



---

# STUDIO IDRAULICO

Impianto agrivoltaico  
Regione Puglia, comune di Brindisi

## **INTEGRAZIONE STUDIO IDRAULICO**

Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico  
della potenza nominale di 6,468 KWp.

CODICE PROGETTO: G14406C01





**Proponente**

SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

## Sommario

Sommario	2
1. PREMESSA	3
2. METODOLOGIA APPLICATA	4
2.1. Analisi cartografica	4
2.2. Analisi Geomorfologica di Bacino	6
2.3. Analisi idrologica	12
2.3.1. Curva di possibilità pluviometrica	12
2.4. Tempo di corrivazione	14
2.5. Curva di possibilità pluviometrica	16
2.5.1. Altezza di pioggia	17
2.5.2. Valutazione della pioggia netta, al metodo del "curve number"	18
2.5.3. Stima della portata di piena con il metodo del curve number	21
2.5.4. Definizione dell'idrogramma di piena	22
3. VERIFICA IDRAULICA	25
3.1. Il software Hec-Ras	25
3.1.1. Modello di calcolo	26
4. CONCLUSIONI	29
5. ALLEGATO I	30

## 1. PREMESSA

Il presente studio idraulico è stato redatto al fine di illustrare i potenziali effetti generati da fenomeni con tempo di ritorno di 200 anni sull'impianto agrivoltaico di progetto, ubicato nel comune di Brindisi.



Figura 1 - Impianto di progetto su ortofoto

Nell'ambito della Conferenza di Servizi non è stata chiesto di redigere il presente studio, pertanto rappresenta una integrazione volontaria della società proponente al solo fine di meglio individuare tutti gli aspetti legati ai potenziali impatti sul progetto.

Lo studio è relativo alle aree occupate dai moduli fotovoltaici e non anche alla connessione, essendo essa per la maggior parte dello sviluppo aerea ad eccezione di due tratti interrati di 20 metri e di 60 metri, rispettivamente all'inizio ed al punto finale verso la cabina primaria di Casignano.

In particolare, l'area a nord di impianto è prossima ad un reticolo idrografico individuato dalla Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia e dalla cartografia I.G.M. in scala 1:25.000.



**Proponente**

SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

## 2. METODOLOGIA APPLICATA

Viene di seguito dettagliata la metodologia seguita per la redazione dello studio.

### 2.1. Analisi cartografica

Lo step iniziale per una corretta analisi idrologica ed idraulica è la perfetta conoscenza del reticolo idrografico esistente. Lo studio è stato eseguito facendo riferimento al reticolo idrografico superficiale pubblicato sul portale web dell’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Meridionale (Ultima REV: Dicembre 2023), unitamente ad una comparazione con la cartografia CTR della Regione Puglia, la cartografia IGM in scala 1.25.000 e tutti gli strati informativi utili alla identificazione di un eventuale diverso reticolo minuto.

<p>RETICOLO IDROGRAFICO</p>	<p>Reticolo_Idrografico_Dic_2023.zip</p> <p>Le modifiche del Reticolo Idrografico riguardano i comuni di:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• FASANO (BR) - DS n. 950 del 21/11/2023</li> <li>• CONVERSANO (BA);</li> <li>• BITRITTO (BA);</li> </ul>
---------------------------------	--

Di seguito si riportano le cartografie prese in considerazione durante la fase conoscitiva per una più precisa identificazione del reticolo idrografico.

Come è possibile osservare nelle figg.2 e 3, vi è perfetta congruenza tra le cartografie (IGM, Satellite) ed il reticolo idrografico individuato dalla Autorità di Bacino Distrettuale.

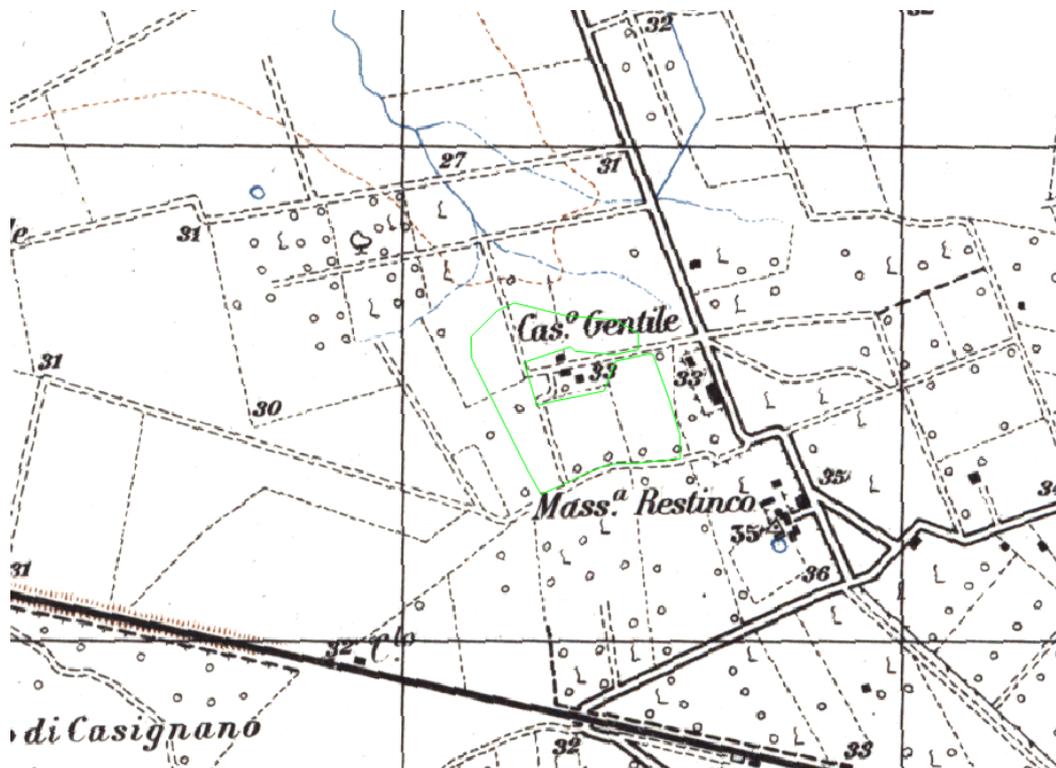


Figura 2 - Reticolo idrografico individuato su IGM (in blu il reticolo e in verde l'area di impianto)



Figura 3 - Reticolo minuto individuato dall'AdB Pugliae

## 2.2. Analisi Geomorfologica di Bacino

Il territorio oggetto di studio, è inquadrato, geologicamente, nell'ambito del foglio n° 203, denominato "Brindisi" della Carta Geologica d'Italia a scala 1: 100.000. Nell'ambito di questa carta, a grande classificazione geologica é possibile distinguere essenzialmente due termini:

- Q1s = Sabbie argillose giallastre, talora debolmente cementate, in strati di qualche centimetro di spessore che passano gradualmente a sabbie;
- Q1c = Sabbie giallo-rossastre sovrastanti a livelli arenacei costituenti l'unità "panchina".

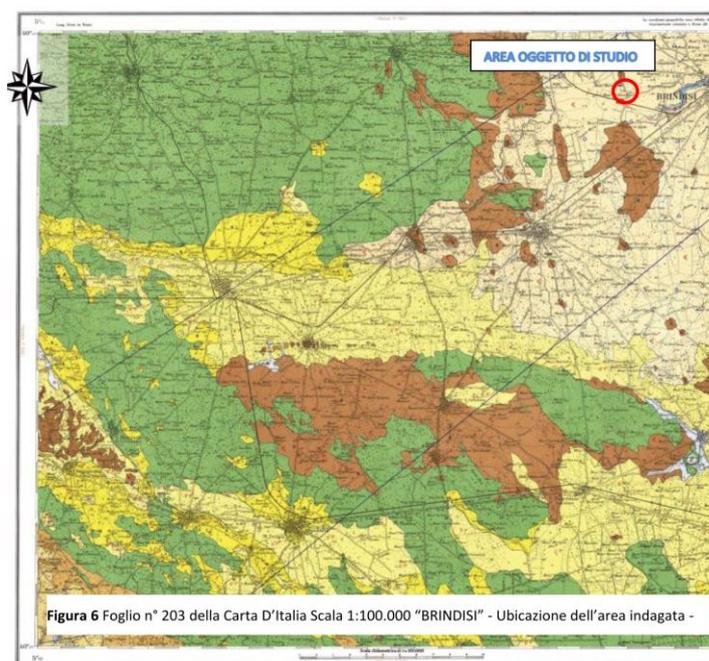


Figura 4 - Carta geologica d'Italia

Ambedue le unità stratigrafiche appartengono alla "Formazione di Gallipoli". Dall'osservazione della carta geologica è, quindi, possibile distinguere una netta differenziazione litologica fra l'area in studio, caratterizzata da una successione stratigrafica comune per l'intero territorio della "Conca" e quella litorale del Casale, caratterizzata, appunto, dalla presenza di banchi arenacei compatti e costituenti i comunemente detti "scogli". Questa differenziazione é legata, chiaramente, a differenti fenomeni sedimentari ed erosivi che hanno interessato la zona. La diversità delle caratteristiche stratigrafiche risiede in episodi geologici recenti in quanto tutta l'area di Brindisi ha subito dei fenomeni tettonici particolari che hanno costituito la citata "Conca di Brindisi" la cui genesi non può essere oggetto di questo lavoro professionale. Per l'individuazione dello stato dei luoghi, é stato seguito un rilevamento geomorfologico e litologico dei terreni vicini e su quelli propri delle aree in studio e, là dove non é stato possibile individuare zone utili all'osservazione, si é fatto esplicito riferimento all'esperienza dello scrivente, acquisita anche sulle aree poste in prossimità di quella in cui si intende realizzare l'impianto fotovoltaico. La morfologia

di tutto il territorio brindisino presenta, nel suo aspetto prettamente tabulare e leggermente degradante verso il mare, una serie di solchi erosivi di diversa estensione ed a diverso andamento, occultati sia da azioni antropiche recenti che dalle variazioni eustatiche marine, anch'esse geologicamente recenti.

Le analisi geomorfologiche di bacino sono state eseguite con applicativi GIS e successiva verifica manuale del risultato in output. In generale la definizione dei bacini parte dal tracciamento della linea di spartiacque, dalle quote minori a quelle maggiori (da valle verso monte, iniziando dalla sezione di chiusura) seguendo alcune definizioni da letteratura:

- Una *valle* presenta isoipse concave verso le quote decrescenti
- Un *dosso* presenta isoipse convesse verso le quote decrescenti

ed alcune regole fondamentali:

- Tagliare sempre le isoipse con angoli retti
- Non tagliare mai valli o tratti di reticolo idrografico
- Tagliare sempre i dossi e mai le valli con la linea spartiacque

L'analisi è stata effettuata su un modello D.T.M. (Digital Terrain Model) a maglia quadra di 1x1 messo a disposizione dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica. In prima battuta sono stati identificati tutti i sottobacini con una superficie minima di 10ha nell'intorno delle aree di impianto.

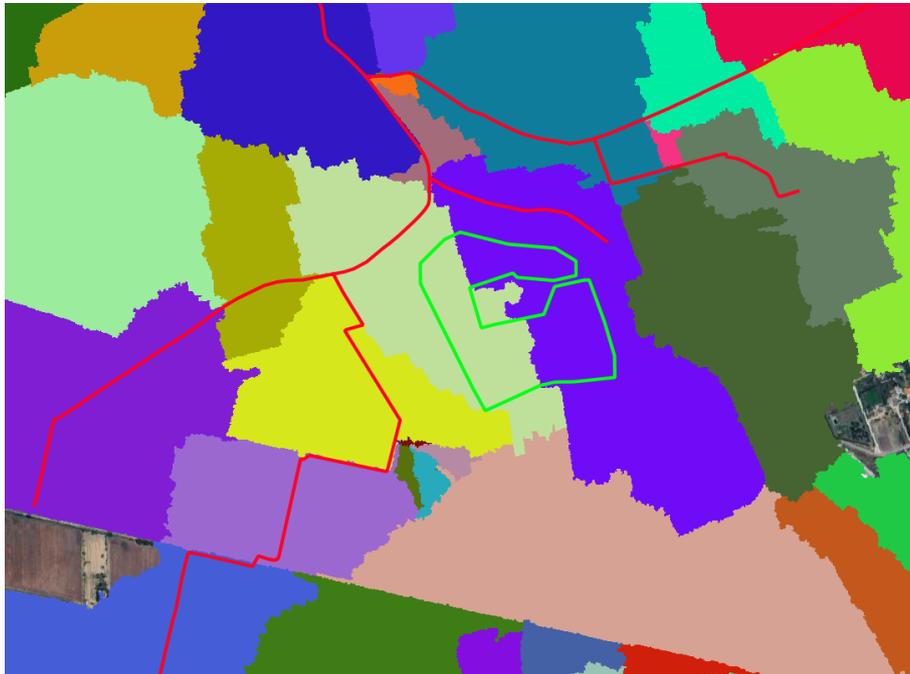


Figura 5 - Sottobacini con superficie minima di 10ha

Si è quindi proceduto con la determinazione della "direction" ovvero del percorso della goccia d'acqua fino all'impluvio e dell'accumulation che mostra le zone di accumulo ovvero possibili corsi d'acqua, anche episodici, rispetto al DTM implementato.



Figura 6 - Drainage Direction

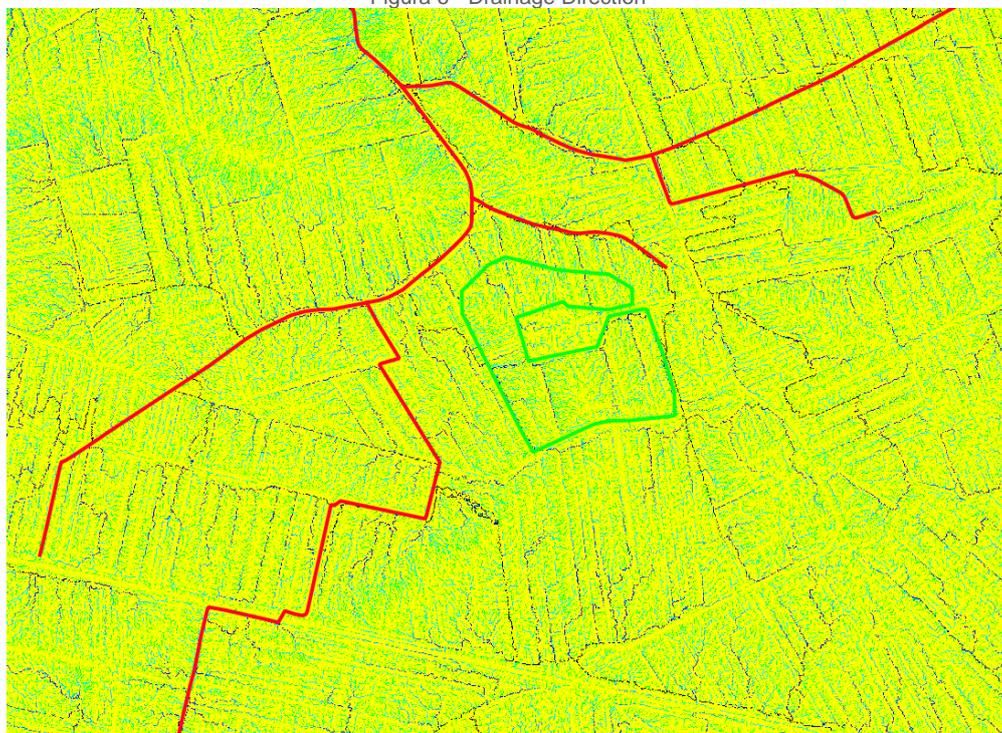


Figura 7 - Accumulation

È stata quindi definita una sezione di chiusura al fine di identificare il bacino comprendente tutta l'area di progetto. Nel caso in esame è stata scelta proprio la sezione indicata di seguito in fig. 8.



Figura 8 - Sezione di chiusura bacino

Di seguito si riporta il modello DTM e la perimetrazione del bacino ottenuto con l'analisi precedentemente descritta.



Figura 9 - DTM bacino esaminato

La procedura descritta ha permesso di calcolare tutte le variabili del bacino e dei corsi d'acqua principali e secondari, necessarie per i calcoli e per le verifiche idrauliche condotti (CPP,



**Proponente**

SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

idrogramma di piena, ecc...). Il bacino principale è stato poi suddiviso in sottobacini in modo tale da poter calcolare tutte le variabili per ogni corso d'acqua, come di seguito rappresentati.

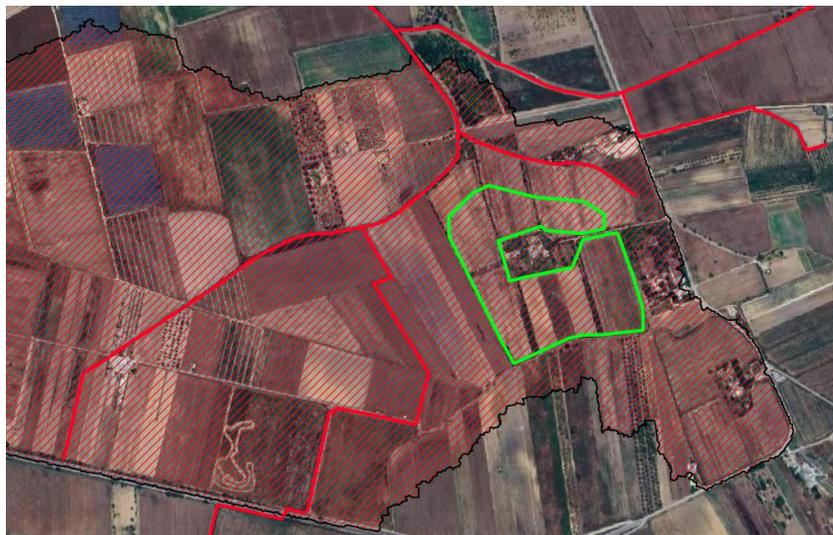


Figura 10 - Perimetrazione Bacino



Figura 11 - Asdte considerate nelle analisi idrauliche

Di seguito si riportano i dati fondamentali del bacino relativamente al corso d'acqua principale.

Tabella 1

Unità di Misura	km <sup>2</sup>	m s.l.m.	m s.l.m.	m s.l.m.	km	%	%	Adimensionale
-----------------	-----------------	----------	----------	----------	----	---	---	---------------



**Proponente**

SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

Bacino	S Superficie Bacino	Hmax Altezza Massima Bacino	Hmed Altezza Media Bacino	Hmin Altezza Minima Bacino	L Lunghezza Asta principale	i Pendenza Asta principale	Y Pendenza media dei versanti	c Coefficiente di deflusso
Asta principale	1,298	35,447	30	25,518	1,43	0,304	2,77	0,35

Tabella 2

Unità di Misura	km <sup>2</sup>	m s.l.m.	m s.l.m.	m s.l.m.	km	%	%	Adimensionale
Bacino	S Superficie Bacino	Hmax Altezza Massima Bacino	Hmed Altezza Media Bacino	Hmin Altezza Minima Bacino	L Lunghezza Asta principale	i Pendenza Asta principale	Y Pendenza media dei versanti	c Coefficiente di deflusso
Asta sec. 2	0,235	31	27	26	0,93	0,117	1,07	0,35

Il coefficiente di deflusso è stato calcolato attraverso la correlazione della mappa uso del suolo – Corinne Land Cover 2018 con l’area interessata dal bacino.

LIVELLO_3	DESCRIZIONE	COEF. DEFLUSSO
111	tessuto residenziale continuo, denso pi- recente e basso	0.90
112	tessuto residenziale sparso	0.80
121	insediamenti produttivi agricoli	0.80
122	reti ferroviarie comprese le superfici annesse	0.80
131	aree estrattive	0.60
133	cantieri e spazi in costruzione e scavi	0.40
211	seminativi semplici in aree non irrigue	0.35
221	vigneti	0.50
222	frutteti e frutti minori	0.45
223	uliveti	0.45
241	colture temporanee associate a colture permanenti	0.35
242	sistemi colturali e particellari complessi	0.35
311	boschi di latifoglie	0.25
313	boschi misti di conifere e latifoglie	0.25
314	prati alberati, pascoli alberati	0.30
321	aree a pascolo naturale, praterie, incolti	0.40
322	cespuglieti e arbusteti	0.45
323	aree a vegetazione sclerofilla	0.45
333	aree con vegetazione rada	0.50
512	bacini senza manifeste utilizzazioni produttive	0.80

Figura 12 - Coefficiente di deflusso correlato a carta uso del suolo



Proponente

SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

## 2.3. Analisi idrologica

Ai fini del presente studio si è resa necessaria la stima della portata di piena con tempi di ritorno trentennali e bicentennali, in conformità con quanto riportato nel DPCM 29/09/98 e nella Relazione di Piano del PAI, valutando gli afflussi meteorici che generano le suddette portate, desumibili dalla curva di probabilità pluviometrica (CPP). La valutazione della CPP è stata condotta con il metodo VAPI (Valutazione Piene) elaborato dal Gruppo Nazionale Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche nell'ambito degli studi per l'Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia centro-meridionale (a cura del Dipartimento di Ingegneria delle Acque del Politecnico di Bari, 2001).

### 2.3.1. Curva di possibilità pluviometrica

I valori massimi annuali delle precipitazioni giornaliere sono basati su una distribuzione di tipo TCEV (Two Component Extreme Value – Rossi e Versace, 1982) che rappresenta la distribuzione del massimo valore atteso in un intervallo temporale stabilito. All'interno di questo modello vi è la suddivisione tra componente *straordinaria* e componente *ordinaria*, ammettendo però che le stesse possono tra di loro interferire attraverso un processo che segue la legge di Poisson. Attraverso l'identificazione dei parametri del TCEV si è potuto costruire un modello regionale di tipo gerarchico, definendo i cosiddetti livelli di regionalizzazione. Nel primo livello vengono identificate le regioni in cui i due parametri della TCEV risultano costanti, questo viene definito **primo livello di regionalizzazione**. Successivamente si identificano le sottoregioni in cui anche il coefficiente di variazione risulta costante, queste definiscono il **secondo livello di regionalizzazione**, per finire poi con macro-regioni in cui esiste una relazione tra il parametro di distribuzione di probabilità pluviometrica e la morfologia del territorio, questo livello viene definito **terzo livello di regionalizzazione**.

Di seguito si riporta la regionalizzazione di tipo gerarchico sui livelli sopra descritti:

- 1° Livello: Regione Puglia
- 2° Livello: Puglia settentrionale e centro-meridionale
- 3° Livello – Zona
  - Zona 1 – Gargano
  - Zona 2 – Tavoliere
  - Zona 3 – Murge
  - Zona 4 – Subappennino
  - Zona 5 – Nord Barese – Murgia centrale
  - Zona 6 – Penisola salentina**

L'area di impianto ricade all'interno della zona di terzo livello denominata "**Penisola salentina**". Per ognuna di queste zone è possibile calcolare la curva di possibilità pluviometrica sulla base delle seguenti equazioni:

- Zona 1:  $x(t,z) = 26.8 t^{[(0.720+0.00503 z)/3.178]}$
- Zona 2:  $x(t) = 22.23 t^{0.247}$
- Zona 3:  $x(t,z) = 25.325 t^{[(0.0696+0.00531 z)/3.178]}$
- Zona 4:  $x(t) = 24.70 t^{0.256}$
- Zona 5:  $x(t,z) = 28.2 t^{[(0.628+0.0002 z)/3.178]}$
- Zona 6:  $x(t,z) = 33.7 t^{[(0.488+0.0022 z)/3.178]}$

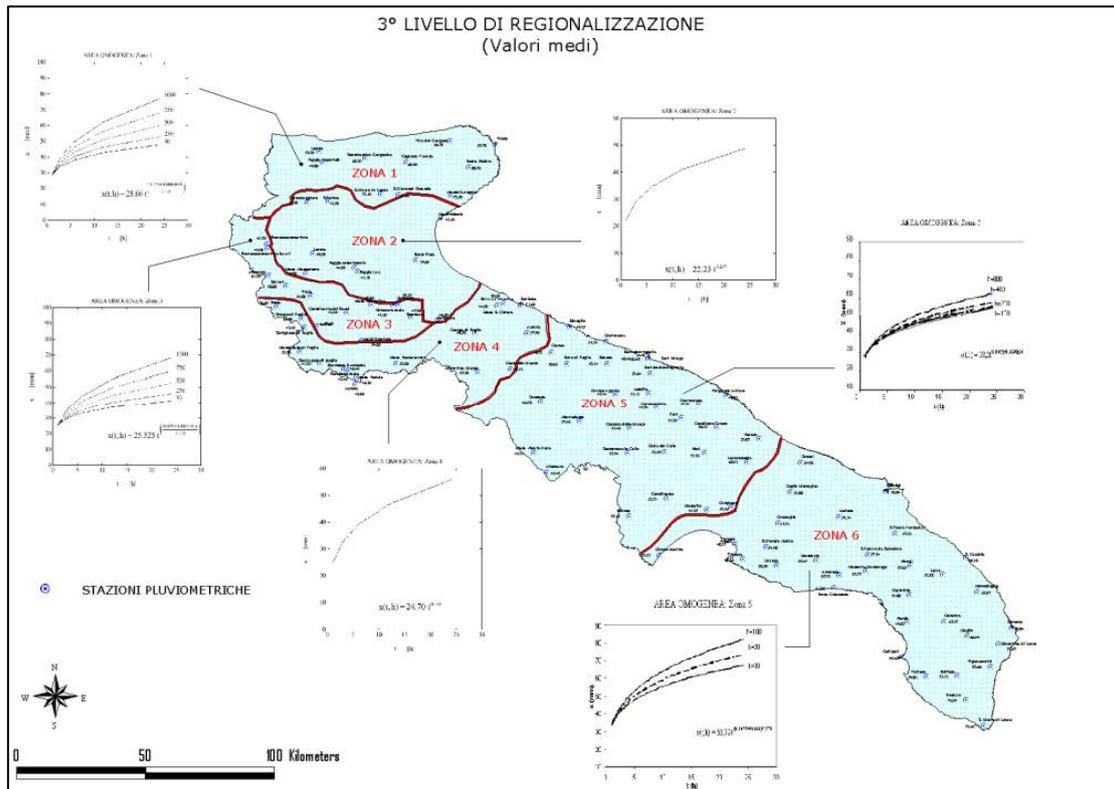


Figura 13 - Zone omogenee di terzo livello - Regione Puglia

Avendo indicato con  $t$  la durata della precipitazione e con  $z$  l'altezza media del bacino in esame. Si ipotizza che la durata della precipitazione corrisponda proprio al tempo di corrivazione del bacino analizzato.

Nel caso in cui si debba condurre uno studio idrologico in un'area estesa, la precipitazione deve essere ragguagliata alla superficie del bacino idrografico considerato per tener conto del fatto che la precipitazione calcolata con le formule precedenti, è un valore puntuale e quindi va opportunamente ridotta di un **Fattore di riduzione areale** che è strettamente correlato alla estensione dell'area studiata e alla durata dell'evento stesso. Questo fattore è pari a:

$$K_A = 1 - (1 - e^{(-0.0021A)}) e^{(-0.53 d^{0.25})}$$



Proponente

SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

Tuttavia, data la modesta entità dei bacini idrografici considerati per l'opera in oggetto non è stato utilizzato il fatto di riduzione areale.

## 2.4. Tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione  $T_c$  di un bacino è il tempo necessario perché il bacino sia integralmente contribuente, ovvero il tempo impiegato da una singola particella d'acqua piovuta nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di chiusura. La definizione di tempo di corrivazione consente di spiegare perché la piena si verifica proprio se l'evento meteorico ha una durata almeno pari al tempo di corrivazione, dato che in questo caso tutta l'area scolante contribuisce ai fini del deflusso superficiale. Il concetto di tempo di corrivazione permette anche di giustificare perché nei piccoli bacini sono sufficienti piogge brevi per determinare eventi di piena.

In letteratura esistono diverse formule per calcolare il tempo di corrivazione, per completezza di relazione si riportano di seguito:

### **Formula di Giandotti**

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{h_{media} - h_{min}}}$$

dove:

$t_c$  è il tempo di corrivazione [ore];

$A$  è l'area del bacino [km<sup>2</sup>];

$L$  è la lunghezza dell'asta principale [km];

$h_{media}$  è la quota media del bacino (m.s.l.m.)

$h_{min}$  è la quota della sezione di chiusura (m.s.l.m.)

L'espressione descritta è utile per bacini aventi una superficie compresa tra 170 e 70000 km<sup>2</sup>:

### **Formula di Pezzoli**

$$t_c = \frac{0,055 L}{\sqrt{i}}$$

dove:

$t_c$  è il tempo di corrivazione [ore];

$L$  è la lunghezza dell'asta principale [km];

$i$  è la pendenza media dell'asta principale;

### **Formula di Viparelli**

$$t_c = \frac{L}{V}$$

dove:

$t_c$  è il tempo di corrivazione [ore];

Email: [info@gvcingegneria.it](mailto:info@gvcingegneria.it)

Indirizzo: Via Nazario Sauro, 126Potenza (PZ)

Telefono: +39 0971 1565639

P.IVA: 01737760767

Sito Web: [gvcingegneria.it](http://gvcingegneria.it)



**Proponente**

SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

L è la lunghezza dell'asta principale [km];

V è la velocità media di deflusso all'interno dei canali, con valori compresi tra 1 e 1,5 m/s;

**Formula di Tournon**

$$t_c = \frac{0,396 L}{\sqrt{i}} \left( \frac{S}{L^2} \sqrt{\frac{i}{i_v}} \right)^{0,72}$$

$t_c$  è il tempo di corrivazione [ore];

S è l'area del bacino [km<sup>2</sup>];

L è la lunghezza dell'asta principale [km];

i è la pendenza media dell'asta principale;

$i_v$  è la pendenza media del versante;

**Formula di Ventura**

$$t_c = 0,127 \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{i}}$$

$t_c$  è il tempo di corrivazione [ore];

S è l'area del bacino [km<sup>2</sup>];

i è la pendenza media dell'asta principale;

**Formula di Kirpich (1940)**

$$t_c = 0,000325 L^{0,77} i_v^{-0,385}$$

$t_c$  è il tempo di corrivazione [ore];

L è la lunghezza dell'asta principale [km];

$i_v$  è la pendenza media del versante.

I valori ottenuti sono riportati nella tabella seguente per ognuno delle tre aste analizzate nel seguente ordine:

**ASTA PRINCIPALE**

Tabella 3

Formula per il tempo di Corrivazione	Tc Bacino 1 [ore]
GIANDOTTI	3.92
PEZZOLI	0.13
VIPARELLI	0.25
TOURNON	0.33
VENTURA	0.26



**Proponente**

SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

KIRPICH 0.05

**ASTA SECONDARIA N.1**

Tabella 4

Formula per il tempo di Corrivazione	Tc Bacino 1 [ore]
GIANDOTTI	1.62
PEZZOLI	0.028
VIPARELLI	0.075
TOURNON	0.25
VENTURA	0.08
KIRPICH	0.03

**ASTA SECONDARIA N.2**

Tabella 5

Formula per il tempo di Corrivazione	Tc Bacino 1 [ore]
GIANDOTTI	4.16
PEZZOLI	0.14
VIPARELLI	0.17
TOURNON	0.18
VENTURA	0.17
KIRPICH	0.06

**2.5. Curva di possibilità pluviometrica**

Dopo aver calcolato il valore del tempo di corrivazioni si è proceduti con la costruzione della curva di probabilità pluviometrica (CPP) per il bacino oggetto di studio, con la citata formula:

$$x(t) = 24.70 t^{0.256}$$

Di seguito si riporta l'andamenti grafico della CPP.



**Proponente**

SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

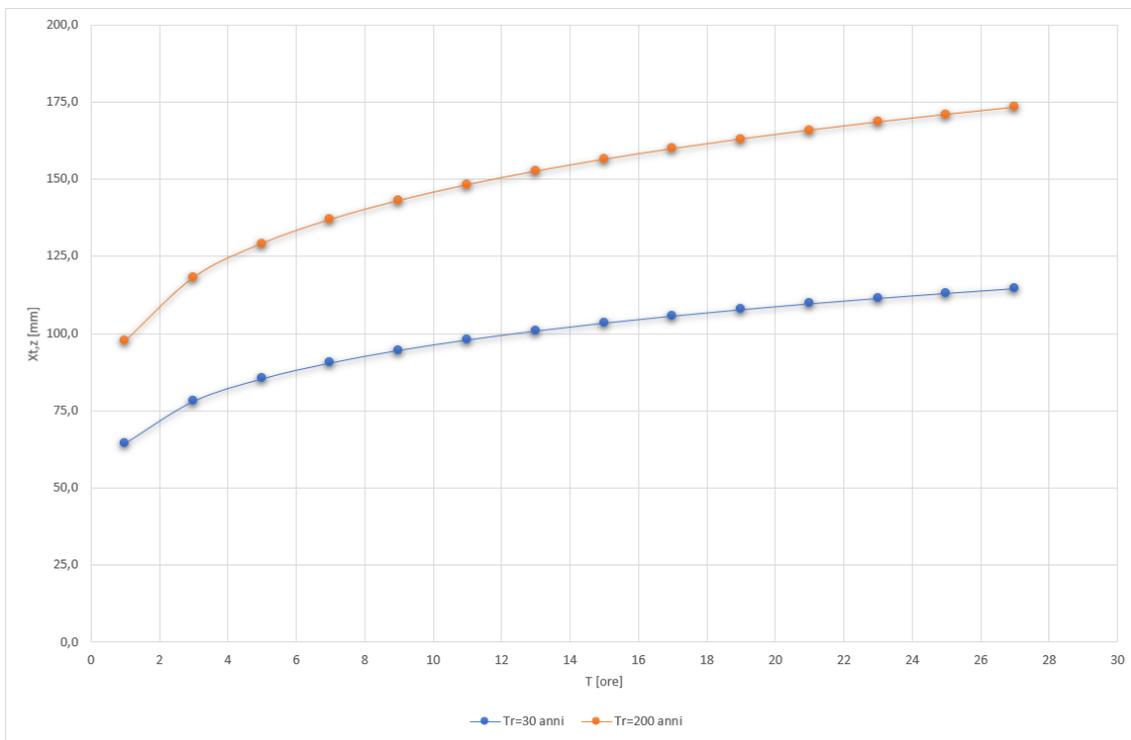


Figura 14 - Curva di Probabilità Pluviometrica Bacino

### 2.5.1. Altezza di pioggia

Una volta ottenuto il valore della  $X_t$  [mm] (ad un determinato tempo di ritorno) si può ricavare il valore dell'altezza di pioggia, espresso in mm, per una determinata zona.

$$h(P_{net}) = K_t * X_t$$

Avendo indicato con  $K_t$  un fattore probabilistico di crescita, funzione del tempo di ritorno dell'evento in progetto, espresso in anni, ricavato dalla seguente relazione

$$K_t = 0.1599 + 0.5166 * \ln T$$

Si ottengono così i risultati indicati in tabella per le tre aste considerate.

**Altezza di pioggia effettiva "h" [mm]**

**Asta principale**



**Proponente**

SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

h <sub>30</sub>	48.92 mm
h <sub>200</sub>	73.99 mm
Altezza di pioggia effettiva "h" [mm]	
Asta secondaria 1	
h <sub>30</sub>	37.65 mm
h <sub>200</sub>	56.94 mm
Altezza di pioggia effettiva "h" [mm]	
Asta secondaria 2	
h <sub>30</sub>	46.52 mm
h <sub>200</sub>	70.36 mm

### 2.5.2. Valutazione della pioggia netta, al metodo del "curve number"

La pioggia definita "netta" è quella frazione di precipitazione che partecipa al deflusso superficiale, depurata della parte persa a causa della natura del terreno e della relativa vegetazione. Risulta quindi chiaro che la litologia dell'area e il relativo uso del suolo sono di fondamentale importanza per la corretta trasformazione afflussi-deflussi. La disponibilità di dati relativi al sottosuolo e all'utilizzo dello stesso (carta uso del suolo – Corrine Land Cover 2018) ha permesso l'utilizzo del metodo del Curve Number, un metodo empirico di stampo americano, proposto dalla SCS (Soil Conservation Service) che si fonda sostanzialmente sull'assunto che il volume specifico (altezza) di pioggia netta (efficace)  $P_{net}$  risulta legato al volume specifico (altezza) di pioggia lorda  $P$  (pioggia effettiva) caduta nel medesimo intervallo temporale dalla relazione:

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

Avendo indicato con:

- $P_{net}$**  Volume specifico di pioggia netta
- $P$**  Volume specifico di pioggia effettiva
- $I_a$**  Perdita iniziale, pari secondo esperienza comune a  $0.2 \cdot S$
- $S$**  Volume massimo di pioggia che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione.

Questo valore è collegato alla categoria di uso del suolo e alla sua copertura ed è pari a:

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

In cui:

- $S_0$**  Fattore di scala pari a 254

Email: [info@gvcingegneria.it](mailto:info@gvcingegneria.it)

Indirizzo: Via Nazario Sauro, 126 Potenza (PZ)

Telefono: +39 0971 1565639

P.IVA: 01737760767

Sito Web: [gvcingegneria.it](http://gvcingegneria.it)



**Proponente**

SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

**CN** Curve Number, parametro adimensionale compreso tra 0-100, ricavato dalla combinazione di:

- 1) Tipologia di suolo così come definita dall' HSG in base alla capacità di deflusso superficiale (categoria A, B, C, D);

HSG	Soil Texture	HSG definitions (USDA-NRCS,1986)	The six types of soil textures in study area
A	Sand, loamy sand, or sandy loam	Low runoff potential and high infiltration rates; This soils have high rate of water transmission (greater than 7.62 mm/hr)	(1) Loamy Sand (LS) (2) Sandy Loam (SL)
B	Silt loam or loam	Moderate infiltration rates; The soils have moderate rate of eater transmission (3.81 mm/hr)	(3) Loam (LL)
C	Sandy clay loam	Low infiltration rates; The soils have a low rate of water transmission (1.27-3.81 mm/hr)	
D	Clay loam, silty clay loam, sandy clay, silty clay, or clay	High runoff potential; These soils have very low rate of water transmission (0-1.27 mm/hr)	(4) Clay Loam (CL) (5) Heavy Clay (HC) (6) Light Clay (LC)

- 2) Condizioni iniziali di imbibizione del terreno (AMC – Antecedent Moisture Condition)

Antecedent Moisture Condition (AMC)	Total 5 days antecedent rainfall (mm)	
	Dry season	Growing Season
I	<12.7	< 35.6
II	12.7 – 27.9	35.6 – 53.3
III	> 27.9	> 53.3

Source: National Engineering Handbook (Mockus, 1964)

- 3) Tipo di copertura o codice Uso del Suolo: di seguito si riportano i valori del parametro CN corrispondenti alle diverse tipologie di utilizzo del suolo:



Proponente

SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

Valori del parametro CN (adimensionale)	← Tipo idrologico Suolo →			
	A	B	C	D
↓ Tipologia di Uso del Territorio				
Coltivazioni, in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
Coltivazioni, in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
Terreno da pascolo: cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
Boschi, in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
Boschi e foreste, in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
Zone industriali (area impermeabile 72%)	81	88	91	93
Zone commerciali e industriali (area imperm. 85%)	89	92	94	95
Zone residenziali, lotti fino a 500 m <sup>2</sup> (area imperm. 65%)	77	85	90	92
Zone residenziali, lotti di 500+1000 m <sup>2</sup> (area imperm. 38%)	61	75	83	87
Zone residenziali, lotti di 1000+1500 m <sup>2</sup> (area imperm. 30%)	57	72	81	86
Zone residenziali, lotti di 1500+2000 m <sup>2</sup> (area imperm. 25%)	54	70	80	85
Zone residenziali, lotti di 2000+5000 m <sup>2</sup> (area imperm. 20%)	51	68	79	84
Zone residenziali, lotti di 5000+10000 m <sup>2</sup> (area imperm. 12%)	46	65	77	82
Parcheggi, tetti, autostrade, ....	98	98	98	98
Strade pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
Strade con letto in ghiaia	76	85	89	91
Strade battute in terra	72	82	87	89

I valori indicati nella precedente tabella fanno riferimento ad una condizione di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico di tipo standard, nello specifico la condizione AMC II e quindi il curve number sarà un CN II. Per adattare il CN alle diverse condizioni del terreno (AMC) si adoperano le seguenti correlazioni:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{0,43+0,0057 \times CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{23 \times CN_{II}}{10+0,13 \times CN_{II}}$$

Nel caso in esame è stato scelto un tipo di **A- (suolo molto permeabile e con scarsa potenzialità di deflusso)** per il bacino considerato.

Altezza di pioggia netta "h" [mm]	Asta principale
P <sub>nett30</sub>	6.65 mm
P <sub>nett 200</sub>	19.22 mm

Altezza di pioggia netta "h" [mm]	Asta secondaria 1
P <sub>nett30</sub>	2.74 mm
P <sub>nett 200</sub>	10.17 mm

Altezza di pioggia netta "h" [mm]	Asta secondaria 2
P <sub>nett30</sub>	5.70 mm
P <sub>nett 200</sub>	17.14 mm

### 2.5.3. Stima della portata di piena con il metodo del curve number

Per trasformare il dato calcolato nel precedente paragrafo in portata occorre calcolare il "Lag time" ovvero il tempo di ritardo e cioè la distanza temporale tra il baricentro dell'idrogramma di piena superficiale, depurato cioè delle portate di base che sarebbero defluite nel corso d'acqua anche in assenza dell'evento di piena, e il baricentro del pluviogramma netto. Il rapporto tra tempo di corrivazione e tempo di ritardo del bacino è pari, secondo deduzioni empiriche dell SCS, a 0.6. Il tempo di ritardo è calcolato con la formula di Mockus:

$$t_L = 0,342 \times \frac{L^{0,8}}{s^{0,5}} \times \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}$$

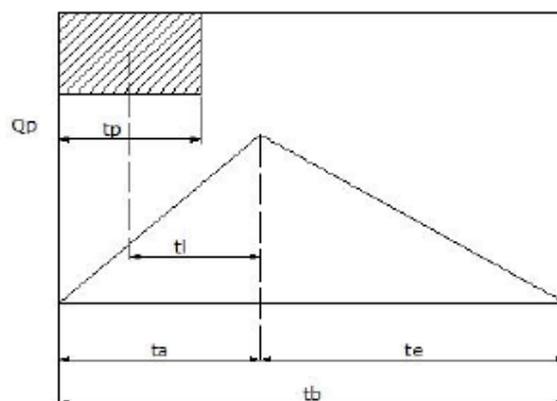


Figura 15 - Idrogramma di Mockus

In cui L è espresso in km (lunghezza asta principale) ed s è espresso in % (pendenza del bacino). Per il calcolo della portata al colmo, considerando che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume pari al 37.5% del deflusso totale e combinando le formule contenenti tempo di accumulo e di esaurimento si ottiene la relazione seguente:



**Proponente**

SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

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

con:

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

Si ottengono pertanto i seguenti valori di portata.

Tabella 6 - Valori di portata di piena calcolati con il metodo del CN - Curve Number

Q <sub>max</sub> [m <sup>3</sup> /sec]	ASTA 1 Portata di piena con il Curve Number	ASTA 2 Portata di piena con il Curve Number	ASTA 3 Portata di piena con il Curve Number
T <sub>R30</sub>	1,961508462	0,308284335	0,273430542
T <sub>R200</sub>	5,669795929	1,141997164	0,821175701

### 2.5.4. Definizione dell'idrogramma di piena

L'idrogramma unitario (IU) racchiude in sé le caratteristiche fisiche del bacino che determinano la formazione delle piene. Ogni bacino può essere rappresentato da uno specifico IU che tiene conto sinteticamente delle sue particolarità. Il punto di partenza del metodo del SCS è l'idrogramma unitario adimensionale di Mockus (IUM) riportato di seguito:

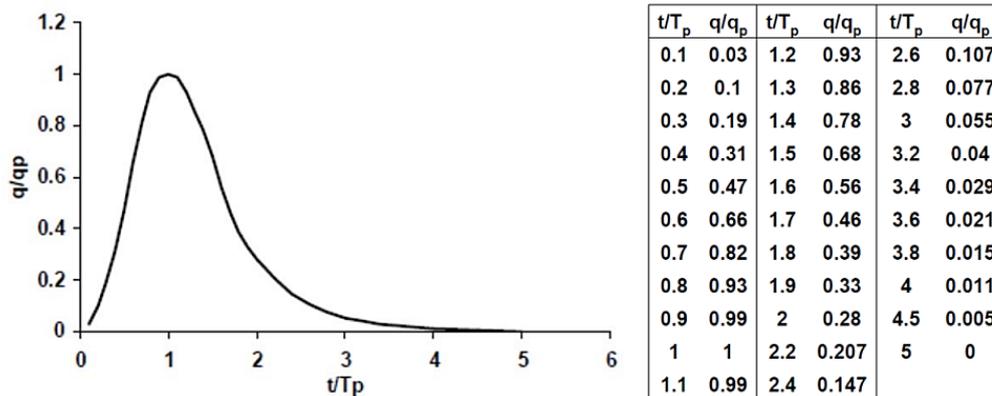


Figura 16 - Idrogramma unitario adimensionale di Mockus (IUM)

Rapportando i valori ottenuti nei paragrafi precedenti con l'idrogramma sopra indicato si ottiene l'idrogramma di piena per il bacino analizzato.



Proponente

SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

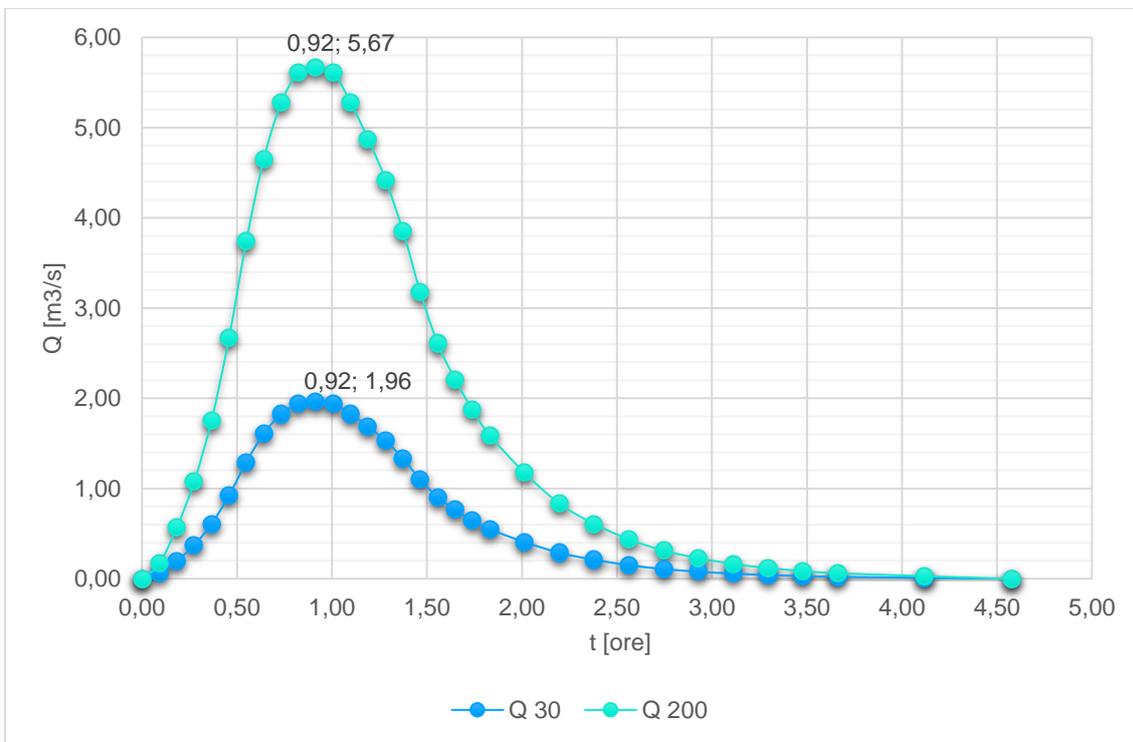


Figura 17 - idrogramma di piena Asta principale

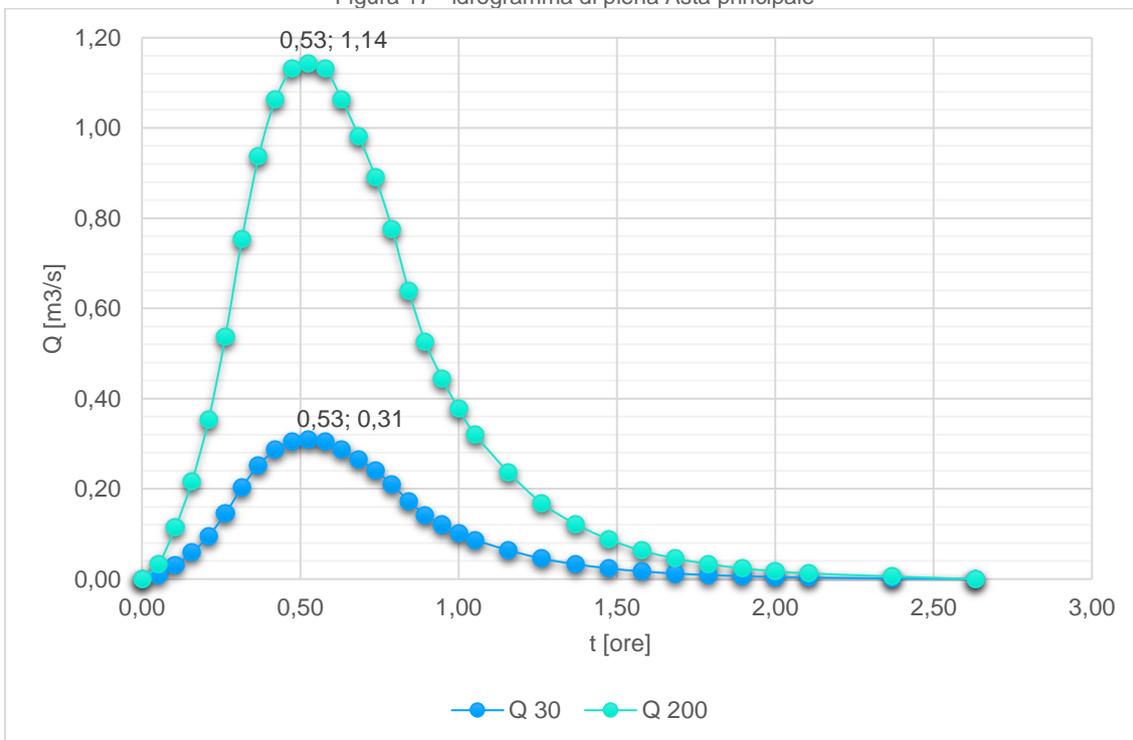


Figura 18 - idrogramma di piena Asta Secondaria 1



**Proponente**

SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

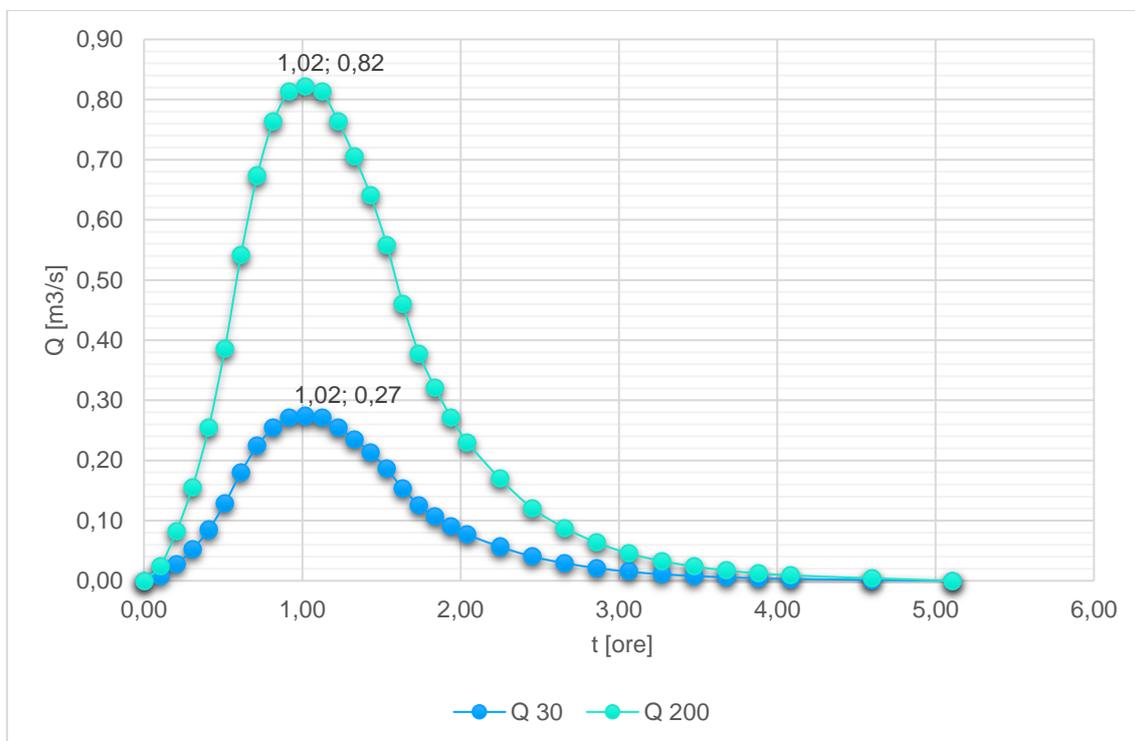


Figura 19 - idrogramma di piena Asta Secondaria 2



**Proponente**

SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

### 3. VERIFICA IDRAULICA

La verifica idraulica condotta, su tutte e tre le aste individuate nelle aree limitrofe a quella di impianto, ha avuto l'obiettivo di individuare le potenziali criticità idrauliche con un tempo di ritorno pari a 200 anni, attraverso la valutazione delle aree inondabili.

La verifica è stata effettuata con il software Hec-Ras (Versione 6.4.1) in condizioni di moto vario bidimensionale, ovvero un moto in cui la portata e la geometria dell'alveo possono entrambe variare.

#### 3.1. Il software Hec-Ras

HEC-RAS® (Hydrologic Engineering Center--River Analysis System) è parte di un sistema di software integrati, sviluppato dallo Hydrologic Engineering Center dello U.S. Army Corps of Engineers (<http://www.hec.usace.army.mil>). Il software consente l'analisi di sistemi fluviali con particolare riferimento a:

- Calcolo dei profili di moto permanente per correnti monodimensionali gradualmente variate e a portata variabile
- Modellazione idraulica in regime di moto vario di flussi monodimensionali, bidimensionali ed eventualmente in combinazione;
- Modellazione monodimensionale di trasporto solido su finestre temporali di medio o lungo periodo;
- Modellistica di qualità delle acque.

Il modello matematico bidimensionale è descritto dalle equazioni di De Saint Venant (DSV), dette anche shallow water equations (SWE), derivate a partire dalla formulazione completa di Navier Stokes. Queste equazioni si ottengono imponendo la conservazione della massa (equazione di continuità) e della quantità di moto nelle due direzioni principali x e y all'interno di un generico volume di controllo. Si otterrà quindi il seguente sistema di equazioni:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = sources - sinks$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + f v$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \left( u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v - f u$$

L'equazione esprime la conservazione della massa, ovvero un aumento o diminuzione di un volume che deve essere bilanciato da una portata in entrata o in uscita. Il termine H indica il livello idrico fissata una quota z di riferimento e i singoli termini indicano rispettivamente:



**Proponente**

SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

- $\frac{\partial H}{\partial t}$  variazione del livello idrico nel volume di controllo considerato;
- $\frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y}$  variazione spaziale della portata in entrata o in uscita, con u e v velocità media della corrente in direzione x e y;
- i termini sources e sinks determinano infine le portate localizzate in ingresso o in uscita
- $c_f u$  resistenza dell'alveo;  $f v$  parametro di Coriolis.

Per la modellazione del campo di moto HEC-RAS impiega l'approccio batimetrico con il quale riesce a rappresentare informazioni topografiche dettagliate pur utilizzando celle di calcolo di dimensioni maggiori, ricavandone la legge di variazione delle grandezze idrauliche (curva di invaso della cella e sezione idraulica lungo il bordo) con la quota del pelo libero. Tale metodologia risolutiva consente di raggiungere un elevato dettaglio dei risultati, abbattendo drasticamente i tempi computazionali.

La risoluzione prevede l'applicazione delle equazioni e per ogni cella in cui si è suddiviso il dominio urbano, utilizzando generalmente metodi numerici alle differenze finite o a volume finito. Al termine della procedura di calcolo, va verificata la convergenza e la stabilità della soluzione, riferendosi ad esempio al criterio di Courant. La complessità della trattazione porta all'introduzione di alcune semplificazioni alle equazioni DSV, che riconducono all'analisi del modello diffusivo, tralasciando i termini inerziali relativi alle accelerazioni locali e convettive. Alcuni esempi pratici hanno dimostrato come le trattazioni a complessità ridotta conducano comunque a risultati confrontabili con quelli più complessi a vantaggio di un onere computazionale minore.

I termini delle eq.  $\delta i$  e  $\delta SV$  diventano quindi:

$$c_f u = g \frac{\partial H}{\partial x}$$

$$c_f v = g \frac{\partial H}{\partial y}$$

La nuova formulazione dell'equazione esprime la variazione del pelo libero bilanciata unicamente dalla resistenza dell'alveo. L'utilizzo del modello diffusivo è quindi consigliabile soprattutto in analisi che presentano variazioni di portata gradualmente e piccole pendenze del terreno, in cui i termini legati alle accelerazioni locali e convettive sono meno influenti sul risultato finale.

### 3.1.1. Modello di calcolo

L'area oggetto di calcolo è stata ricavata all'interno del bacino precedentemente calcolato; si fa presente, tuttavia, che l'orografia delle aree oggetto di studio presenta versanti poco acclivi. È ipotizzabile, quindi, che anche in presenza di tempi ritorno di 200 anni le portate vadano oltre le aree golenali.



Figura 20 - Area di impianto, aste e aree analizzate

Nella zona a monte è stato quindi inserito l'idrogramma di piena come di seguito indicato (Boundary conditions).

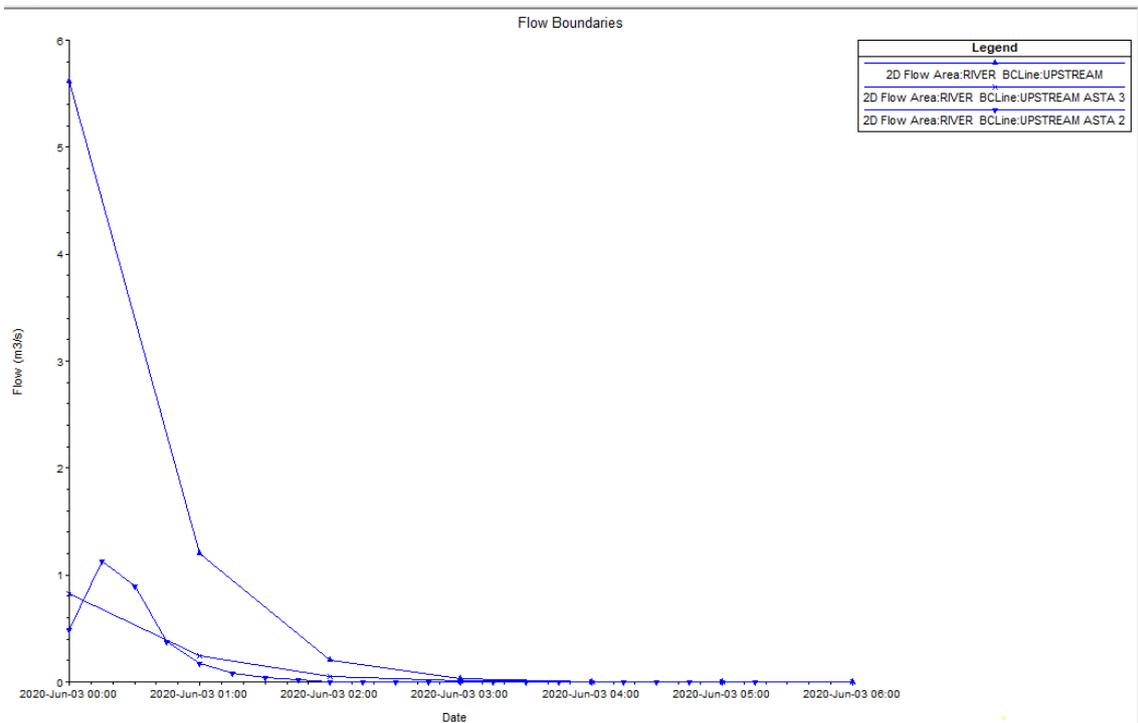


Figura 21 - Idrogrammi di piena inseriti all'interno del software Hec-Ras



**Proponente**

SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

	Date	Simulation Time (hours)	Flow (m3/s)
1	02Jun2020 2400	0:00:00	5.61
2	03Jun2020 0100	1:00:00	1.2
3	03Jun2020 0200	2:00:00	0.2
4	03Jun2020 0300	3:00:00	0.03
5	03Jun2020 0400	4:00:00	0
6	03Jun2020 0500	5:00:00	0
7	03Jun2020 0600	6:00:00	0

Figura 22 - Idrogramma di piena Asta 1 (intervallo 1 ora)

	Date	Simulation Time (hours)	Flow (m3/s)
1	02Jun2020 2400	0:00:00	0.49
2	03Jun2020 0015	0:15:00	1.13
3	03Jun2020 0030	0:30:00	0.89
4	03Jun2020 0045	0:45:00	0.38
5	03Jun2020 0100	1:00:00	0.17
6	03Jun2020 0115	1:15:00	0.08
7	03Jun2020 0130	1:30:00	0.04
8	03Jun2020 0145	1:45:00	0.02
9	03Jun2020 0200	2:00:00	0
10	03Jun2020 0215	2:15:00	0
11	03Jun2020 0230	2:30:00	0
12	03Jun2020 0245	2:45:00	0
13	03Jun2020 0300	3:00:00	0
14	03Jun2020 0315	3:15:00	0
15	03Jun2020 0330	3:30:00	0
16	03Jun2020 0345	3:45:00	0
17	03Jun2020 0400	4:00:00	0
18	03Jun2020 0415	4:15:00	0
19	03Jun2020 0430	4:30:00	0
20	03Jun2020 0445	4:45:00	0
21	03Jun2020 0500	5:00:00	0
22	03Jun2020 0515	5:15:00	0
23	03Jun2020 0530	5:30:00	0
24	03Jun2020 0545	5:45:00	0
25	03Jun2020 0600	6:00:00	0

Figura 23 - Idrogramma di piena Asta 2 (intervallo 15 minuti)

	Date	Simulation Time (hours)	Flow (m3/s)
1	02Jun2020 2400	0:00:00	0.82
2	03Jun2020 0100	1:00:00	0.24
3	03Jun2020 0200	2:00:00	0.05
4	03Jun2020 0300	3:00:00	0.01
5	03Jun2020 0400	4:00:00	0
6	03Jun2020 0500	5:00:00	0
7	03Jun2020 0600	6:00:00	0

Figura 24 - Idrogramma di piena Asta 3 (intervallo 1 ora)

Si è quindi proceduti con il computo di tutti gli elementi necessari; i risultati sono riportati nell'allegato I alla presente relazione.

## 4. CONCLUSIONI

In conclusione, alla luce delle verifiche condotte è possibile affermare che **le aree di progetto**, interessate dalla presenza dei moduli fotovoltaici e delle componenti impiantistiche di supporto (inverter, strutture, quadri, ecc) **ricadono all'esterno delle zone individuate come "allagabili" con un tempo di ritorno pari a 200 anni.**

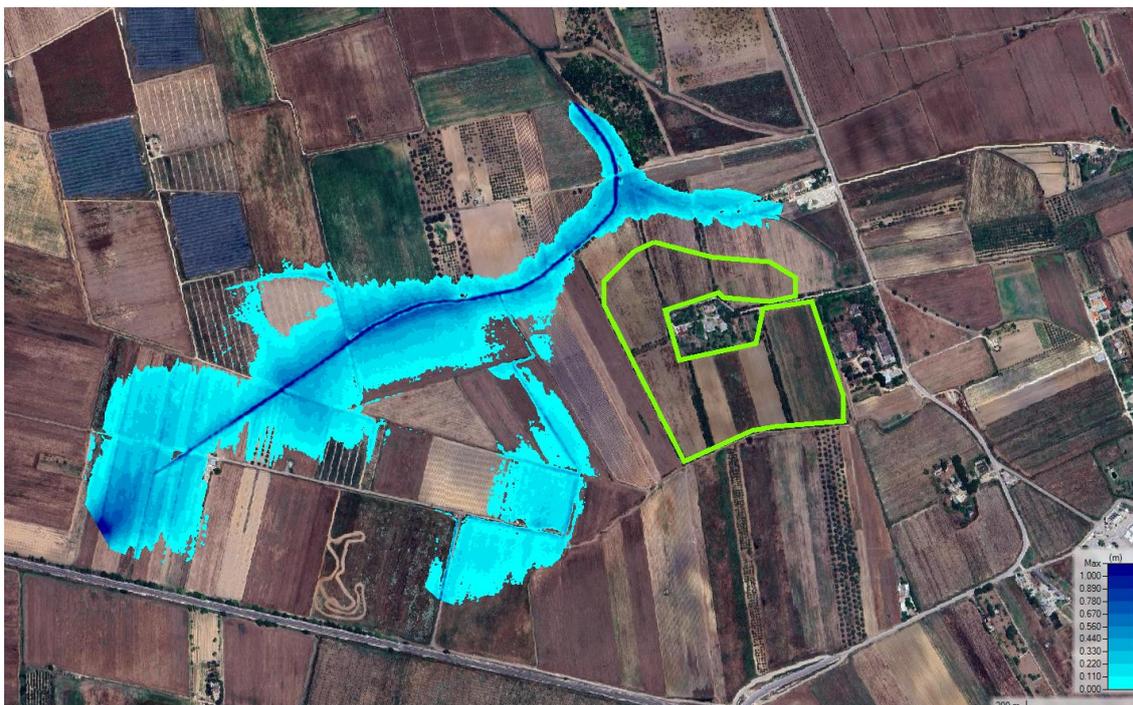


Figura 25 - Stralcio verifiche idrauliche con  $T_{R200}$  ANNI

Si fa presente, inoltre, che nella valutazione non è stato portato in conto il contributo positivo potenzialmente dato dalla fascia di mitigazione arborea, che fungerebbe da "cuscinetto" nei confronti di fenomeni di esondazione, rispetto alle aree di impianto.



**Proponente**

SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

---

## 5. ALLEGATO I

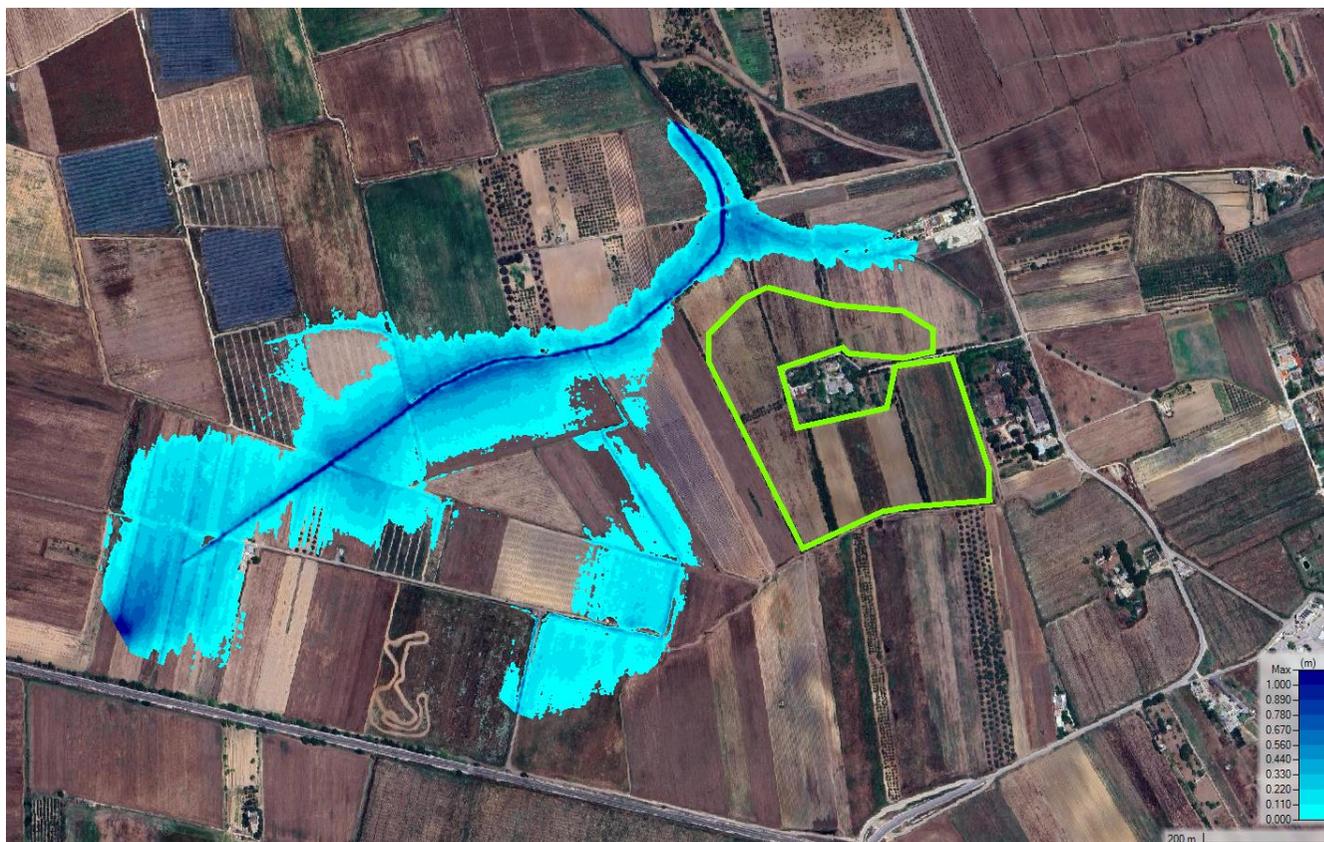


Figura 26 - Mappa aree inondabili Tr200 Anni e altezza del tirante idrico (zona estesa)



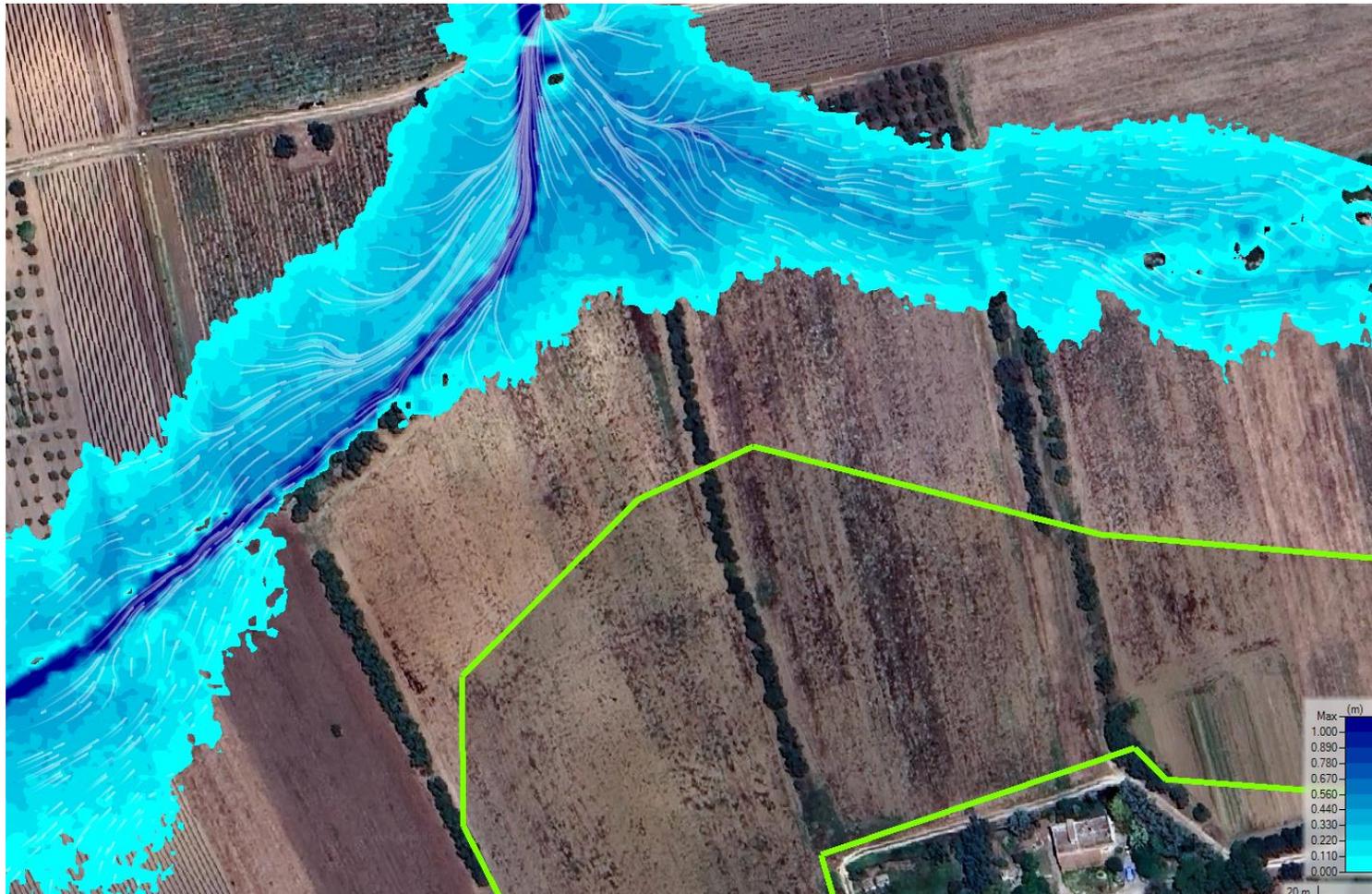


Figura 27 - Mappa aree inondabili Tr200 Anni con altezza del tirante idrico e direzione del flusso delle particelle (zona impianto)

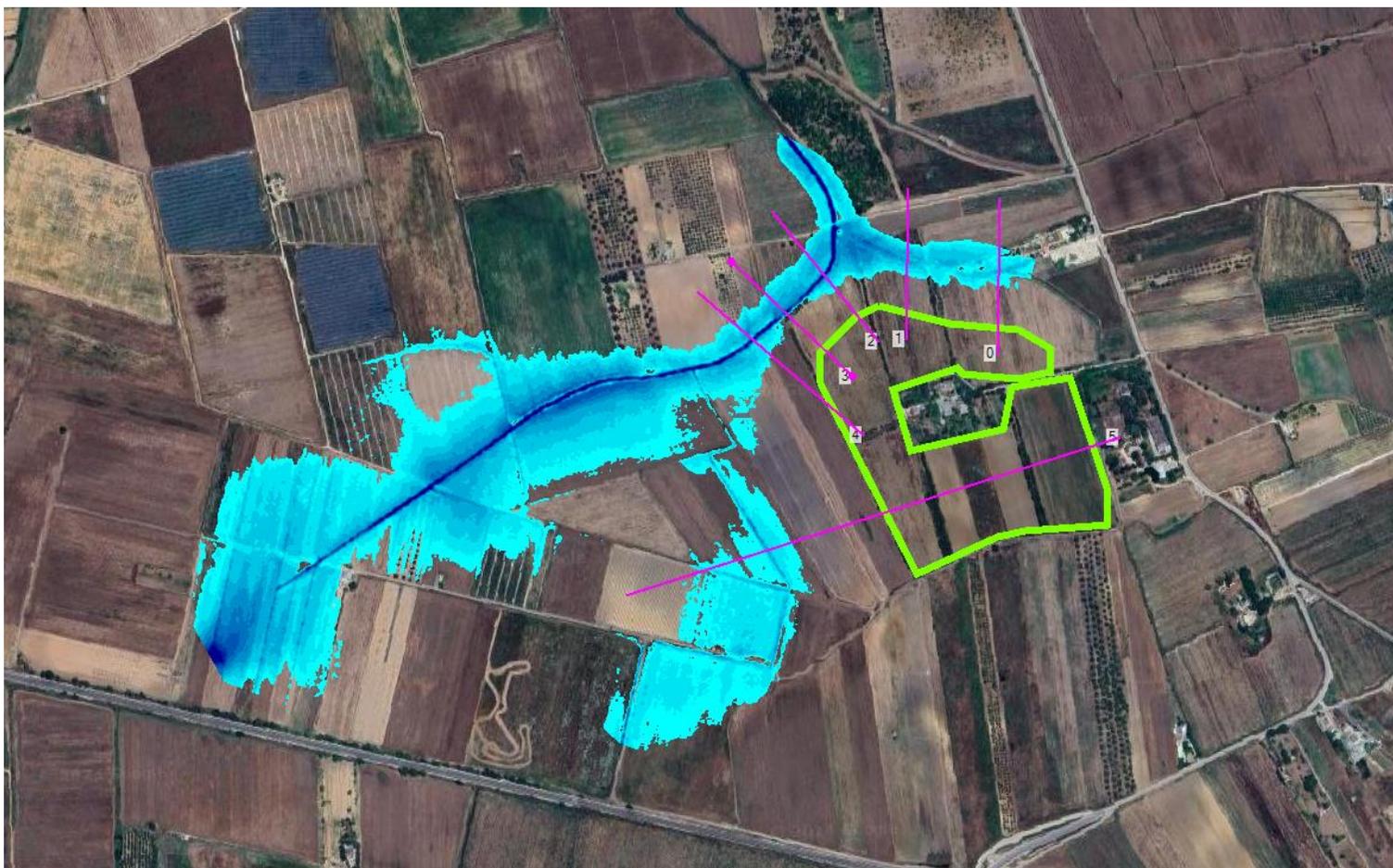
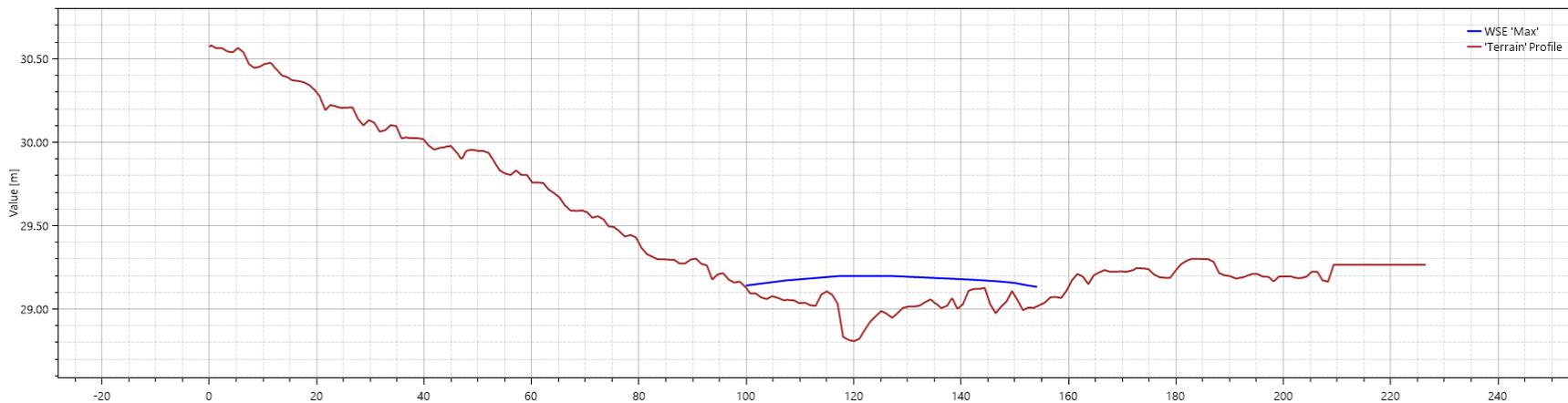


Figura 28 - Mappa aree inondabili Tr200 Anni e sezioni

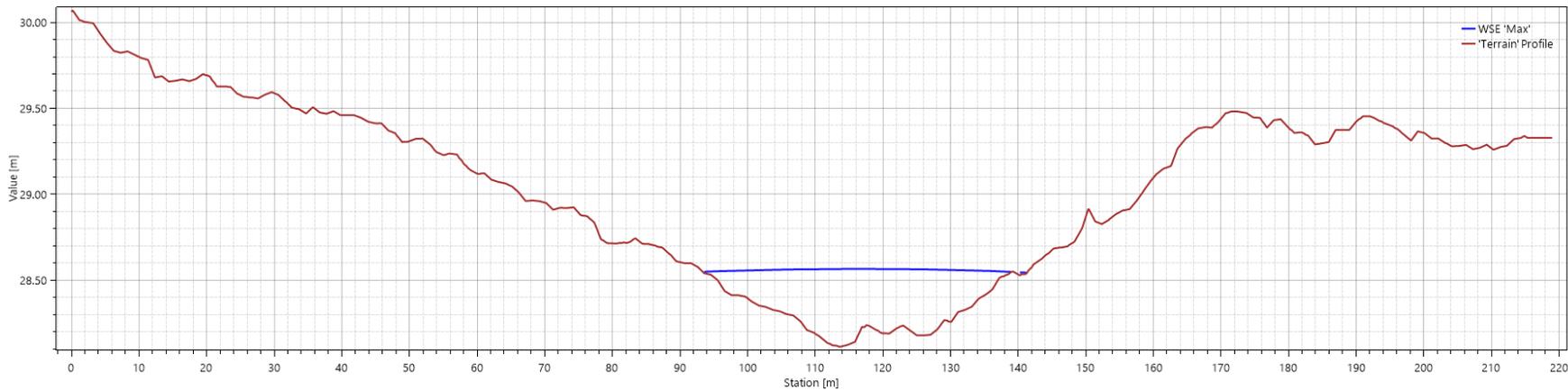


SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

**Sezione 0**



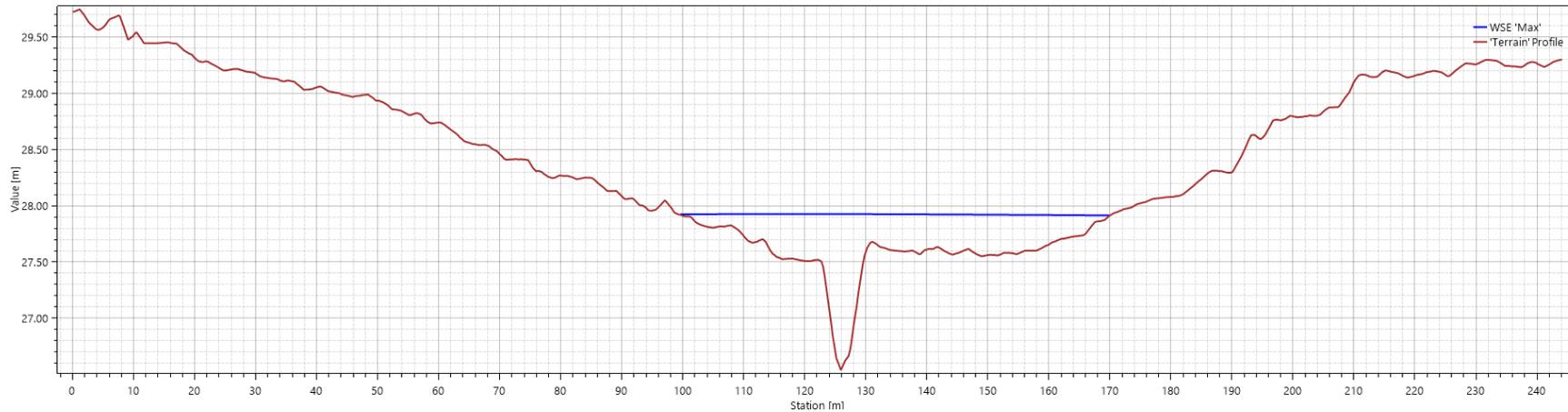
**Sezione 1**



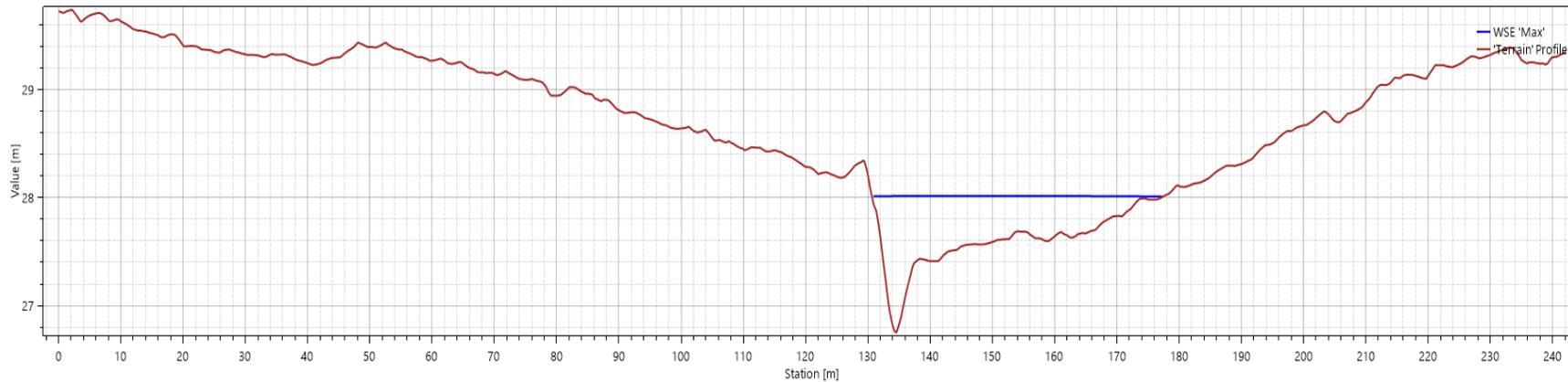


SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

### Sezione 2



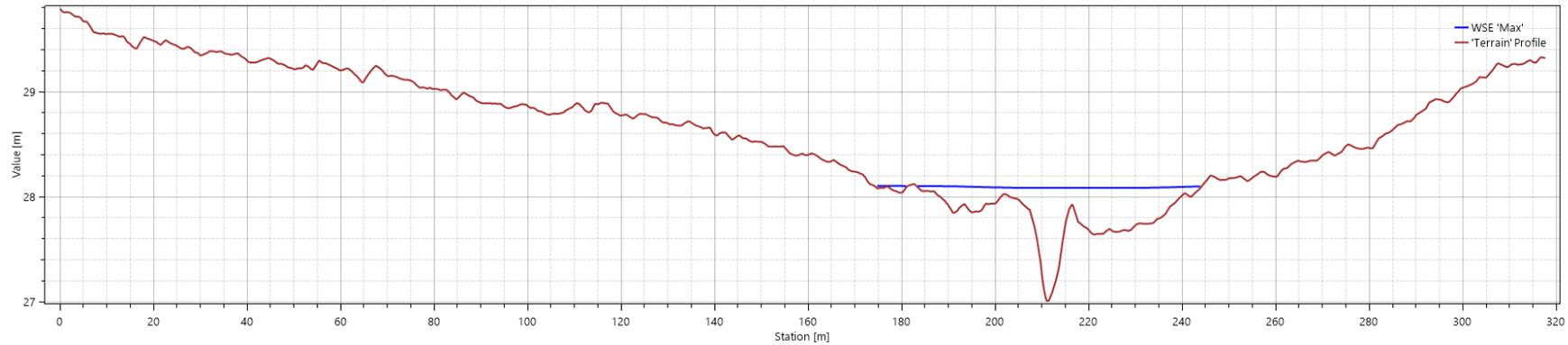
### Sezione 3



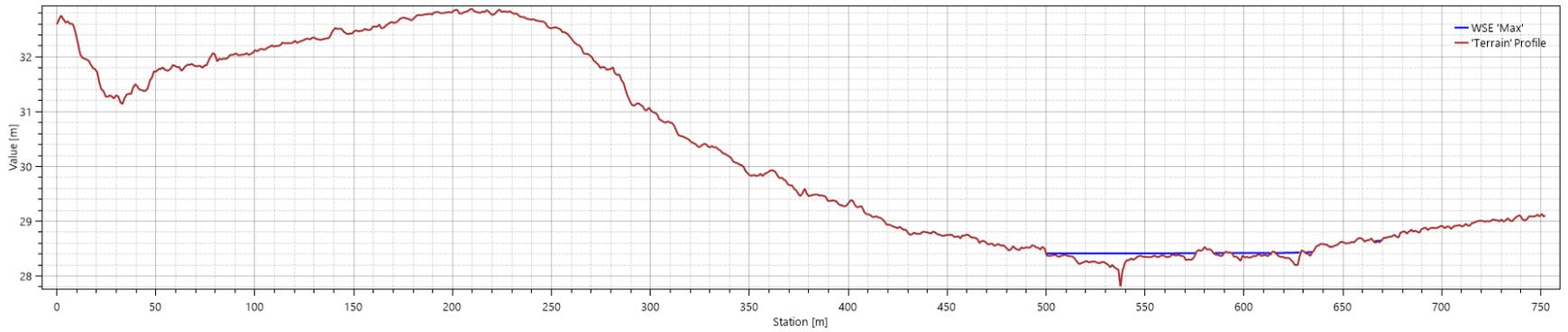


SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

### Sezione 4



### Sezione 5



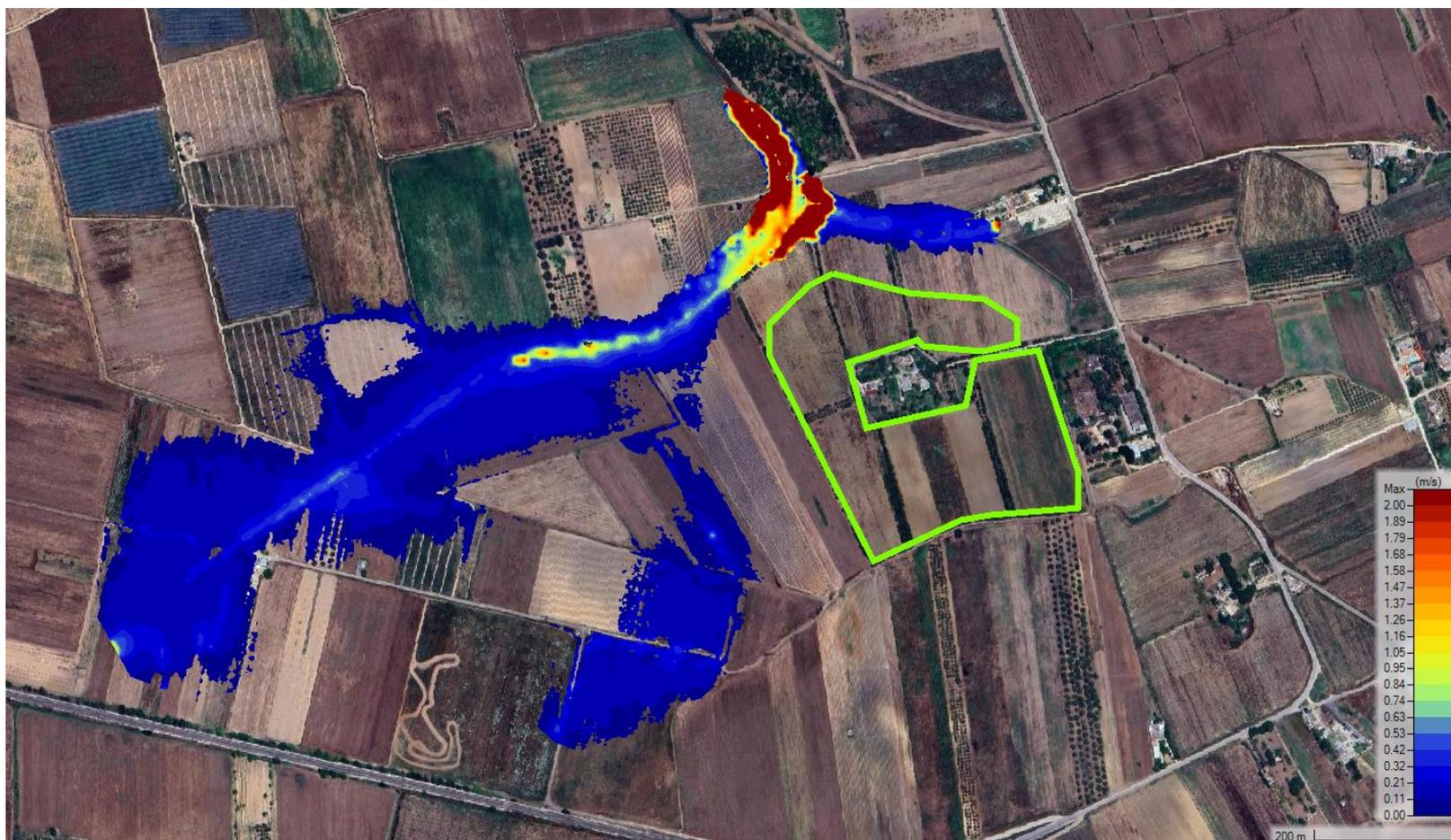


Figura 29 - Mappa delle velocità  $T_{R200}$  Anni



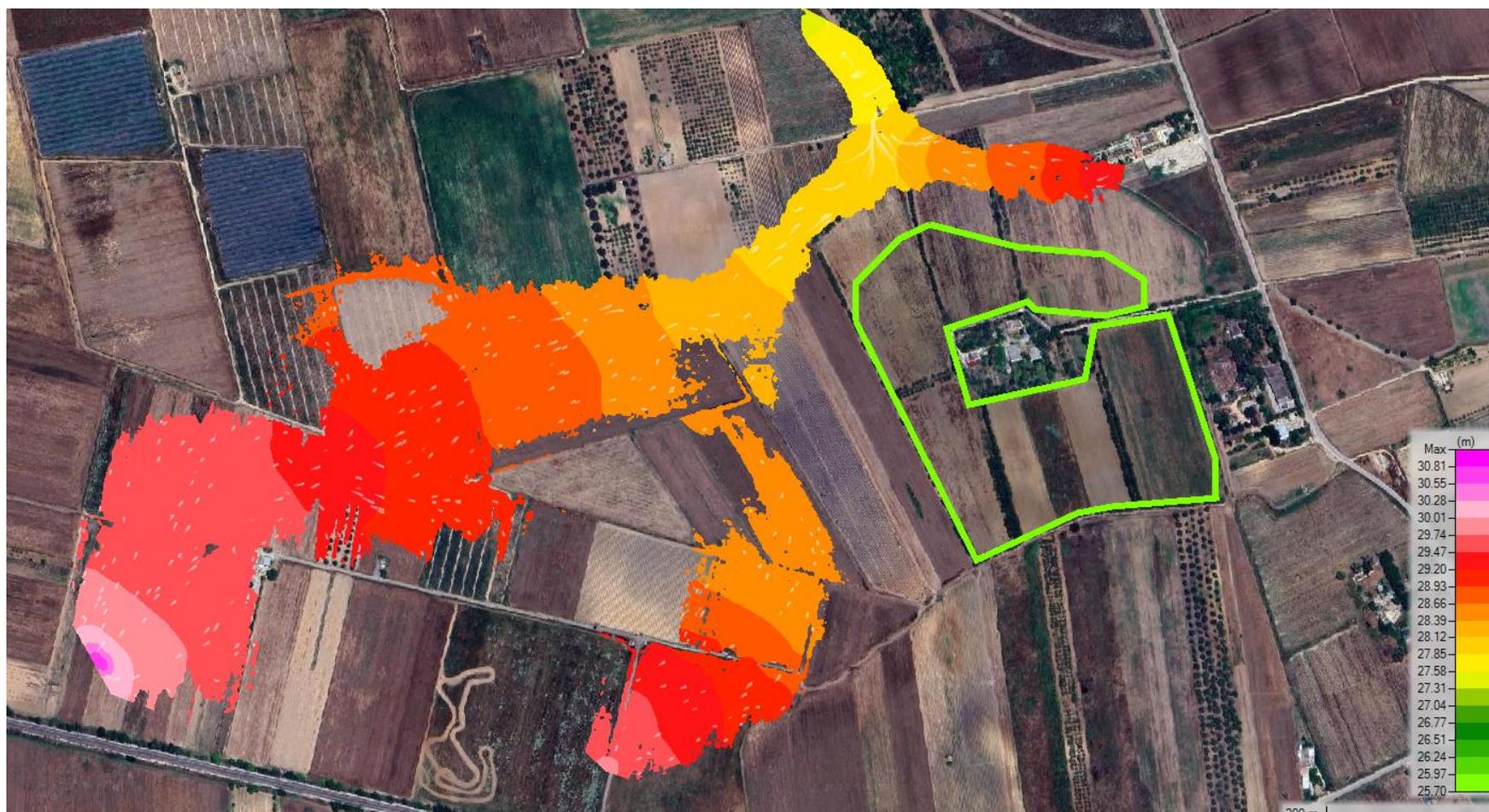


Figura 30 - Mappa della Water Surface Elevation



SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

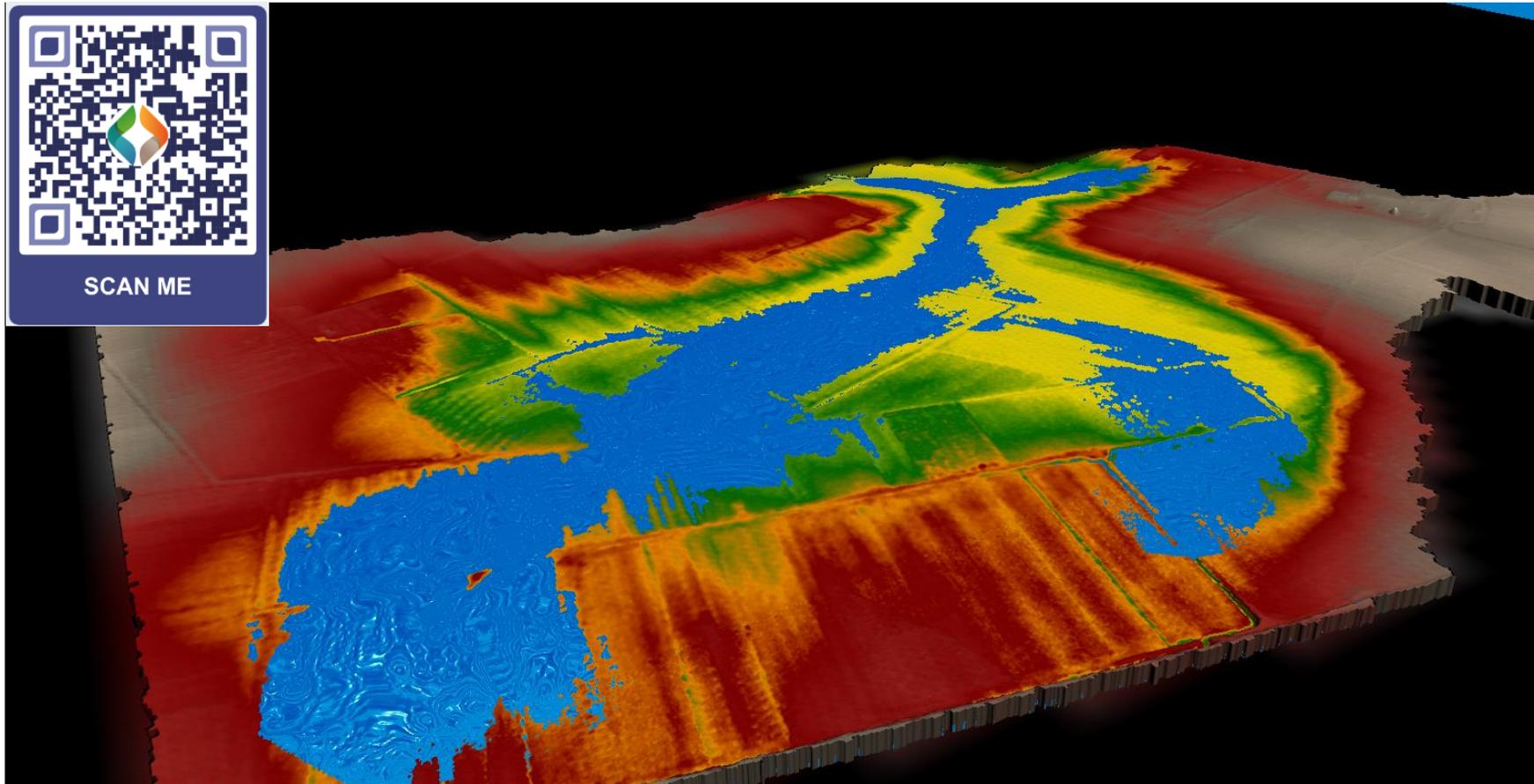


Figura 31 - Vista tridimensionali delle aree inondabili  $T_{R200 \text{ Anni}}$



SOLAR MM s.r.l.  
Via Cavour, 32 C  
39100, Bolzano  
C.F. e P. iva 03216110217  
solarmmsrl@legalmail.it

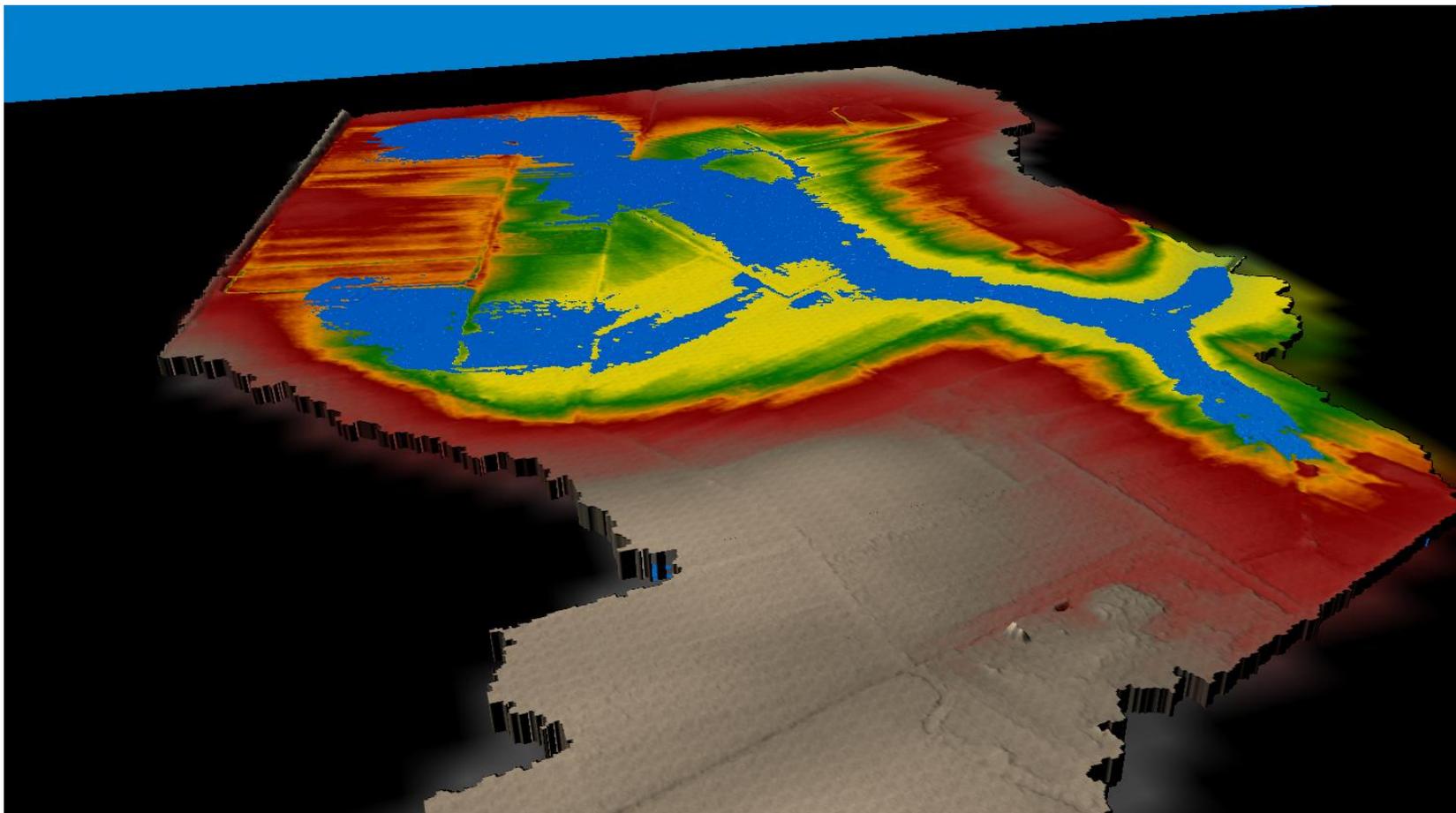


Figura 32 - Vista tridimensionali delle aree inondabili T<sub>R200 Anni</sub>



GVC Ingegneria  
Via Nazario Sauro, 126  
85100 Potenza  
[www.gvcingegneria.it](http://www.gvcingegneria.it)