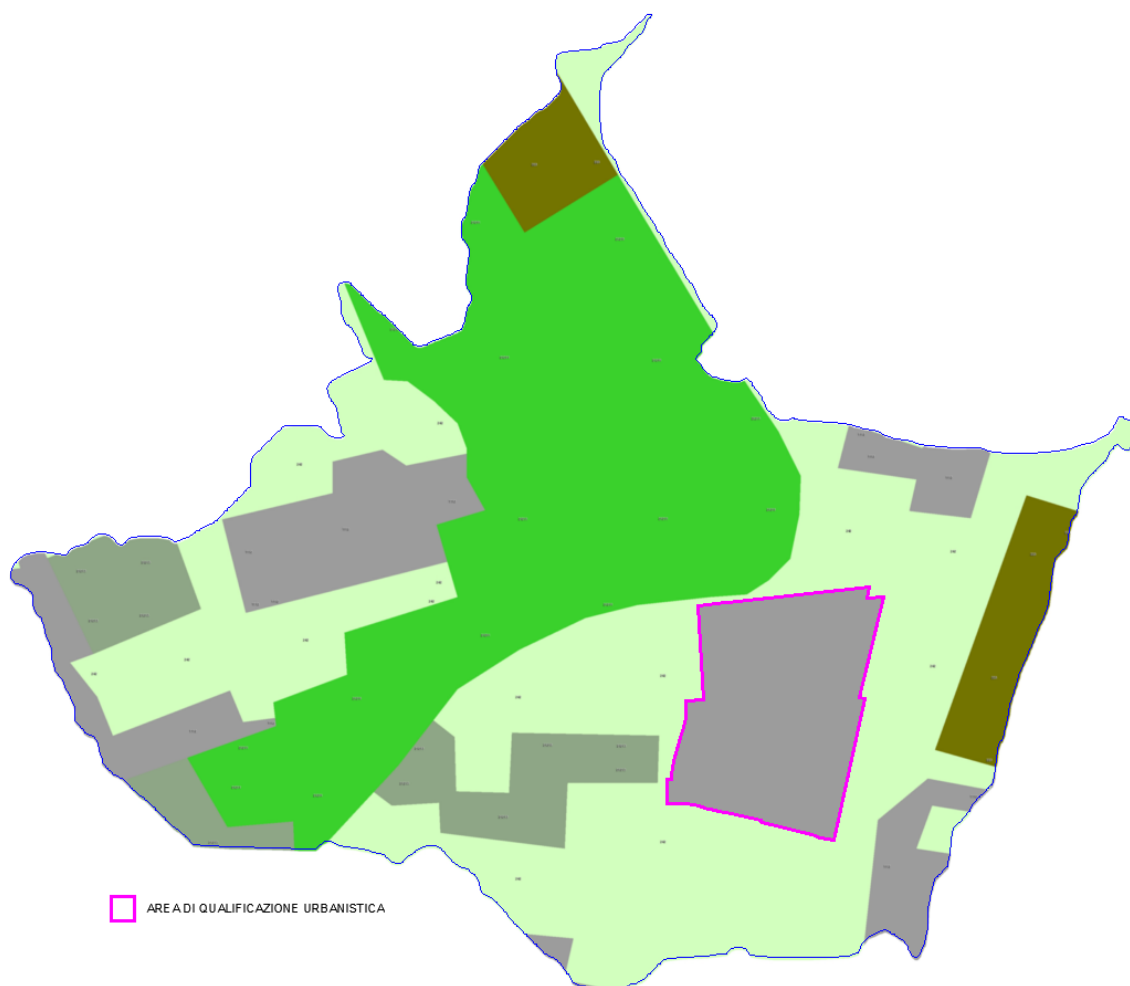
Con riferimento alla scabrezza da attribuire alle celle del campo del moto, deve essere valutato il coefficiente di Manning sulla base dell'uso e copertura dei suoli in conformità con quanto indicato Linee Guida della Regione Sardegna per la redazione degli studi comunali dei bacini urbani e periurbani interessati da elementi del reticolo idrografico regionale (articolo 8 comma 5 septies delle NTA del PAI) Relazione Metodologica per la modellazione idraulica bidimensionale Allegato alla deliberazione del Comitato Istituzionale n. 7 del 07.04.2021.

DESTINAZIONE D'USO (CLC)	MANNING N ($s/m^{1/3}$)
242	0,035
21211	0,035
223	0,04
1112	0,013
21213	0,035
1112 (AREA DI QUALIFICAZIONE URBANISTICA)	0,013



	CLC	NOME CLASSE
	223	Oliveti
	242	Sistemi colturali e particellari complessi (mosaico di appezzamenti agricoli)
	1112	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado
	21211	Colture ortive in pieno campo
	21213	Colture orto-floro-vivaistiche (serre)

USO DEL SUOLO ANTE OPERA



	CLC	NOME CLASSE
	223	Oliveti
	242	Sistemi colturali e particellari complessi (mosaico di appezzamenti agricoli)
	1112	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado
	21211	Culture ortive in pieno campo
	21213	Culture orto-floro-vivaistiche (serre)

USO DEL SUOLO POST OPERA

RISOLUZIONE DELLE EQUAZIONI

Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda o quelle complete di Saint Venant. La modellazione è stata eseguita utilizzando le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant (full momentum) applicabili a una gamma ampia di problemi.

Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volumi finiti. L'algoritmo di soluzione consente di utilizzare passi temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti fornisce anche miglioramenti in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi a elementi finiti.

In una simulazione di moto vario, comunque, il parametro più significativo da considerare è l'intervallo computazionale ΔT , che deve essere scelto con accuratezza in modo da non influenzare negativamente l'esito delle analisi.

Generalmente questo valore viene valutato basandosi sul criterio di Courant, esprimibile nella maniera seguente:

$$C = \frac{V\Delta T}{\Delta X} \leq 1$$

Tenendo presente che V e ΔX sono rispettivamente la velocità massima dell'acqua e la dimensione media delle celle.

Molto importante è anche sottolineare che il software computa la velocità della corrente nei nodi della griglia, mentre il livello idrico è calcolato nel cell center della griglia stessa.

Si è scelto il passo temporale ΔT variabile tra 0,5s e 1s, in modo da contenere il numero di Courant tra 0,45 e 1 mentre la durata della simulazione è stata di 4 ore.

10. DEFINIZIONE DEGLI ELEMENTI ESPOSTI

La definizione degli elementi esposti è stata effettuata sulla base della nuova definizione emanata dal D.P.Reg. 6 maggio 2021 e riportata nella tabella Elementi a rischio.

Per l'individuazione è stato utilizzato il tematismo dell'ISTAT, nell'ultimo censimento disponibile relativo al 2011.

Per la tipologia dell'elemento a rischio si è considerata la classe E2 (Insediamenti industriali, artigianali, commerciali).

11. VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO

I risultati della modellazione idraulica ricavate con l'applicazione di un modello 2D, supportati da una buona qualità dell'informazione cartografica e morfologica disponibile, hanno fornito informazioni spazialmente distribuite delle altezze idrauliche per cui ai fini della valutazione della pericolosità si è fatto ricorso ad una metodologia "completa" che valuta la pericolosità incrociando le informazioni relative al tempo di ritorno e alla distribuzione spaziale delle altezze idriche stesse.

Battente Idraulico	Tempo di Ritorno		
	50	100	300
$H < 0,3$	P1	P1	P1
$0,3 < H < 1 \text{ m}$	P2	P2	P2
$1 < H < 2 \text{ m}$	P4	P3	P2
$H > 2 \text{ m}$	P4	P4	P3

Per la tipologia dell'elemento a rischio si è considerata la classe E2 (case sparse).

Mediante l'incrocio del dato relativo all'elemento a rischio con quello della classe di pericolosità, si può risalire al grado di rischio. La valutazione del rischio si è così effettuata sulla base della matrice riportata nella seguente tabella:

Rischio	E1	E2	E3	E4
P1	R1	R1	R2	R2
P2	R1	R1	R3	R3
P3	R2	R2	R3	R4
P4	R2	R2	R4	R4

12. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE 2D (SCENARI SIMULATI)

RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE 2D

Scenari simulati

Come precedentemente introdotto, si è proceduto alla simulazione delle inondazioni riferite ai tempi di ritorno (T_r) di 50, 100, 300 anni considerando le configurazioni ante operam e post operam. Nel post operam si è tenuto conto della modifica dell'area, oggetto di qualificazione urbanistica, con la probabile ubicazione dei fabbricati su indicazione della committenza.

Per le mappe dei tiranti è stata utilizzata la classificazione del PAI Regione Sicilia, consistente nei seguenti intervalli di altezze idrometriche indicati in tabella:

Classe	altezza critica: h (m)
1	$h < 0,30$
3	$0,30 \leq h < 1,00$
3	$1,00 \leq h < 2,00$
4	$h \geq 2,00$

Le mappe di velocità derivano direttamente da quelle del modello bidimensionale, utilizzando la classificazione proposta da ISPRA consistente nei 2 intervalli indicati nella tabella sottostante (vedi allegati).

Classe	velocità: v (m/s)
1	$v < 2$
3	$v \geq 2$

13. CALIBRAZIONE

In assenza di dati storici per i deflussi liquidi, portate di colmo e trasporto solido (piccolo bacino non strumentato) non è stato possibile una calibrazione a scala di evento.

14. CONCLUSIONI

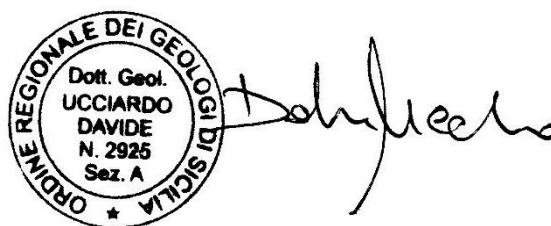
La qualificazione urbanistica prevista risulta compatibile con l'assetto idraulico del territorio in esame con una pericolosità idraulica e rischio idraulico classificato come P1-P2 per i tempi di ritorno considerati.

Secondo le norme di attuazione del PAI nelle aree a pericolosità P1-P2, è consentita l'attuazione delle previsioni degli strumenti urbanistici, generali e attuativi e di settore vigenti, corredati da un adeguato studio idrologico-idraulico, esteso ad un ambito significativo, con il quale si dimostri la compatibilità.

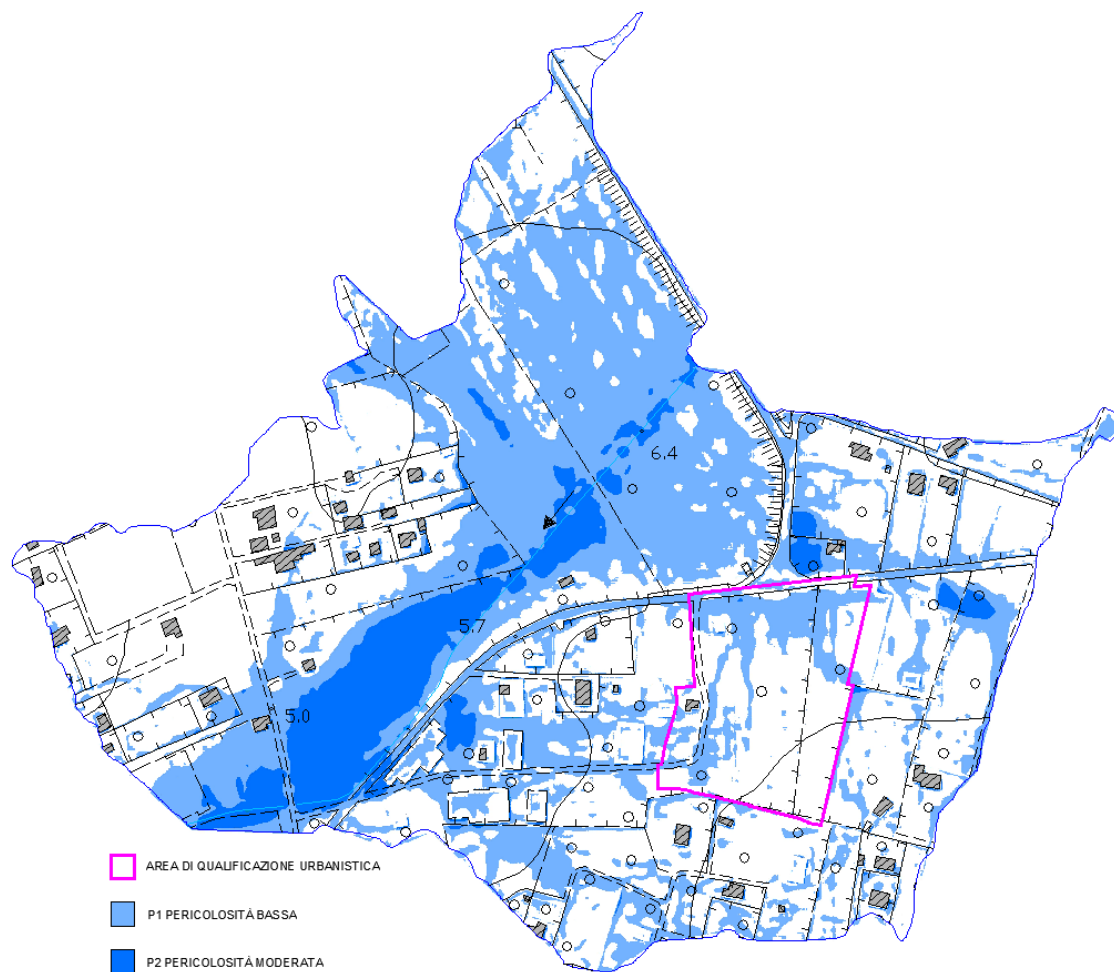
In definitiva, le analisi e le verifiche idrauliche svolte dimostrano l'assenza di effetti negativi sull'assetto idraulico e quindi la compatibilità idraulica dell'opera in progetto come prescritto dal PAI.

Pozzallo, 27/03/2025

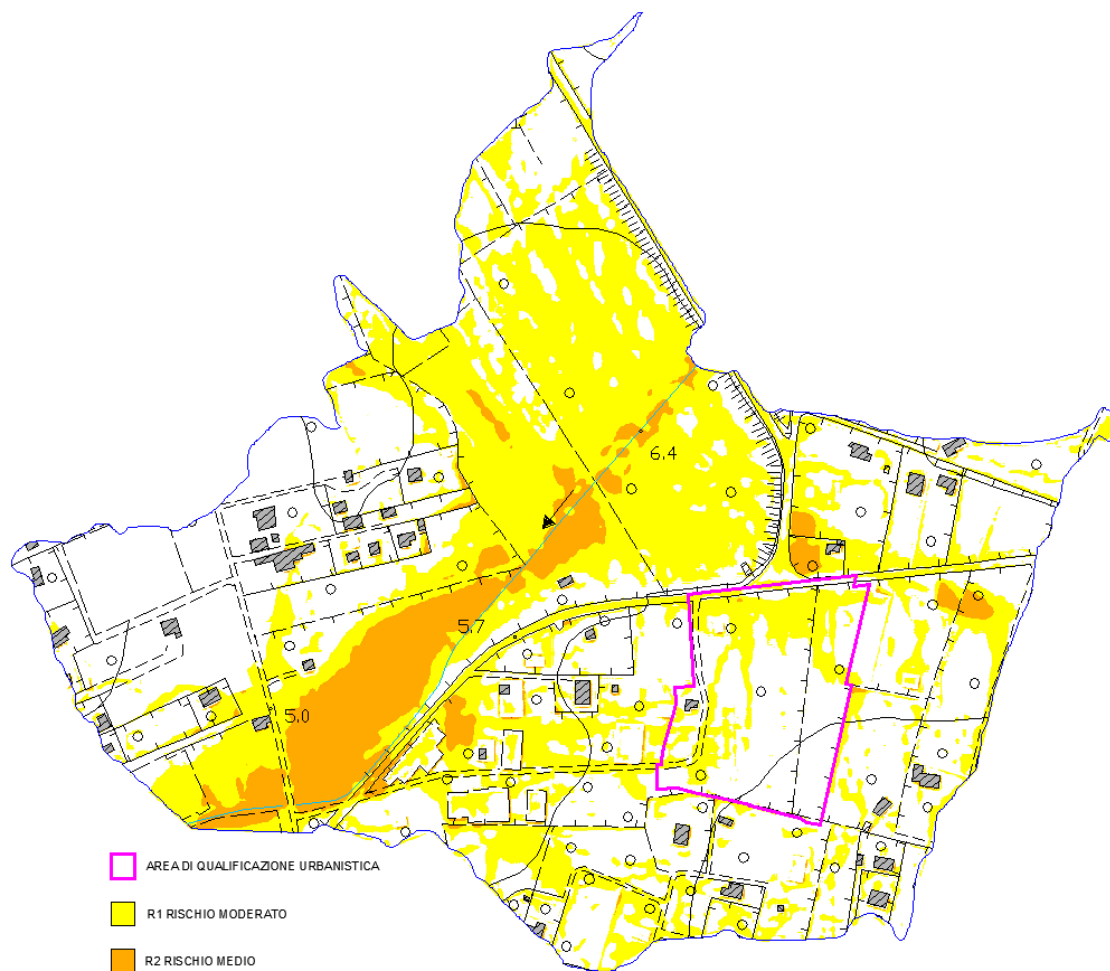
DOTT. GEOL. DAVIDE UCCIARDO



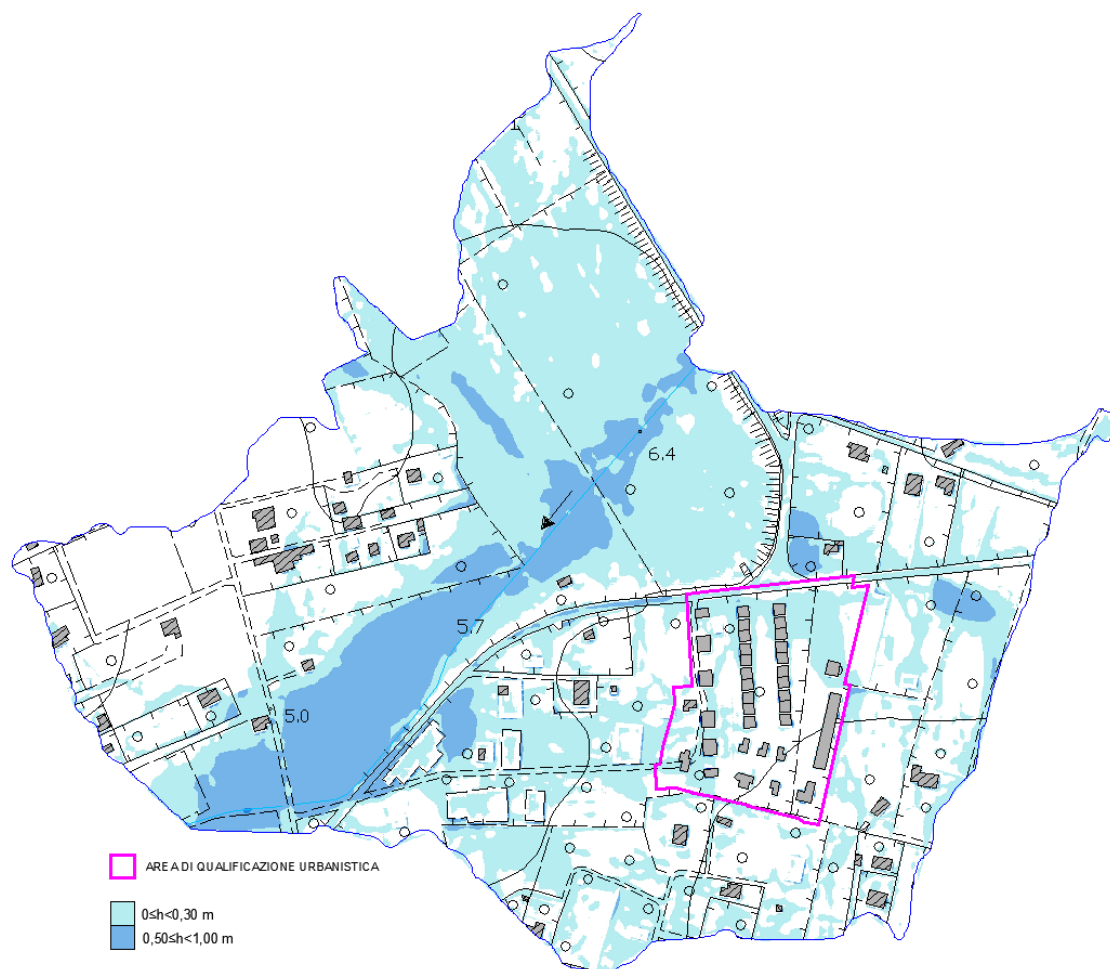
ALLEGATI:



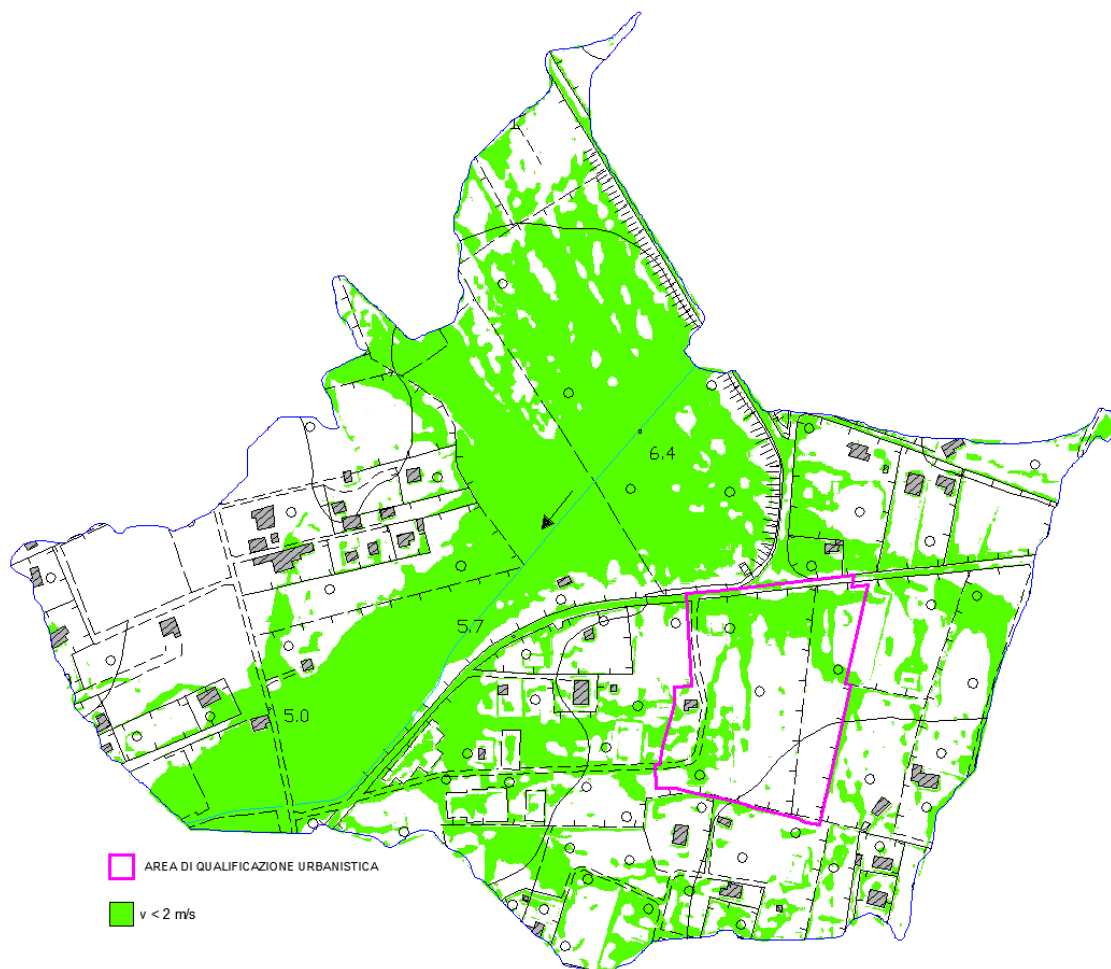
MAPPA PERICOLOSITÀ TR50 ANTE OPERA



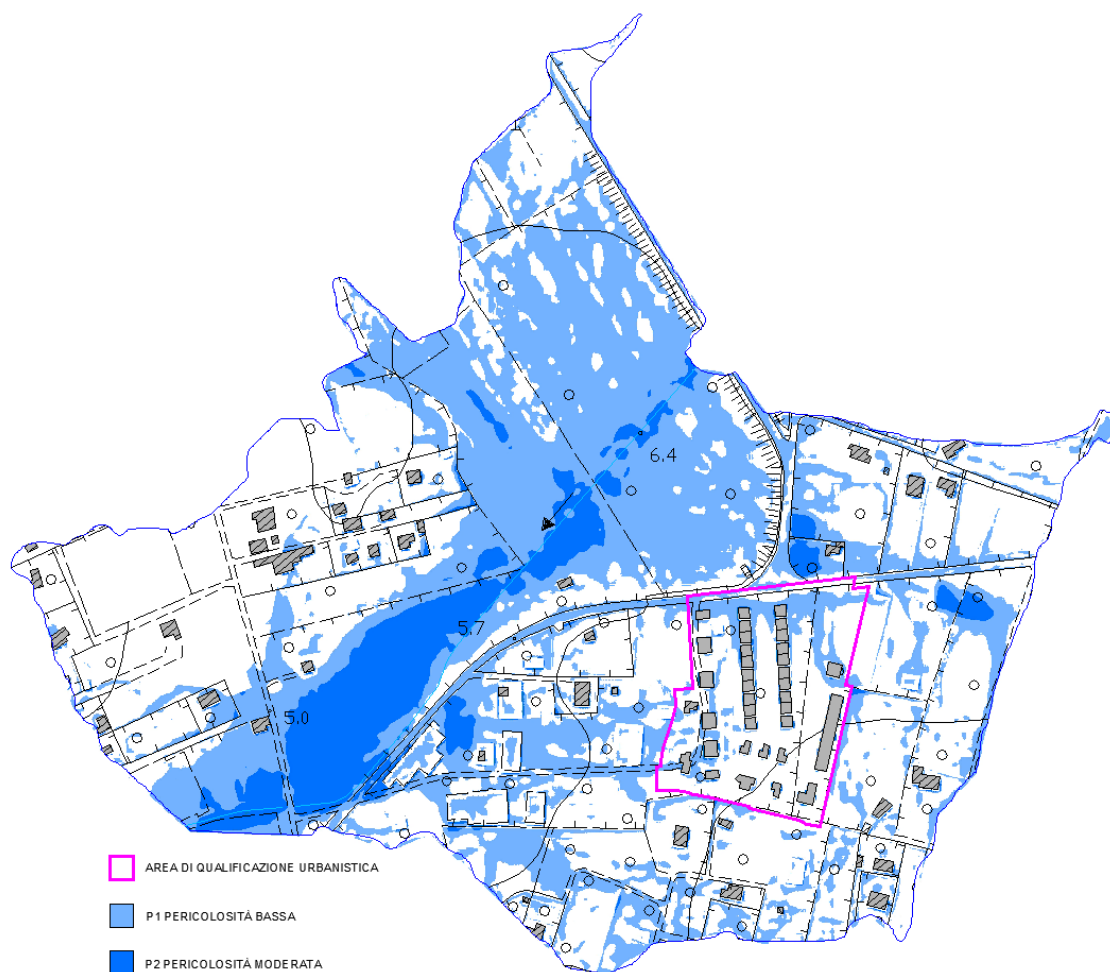
MAPPA DEL RISCHIO TR50 ANTE OPERA



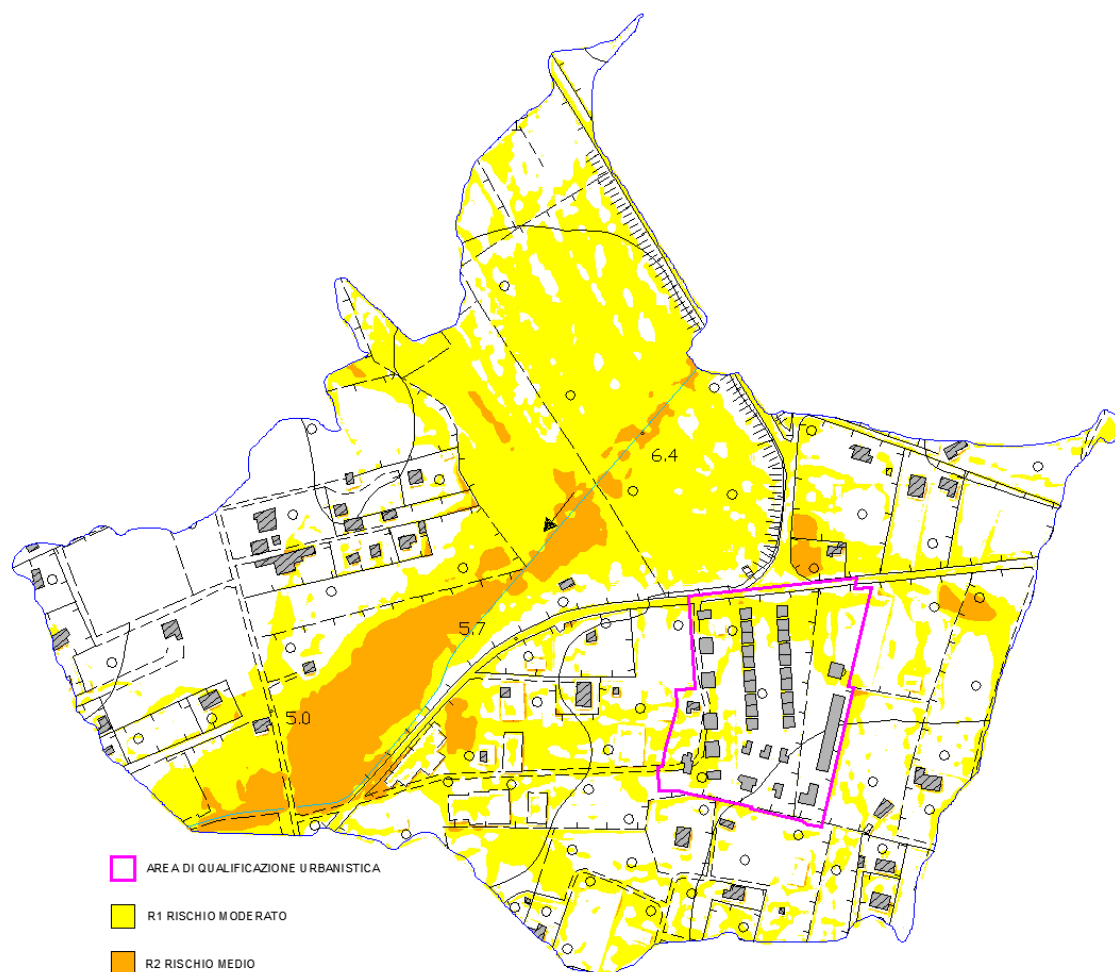
MAPPA DEI TIRANTI IDRICI TR50 ANTE OPERA



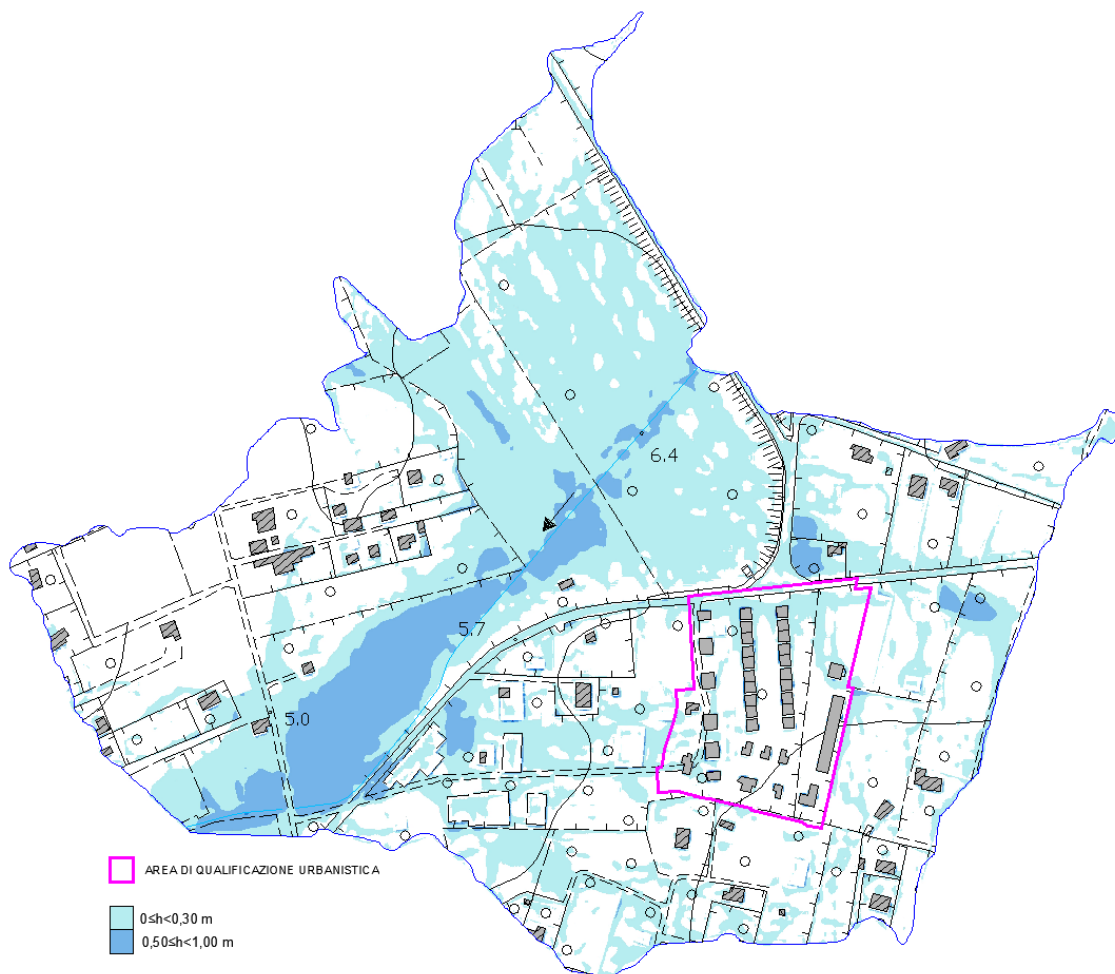
MAPPA DELLA VELOCITÀ TR50 ANTE OPERA



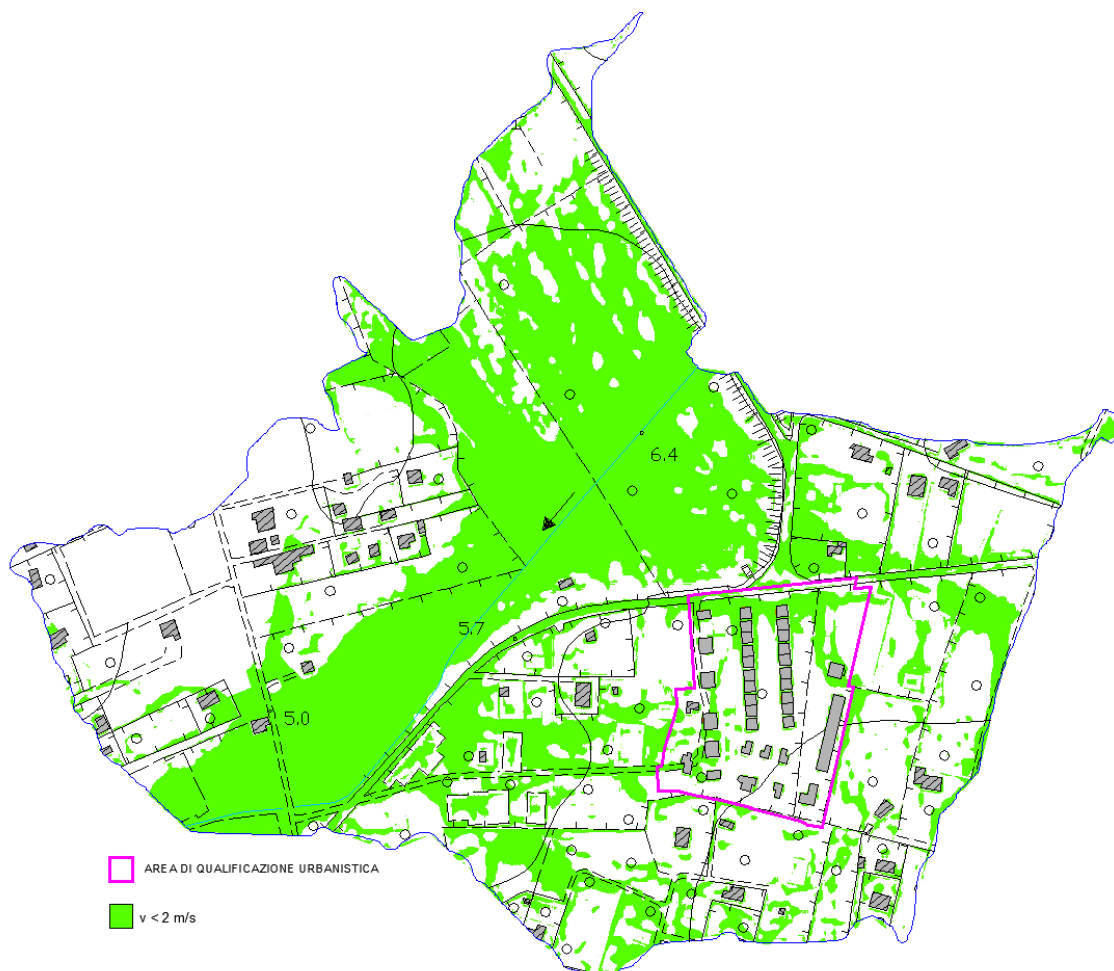
MAPPA PERICOLOSITÀ TR50 POST OPERA



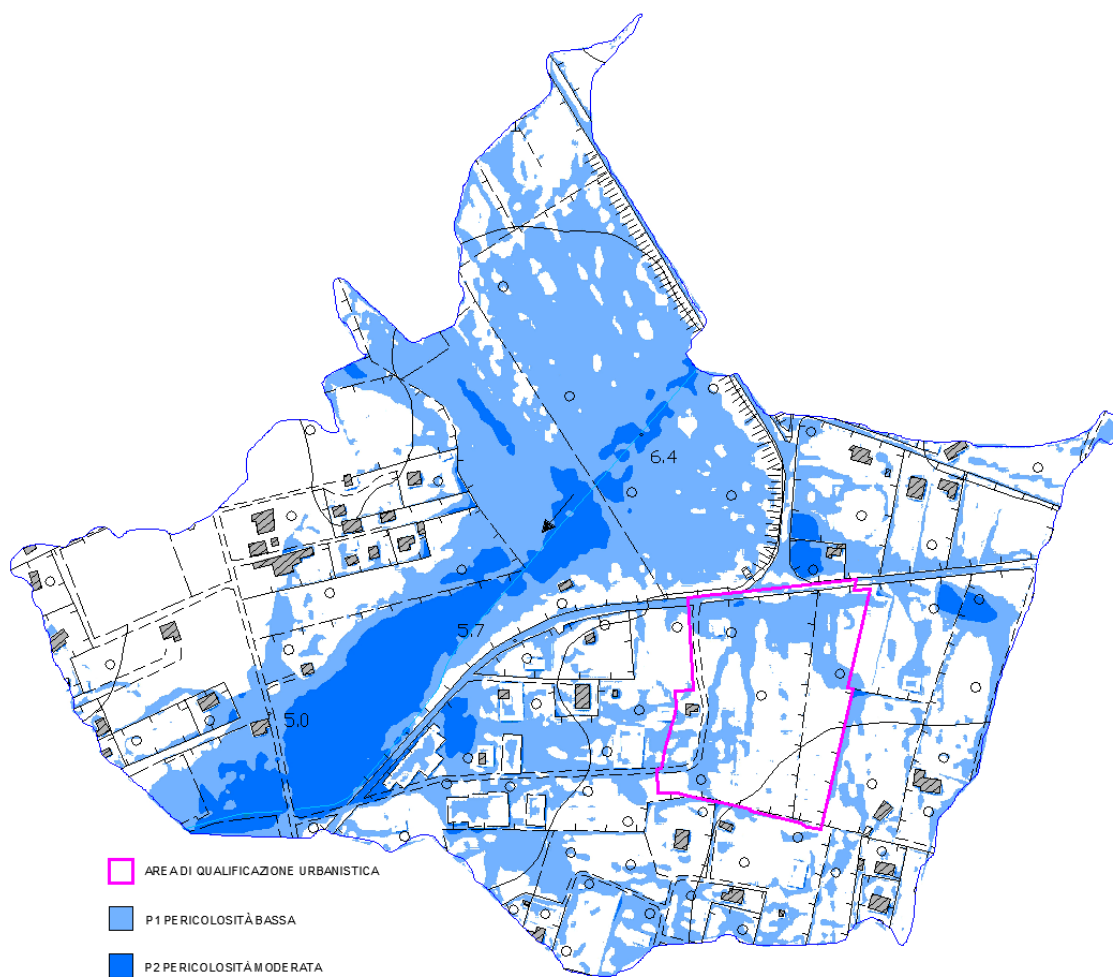
MAPPA DEL RISCHIO TR50 POST OPERA



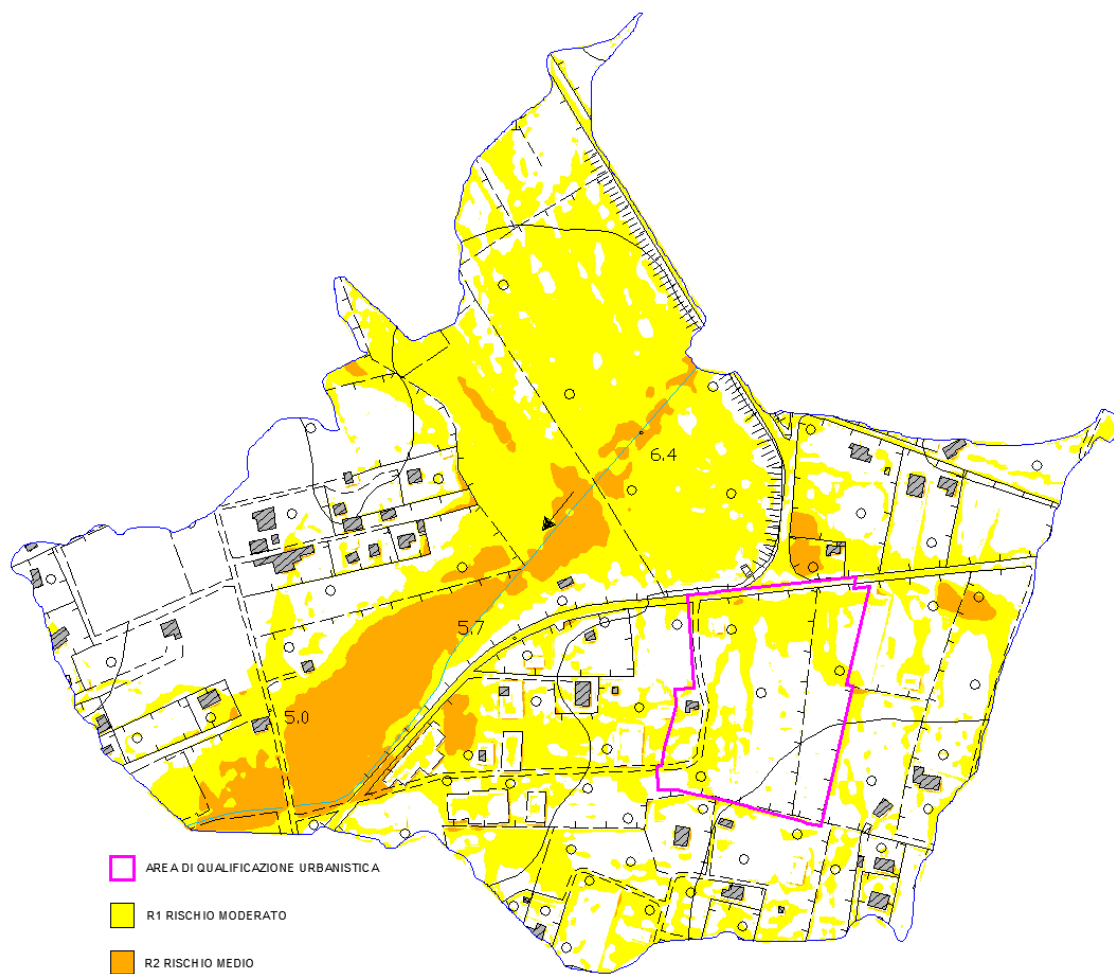
MAPPA DEI TIRANTI IDRICI TR50 POST OPERA



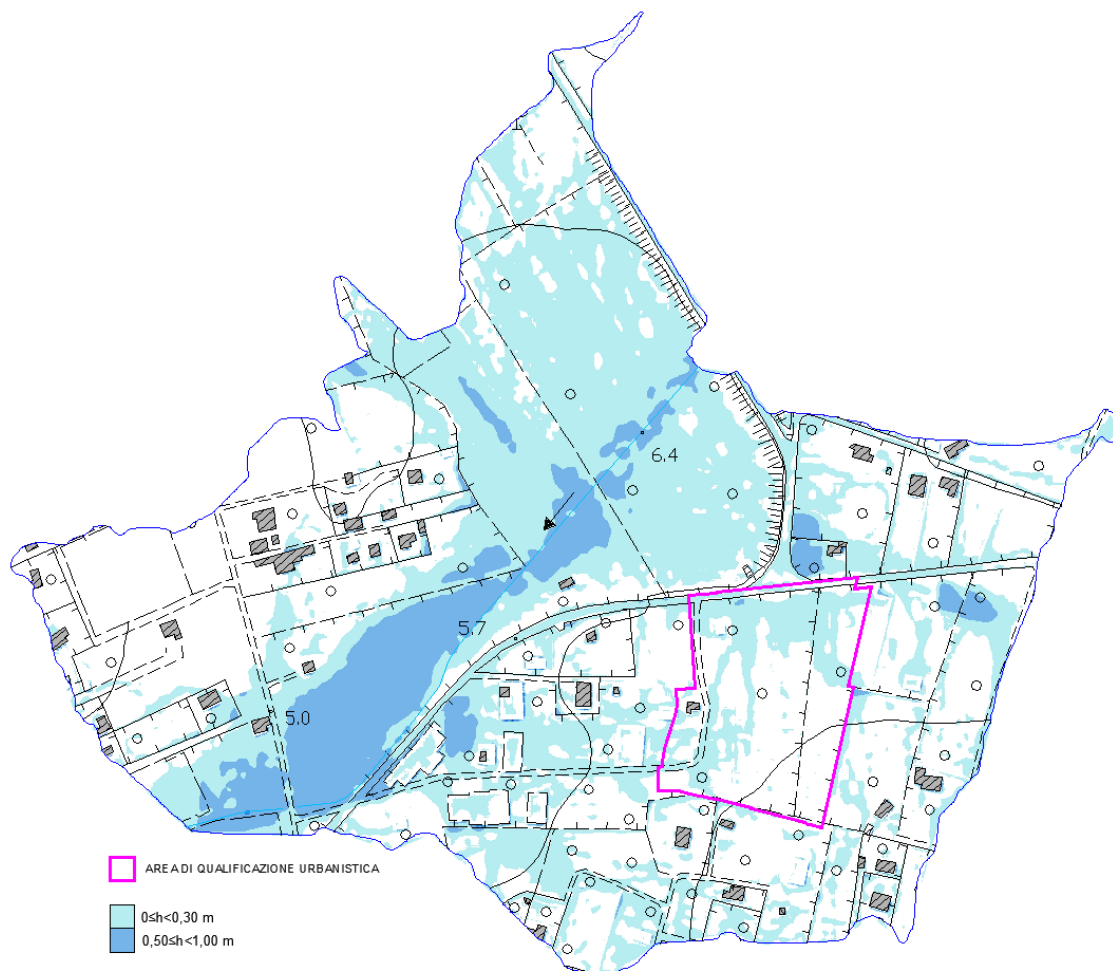
MAPPA DELLA VELOCITÀ TR50 POST OPERA



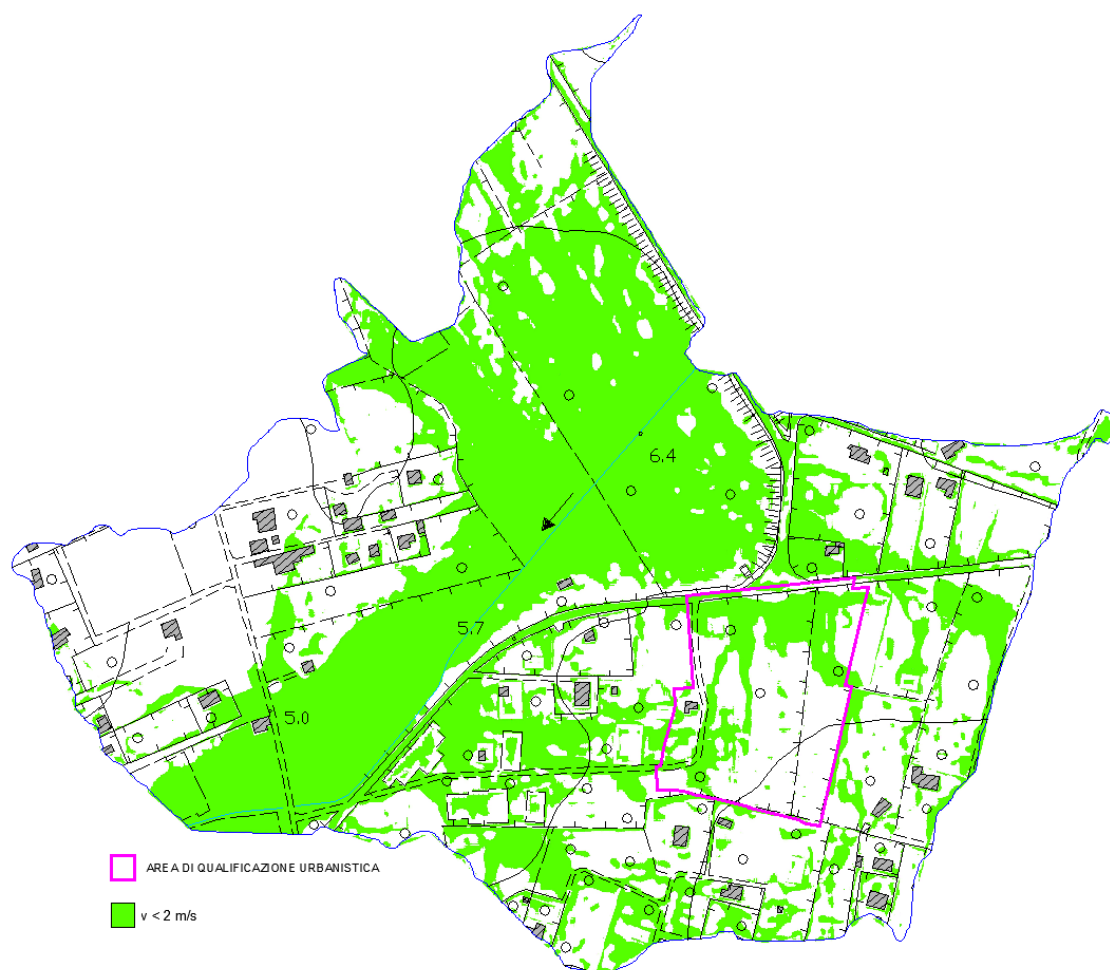
MAPPA PERICOLOSITÀ TR100 ANTE OPERA



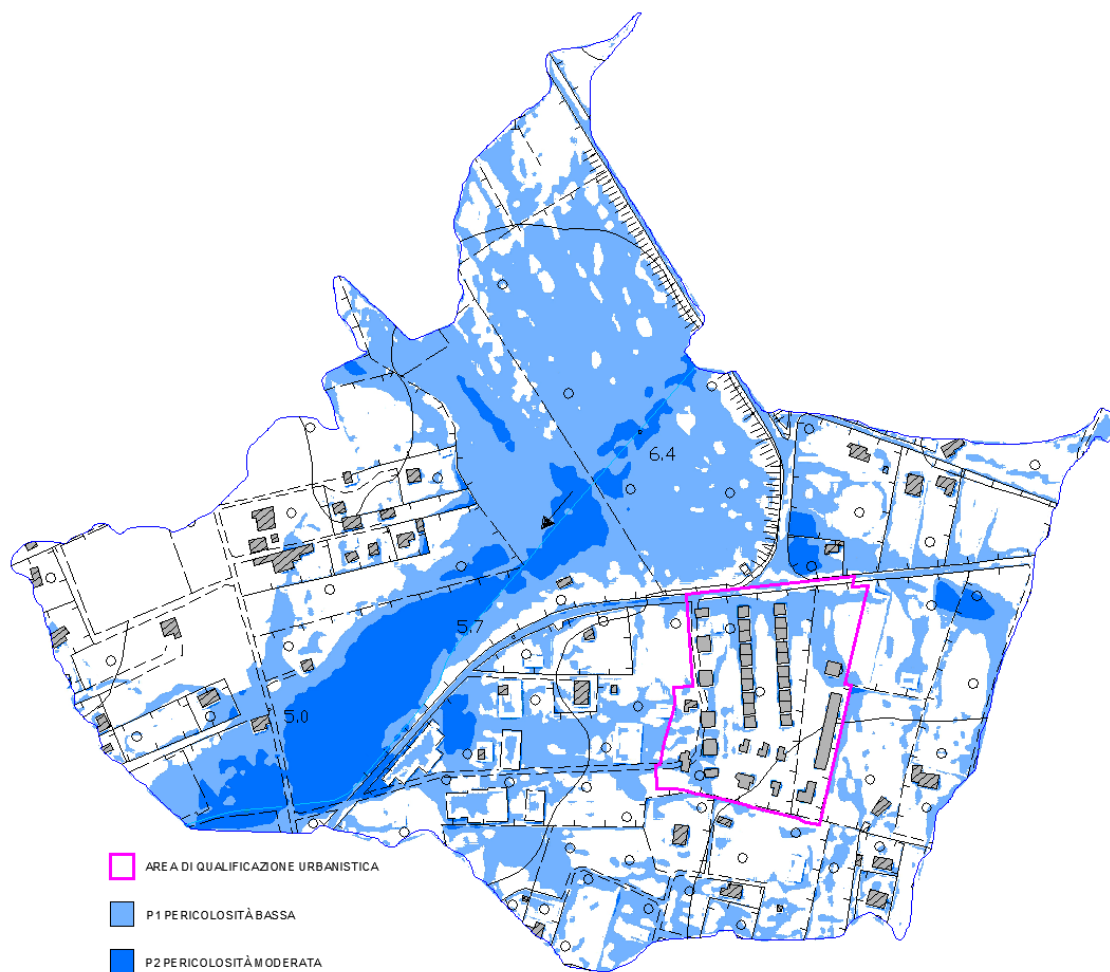
MAPPA DEL RISCHIO TR100 ANTE OPERA



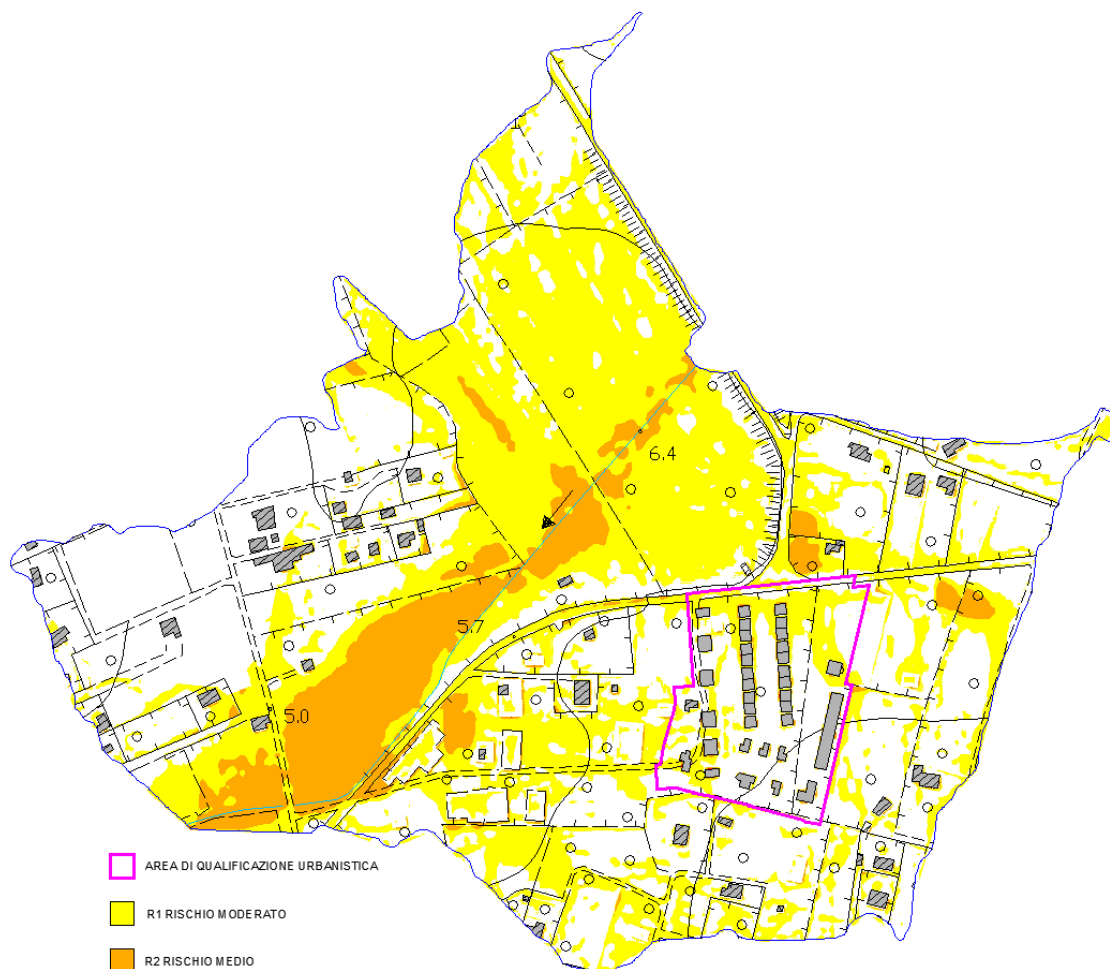
MAPPA DEI TIRANTI IDRICI TR100 ANTE OPERA



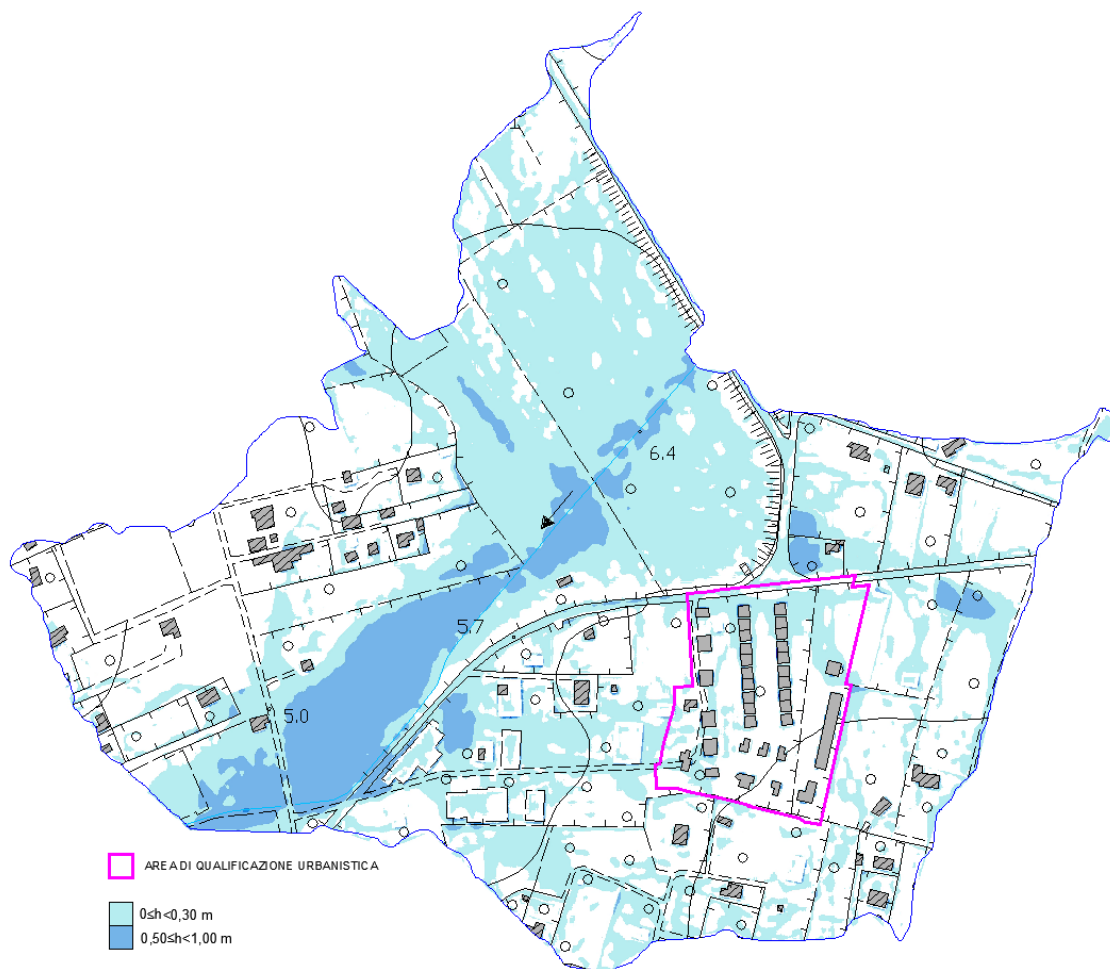
MAPPA DELLA VELOCITÀ TR100 ANTE OPERA



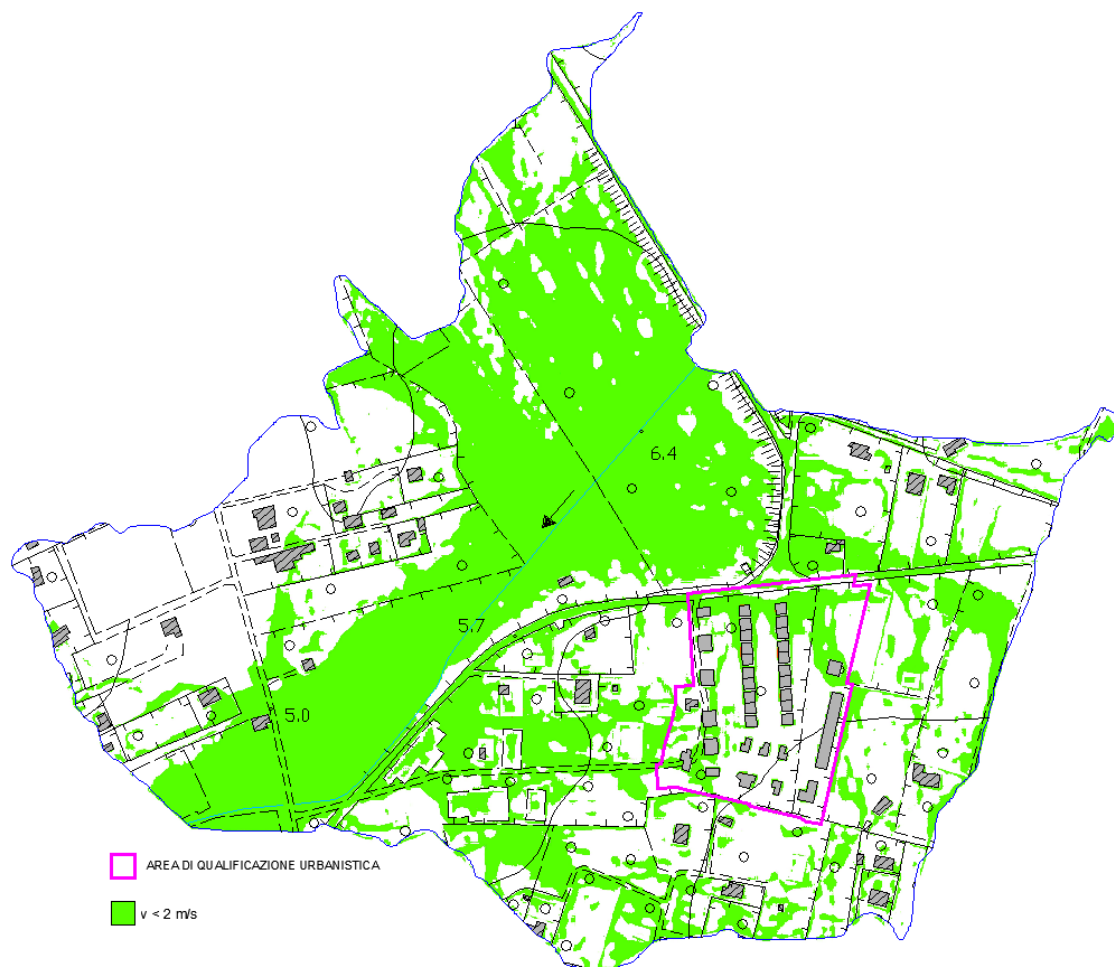
MAPPA PERICOLOSITÀ TR100 POST OPERA



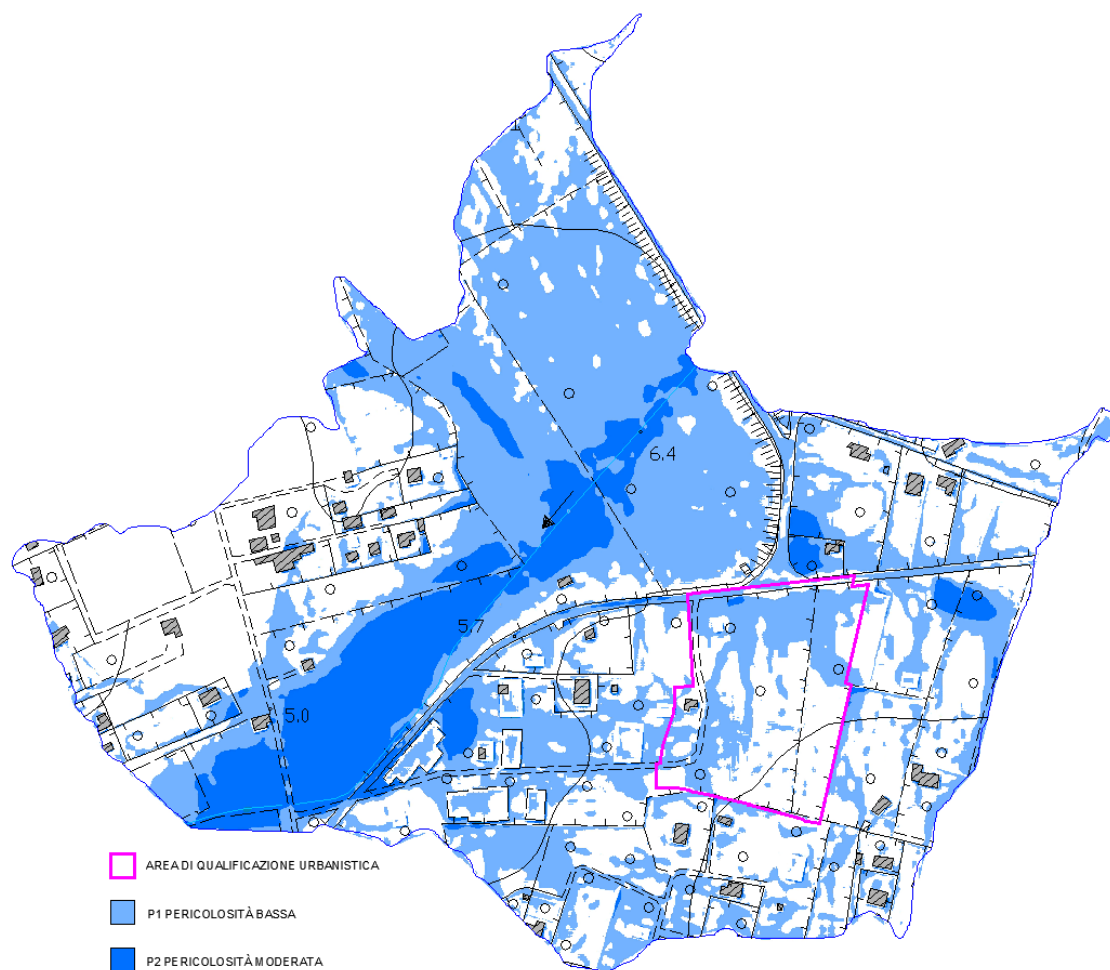
MAPPA DEL RISCHIO TR100 POST OPERA



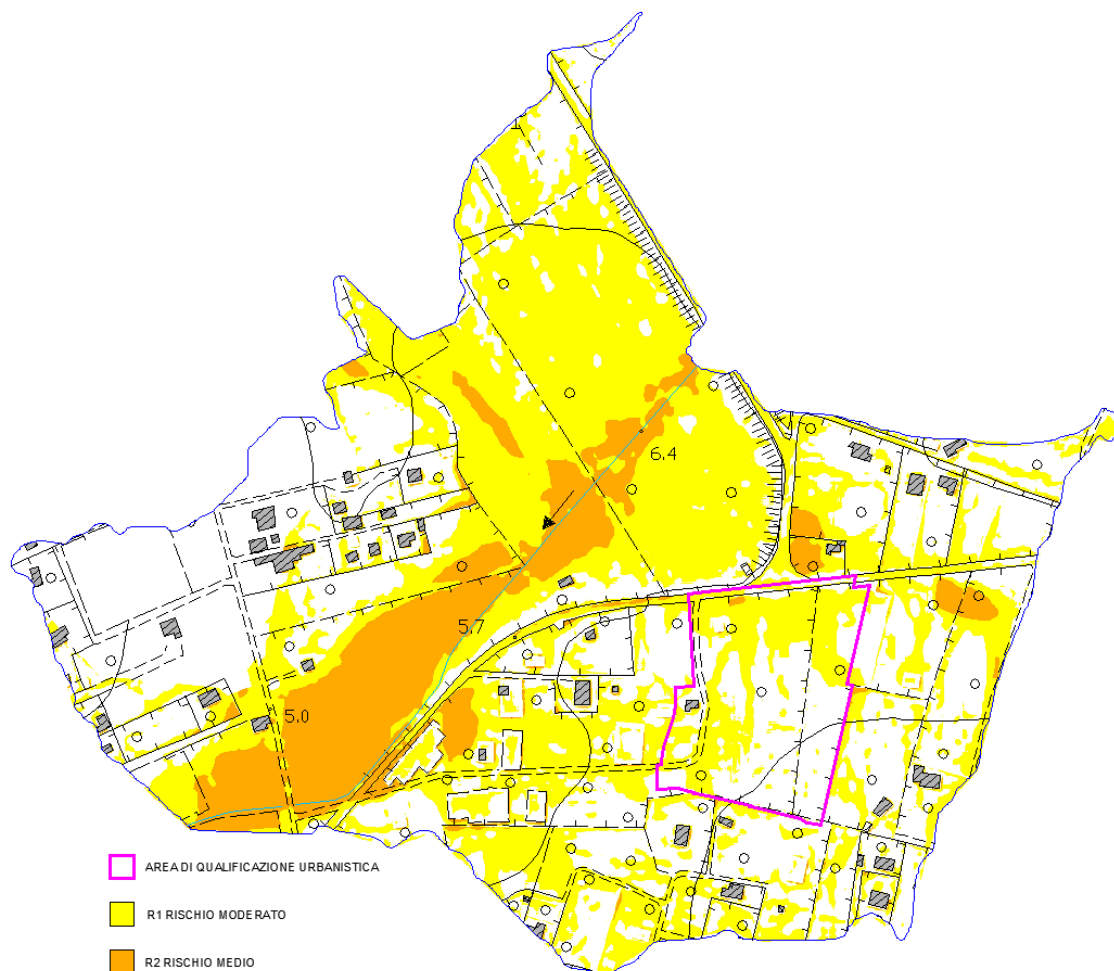
MAPPA DEI TIRANTI IDRICI TR100 POST OPERA



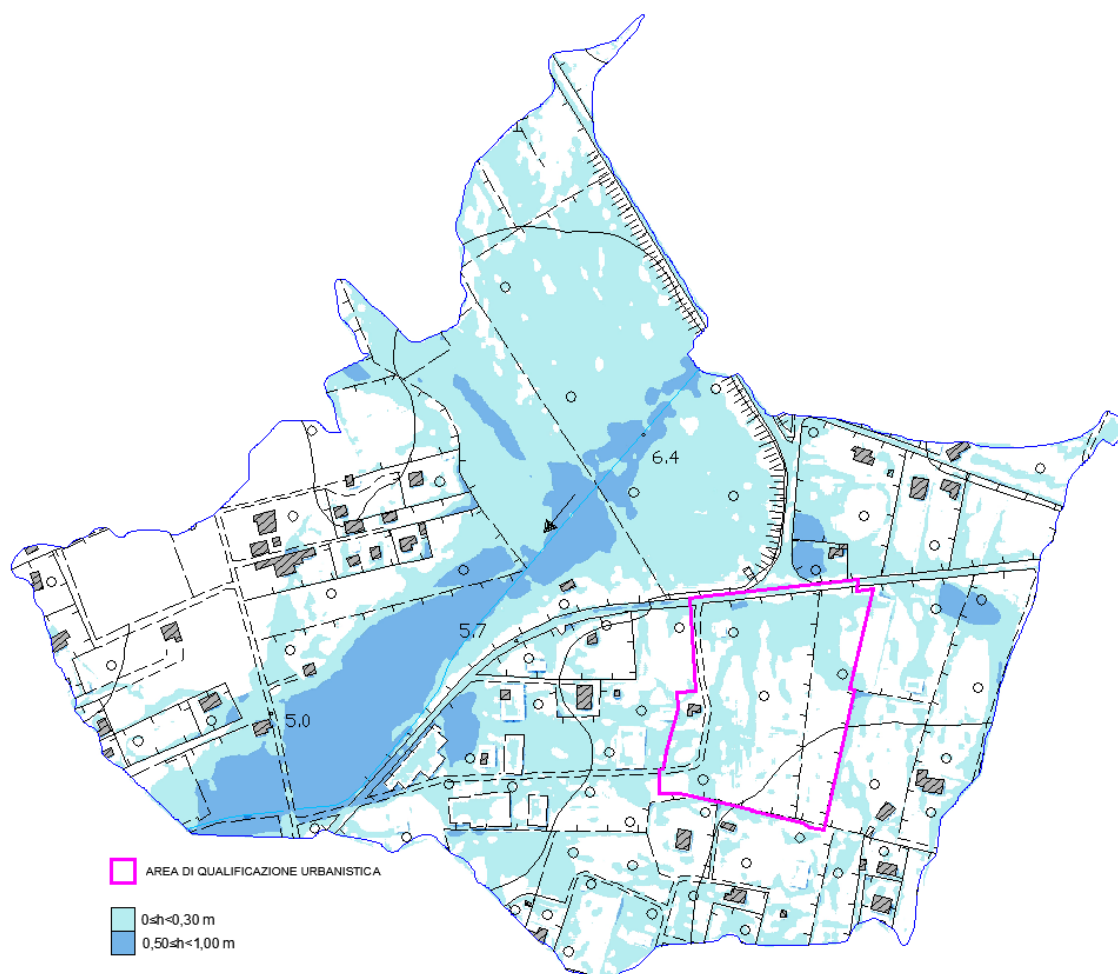
MAPPA DELLA VELOCITÀ TR100 POST OPERA



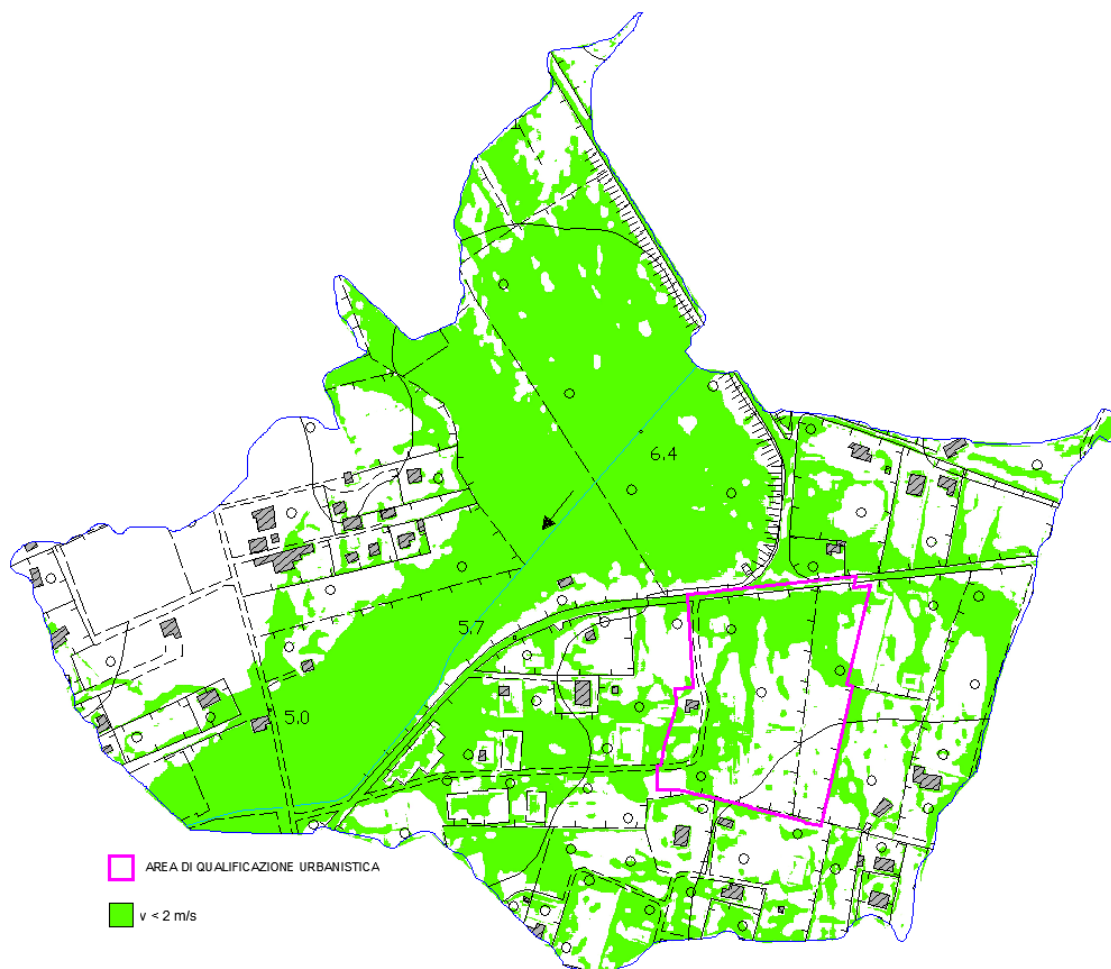
MAPPA PERICOLOSITÀ TR300 ANTE OPERA



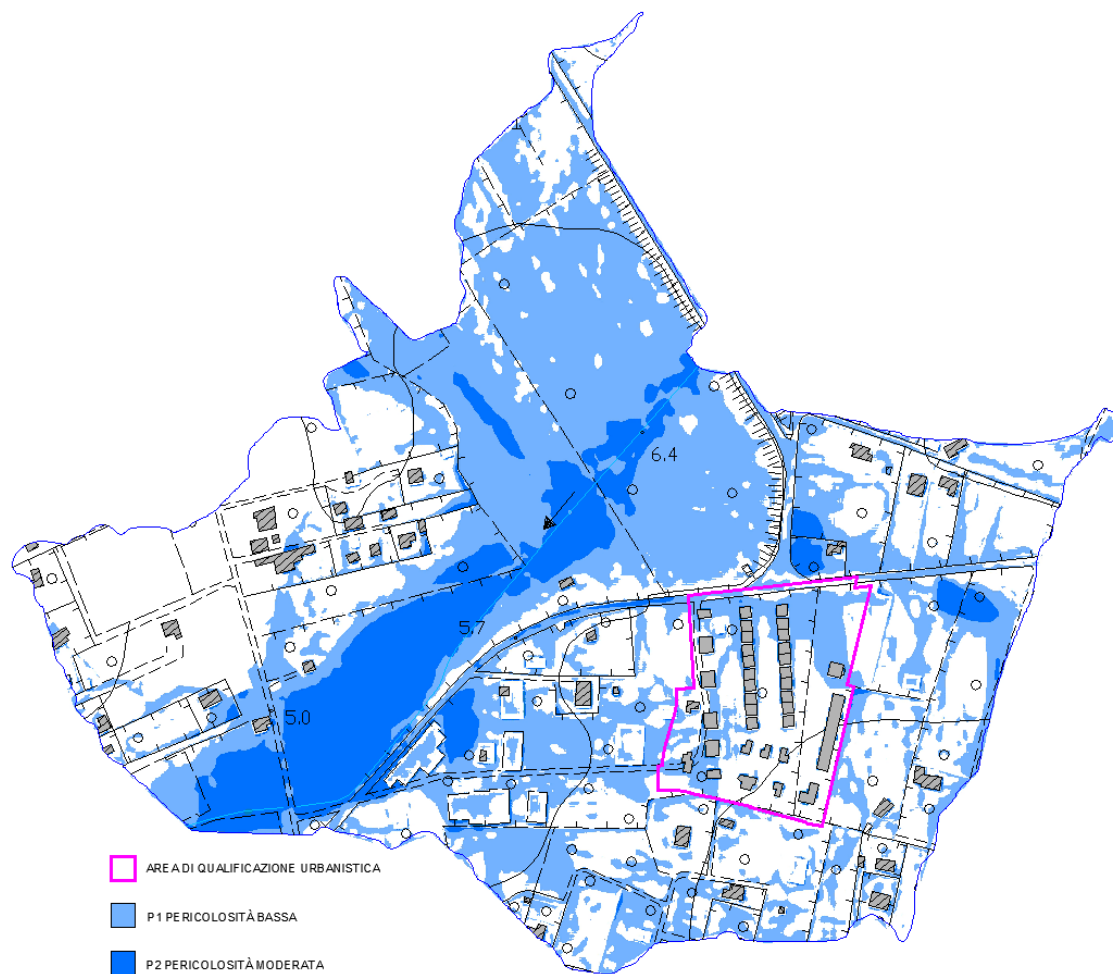
MAPPA DEL RISCHIO TR300 ANTE OPERA



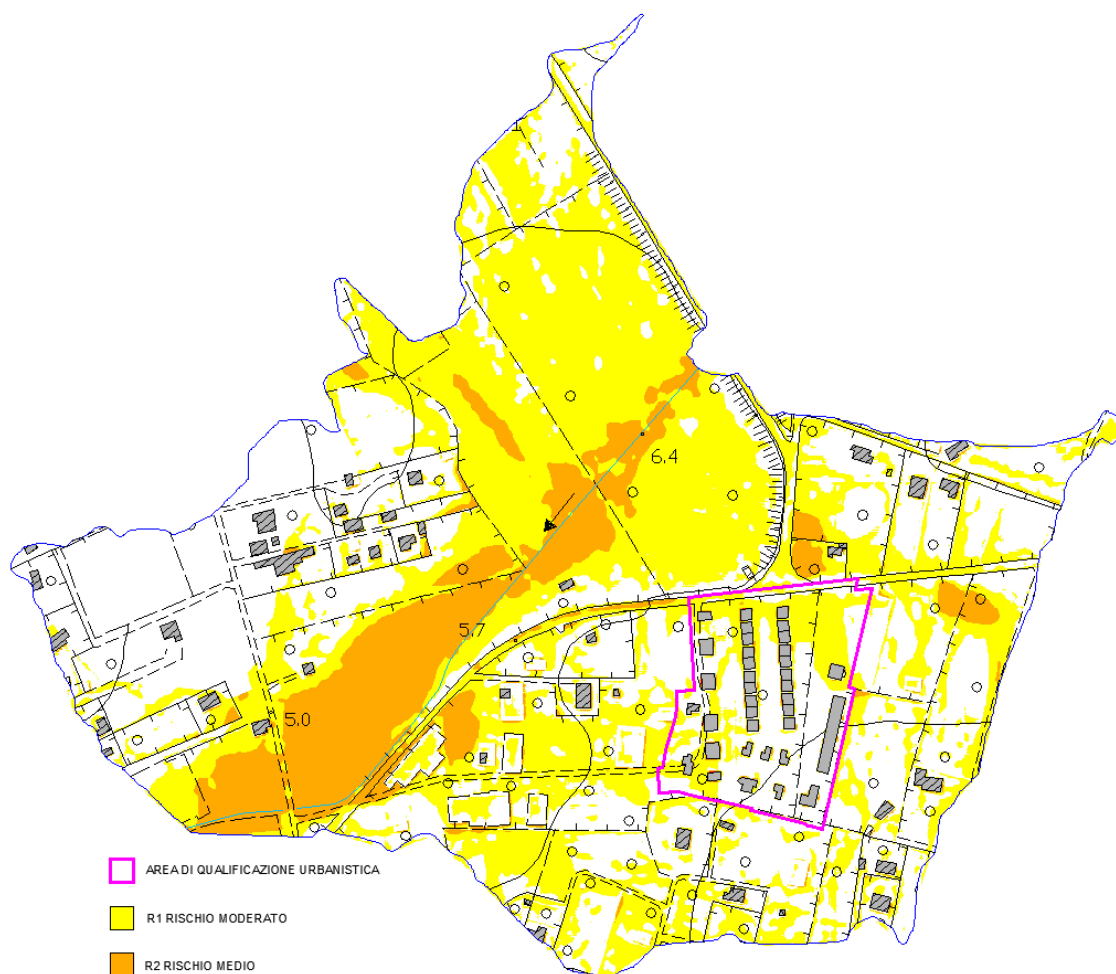
MAPPA DEI TIRANTI IDRICI TR300 ANTE OPERA



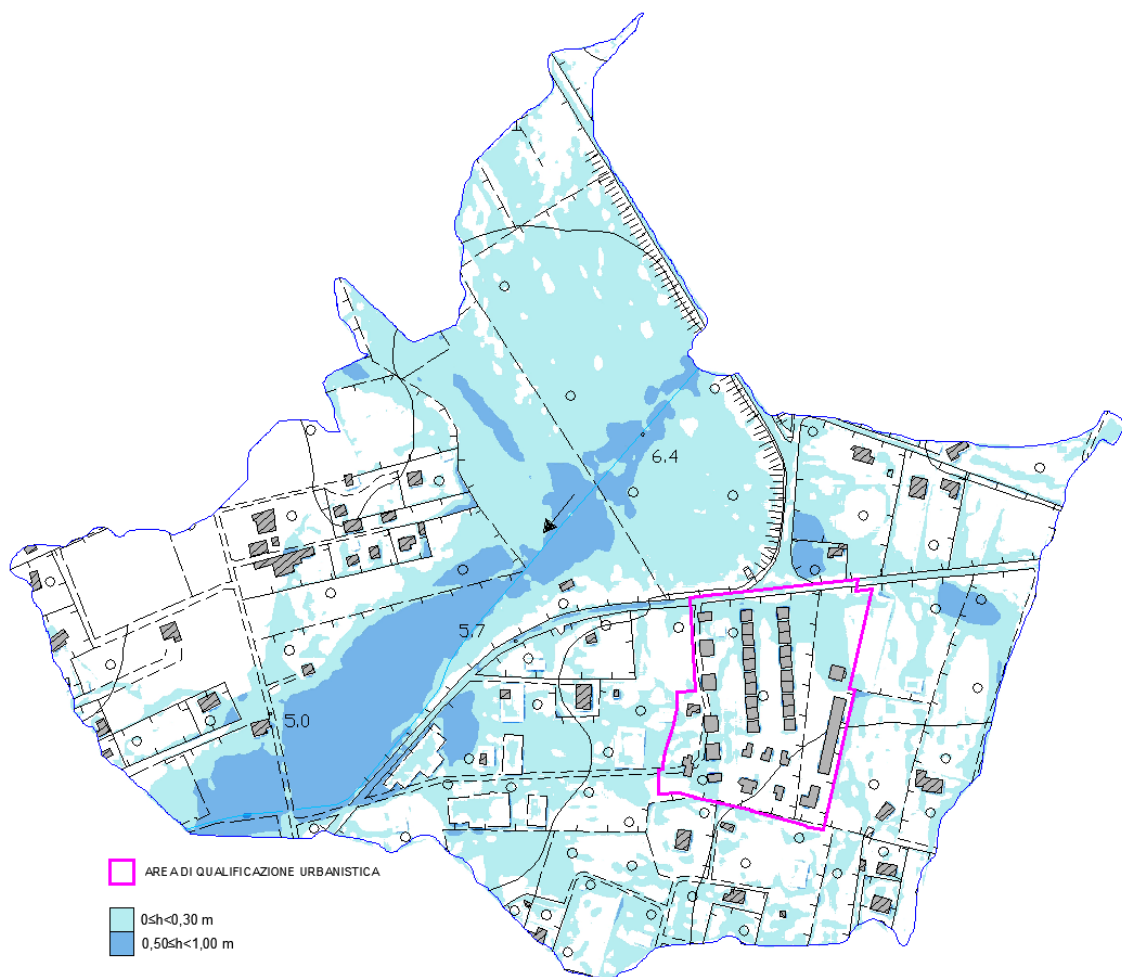
MAPPA DELLA VELOCITÀ TR300 ANTE OPERA



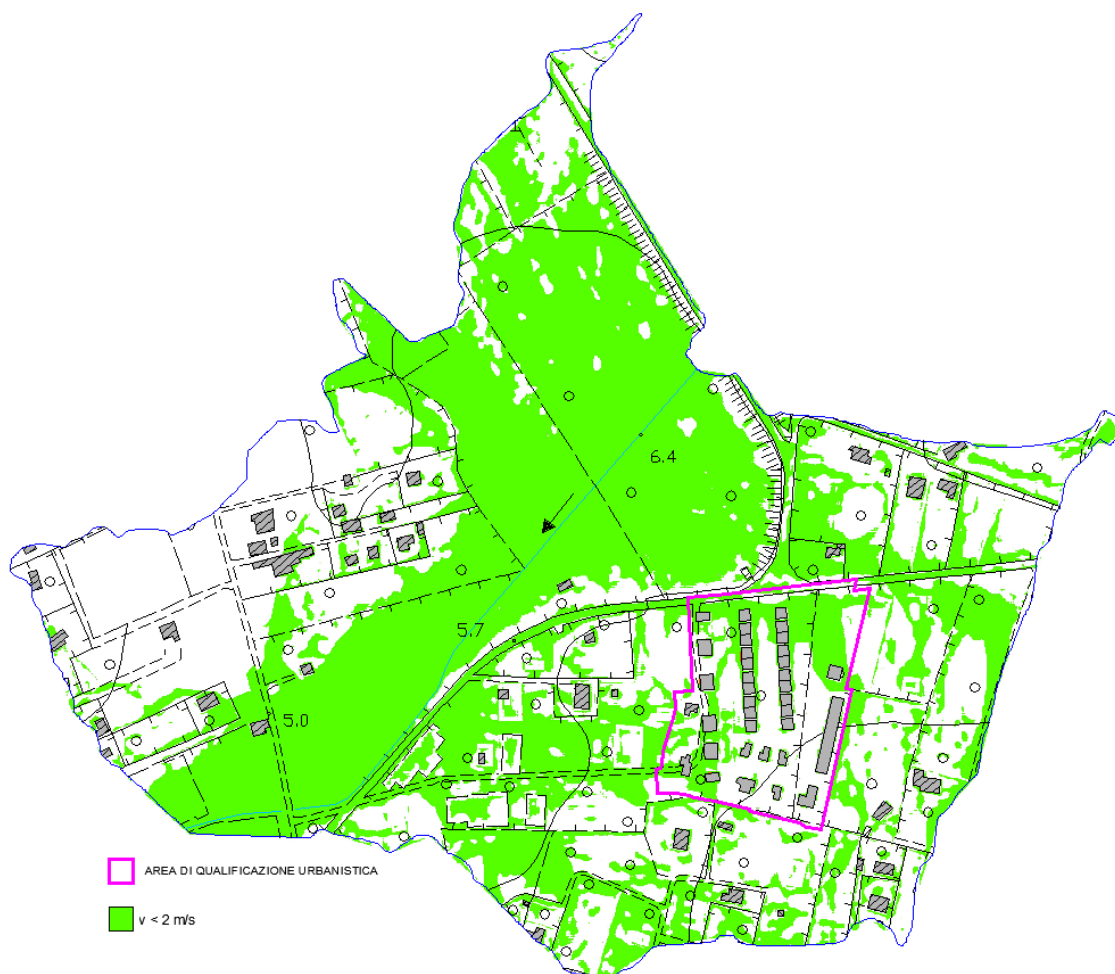
MAPPA PERICOLOSITÀ TR300 POST OPERA



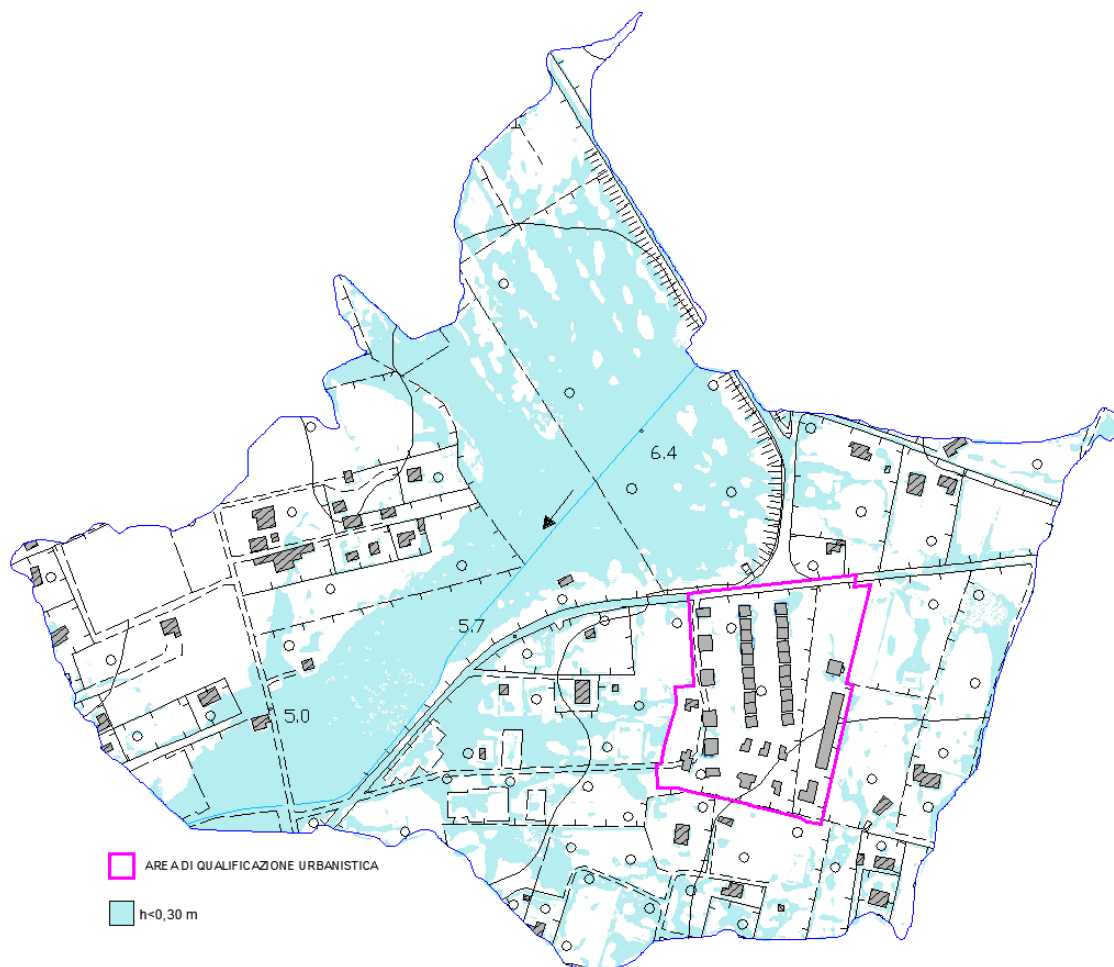
MAPPA DEL RISCHIO TR300 POST OPERA



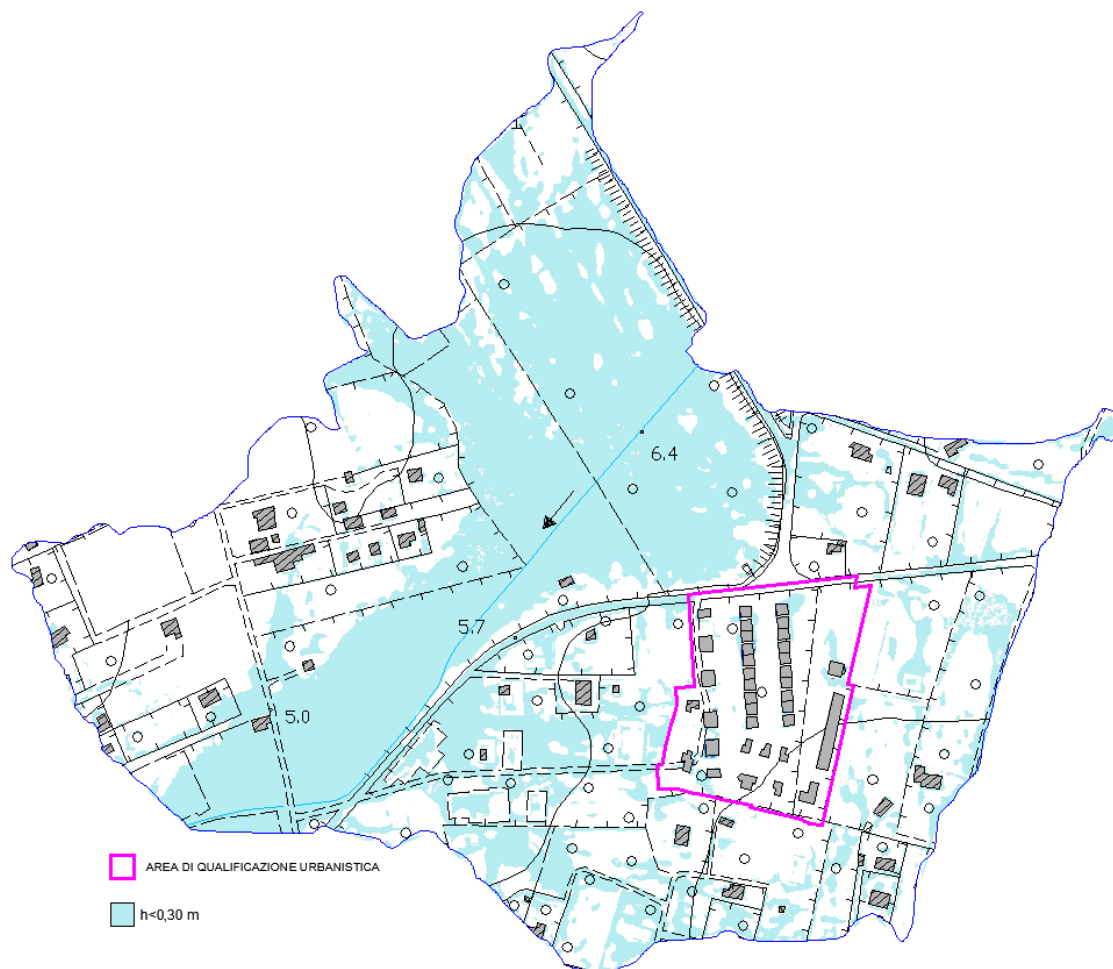
MAPPA DEI TIRANTI IDRICI TR300 POST OPERA



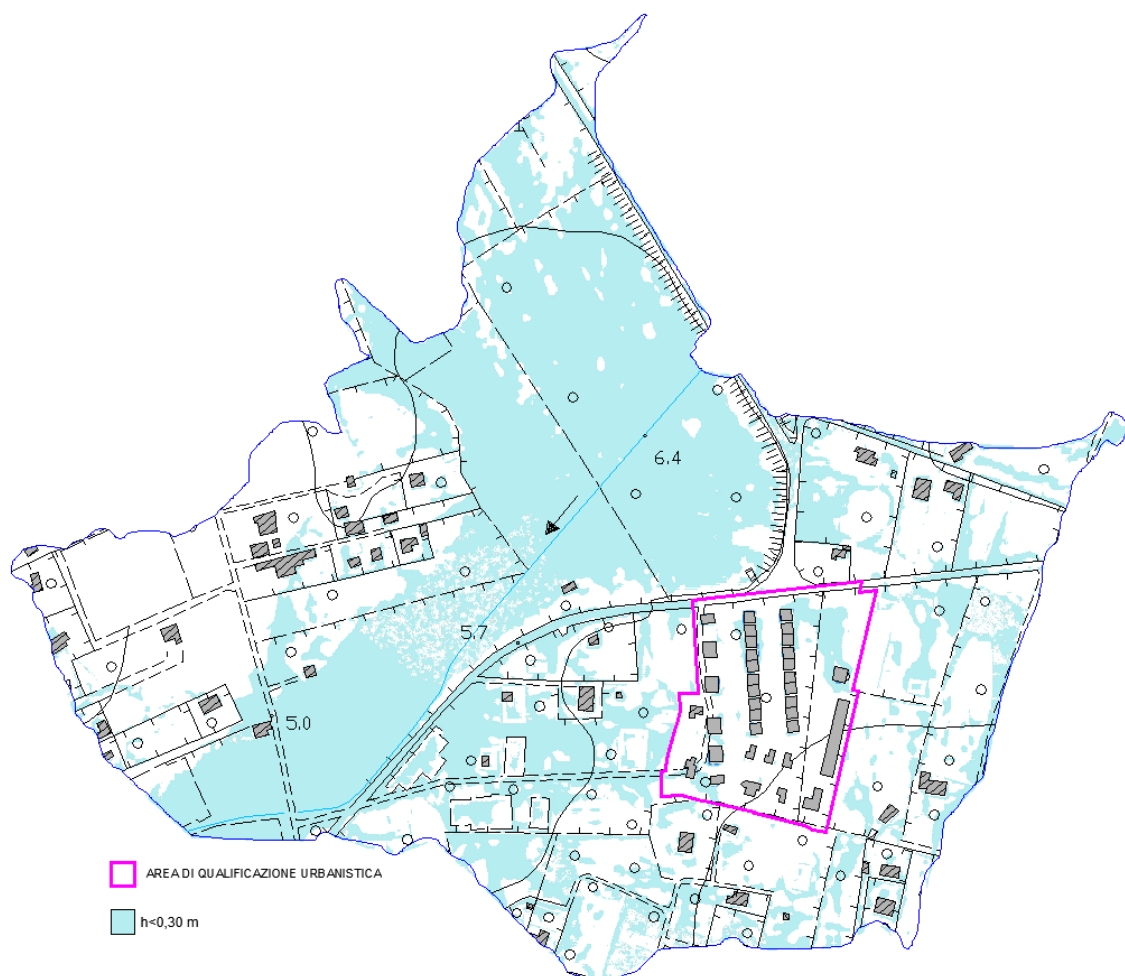
MAPPA DELLA VELOCITÀ TR300 POST OPERA



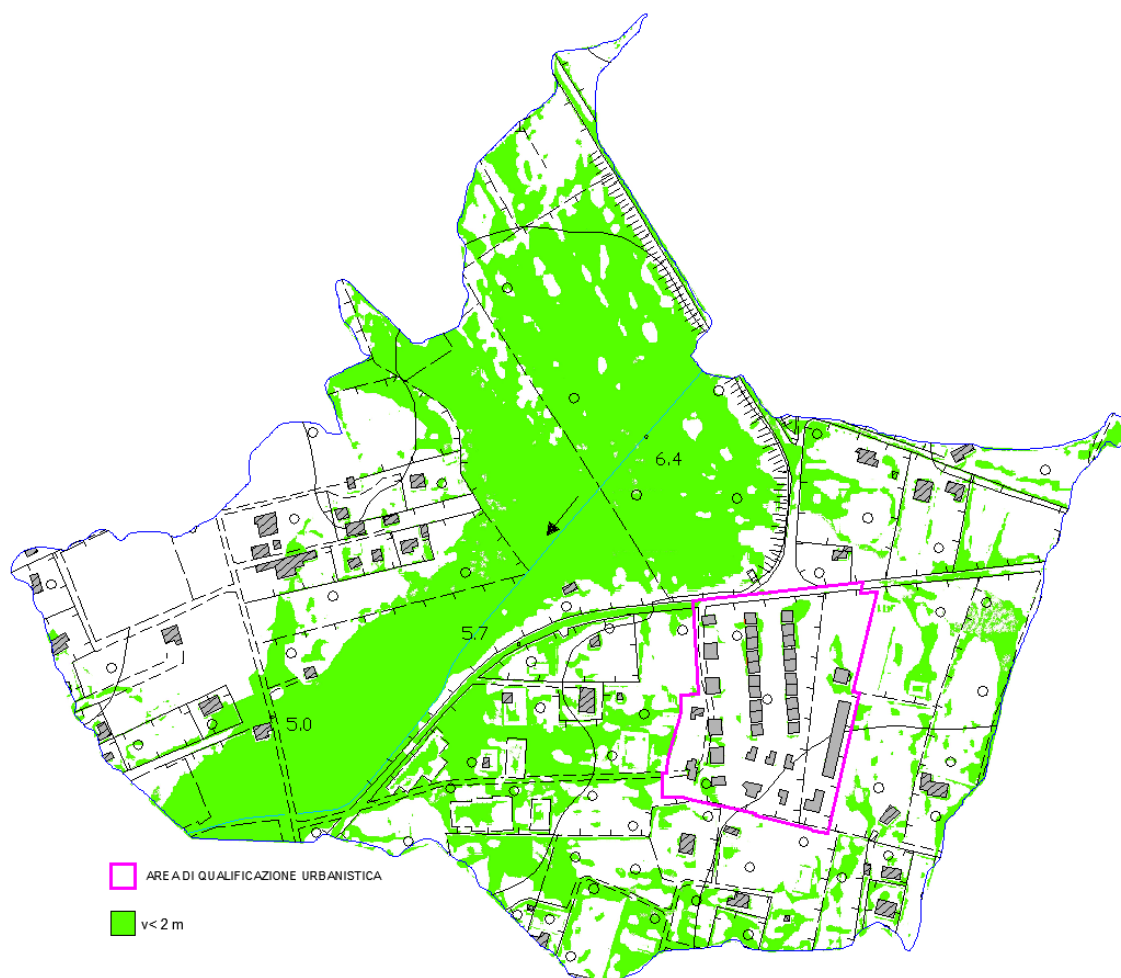
MAPPA DELLA DIFFERENZA DEI TIRANTI IDRICI POST OPERA ANTE OPERA TR50



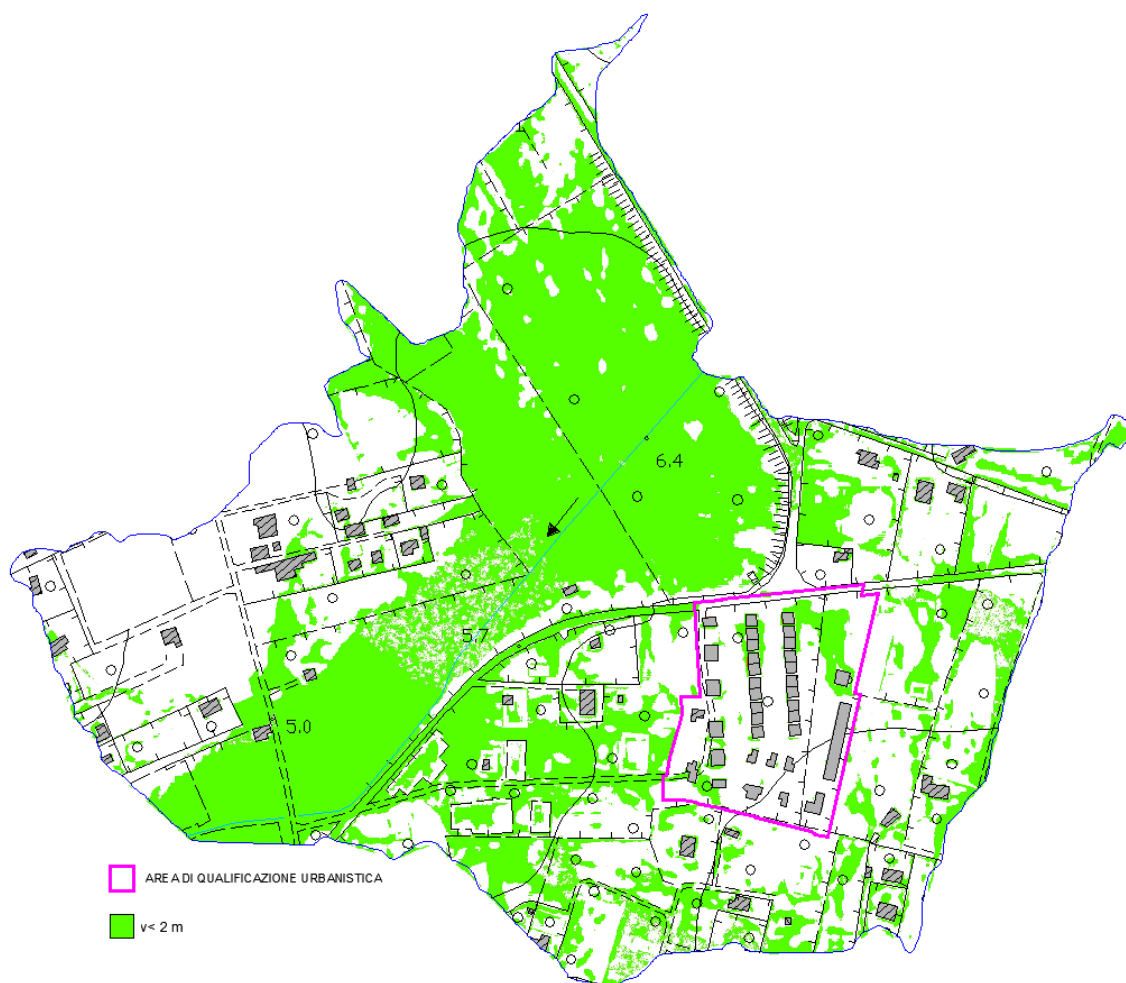
MAPPA DELLA DIFFERENZA DEI TIRANTI IDRICI POST OPERA ANTE OPERA TR100



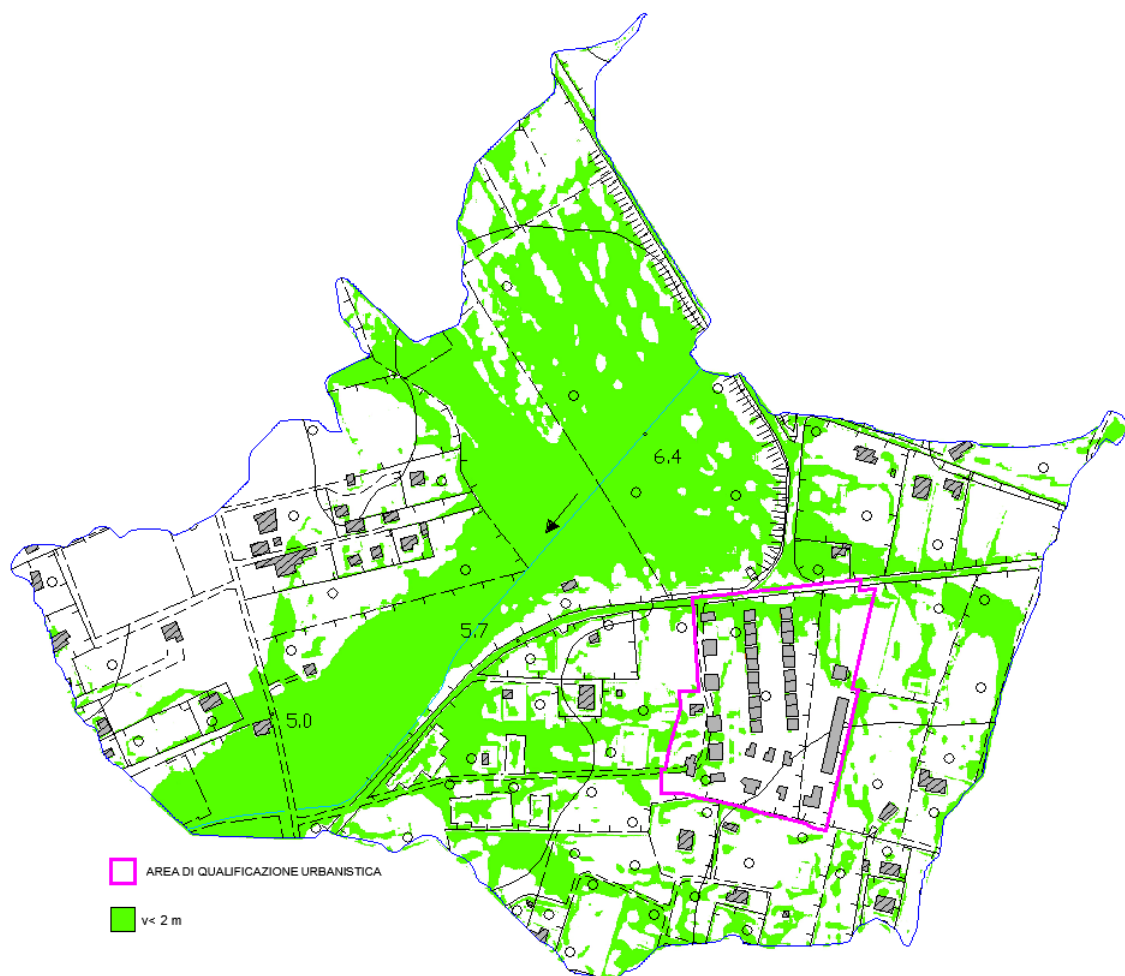
MAPPA DELLA DIFFERENZA DEI TIRANTI IDRICI POST OPERA ANTE OPERA TR300



MAPPA DELLA DIFFERENZA DELLA VELOCITÀ POST OPERA ANTE OPERA TR50

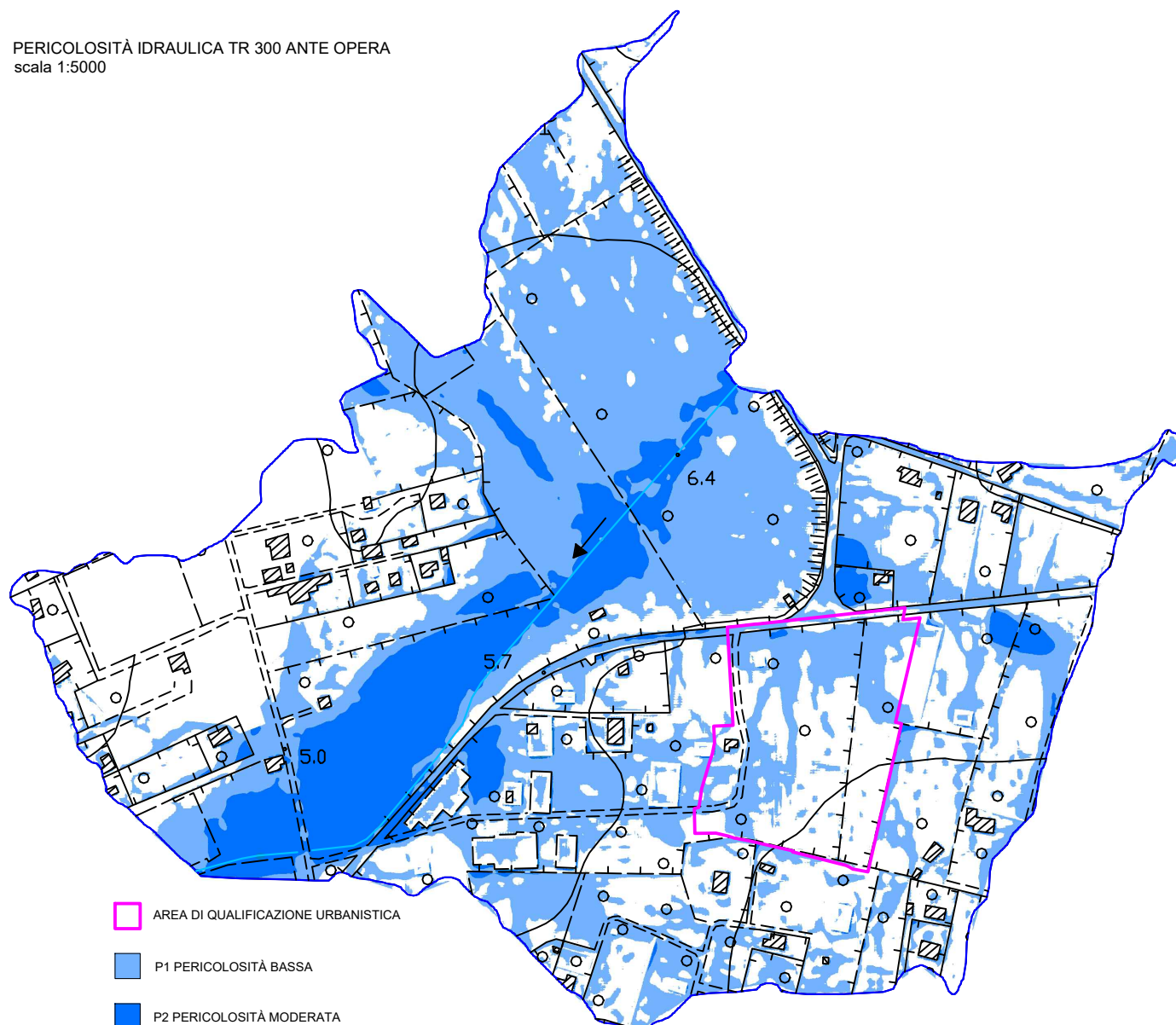


MAPPA DELLA DIFFERENZA DELLA VELOCITÀ POST OPERA ANTE OPERA TR100



MAPPA DELLA DIFFERENZA DELLA VELOCITÀ POST OPERA ANTE OPERA TR300

PERICOLOSITÀ IDRAULICA TR 300 ANTE OPERA
scala 1:5000



PERICOLOSITÀ IDRAULICA TR 300 POST OPERA
scala 1:5000

