



# COMUNE DI TARANTO

**DIREZIONE PIANIFICAZIONE URBANISTICA EDILITA'**

**VARIANTE AL VIGENTE PIANO REGOLATORE GENERALE  
RELATIVA ALLE AREE CONTERMINI AL CEP-SALINELLA  
APPROVAZIONE DEFINITIVA D.G.R. n. 128/2011**

Dott.	Carmine	PISANO	Resp. Direzione Pianificazione Urbanistica Edilità
Dott.ssa	Ersilia	MARRA	Assessore Pianificazione Urbanistica Edilità

## GRUPPO DI PROGETTAZIONE

NUCLEO INTERNO		NUCLEO ESTERNO	
Arch. Mario ROMANDINI	Progettista Coordinatore	Ing. Michele DE MARCO	Esperto Ingegnere Idraulico
		Dott.ssa Rita AMATI	Esperto Geologo

**ADEMPIMENTI ex art. 25 N.T.A. della VARIANTE APPROVATA  
con DELIBERA di G.R. n. 128 del 31/01/2011**

<b>DATA</b> dic. 2015	<b>OGGETTO: STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA ED IDRAULICA</b>	<b>TAVOLA</b>
<b>Scala:</b> --	<b>RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA</b>	<b>RTI</b>

## **INDICE**

PREMESSA	2
1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	4
3. ANALISI IDROGEOLOGICA	7
3.1. <i>Analisi geomorfologica</i>	7
3.2. <i>Analisi Idrologica</i>	10
4. ANALISI IDROGEOLOGICA	13
4.1. <i>Geologia</i>	13
4.2. <i>Idrogeologia</i>	14
4.3. <i>Modello di infiltrazione di Horton</i>	14
5. ANALISI IDRAULICA	17
5.1. <i>Il modello digitale del terreno (DTM)</i>	17
5.2. <i>Il modello di pioggia distribuito (ietogrammi)</i>	18
5.3. <i>Simulazione idraulica bidimensionale</i>	19
6. ANALISI DELLA PERICOLOSITA'	22
BIBLIOGRAFIA	24

## PREMESSA

Il presente lavoro è stato redatto su incarico dell'Amministrazione Comunale di Taranto che con Delibera di Giunta Comunale n. 151 del 18/08/2015 ha individuato il "supporto tecnico specialistico esterno" alla redazione del P.E. dei «Servizi Prioritari» connessi con la Variante al PRG Vigente, denominata "Variante delle aree Contermini al CEP Salinella", approvata definitivamente dalla Regione Puglia con DGR nr.128 del 31/01/2011.

I «servizi prioritari», indicati nelle tavole grafiche, V.5ter – V.6ter – V.7ter, sono:

- la rete stradale principale di collegamento con le zone confinanti e con la strada provinciale Taranto-Avetrana;
- i "servizi" già previsti e non realizzati all'interno del P.E.E.P. n.4, "servizi" diversamente localizzati dalla "variante", ma nel rispetto delle superfici previste dal P.E.E.P. stesso;
- la zona «tutela ambientale delle parti superstiti della "salina piccola»;
- la zona delle aree annesse "salina piccola»;
- la zona di "recupero bosco»;
- i "servizi" di cui all'art.3 del D.M.1444/68 connessi con l'edilizia esistente.

In particolare il presente studio è stato redatto per ottemperare agli adempimenti prescrittivi sanciti dall'art.25 delle NTA della "Variante" in ragione del parere acquisito dal Servizio Ecologia Regionale di seguito riportato:

*«Articolo 25 Prescrizione degli Enti [...] e) Il Settore Regionale Ecologia con Determina Dirigenziale n. 485 del 15.10.2007 ha escluso quanto proposto dal Comune di Taranto dalla procedura di VIA con condizioni e precisazioni relative a specifici aspetti ecologici ed ambientali; in particolare:[...] 14) il progetto dovrà essere sottoposto alla valutazione dell'Autorità di Bacino della Puglia per quanto attiene agli aspetti legati alla pericolosità idraulica.»*

Nello specifico lo studio analizza le effettive condizioni di pericolosità idraulica nell'area in oggetto, considerando che

- l'area in esame, per quanto concerne lo stato dei luoghi, attualmente è caratterizzata da un generale abbandono del drenaggio superficiale, evidenziato da tracce residue delle opere di bonifica realizzate per il prosciugamento delle paludi esistenti in passato, poi cancellate progressivamente con i primi insediamenti abitativi.
- permangono avvallamenti ove ristagnano le acque meteoriche, a causa dall'insufficienza della rete di raccolta e smaltimento, dall'intasamento della stessa, nonché dalla natura argillosa del terreno;
- tale condizione è aggravata dalla morfologia d'insieme, in larga parte pianeggiante.

Con un approccio tipicamente adottato per i **bacini endoreici**, senza tenere in conto, "a vantaggio di sicurezza", del sistema idraulico esistente e considerando l'area priva di un recapito finale di superficie la pericolosità viene connessa ai livelli idrici che si accumulano in corrispondenza della pioggia di "durata" critica che massimizza il "volume" depositato.

Lo studio si compone delle seguenti analisi:

- analisi morfologica estesa a tutta l'area del bacino idrografico per la costruzione del modello morfologico di dettaglio sulla scorta del rilievo **LIDAR** disponibile;
- analisi idrologica condotta, mediante la metodologia VAPI, per la definizione delle *Curve di Possibilità Climatica* **più gravose** e determinazione degli **ietogrammi** per TR 30, 200 e 500 di durata 3, 6, 12 e 24 ore;

**STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA E IDRAULICA**

- analisi geologica con dati di **letteratura e raccolta di dati da indagini pregresse** finalizzata alla costruzione del modello idrogeologico di **infiltrazione di Horton**;
- analisi idraulica implementata attraverso il software di calcolo bi-dimensionale InfoWorks-ICM 3.5
- analisi della pericolosità elaborata in ambiente **ArcGIS** per determinare le perimetrazioni AP/MP/BP come **inviluppo** dei risultati più gravosi.

Tutte le analisi condotte sono state riferite alla Cartografia Tecnica Regionale nel sistema di riferimento UTM33 WGS84

Allo studio sono allegati i seguenti elaborati:

R <sub>TI</sub>	RELAZIONE TECNICO-ILLUSTRATIVA ( <i>presente elaborato</i> )
ID01	INQUADRAMENTO TERRITORIALE
ID02	ANALISI IDROGEOMORFOLOGICA
ID03	ANALISI IDROGEOLOGICA
ID04	ANALISI IDRAULICA – TR 30 ANNI
ID05	ANALISI IDRAULICA – TR 200 ANNI
ID06	ANALISI IDRAULICA – TR 500 ANNI
ID07	ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ PER TR 30, 200 E 500 ANNI
ID08	SOVRAPPOSIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ ALLA TAV. Uter "UTILIZZAZIONE DELLE AREE"
ID09	SOVRAPPOSIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ ALLA TAV. V.5ter "SERVIZI PRIORITARI"

## 1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'ambito investigato è ubicato nella cinta periferica sud-orientale della Città di Taranto, in una leggera depressione del terreno a quota media di 14 m sul l.m.m.

È delimitata a Nord dalla Strada Provinciale n°176 e da un tratto di Via Ancona, ad Ovest da via Scoglio del Tonno, a Sud e ad Est da terreni coltivati.

L'area è identificata sulla cartografia ufficiale dello Stato con il toponimo Salina Piccola ed è collocata a Sud-Est della città di Taranto.

La denominazione fa riferimento alla presenza di vaste aree paludose costiere, tra cui la stessa Salinella e la vicina Salina Grande, oggetto entrambe di bonifiche e sistemazioni fondiari già a partire dalla dominazione francese nel Regno delle Due Sicilie e successivamente nel periodo postunitario, durante il quale iniziò un'intensa attività per debellare la malaria, attività ripresa e completata nel periodo tra le due guerre mondiali, ed in particolare con la legge 24 dicembre 1928, n. 3134 "Provvedimenti per la bonifica integrale".

In evidenza, sulla carta IGM, presentata nella figura seguente, il canale di bonifica della Salina Piccola, che sversava le acque di drenaggio nel Mar Grande, percorrendo l'area da Est ad Ovest.

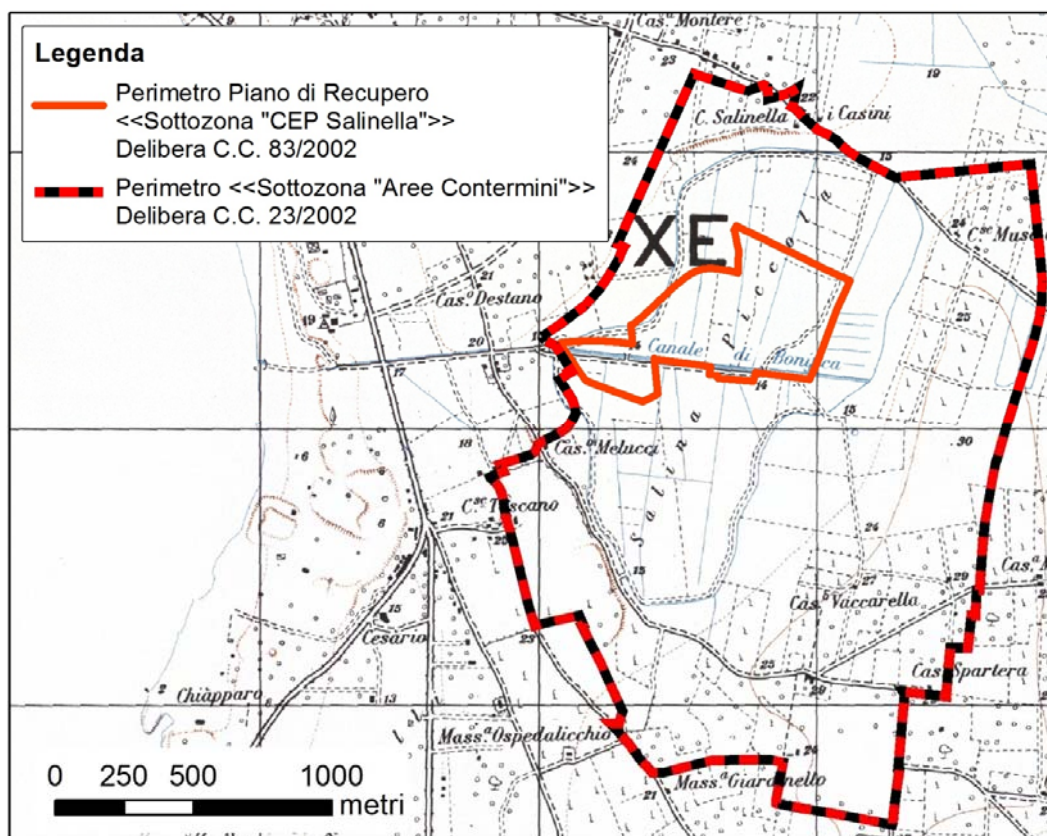


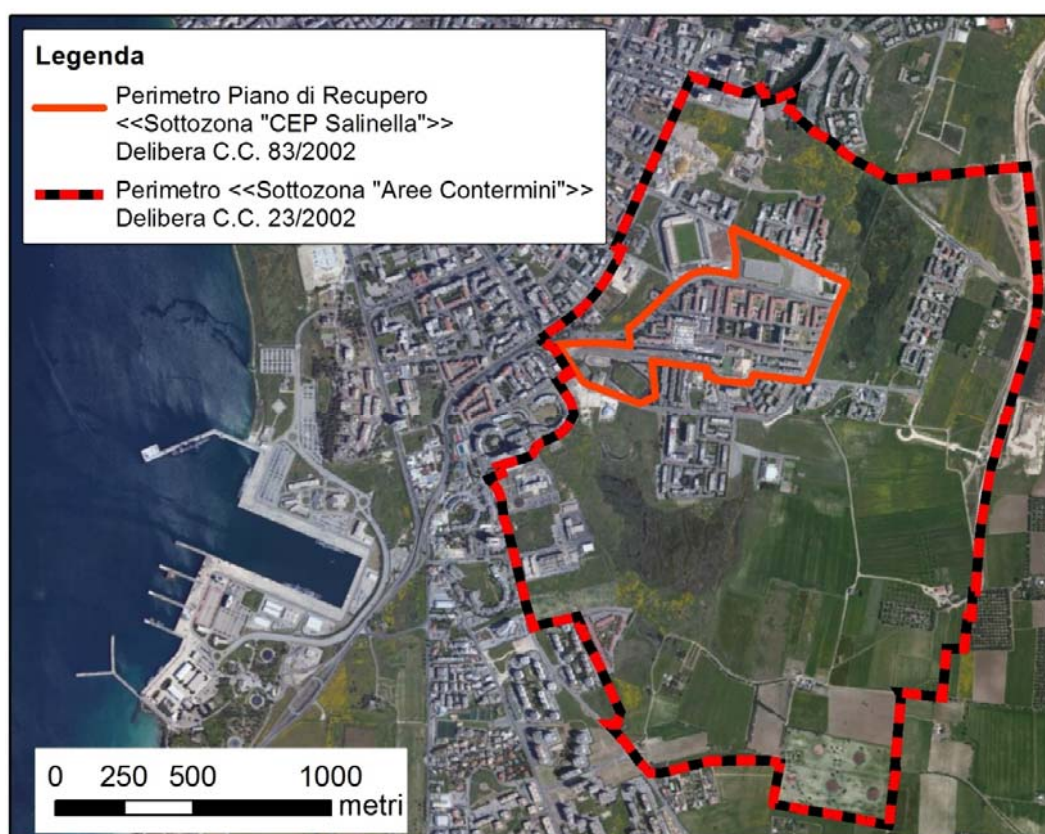
Figura 1 - Ubicazione area di progetto IGM serie 25

Rispetto alla situazione presentata nella citata cartografia, risalente al 1947, attualmente il quartiere Salinella è parte estrema dell'abitato, in quanto la zona di espansione edilizia ad Est e a Sud-Est è occupata praticamente senza soluzioni di continuità, non considerando la viabilità di grande scorrimento, costituita dal Viale Magna Grecia, Via Ancona e Via Lago Maggiore, arterie disposte concentricamente rispetto al centro urbano.

**STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA E IDRAULICA**

Per quanto concerne lo stato dei luoghi, attualmente esso è caratterizzato da un generale abbandono del drenaggio superficiale, evidenziato da tracce residue delle opere di bonifica realizzate per il prosciugamento delle paludi esistenti in passato, poi cancellate progressivamente con i primi insediamenti abitativi. Permangono, tuttavia, avvallamenti ove ristagnano le acque meteoriche, inconveniente causato dall'insufficienza della rete di raccolta e smaltimento, dall'intasamento della stessa, nonché dalla natura argillosa del terreno. Tale condizione è aggravata dalla morfologia d'insieme, in larga parte pianeggiante.

Infine in più settori si rinvencono cumuli sparsi di materiali inerti, derivanti da discariche abusive dell'attività edilizia.

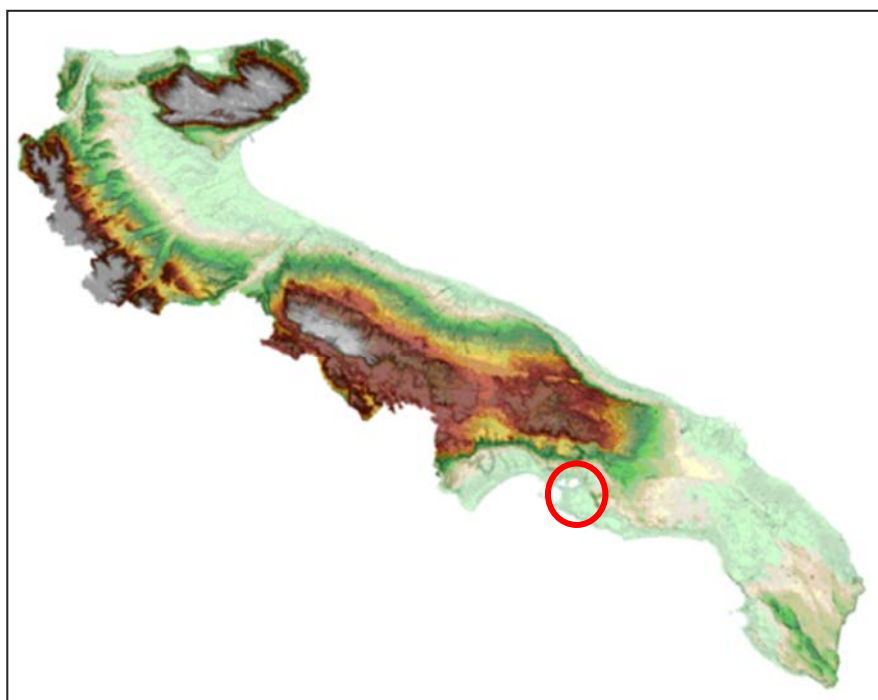


**Figura 2** - Ubicazione area di progetto su Ortofoto Sit Puglia

La cartografia ufficiale disponibile sul territorio è la seguente:

- Foglio IGM 1:100.000 – 201 (Taranto)
- Foglio IGM 1:50.000 – 493 (Taranto)
- Foglio IGM 1:25.000 – 493-II (Taranto)
- Foglio IGM 1.25.000v -202-II-NW (Taranto)
- Tavole 493164 e 493123

Per riconoscere gli elementi idrografici minori, le incisioni ed i dispiuvi sono stati utilizzati, in prima analisi i dati ufficiali messi a disposizione dal Portale Cartografico della Regione Puglia ed in particolare il DEM (Digital Elevation Model), modello digitale del terreno con dimensioni di cella di 8x8 metri.



**Figura 3** - DTM disponibile sul Portale Cartografico della Regione Puglia ([www.sit.puglia.it](http://www.sit.puglia.it))

### **3. ANALISI IDROGEOMORFOLOGICA**

#### **3.1. Analisi geomorfologica**

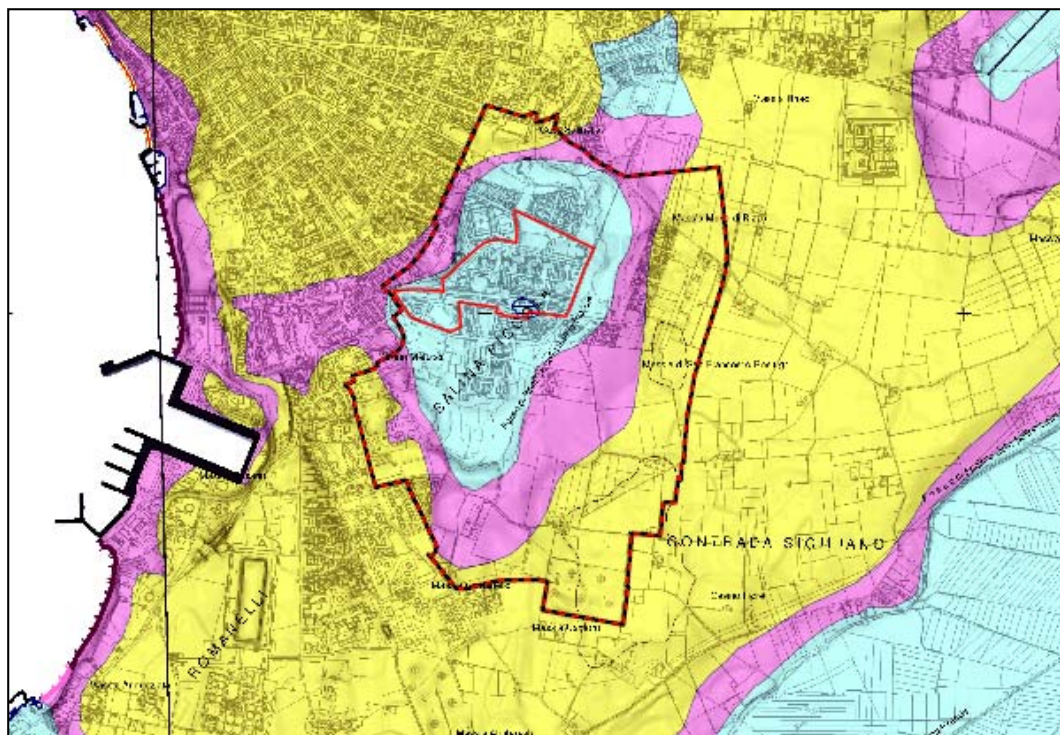
Come si evince dalla *Carta Idrogeomorfologica Regione Puglia - Foglio 493*, l'area di studio è caratterizzata da una conca, recapito di un bacino endoreico, il cui fondo è costituito da litologie poco permeabili, nella fattispecie argille e limi argillosi e sedimenti alluvionali recenti.

I terreni affioranti nell'area in esame sono in parte impermeabili (argille e limi) ed in parte permeabili (riporti antropici e calcareniti). Quindi le acque meteoriche non hanno la possibilità d'infiltrarsi totalmente nel sottosuolo. Il loro deflusso, non regolato in modo razionale, porta al ruscellamento e ad invasi casuali, in funzione delle diverse manomissioni del territorio.

I canali di bonifica, realizzati a partire dall'inizio del XIX secolo, ricadenti prevalentemente nella Salina Grande e nella Salina Piccola, sono attualmente in pessimo stato manutentivo tali da considerarsi totalmente inefficienti.

Altro elemento importante, che condiziona l'idraulica superficiale, è l'assenza, nelle zone già urbanizzate, di una rete di raccolta e smaltimento delle acque bianche. In alcuni casi si verifica, anzi, che le pendenze delle sistemazioni stradali, dei piazzali degli insediamenti edili, per consentire il deflusso, sono rivolte in modo arbitrario, verso punti già di per sé critici.

Infine, si evidenzia la mancanza di un autentico bacino imbrifero, sostituito da piccole conche delimitate da strade o rilevati artificiali. Alcune di esse sono senz'altro causa dei ristagni più importanti, sebbene il fenomeno sia favorito dalla presenza della falda superficiale (che interseca il piano campagna in occasione dei massimi pluviometrici).



**Figura 4 - Estratto della Carta Idrogeomorfologica Regione Puglia - Foglio 493 "Taranto"**



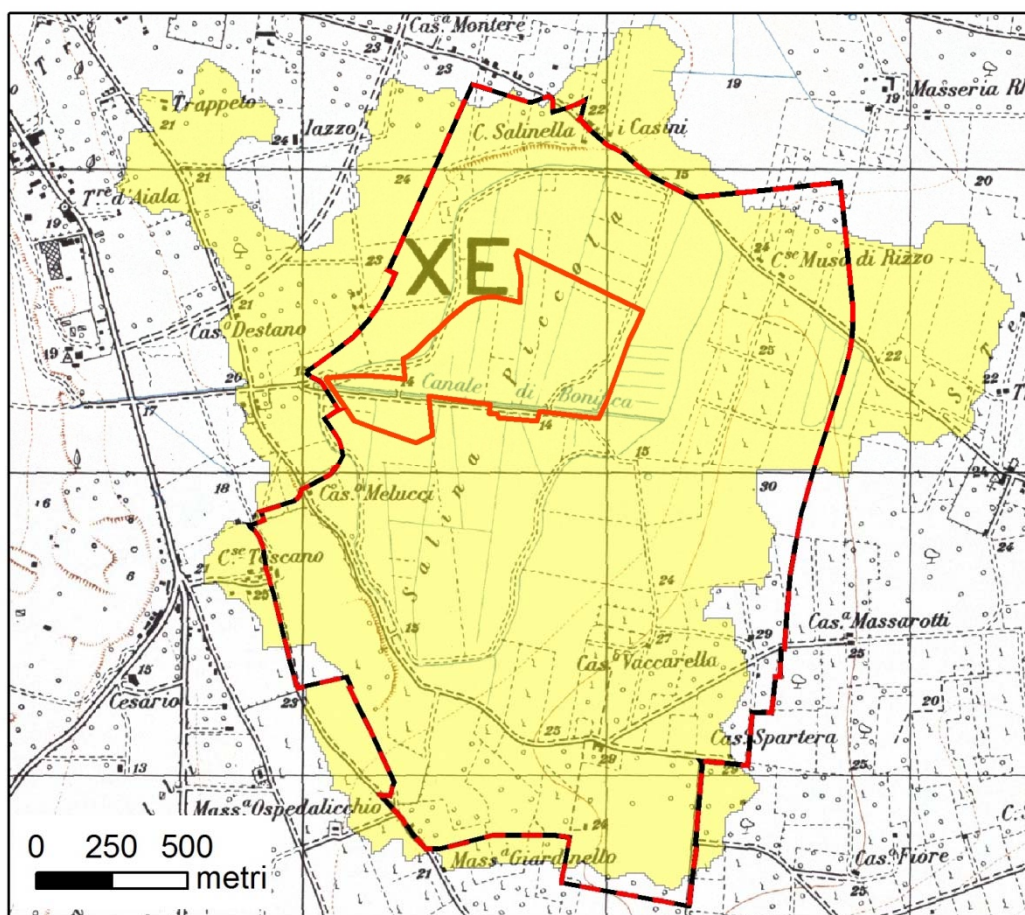


Figura 5 - Bacino afferente l'area di progetto

Le caratteristiche morfometriche del bacino di studio sono riportate nella seguente tabella.

Area (m <sup>2</sup> )	area (Km <sup>2</sup> )	Pendenza (%)	quota media (m slm)
4628800	4,63	2,49	18,29

Tabella 1 - Caratteristiche morfometriche del bacino di studio

La base necessaria per determinare le principali caratteristiche morfometriche del bacino idrografico gravanti sull'area oggetto di studio è stato il DTM disponibile sul Portale Cartografico della Regione Puglia ([www.sit.puglia.it](http://www.sit.puglia.it))

Il DEM (o DTM – Digital Terrain Model), disponibile sul Portale Cartografico, presenta un'accuratezza in quota pari ad 1 m (l'accuratezza altimetrica è relativa a zone di terreno scoperto, prive di vegetazione e quanto altro impedisca una chiara collimazione per la valutazione della quota), tranne che nelle zone con vegetazione fitta (copertura >70%) o ad alto fusto, in cui l'accuratezza decresce di un ulteriore valore pari a 1/4 dell'altezza media degli alberi.

Utilizzando la procedura di calcolo descritta nel seguito, da una serie di modelli distribuiti del territorio (detti in seguito *griglie o matrici*) sono stati applicati particolari algoritmi che consentono di estrapolare le necessarie informazioni idrauliche del territorio.

Uno di questi algoritmi è denominato *slope* (pendenza) che concettualmente identifica la massima variazione nel valore di una cella della griglia (nel nostro caso il DEM) rispetto alle celle circostanti.

**STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA E IDRAULICA**

Uno dei possibili risultati di questo calcolo può essere una matrice di valori che esprime la pendenza in percentuale oppure in gradi.

In pratica l'algoritmo esegue una media quadratica della massima variazione di quota nelle quattro direzioni del piano parallele al grigliato considerando le otto celle che contornano la cella in questione.

a	b	c
d	e	f
g	h	i

$$[dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / (8 * x\_cellsize)$$

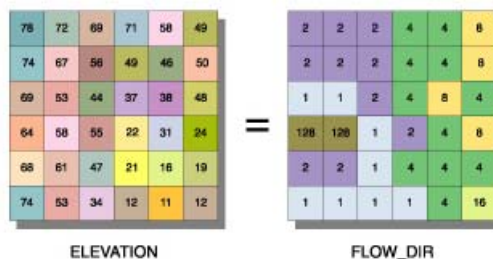
$$[dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / (8 * y\_cellsize)$$

Dalla matrice così ottenuta un opportuno algoritmo, diffuso in ambiente GIS, elabora la cosiddetta *flow direction grid* (griglia delle direzioni di flusso). Questa griglia contiene in ogni cella il valore codificato della direzione di massima pendenza tra la cella stessa e le celle circostanti.

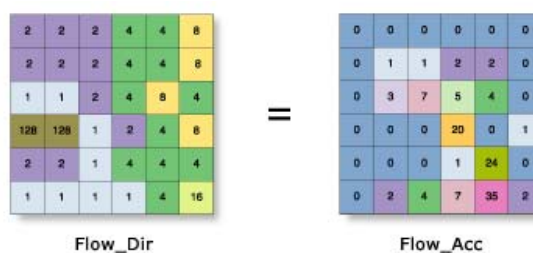
Al numero che compare in ogni cella della griglia è associato univocamente una direzione cartesiana secondo lo schema seguente:

1	Est		2	Sud-Est
			8	Sud-Ovest
			32	Nord-Ovest
			128	Nord-Est

Di seguito è riportato un esempio di una rappresentazione del passaggio dal DEM ad una griglia costituita dalle direzioni preferenziali dei flussi.



Definita la griglia delle direzioni di flusso un algoritmo, sempre in ambiente GIS, conta il numero di celle tributarie di ogni singola cella e ne attribuisce il valore alla corrispondente cella in una nuova griglia denominata *flow accumulation grid* (accumuli di flusso) così rappresentata:



Grazie alla generazione della griglia di accumulo è possibile successivamente stabilire un numero minimo di celle tributarie e "marcare" in questo modo la linea di compluvio naturale.

### 3.2. Analisi Idrologica

La valutazione della massima precipitazione al variare del tempo di ritorno è stata svolta rifacendosi alla metodologia proposta dal Gruppo Nazionale Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche nell'ambito degli studi per la "Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia centro-meridionale".

Il modello statistico utilizzato fa riferimento alla distribuzione TCEV con regionalizzazione di tipo gerarchico.

Per l'individuazione delle regioni omogenee di primo e secondo livello si è fatto ricorso a generazioni sintetiche Montecarlo in grado di riprodurre la struttura correlativa delle serie osservate.

L'utilizzo della TCEV ha consentito di ricostruire un modello regionale con struttura gerarchica, basata su tre livelli di regionalizzazione, mediante il quale è possibile individuare regioni in cui risulta costante il coefficiente di asimmetria (primo livello di regionalizzazione), e sottoregioni in cui risulta costante anche il coefficiente di variazione (secondo livello di regionalizzazione).

Il valore  $P_{d,T}$  del massimo annuale di precipitazione di assegnato tempo di ritorno per una prefissata durata, viene espresso come prodotto tra il suo valore medio  $X_t$  ed una quantità  $K_T$ , detta fattore probabilistico di crescita, funzione del periodo di ritorno  $T$ , definito dal rapporto:

$$K_T = \frac{P_{d,T}}{X_T}$$

La curva di distribuzione di probabilità data dal precedente rapporto corrisponde alla curva di crescita, che ha caratteristiche regionali in quanto è unica nell'ambito della regione nella quale sono costanti i parametri della TCEV legati al coefficiente di asimmetria e al coefficiente di variazione.

Pertanto, fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata, all'interno della zona pluviometrica omogenea, previamente identificata al secondo livello di regionalizzazione, è possibile esprimere la relazione tra il tempo di ritorno  $T$  ed il fattore di crescita  $K_T$ , ritenendo trascurabile la sua variabilità con la durata.

Con il terzo livello di regionalizzazione viene analizzata la variabilità spaziale del parametro di posizione delle serie storiche in relazione a fattori locali; in particolare si ricercano eventuali legami esistenti tra i valori medi dei massimi annuali delle piogge di diversa durata ed i parametri geografici significativi (ad esempio la quota sul livello del mare) delle diverse località, consentendo in definitiva di proporre la stima dei valori medi dei massimi annuali di precipitazione anche in siti sprovvisti di stazioni di misura o con serie storica di lunghezza ridotta.

Nell'analisi delle piogge orarie, in analogia ai risultati classici della statistica idrologica, per ogni sito è possibile legare il valore medio  $X_t$  dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata  $t$  alle durate stesse, attraverso la relazione:

$$X_t = at^n$$

essendo "a" ed "n" i parametri caratteristici della curva di probabilità pluviometrica, variabili da sito a sito.

In definitiva il territorio di competenza della regione Puglia è stato suddiviso in 6 aree pluviometriche omogenee, (Figura 6) per ognuna delle quali è possibile calcolare la Curva di Possibilità Pluviometrica sulla base delle seguenti equazioni:

Zona 1:  $X(t, z) = 28.66 t^{(0.000503z + 0.720 / 3.178)}$

Zona 2:  $X(t, z) = 22.23 t^{0.247}$

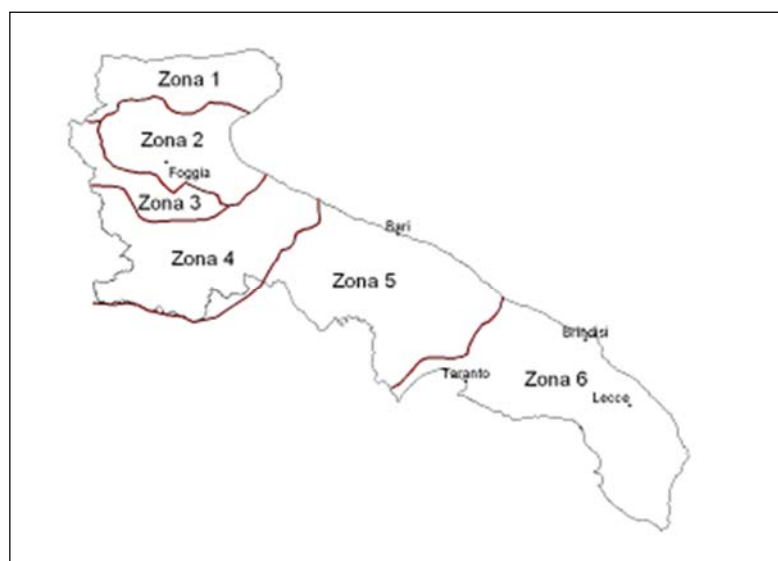
**STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA E IDRAULICA**

Zona 3:  $X(t, z) = 25.325 t^{(0.696+0.000531z)/3.178}$   
 Zona 4:  $X(t, z) = 24.70 t^{0.256}$   
 Zona 5:  $X(t, z) = 28.2 t^{(0.628+0.0002z)/3.178}$   
 Zona 6:  $X(t, z) = 33.7 t^{(0.488+0.0022z)/3.178}$

dove:

**t** = durata della precipitazione;

**z** = quota media del sito.



**Figura 6** - Zone omogenee al 3° livello di regionalizzazione

Noto il valore di  $X_t$  è possibile ricavare il valore della pioggia massima per prefissato tempo di ritorno a partire dalla conoscenza del fattore probabilistico di crescita  $K_t$ .

Per la valutazione del fattore di crescita si è utilizzata la seguente relazione:

$$KT = a + b \ln T$$

Dove **a** e **b** sono due parametri che variano in funzione della zona considerata e per la Puglia centro-meridionale (zone 5 e 6) assumono i valori riportati nella (Tabella 2).

Zona omogenea	a	B
Puglia settentrionale	0.1599	0.5166

**Tabella 2** - Valori dei parametri a e b

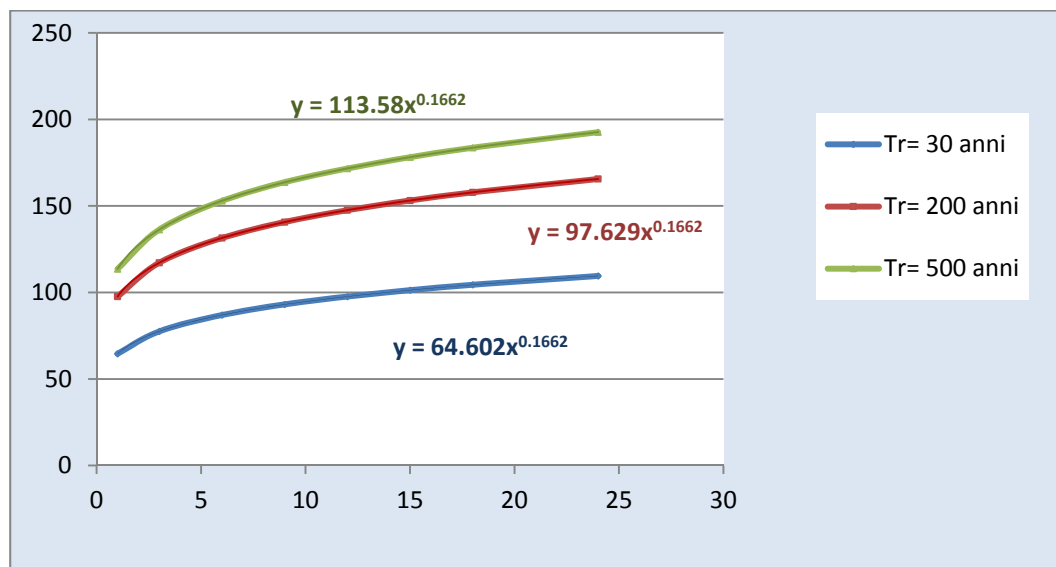
L'applicazione della metodologia Vapi all'area oggetto di studio, determinati tutti i parametri necessari, ha portato alla determinazione delle curve di probabilità pluviometrica.

Alla luce di quanto detto, l'area oggetto di intervento ricade, quindi nell'ambito della zona pluviometrica **6**.

Si riporta nel seguito la rappresentazione grafica delle curve di possibilità pluviometrica e le loro equazioni in funzione del tempo di pioggia.

**STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA E IDRAULICA**

**Grafico 1 - Curve di possibilità pluviometrica per Tr 30, 200 e 500 anni - zona omogenea 6**



**Grafico 2 - Curve di possibilità pluviometrica per Tr 30, 200 e 500 anni - zona omogenea 5**

## **4. ANALISI IDROGEOLOGICA**

### **4.1. Geologia**

L'area esaminata è caratterizzata da un substrato carbonatico mesozoico, coperto, in trasgressione, da una successione sedimentaria pleistocenica.

Il primo, dello spessore di oltre m 1000, è formato da rocce calcaree cretache e costituisce il basamento dell'intera regione murgiano-salentina. Le rilevanti azioni tettoniche subite ne hanno prodotto il ribassamento, a gradinata, dall'entroterra verso le coste joniche, ove immerge configurando un vasto anfiteatro, colmato dalla sedimentazione marina quaternaria.

Quest'ultima ha modellato e obliterato le originarie forme topografiche, generando l'ampio ripiano morfologico su quale sorge l'abitato di Taranto.

La sequenza litostratigrafica, locale è rappresentata, a partire dal basso in ordine cronologico, da termini riferibili alle seguenti unità (solo in parte formazionali):

- "Calcare di Altamura" (Cretaceo sup.);
- "Calcarene di Gravina" (Pleistocene inf.);
- "Argille Subappennine" (Pleistocene inf.);
- "Calcareni di Taranto" (Pleistocene);
- "Depositi delle Saline" (Olocene)
- "Terreni di riporto" (Attuale)

Le prime due costituiscono il bed-rock e, poiché poste a profondità rilevante (circa m 100), non rivestono interesse diretto in relazione a quanto qui trattato; pertanto, se ne omette la descrizione.

#### **Argille Subappennine**

Affiorano lungo il bordo della depressione della "Salina Grande", componendo un corpo lateralmente continuo, di spessore prossimo a m 80.

Litologicamente, sono date da argille marnose e siltose e da limi argillosi, di colore grigio-azzurro o grigio-verdino.

In genere, hanno giacitura massiccia e, nelle parti superficiali, sono alterate, assumendo tonalità giallo-grigiastre, tipiche in affioramento.

In base al contenuto fossilifero, la formazione è ascrivibile al Calabriano.

#### **Calcareni di Taranto**

In sovrapposizione alle precedenti, chiudono la sequenza sedimentaria pleistocenica.

Si tratta di arenarie calcareo-bioclastiche grossolane, grigio-ocracee, a grado di cementazione variabile da medio a basso. A tali litotipi si associano, nella fascia basale, livelli di sabbie e sabbie limose avano-giallastre; a luoghi, si rinvengono intercalazioni di brecce calcaree, ad elementi mal elaborati, immersi in abbondante matrice sabbioso-limosa rossastra.

Lo spessore massimo di dette psammiti è di circa m 4÷5 nei terrazzamenti morfologici topograficamente più elevati.

L'età attribuita all'unità è, genericamente, pleistocenica; la presenza occasionale di faune a Strombus ne permette il riferimento cronostratigrafico al Tirreniano.

#### **Depositi delle Saline**

**STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA E IDRAULICA**

Si rinvencono al fondo della depressione endoreica.

Sono composti da limi argillosi grigi, con rare intercalazioni centimetriche di sabbie calcaree e di letti torbosi. Inglobano un'abbondante malacofauna oligotipica a *Cardium*, che testimonia un'origine marina, in ambiente lagunare.

Il loro spessore, pur variabile, solo eccezionalmente eccede i m 2, l'età è olocenica.

**Terreni di riporto**

L'estensione delle aree ammantate da materiali di discarica antropica induce ad associare agli stessi una valenza del tutto simile a quella dei terreni "naturali".

In particolare, nella "Salina Piccola" (ormai occupata per oltre la metà da accumuli detritici) prevalgono i residuati inerti dell'attività edile (per inciso, è doveroso precisare, tuttavia, che non è possibile escludere a priori l'accidentale inclusione di sostanze diverse, eventualmente anche ad elevato rischio ambientale), formati, essenzialmente, da blocchi calcarenitici in abbondante matrice sabbiosa, ad aspetto terroso.

## **4.2. Idrogeologia**

Stretta è la relazione intercorrente tra idrografia superficiale e idrogeologia.

Gli apporti meteorici permeano attraverso i primi strati (riporti, limi sabbiosi), giungendo a contatto con i terreni sottostanti, dotati di ridotta permeabilità (limi argillosi), ed impinguando un abbondante acquifero, il cui regime è comunque stagionale.

La falda s'infiltra nelle intercalazioni più grossolane e nelle discontinuità strutturali delle argille basali, imbibendole in profondità e mantenendole in uno stato di umidità costante, che a sua volta determina caratteristiche meccaniche scadenti..

Da misure piezometriche eseguite nell'area oggetto di studio, nel periodo Aprile-Maggio '96 si è rilevato che il serbatoio non è in pressione, si rinviene ad una quota media di m 12,00 slm ed il livello statico è pressoché costante. Tuttavia, è da precisare come il ravvenamento avvenga mediante l'apporto delle precipitazioni del semestre autunnale-invernale, poiché quelle primaverili-estive (peraltro limitate) generalmente tendono a perdersi per evapotraspirazione.

Nelle zone di San Vito – Lama Le quote di rinvenimento del pelo libero della falda menzionata sono collocate, in genere, ad oltre m 3 di distanza dal piano di campagna locale.

Non di meno, in concomitanza dei richiamati periodi umidi, possono risalire notevolmente, a volte stabilizzandosi, anche per alcuni mesi ed in ampi settori, a profondità minori di m 1 dalla superficie topografica.

Nella conca sottostante all'abitato di Lama, le acque sotterranee, che imbevono la coltre pluvio-colluviale, hanno superficie libera ancor più prossima al piano di campagna, sino alla sua tracimazione temporanea, nei punti maggiormente depressi in circostanze di precipitazioni pluviali eccezionali per intensità e durata (con frequenza pluriennale); d'altra parte, in regime di siccità prolungata, la stessa falda tende all'esaurimento totale.

## **4.3. Modello di infiltrazione di Horton**

Dato che l'area di studio risulta compresa in un bacino privo di sbocco naturale al mare, per la modellazione idraulica viene utilizzata la metodologia per **bacini endoreici**.

Nel caso dei bacini endoreici, viene valutata la pioggia di "durata" critica che massimizza il "volume" depositato, quindi la pericolosità risulta connessa ai livelli idrici che si accumulano in corrispondenza dei recapiti finali delle aree depresse.

**STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA E IDRAULICA**

Per far ciò si utilizza il modello di Horton descritto dall'equazione:

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c)e^{-t/k}$$

dove:

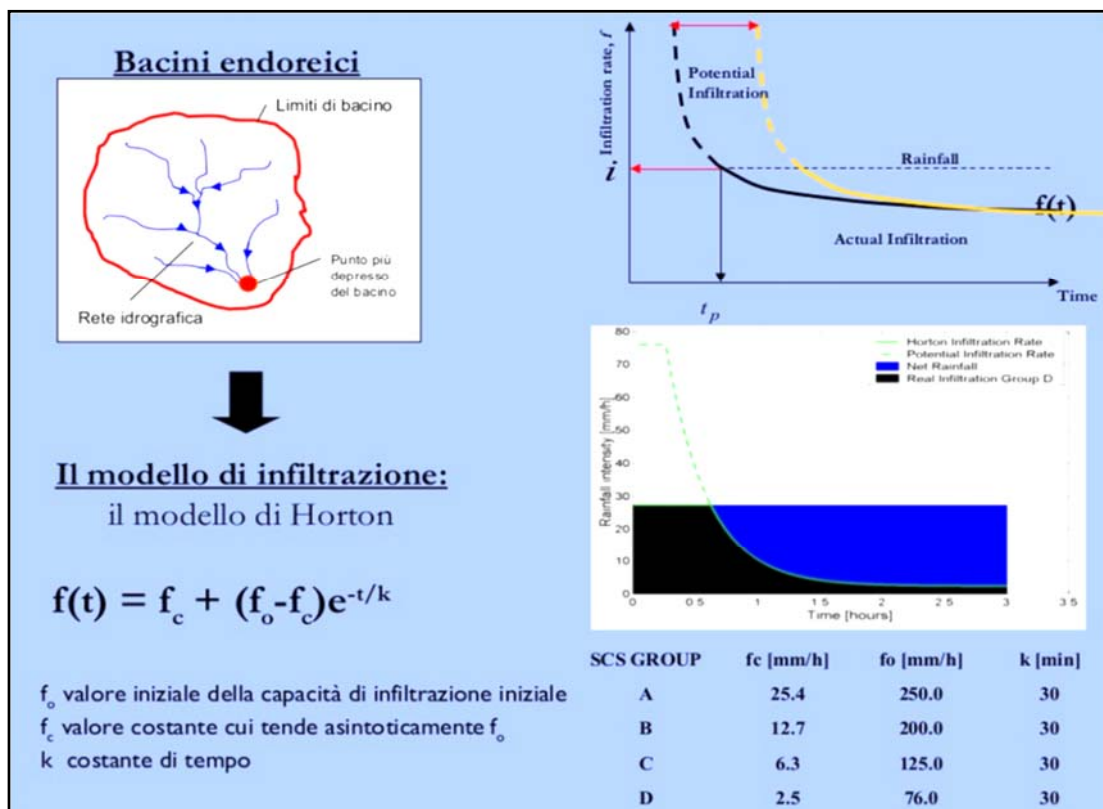
$f_0$  = valore iniziale della capacità di infiltrazione iniziale;

$f_c$  = valore costante a cui tende asintoticamente  $f_0$  ;

$k$  = costante nel tempo

Questa equazione esprime il modo in cui varia la velocità di infiltrazione nel tempo durante l'evento. La velocità di infiltrazione è una grandezza dimensionalmente uguale all'intensità di precipitazione ed è con essa che si deve confrontare. Se in un generico intervallo di tempo  $\Delta t$  l'intensità media di precipitazione  $im(t)$  è maggiore della velocità di infiltrazione  $f(t)$ , la quantità  $f(t) \cdot \Delta t$  si infila e la differenza  $[im(t) - f(t)] \cdot \Delta t$  defluisce.

Se viceversa l'intensità media di precipitazione  $im(t)$  è minore della velocità di infiltrazione  $f(t)$ , la quantità che si infiltrerà nel terreno sarà  $im(t) \cdot \Delta t$ . Infatti bisogna considerare che la velocità di infiltrazione del terreno non varia perché trascorre il tempo, bensì varia perché, nel tempo, il terreno va imbibendosi sempre di più. Ciò equivale a dire che se durante l'evento l'intensità di precipitazione è sempre superiore alla velocità di infiltrazione allora la variazione della velocità di infiltrazione nel tempo sarà correttamente espressa dalla legge di Horton mentre se l'intensità di precipitazione è talvolta inferiore alla velocità di infiltrazione, il terreno non potrà imbibirsi tanto quanto sarebbero le proprie potenzialità e la legge di Horton non è più valida.



**Figura 7 - Modello di infiltrazione di Horton**

Per assegnare i parametri di Horton a ciascuna maglia, è stato necessario creare le "zone di infiltrazione" ovvero poligoni caratterizzati da uno dei quattro tipi di terreno SCS (A,B,C,D).



**STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA E IDRAULICA**

La tipologia di terreno, secondo questa classificazione è stata ottenuta incrociando i dati spaziali relativi alla litologia e quelli relativi all'uso del suolo.

<b>Tipo idrologico di suolo</b>	<b>Descrizione</b>
<b>A</b>	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
<b>B</b>	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione
<b>C</b>	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
<b>D</b>	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

**Tabella 3** - Classificazione delle zone di infiltrazione e assegnazione dei parametri di Horton

## 5. ANALISI IDRAULICA

### 5.1. Il modello digitale del terreno (DTM)

Con altra procedura di evidenza pubblica l'Amministrazione Comunale proceduto ad individuare la Società specializzata (con Determina Dirigenziale n. 310 del 30.12.2013 e Determina Dirigenziale n. 220 del 04.08.2014) per l'aggiornamento dei dati di rilievo e restituzione grafica computerizzata del piano quotato della zona interessata dalla Variante, necessari a i sensi di legge, per definire sia le quote di imposta reali che di progetto dei servizi, (essendo la restituzione aerofotogrammetrica del Comune datata e quella disponibile e acquisibile dal GIS Regionale non sufficientemente di dettaglio, come richiesta per un piano esecutivo);

Tale attività di rilievo dello stato di fatto e la restituzione grafica, è stata eseguita con tecnologia **LIDAR**, consegnata a questa Direzione in data 18.11.2014 prot. int. n. 170356. Dopo le verifiche in loco e le integrazioni necessarie è stato possibile procedere dal parte dell'Ufficio al collaudo, rilasciato in data 19.03.2015 prot. int. nr.46566 e riguardante il Piano Quotato suddetto, esteso alle Aree Contermini al CEP Salinella.

Il DTM utilizzato per le elaborazioni **idrauliche** è stato estrapolato dal rilievo LIDAR con una cella di **0.5m x 0.5m**; l'estensione dell'area rilevata è pari a quella del bacino idrografico (**0.70 km**).

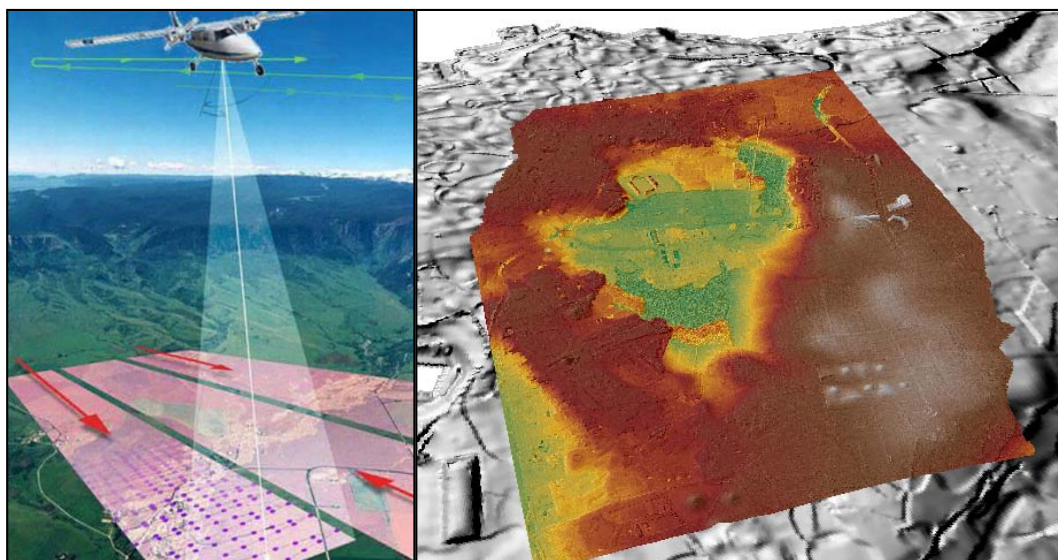


Figura 8 - Schema di esecuzione del rilievo Lidar e risultato dell'elaborazione

I principali vantaggi del rilievo Lidar sono: elevata qualità metrica del rilievo, alta densità di campionamento, possibilità di trascurare la vegetazione.

Ciò che si ottiene con un rilievo Lidar è un insieme di punti ad ognuno dei quali è associato un dato relativo alle coordinate geografiche (sistema WGS 84), alla quota (Z) calcolata sulla base della differenza di tempo intercorsa tra il segnale emesso e quello riflesso ed il valore dell'intensità di segnale riflessa (I). Analizzando i punti riflessi si osserva un ritorno multiplo del segnale, ed in presenza di vegetazione (non eccessivamente densa) il Lidar penetra riflettendo punti a vari livelli della fronda e al suolo. Dalla nuvola di punti totali si ottiene un Modello Digitale di Superficie, mentre per elaborazioni successive, che comprendono sia un filtraggio automatico che manuale, si estraggono i soli punti che appartengono al suolo da cui si ottiene un Modello Digitale del Terreno come quello utilizzato in questa sede.

Di seguito la dotazione software utilizzata per la restituzione del rilievo e la relativa elaborazione:

**STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA E IDRAULICA**



<p>AutoCAD Civil Design 3D</p>		<p>Software BIM per realizzazione di progetti di infrastrutture per il trasporto, sviluppo territoriale e risorse idriche</p>
<p>ARCGIS</p>		<p>Suite di prodotti software di ESRI per la creazione di un sistema GIS (Geographic Information System) completo.</p>
<p>InfoWorks ICM v. 3.5</p>		<p>Software per la modellazione idraulica mono e bi-dimensionale di sistemi idraulici complessi costituiti da reti idrauliche e corsi d'acqua naturali</p>

Figura 9 – Dotazione software

**5.2. Il modello di pioggia distribuito (ietogrammi)**

Dalla curva di Possibilità Climatica è stato possibile ricavare la quantità massima di pioggia prevista in base a prefissate durate dell'evento piovoso. In particolare sono stati scelti 4 eventi di pioggia per i tre tempi di ritorno e sono stati costruiti degli ietogrammi triangolari aventi come superficie sottesa proprio il volume di pioggia in mm ricavato dalle curve di possibilità climatica.

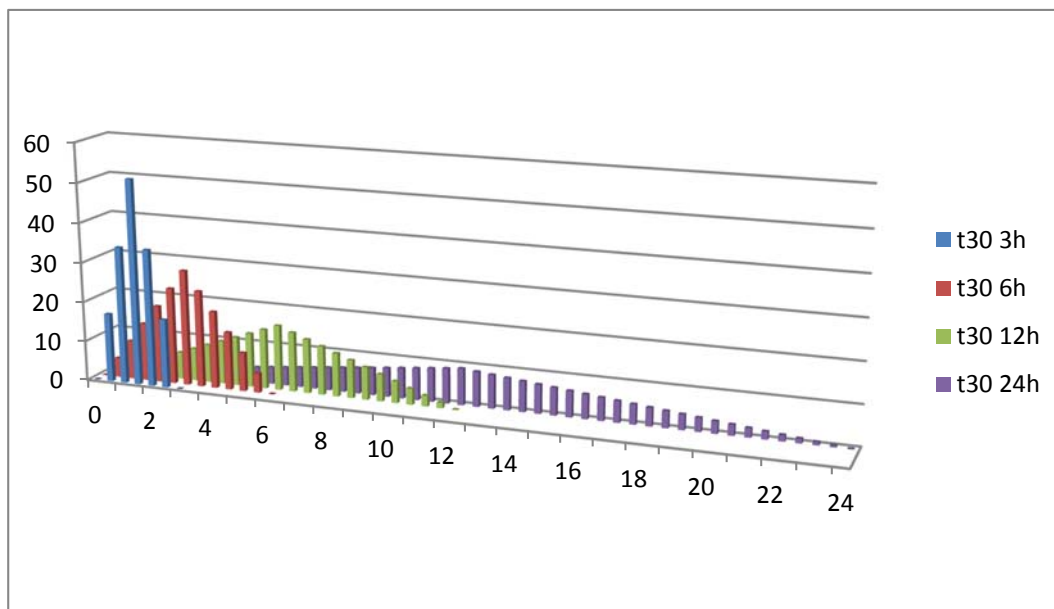
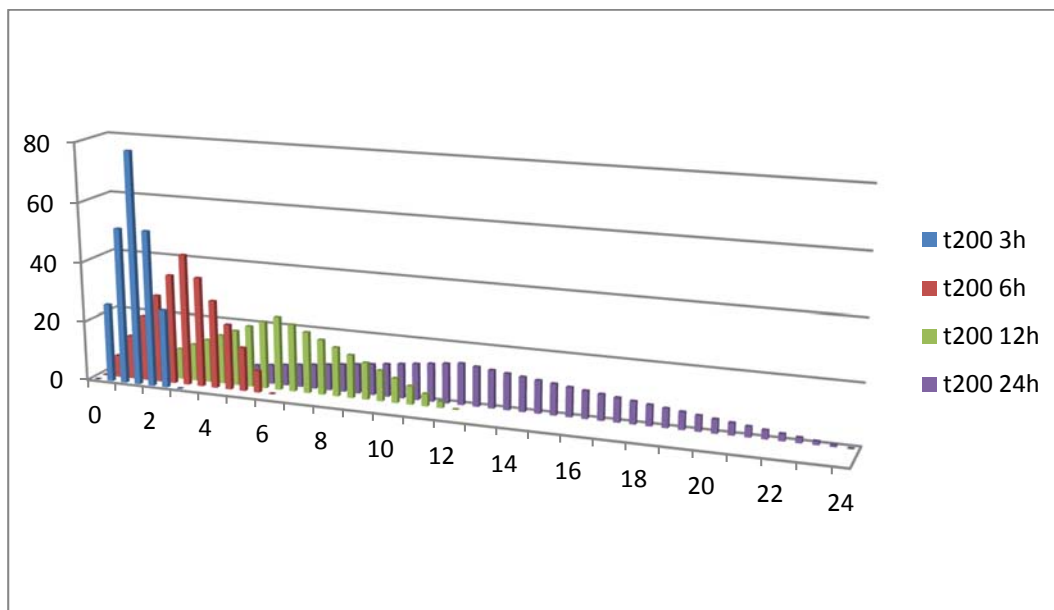
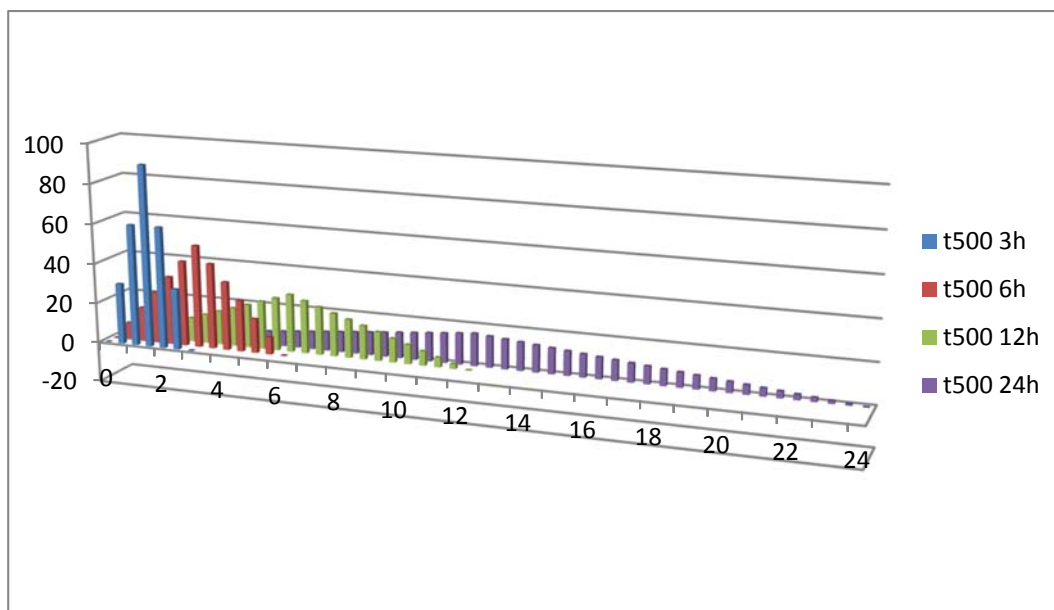


Grafico 3 - Ietogrammi per Tr 30 anni

**STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA E IDRAULICA**



**Grafico 4 – Ietogrammi per Tr 200 anni**



**Grafico 5 – Ietogrammi per Tr 500 anni**

### 5.3. Simulazione idraulica bidimensionale

La simulazione idraulica, data la morfologia subpianeggiante del territorio e l'assenza di un reticolo idrografico, non poteva essere affrontata attraverso codici di calcolo che simulano la propagazione del moto lungo percorsi monodimensionali.

E' stato pertanto implementato un modello di propagazione della piena sul DTM Lidar (risoluzione 0.5m x 0.5m) attraverso il software **InfoWorks ICM 4.0** specializzato nella modellazione **mono** e **bi-dimensionale** di sistemi idraulici complessi costituiti da reti idrauliche e corsi d'acqua naturali.

**STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA E IDRAULICA**

La peculiarità di questo software è quella di eseguire simulazioni integrate 1D-2D molto stabili sia per reti intubate che per alvei naturali a cielo aperto, dando la possibilità di inserire manufatti ed elementi lineari o puntuali di diverso tipo.

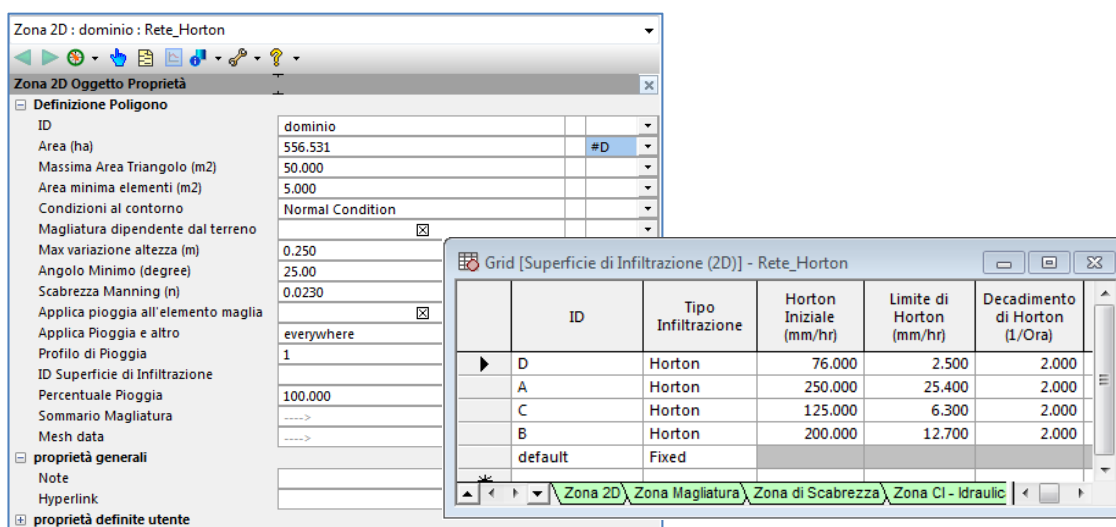
Al dominio di simulazione (dominio 2D), sono state attribuite le seguenti caratteristiche:

**Massima Area Triangolo** (Maximum Triangle Area): questo valore molto importante definisce la dimensione massima che può assumere ogni singola maglia triangolare durante il processo automatico di magliatura, quindi più il valore è piccolo e più dettagliata sarà la griglia di calcolo. *La maglia utilizzata varia tra una superficie massima di 50 m<sup>2</sup> e una minima di 5 m<sup>2</sup> con un valore massimo di variazione in altezza pari ad 0.25m;*

**Condizioni al contorno** (Boundary Type): questa proprietà definisce il comportamento che l'acqua deve assumere qualora arrivasse a lambire il confine del poligono durante la simulazione. Nel presente studio è stata utilizzata l'impostazione : *"Normal condition"* ovvero si assume che la pendenza del terreno bilanci le forze d'attrito (flusso normale o uniforme); l'altezza e la velocità vengono mantenute costanti quando l'acqua raggiunge il confine, in modo che l'acqua possa fluire al di fuori del poligono senza perdite di carico.

**Scabrezza Manning** (Roughness): la scabrezza viene attribuita a tutti triangoli creati durante il processo di magliatura. È possibile indicare localmente altri valori di scabrezza, il valore generale indicato in questo campo verrà utilizzato dove non specificato diversamente. *Nel caso in esame il coefficiente di scabrezza "n" è stato posto uguale a 0,023.*

**Parametri di Horton:** anche le caratteristiche di infiltrazione vengono attribuite a tutti triangoli creati durante il processo di magliatura mediante l'inserimento di "Zone di Infiltrazione 2D" ovvero di oggetti poligonali ad ognuno dei quali viene associato un ID nella tabella "Superficie di Infiltrazione (2D)" che contiene i parametri di Horton.



**Figura 10** – Caratteristiche el dominio di simulazione 2D

Il modello usato per la rappresentazione matematica del flusso, sia mono che bi-dimensionale è basato sull'equazione dell'acqua superficiale, relativa cioè all'altezza media che si ricava dalle equazioni di Navier – Stokes:

**STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA E IDRAULICA**

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q_{1D}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (hu^2 + gh^2/2) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} \\ = S_{0,x} - S_{f,x} + q_{1D}u_{1D} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} (hv^2 + gh^2/2) \\ = S_{0,y} - S_{f,y} + q_{1D}v_{1D} \end{aligned}$$

dove

$h$  è l'altezza dell'acqua;

$u$  e  $v$  sono rispettivamente le velocità nelle direzioni  $x$  e  $y$ ;

$S_{0,x}$  e  $S_{0,y}$  sono rispettivamente le pendenze dell'alveo nelle direzioni  $x$  e  $y$ ;

$S_{f,x}$  e  $S_{f,y}$  sono rispettivamente gli attriti nelle direzioni  $x$  e  $y$ ;

$q_{1D}$  è la portata per unità di area;

$u_{1D}$  e  $v_{1D}$  sono rispettivamente le componenti di velocità della portata  $q_{1D}$  nelle direzioni  $x$  e  $y$ .

Questa formulazione conservativa dell'equazione dell'acqua superficiale è discretizzata utilizzando un sistema di primo ordine esplicito del volume finito. La tecnica di frazionamento del flusso assicura la proprietà del buon equilibrio bilanciando la pendenza con la pressione, termini a riposo. Per gestire la distinzione tra celle bagnate ed asciutte, viene utilizzata una soglia detta  $h_0$ . Durante il calcolo, le celle a cui è associato un tirante idrico inferiore alla soglia sono considerate asciutte, dunque sia il tirante che la velocità vengono posti a zero. Il valore di default per questa profondità di soglia è 1mm.

## 6. ANALISI DELLA PERICOLOSITA'

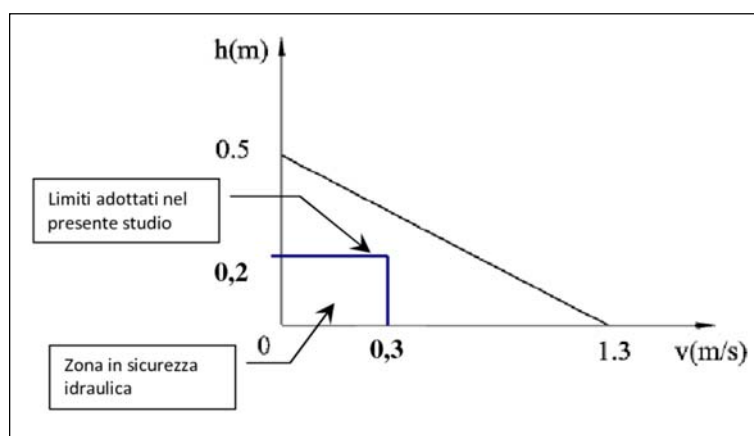
L'analisi della pericolosità è stata condotta *"involuppando"* i risultati di **12** simulazioni idrauliche (4 per ogni tempo di ritorno) con l'obiettivo di individuare la risposta idraulica più gravosa in un range di durate che va dalle 3 alle 24 ore. Questo in considerazione del fatto che all'interno di uno stesso bacino idrografico ci possono essere zone (endoreiche e/o a debole pendenza) sensibili ai picchi di volume e zone (esoreiche e/o forte pendenza) sensibili ai picchi di portata.

I risultati della simulazione, ovviamente, poiché generati dall'applicazione di una pioggia distribuita (ietogrammi) sono stati epurati delle componenti residuali che non generano situazioni di pericolo. L'indicazione di allagamento di una superficie, infatti, non è di per sé un fattore di pericolosità; particolari condizioni di allagamento però possono mettere in condizioni di pericolo le persone presenti nelle aree in cui essi si verificano.

Oltre al tirante idrico, i fattori che influiscono sul livello di pericolosità sono la **velocità di scorrimento idrico** e la **persistenza del fenomeno**. Infatti un allagamento che presenta un tirante idrico di 0,1 metri ha caratteristiche ben diverse da quello derivante da 2 metri, anche se si dovesse verificare con lo stesso tempo di ritorno.

Al contrario, se il primo dovesse possedere un'elevata velocità di scorrimento, potrebbe diventare più pericoloso del secondo caso qualora quest'ultimo fosse quasi statico.

Non essendoci indicazioni a riguardo da parte dell'Autorità di Bacino della Puglia si fa riferimento ad un diagramma proposto dall'Autorità di Bacino del Tevere che mette in relazione i due parametri fondamentali nella determinazione del livello di pericolosità dell'inondazione: **tirante  $h(m)$**  e **velocità  $v(m/s)$** .



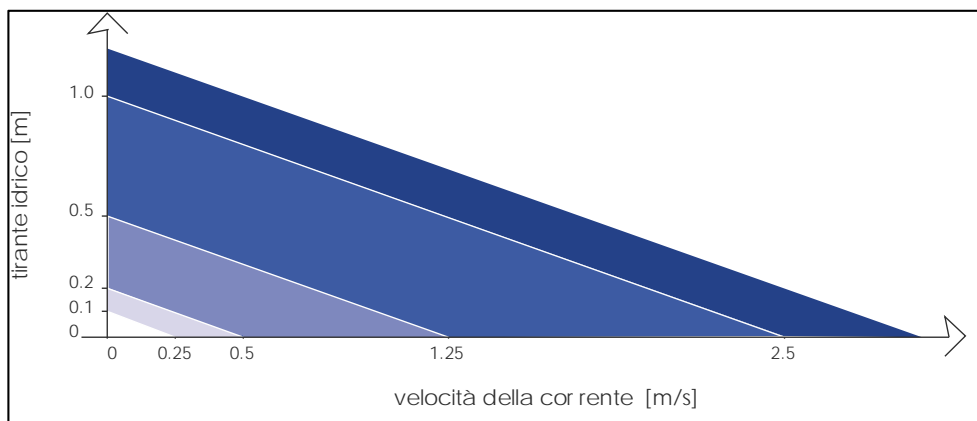
**Grafico 6** - Grafico dell'AbB del Tevere e assunzioni cautelative in studi analoghi

In studi analoghi si è osservato che, cautelativamente, sono stati assunti come limiti di rappresentazione della pericolosità i seguenti:

- tirante idrico  $> 0,2$  m
- velocità  $> 0,3$  m/s.

In via cautelativa sono stati inseriti **ulteriori** limiti utili all'elaborazione su mappa. I dati di allagamento sono stati sottoposti ad un filtro che ha eliminato tutte le maglie con combinazione Tirante e Velocità al di sotto della retta passante per  $(0;0,25)$  e  $(0,1;0)$ .

**STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA E IDRAULICA**



**Grafico 7** - Rappresentazione cartesiana delle soglie utilizzate per l'elaborazione dei dati in output



## **BIBLIOGRAFIA**

- EVANS E.P., VON LANY P.H. (1983), "A mathematical model of overbank spilling and urban flooding" in "Hydraulic Aspects of Floods and Flood Control", London, UK
- FIORENTINO, M.; GABRIELE, S.; ROSSI, F.; VERSACE, P. (1987), "Hierarchical approach for regional flood frequency analysis" in V. P. Singh (eds) "Regional flood frequency analysis", 35-49, D. Reidel, Norwell, Mass.
- TESORIERE G. (1994), "Strade Ferrovie Aeroporti", Vol. I, Il progetto e le opere d'arte; UTET, Torino.
- GABRIELE S., IIRITANO G. (1994), "Analisi regionale delle piogge in Basilicata", rapporto interno n.414, CNR-IRPI, Rende (CS).
- CLAPS, P.; COPERTINO, V.; FIORENTINO, M. (1994), "Analisi regionale dei massimi annuali delle portate al colmo di piena, in Copertino V. A. e Fiorentino M. (a cura di) Valutazione delle piene in puglia", 211-246, DIFA-GNDICI, Potenza.
- IPPOLITO G. (1995), "Appunti di costruzioni idrauliche", Liguori editore, Napoli;
- AA.VV. (1996), "Using ArcView GIS", Environmental Systems Research Institute Inc., 380 New York Street, Redlands, California.
- DA DEPPO L., DATEI C. (1999), "Le opere idrauliche nelle costruzioni stradali", Ed. BIOS, Cosenza.
- CASTORANI A., IACOBELLIS V. (2001), "Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia centro-meridionale, in Studi propedeutici per la redazione del piano di bacino regionale", Regione Puglia, Bari.
- AA.VV. (2002), "Atlante delle opere di sistemazione dei versanti", Ed. APAT - Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, Roma.
- AA.VV. (2003), "Atlante delle opere di sistemazione fluviale", Ed. APAT - Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, Roma.
- CAIVANO A. M. (2003), "Rischio Idraulico e Idrogeologico", III Edizione, Ed. EPC Libri, Roma.
- FERRO V. (2006), "La sistemazione dei bacini idrografici", Seconda Edizione, McGraw-Hill, Milano.
- AA.VV. (2007), "Linee guida per la stabilizzazione delle frane e strategie di mitigazione del rischio", Autorità di Bacino del Fiume Arno, Firenze.
- CETRARO F. (2007), "Ingegneria Geotecnica e Geologia Applicata", II Edizione, Ed. EPC Libri, Roma;
- IACOBELLI F. (2009), "Resistenza e stabilità di pendii e fronti di scavo on zona sismica", Ed. EPC Libri, Roma.
- AA.VV. (2009), "Two-Dimensional Flood Routing Model - Workshop Lessons", FLO-2D Software Inc., Nutrioso, Arizona.
- MURACHELLI A., RIBONI V. (2010), "Rischio idraulico e difesa del territorio", Ed. Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- AGOSTINACCIO M., CIAMPA D., OLITA S. (2011), "La progettazione delle strade", II Edizione, Ed. EPC Libri, Roma;