REGIONE PUGLIA **COMUNE DI MARUGGIO (TA)**

COMUNE DI MARUGGIO

SETTORE III: LAVORI PUBBLICI E MANUTENZIONE DEL PATRIMONIO PUBBLICO

VIA VITTORIO EMANUELE, 41 - 74020 MARUGGIO

CUP: E17B16000640002

PROGETTO DEFINITIVO

INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

RTP:

IA.ING S.R.L.

Studio Ing. De Venuto & Ass.

Geol. Francesco **Forte**

ITALPROGETTI
SERVIZI TECNICI INTEGRATI

RUP: Ing. Paolo Magrini

ED.02.02 **Relazione idrologica - idraulica**

Prot. N.	Data	Scala	Codice intervento: Codice SAP:
	Maggio 2021		

rev.	data	descrizione	red.	contr.	appr.
00	05/2021	Emesso per Progetto Definitivo	SK	GA	GCP

Sommario

1 PREMESSA 2
2 DESCRIZIONE DELL'AREA 3
3 INTERVENTI PREVISTI IN PROGETTO 5
4 DATI IDROLOGICI E IDRAULICI 7
4.1 Individuazione del bacino imbrifero 7
4.2 Portata di progetto 8
4.3 Simulazione della pioggia (RiverFlow 2D) 8
5 MODELLAZIONE IDRAULICA 17
6 CONCLUSIONI 20

1 PREMESSA

La presente relazione specialistica è parte integrante della 'Redazione progetto definitivo per le Opere di Mitigazione Idraulica del Comune di Maruggio', inerente la realizzazione delle opere idrauliche necessarie a ridurre o eliminare il rischio nel centro abitato di Maruggio.

Il progetto recepisce le indicazioni dell'Autorità di Bacino e del conseguente beneficio che ne trarrebbe l'abitato del comune di Maruggio in termini di riduzione del rischio idraulico.

Allo stato attuale il centro abitato di Maruggio, Comune di circa 5000 abitanti, vede circa il 60% della sua estensione esposta al rischio di allagamento già per un tempo di ritorno pari a 30 anni (Alta Pericolosità).

L'esposizione è diretta perché non esistono opere di difesa idraulica e tutta la portata affluente va ad allagare il centro abitato, ed è massima perché è concreto il rischio di perdita di vite umane.

Nel paragrafo "Descrizione dell'Area" viene, appunto, descritto lo stato attuale dei luoghi in riferimento al canale Cupo e all'esistente attraversamento sulla SP136, immediatamente a ridosso dell'abitato.

2 DESCRIZIONE DELL'AREA

Il canale Cupo è un corso d'acqua a carattere effimero, chiaramente identificabile per un breve tratto a nord dell'abitato, dove scorre in un alveo fortemente inciso nel versante del terrazzo marino fino all'intersezione con la SP 136. L'attraversamento tombato della citata strada provinciale è costituito da 5 tubazioni in acciaio ondulato del diametro pari a 900 mm, in perfetto stato e prive di ostruzioni.

Figura 2-1 – Vista dell'area a monte dell'attraversamento

L'area immediatamente a monte dell'attraversamento, identificabile come un allargamento dell'alveo inciso, risulta sostanzialmente pianeggiante. L'area subito a valle presenta una piccola zona depressa prima dell'inizio del centro abitato. Il compluvio di fatto si interrompe pochi metri a valle della SP 136, dove sono ubicati i primi fabbricati di via Bonafede.

Figura 2-2 – Vista dell'area a valle dell'attraversamento

Come risulta evidente dalle mappe di allagamento ricavate dallo Studio, l'attraversamento della SP 136 è insufficiente già al transito della portata trentennale e per tale motivo, allo stato attuale, il rilevato stradale si comporta parzialmente come uno sbarramento.

Le portate più basse riescono a transitare attraverso le 5 tubazioni ma al raggiungimento della loro capacità massima di deflusso si ha un rigurgito e un piccolo accumulo verso monte.

Raggiunto il massimo volume di invaso (di entità limitata a causa dell'orografia del terreno), avviene il sormonto verso via Roma e via Bonafede. Pertanto il deflusso lungo via Bonafede è somma di due contributi: il primo attraverso le tubazioni, il secondo a seguito del sormonto dell'attraversamento. In assenza di una canalizzazione naturale o artificiale, la portata va poi ad allagare gran parte del centro abitato.

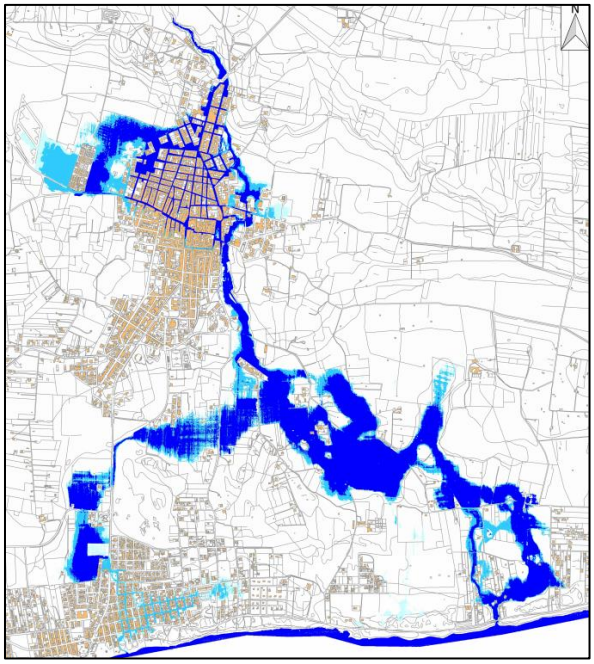

Figura 2-3 – Mappa di allagamento allo stato attuale

Inoltre, l'orografia del terreno si presenta con un forte pendio in sinistra idraulica allo sbocco dall'attraversamento tombato, e questo fattore confina il deflusso forzandolo verso il nucleo urbano.

Le immagini che seguono aiutano a comprendere meglio lo stato dei luoghi: la prima è il DSM (Digital Surface Model) Lidar con opportuna scala cromatica per meglio evidenziare i dislivelli, la seconda è una foto scattata dal bordo strada in corrispondenza del manufatto dell'attraversamento idraulico.

3 INTERVENTI PREVISTI IN PROGETTO

Quest'opera ha la finalità della completa mitigazione del rischio di allagamento nel centro urbano di Maruggio rispetto ad eventi con tempo di ritorno fino a 200 anni.

L'esposizione del centro abitato di Maruggio ai fenomeni di allagamento è diretta perché non esistono opere di difesa idraulica e tutta la portata affluente va ad allagare il centro abitato, ed è massima perché è concreto il rischio di perdita di vite umane.

Nello specifico, gli elementi costitutivi l'opera in progetto sono:

- la **realizzazione di un argine** a difesa dell'abitato di Maruggio e al fine di convogliare le acque verso la zona ad est del centro abitato, l'argine ha un'altezza pari a circa 1/1.5 m dal piano campagna ed ha una larghezza in sommità pari a 3 m. L'argine si estende per una lunghezza di circa 1800 metri;

- la **realizzazione di un canale a cielo aperto**, per una lunghezza pari a circa 650 m, che si estende a nord dell'abitato di Maruggio. La sezione prevista del canale è di tipo trapezoidale, le sponde del canale avranno pendenza pari a 1:1 per tutta la lunghezza del canale;

- la **realizzazione di un ponte** in calcestruzzo sulla Strada Provinciale 136 Maruggio-Manduria e l'installazione di un box scatolare in calcestruzzo per permettere il regolare deflusso delle acque a valle dell'intersezione stradale;

- la **realizzazione di n°3 culvert** all'altezza della strada comunale per permettere il regolare deflusso delle acque lungo il canale;

- la **realizzazione di un'opera di rilascio a valle del rilevato arginale** costituita da pietrame misto, la cui funzione è principalmente di filtraggio.

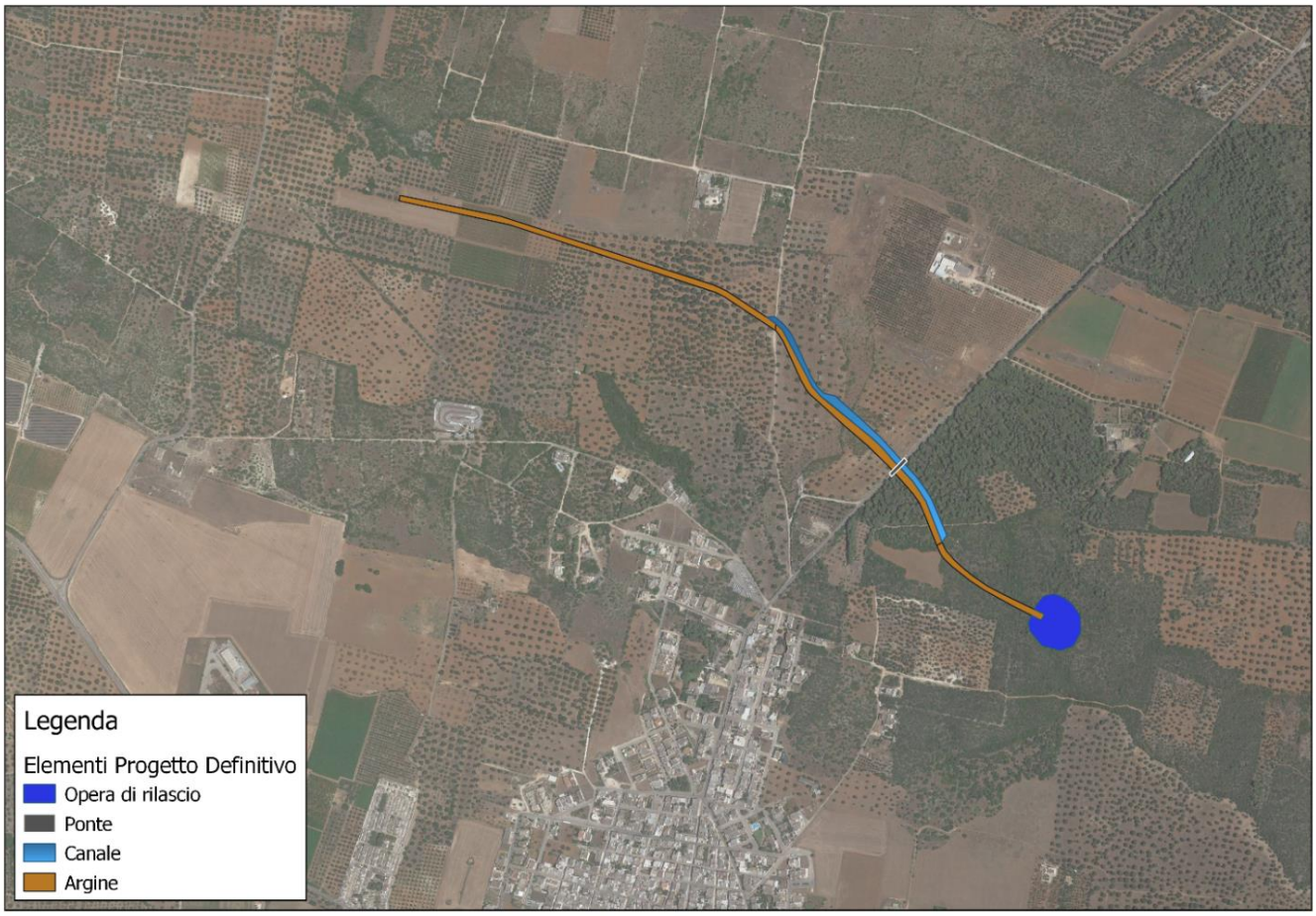

Figura 3-1 - Planimetria degli interventi in progetto

4 DATI IDROLOGICI E IDRAULICI

4.1 Individuazione del bacino imbrifero

Lo studio morfologico in funzione della fissata sezione di chiusura (a valle della strada SP 136) è stato effettuato con l'ausilio del software QGIS. Il DTM (Digital Terrain Model) è stato creato utilizzando il DTM 10 metri disponibile sul sito "www.tinitaly.it" e un file Lidar di risoluzione di 1 metro (Figura 4-1).

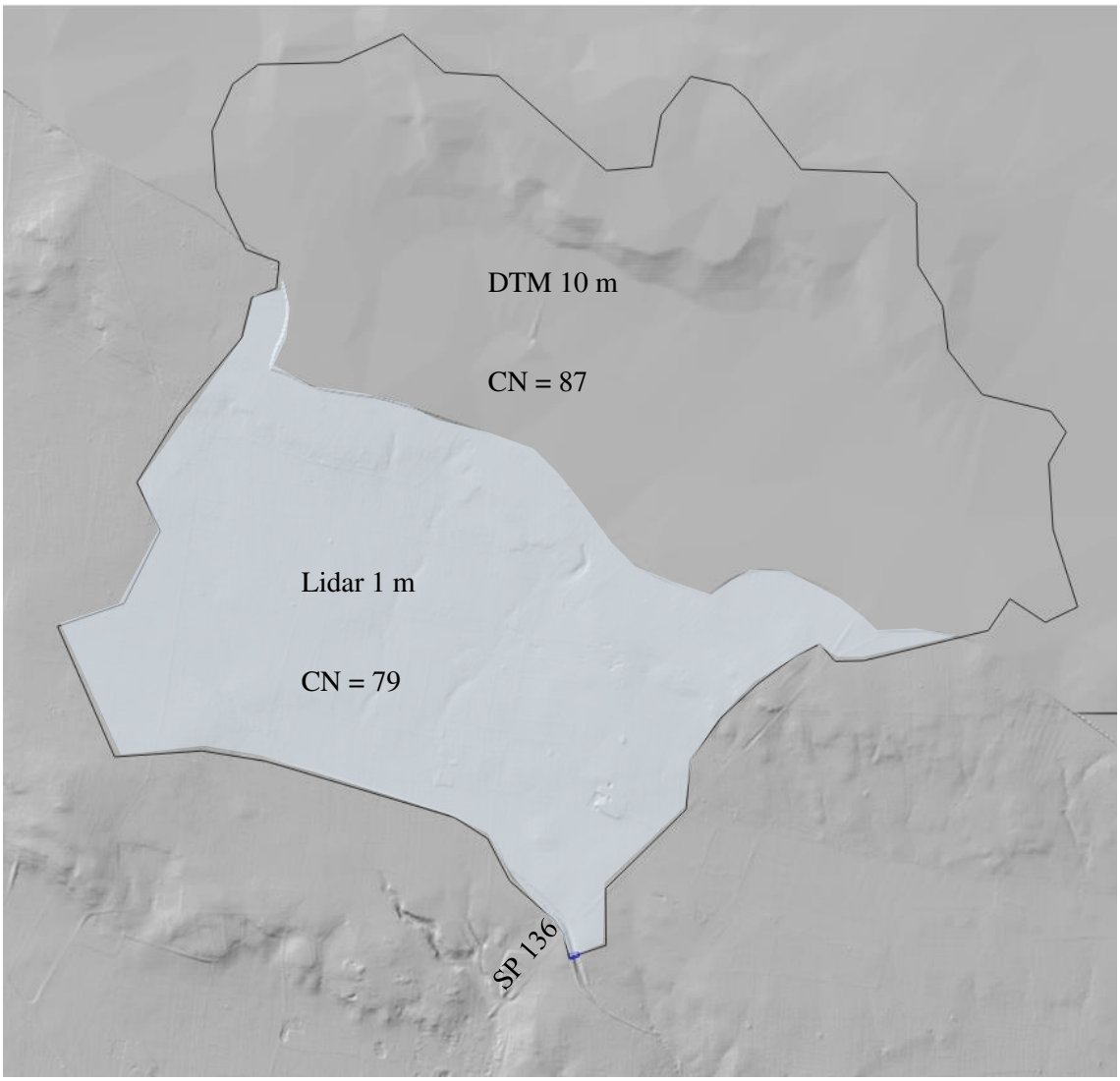

Figura 4-1 – Bacino imbrifero su base DTM

La scelta di chiudere il bacino in corrispondenza dell'attraversamento della SP 136 è giustificata dal fatto che il canale di progetto, che si originerà proprio in quel punto, non segue un compluvio naturale e in più sarà arginato per parte del suo sviluppo, quindi non drenerà tutte le acque affluite alle aree poste più a valle.

Questo aspetto non avrà ricadute sul centro abitato di Maruggio, in quanto il contributo ricevuto in occasione di eventi meteorici sarà solo quello relativo alle superfici urbane e potrà essere smaltito dalla rete di fognatura bianca.
Si sintetizzano di seguito le principali caratteristiche morfologiche del bacino:

- A = Superficie: 6,1 km^2;
- Z_{max} = Quota massima: 125,87 m;
- Z_{min} = Quota minima: 55.1 m;
- L = Percorso idraulico più lungo: 4,88 km;
- i = Pendenza media: 2,91 %.

4.2 Portata di progetto

Con nota prot. 12331 del 19/09/2017, l'Autorità di Bacino della Puglia ha fornito i dati di portata riferiti alla sezione di chiusura posta in corrispondenza dell'intersezione del canale Cupo con la SP 136:

- per TR = 30 anni portata massima pari a circa **8,9 m^3/s**;
- per TR = 200 anni portata massima pari a circa **19,7 m^3/s**;
- per TR = 500 anni portata massima pari a circa **25,4 m^3/s**.

La successiva revisione del tracciato ha comportato la determinazione di una nuova portata di progetto relativa al rapporto tra l'area del nuovo bacino (sezione di chiusura a valle della strada SP 136, A = 6.1 Km^2) e l'area del bacino individuato dall'Autorità di Bacino della Puglia (A = 6.8 Km^2): è stato così possibile ricavare un idrogramma di piena con la portata di colmo pari a 17.6 m^3/s per l'evento duecentennale, considerato come riferimento per un nuovo studio idraulico.

4.3 Simulazione della pioggia (RiverFlow 2D)

Poiché una parte del progetto si trova all'interno del bacino imbrifero (canale e argine a protezione del territorio), è necessario conoscere la profondità e la velocità dell'acqua che raggiunge il canale di progetto e convogliarla attraverso un ponte sottostante alla Strada Provinciale SP 136.

Il miglior modello esistente per realizzare la simulazione di pioggia è il modello **RiverFlow 2D**. Quest'ultimo, presentato da **Hydronia LLC (USA),** è il più avanzato modello bidimensionale combinato idraulico e idrologico a griglia flessibile, che offre un motore a volumi finiti ad alte prestazioni per calcoli rapidi, accurati e conservativi del volume in tutti i progetti di idraulica fluviale. Può affrontare le situazioni di modellazione delle inondazioni più impegnative, comprese le

simulazioni di rottura di dighe e di rottura degli argini su terreni inizialmente asciutti. Essendo un modello completamente bidimensionale, **RiverFlow2D** è in grado di calcolare le "Equazioni di flusso in acque poco profonde" **(Shallow Water Equations)** e rappresentare le componenti della velocità (***u*** e ***v***) che permettono di trovare una accurata Mappa del Rischio Idraulico per lo stato attuale e lo smaltimento della portata stessa dagli organi di scarico.

Il modello **RiverFlow2D** utilizza l'innovazione della **GPU** nel motore di calcolo e, utilizzando una tecnologia esclusiva, è capace di svolgere simulazioni di inondazioni bidimensionali (2D) in un modello 3D immersivo in ambiente **InfraWorks** di **Autodesk**.

Il flusso in acque poco profonde **(Shallow Water Flow)** è solo una delle tante forme speciali in cui si presenta l'idrodinamica. Il punto essenziale è che lo spessore dello strato fluido è piccolo rispetto ad una tipica scala di lunghezza orizzontale *L*; questo è l'unico punto realmente comune nelle varie applicazioni. Esistono molti altri parametri, di maggiore o minore rilevanza, che portano a varianti di **SWE (Shallow Water Equations)**.

I flussi di acque poco profonde possono essere descritti matematicamente da "Equazioni di conservazione della quantità di moto e di massa" mediate in profondità con tutte le ipotesi associate (Vreugdenhil 1994).

$$\frac{\partial a_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(a_2 u_2) + \frac{\partial}{\partial y}(a_2 v_2) = 0$$ Equazione di continuità di flusso (4-1)

$$\frac{\partial}{\partial t}(a_2 u_2) + \frac{\partial}{\partial x}(a_2 u_2^2 + \tfrac{1}{2}\varepsilon g\, a_2^2) + \frac{\partial}{\partial y}(a_2 u_2 v_2) - f\, a_2 v_2 \; - \tau_{ix} + \tau_{bx} = 0$$ Equazione della quantità di moto (4-2)

Questo sistema di equazioni alle derivate parziali sarà formulato in una forma conservativa, come segue:

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}(\mathbf{U})}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}(\mathbf{U})}{\partial y} = \mathbf{S}(\mathbf{U}, x, y) \quad (4\text{-}3)$$

dove $\mathbf{U} = (h,\ q_x,\ q_y)^T$ è il Vettore delle variabili conservate, con *h* che rappresenta la profondità dell'acqua; $q_x = uh$ e $q_y = vh$ rappresentano le portate unitarie, con (*u*, *v*) componenti mediate in profondità del vettore velocità **U** lungo le coordinate (*x*, *y*) rispettivamente. I vettori di flusso sono dati da:

$$\mathbf{F} = \left(q_x,\ \frac{q_y^2}{h} + \frac{1}{2}gh^2,\ \frac{q_x q_y}{h}\right)^T, \qquad \mathbf{G} = \left(q_y,\ \frac{q_x q_y}{h},\ \frac{q_y^2}{h} + \frac{1}{2}gh^2\right)^T \quad (4\text{-}4)$$

dove *g* è l'accelerazione di gravità. I termini $\frac{1}{2}gh^2$ nei flussi sono stati ottenuti assumendo una distribuzione della pressione idrostatica in ogni colonna d'acqua, come normalmente accettato nei modelli per acque basse. Il vettore del termine sorgente incorpora l'effetto della forza di pressione sul fondo e le forze tangenziali generate dallo stress del fondo:

$$\mathbf{S} = (0,\ gh(S_{0x} - S_{fx}),\ gh(S_{0y} - S_{fy}))^T \quad (4\text{-}5)$$

Con:

- Pendenze del fondo del livello inferiore (z_b):

$$S_{0x} = -\frac{\partial z_b}{\partial x}, \qquad S_{0y} = -\frac{\partial z_b}{\partial y}$$

- Contributo dello stress del fondo modellato utilizzando la legge sull'attrito di Manning:

$$S_{fx} = \frac{n^2 u\sqrt{u^2+v^2}}{h^{4/3}}, \qquad S_{fy} = \frac{n^2 v\sqrt{u^2+v^2}}{h^{4/3}}$$

In cui *n* rappresenta il coefficiente di scabrezza.

L'obiettivo è realizzare una simulazione della pioggia con tempo di ritorno pari a 200 anni in cui l'idrogramma di piena ottenuto dal modello avrà portata massima pari a 17.6 m^3/s: si ottengono in questo modo le distribuzioni delle velocità anche dentro il bacino e si può decidere dove è necessario proteggere il territorio dal flusso veloce dell'acqua.
Il pluviometro di Manduria è stato scelto per i dati pluviometrici massimi annuali storici. Per scegliere la durata di pioggia, bisogna conoscere il Tempo di corrivazione del bacino (t_c). Per calcolarlo, è stato scelto il metodo SCS perché esso tiene conto di più parametri idrografici del bacino: ad esempio la pendenza, la lunghezza di asta principale e l'infiltrazione del suolo. Per determinare t_c il metodo SCS presenta una formula per calcolare t_l (lag time) come nell'equazione (4-6):

$$t_l = L^{0.8} (2540 - 22.86\ CN)^{0.7}/(1410.4\ CN^{0.7}\ i^{0.5}) \qquad (4\text{-}6)$$

dove CN è il "Curve Number" del "Metodo afflussi-deflussi SCS". Considerando il tipo di suolo del bacino e la copertura di vegetazione, è stato scelto un valore medio di CN = 83. Quindi: t_l = 1.45 ore e $t_c = t_l/0.6$ = 2.42 ore. Visto che i dati delle massime piogge sugli annali idrologici pubblicati dalla regione Puglia sono divisi in 1, 3, 6 e 24 ore, è stata scelta la durata di 3 ore che è la più vicina al tempo di corrivazione del bacino. Utilizzando il metodo Gumbel, la pioggia per il tempo di ritorno 200 anni è stata calcolata pari a 114 mm.

Il modello RiverFlow 2D deve essere calibrato in modo che l'idrogramma di uscita avrà la portata massima di 17.6 m^3/s. Ci sono due parametri di calibrare: il primo parametro è il CN che, come si vede in Figura 4-1, presenta due diversi valori, CN = 87 per la parte superiore del bacino che è più pendente e meno coperto dalle vegetazioni e CN = 79 per la parte inferiore con una copertura del 50% di vegetazione; il secondo parametro è la distribuzione della pioggia. Sono state utilizzate diverse configurazioni della distribuzione di pioggia. La distribuzione dell'intensità di pioggia pari a 2 ore ed il relativo istogramma sono presentati in Figura 4-2 insieme al risultato del modello RiverFlow 2D.

Come si evince in Figura 4-2, t_l calcolato con Eq. (4-6) è stato presentato graficamente come la distanza fra baricentro della pioggia ed il punto di picco dell'idrogramma. Quindi l'idrogramma ottenuto dal modello RiverFlow 2D conferma graficamente il t_l calcolato in precedenza.

I risultati del modello RiverFlow 2D in Figura 4-3 indicano che tutta l'acqua sulla superficie del bacino scorre verso due corsi principali, con profondità di circa 50 cm, che arrivano all'argine di progetto: aumenta, così, la profondità dell'acqua ed essa raggiunge il canale proposto dal progetto. Tutto ciò è visibile attraverso le distribuzioni delle velocità, presentate in Figura 4-4: si nota la formazione di due corsi d'acqua con velocità superiore a 1 m/s ed alta capacità di erosione.

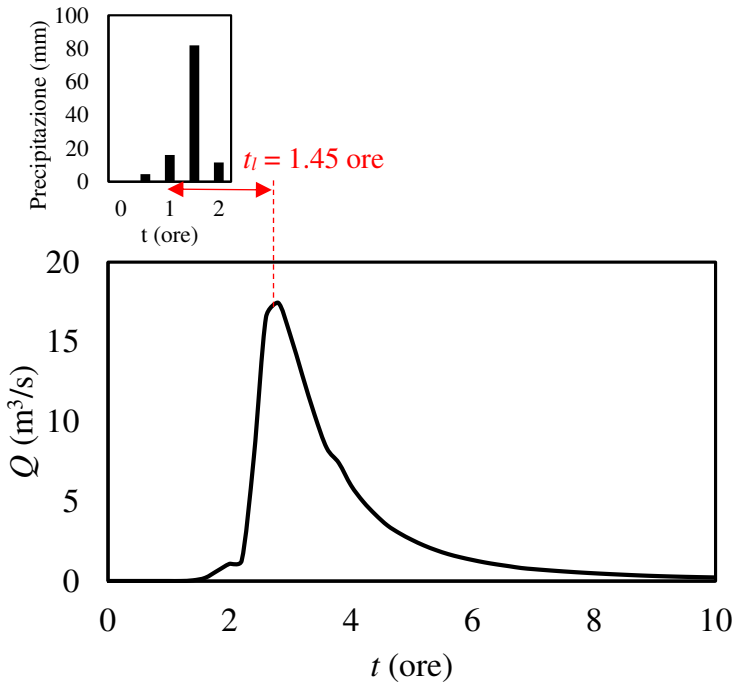

Figura 4-2 – Istogramma di pioggia TR = 200 anni insieme e risultato del modello RiverFlow 2D.

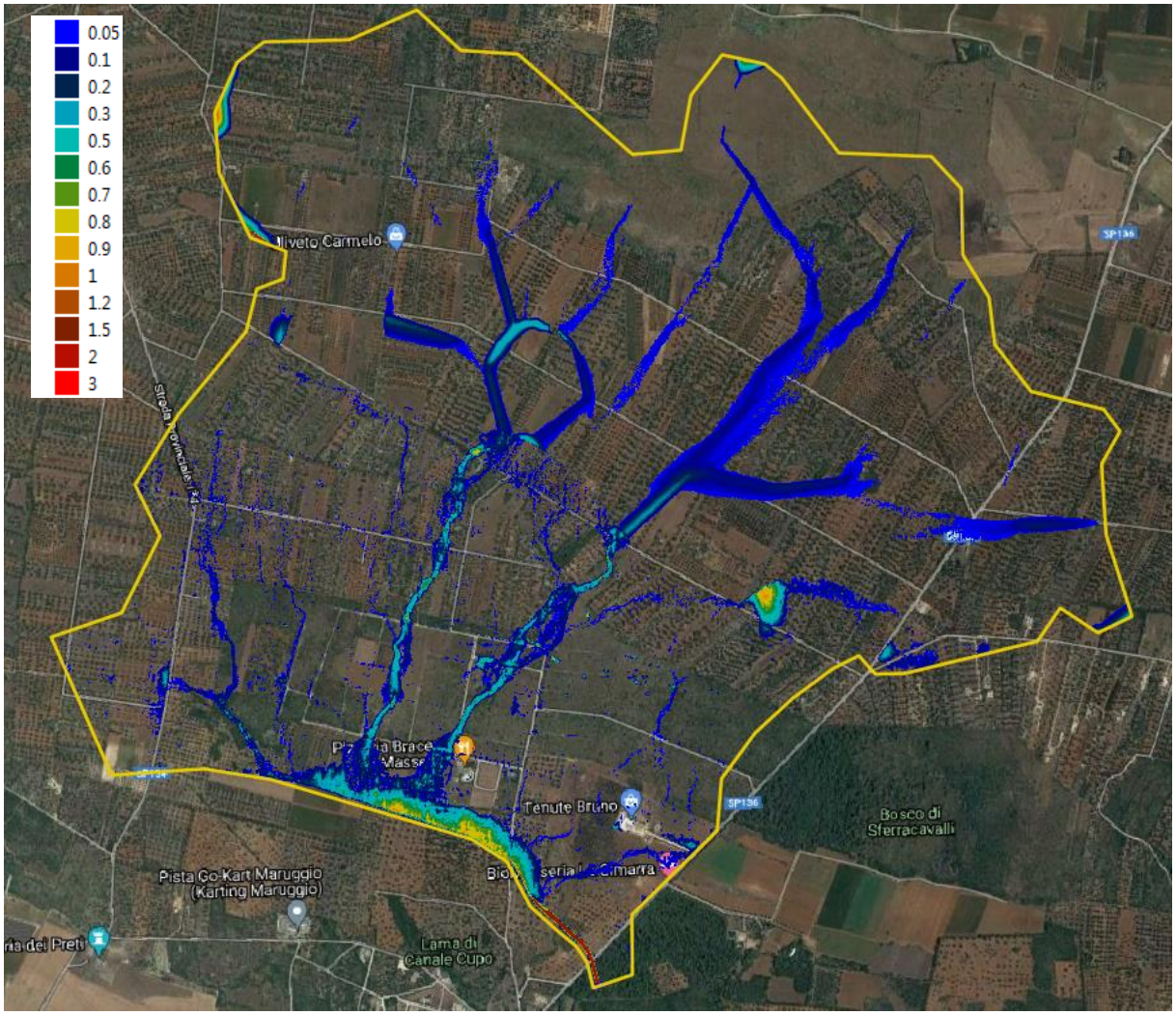

Figura 4-3 – Profondità dell'acqua sul bacino, risultati del modello RiverFlow 2D.

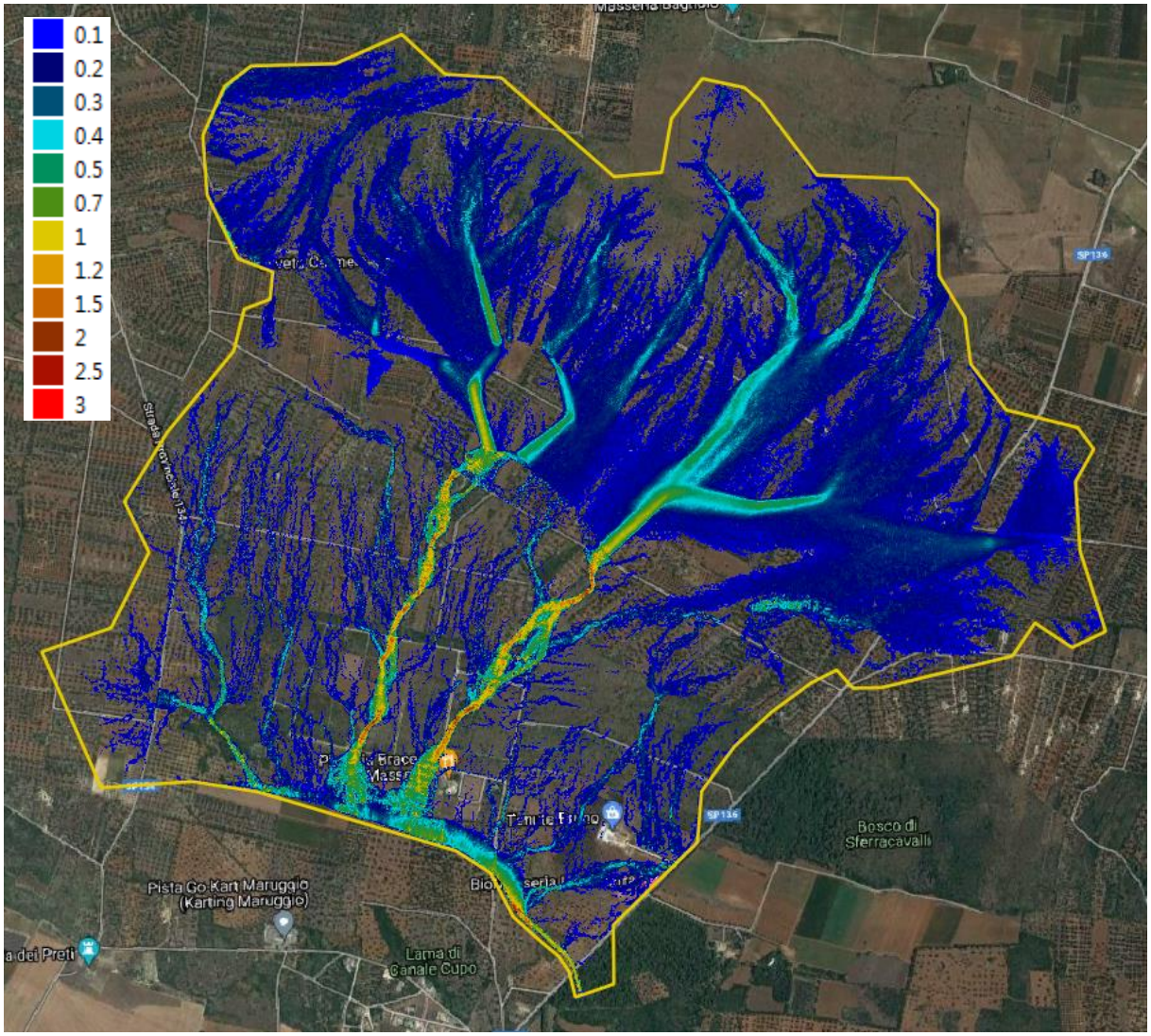

Figura 4-4 – Distribuzione delle velocità dell'acqua sul bacino, risultati del modello RiverFlow 2D.

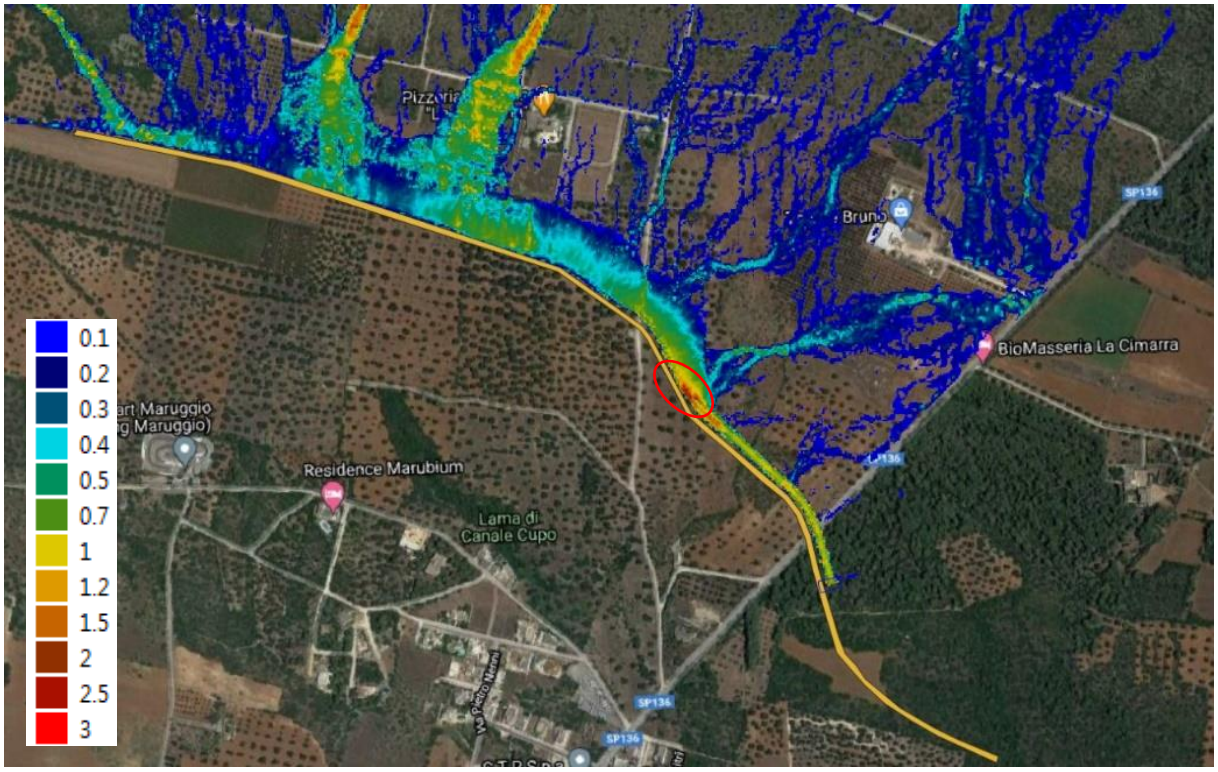

Figura 4-5 – Distribuzione delle velocità dell'acqua nei pressi dell'argine e del canale di progetto.

La Figura 4-5 mostra in scala più grande le distribuzioni delle velocità nei pressi dell'argine e del canale di progetto ed indica una parte ad alta velocità proprio all'entrata del canale: si può notare come la velocità superi 1.5 m/s e risulti necessario realizzare una protezione per la zona evidenziata in rosso.

Per trovare il diametro medio dei massi usati per proteggere l'argine del canale, è stato utilizzato il metodo Shields. La Figura 4-6 presenta il diagramma di Shields che è basato sul parametro Reynolds di attrito R_e^* e sul parametro Shields θ_c, che indica la zona di trasporto solido: se il punto della condizione idraulica del canale rimane al di sotto della curva Shields, significa che non c'è trasporto solido, se invece il punto sarà sopra la curva significa che le particelle si muoveranno con la forza dell'acqua.

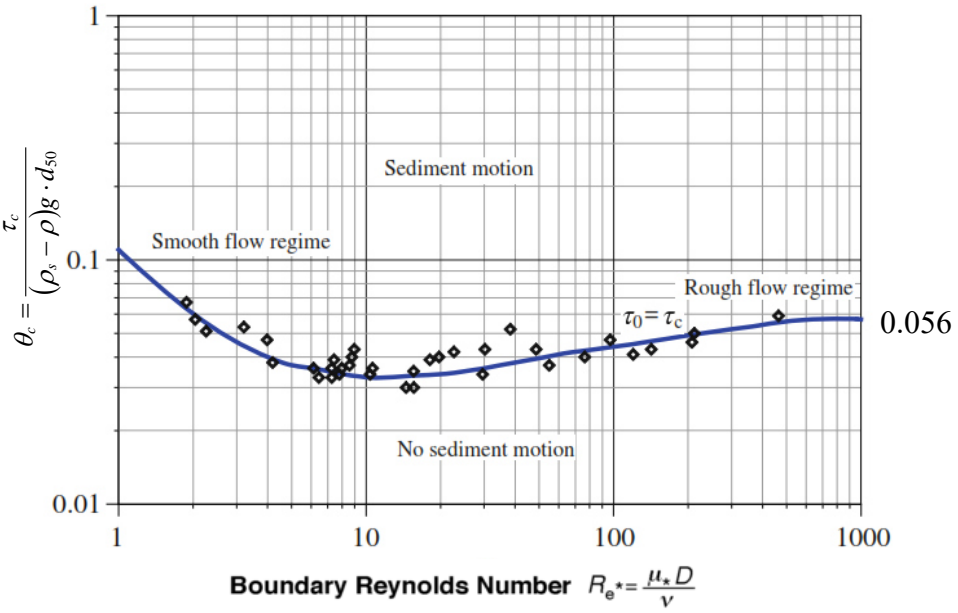

Figura 4-6 – Diagramma di Shields

Il metodo di Shields si utilizza per trovare il diametro medio dei massi usati per proteggere il fondo del canale e gli argini come nelle strutture di tipo Riprap. Come rappresentato dai risultati sperimentali di Shields, per la condizione di flusso completamente turbolento ($R_e^* > 500$), θ_c diventa un valore costante pari a 0.056. Ma $\theta_c = 0.056$ indica proprio il momento in cui le particelle cominciano a muoversi.

Per trovare il diametro medio dei massi a protezione del canale si deve considerare la condizione prima del movimento incipiente. Gessler (1971) ha presentato $\theta_c = 0.047$ per flusso turbolento nel caso di protezione al fondo del canale e per gli argini. Considerando la tensione dell'acqua sul fondo del canale $\boldsymbol{\tau_0 = \gamma R S}$ dove $\boldsymbol{\gamma}$ = peso specifico dell'acqua, $\boldsymbol{R}$ = raggio idraulico (per i canali larghi $\boldsymbol{R}$ = la profondità dell'acqua $\boldsymbol{y}$) e $\boldsymbol{S}$ = la pendenza del canale. La zona da proteggere, evidenziata in rosso in Figura 4-5, ha una pendenza S = 3%, dove il territorio arriva al fondo del canale di progetto. Basandosi sui risultati del modello RiverFlow 2D, la profondità massima dell'acqua in quella zona sarà pari a 2 metri. Quindi:

$\boldsymbol{\tau_0 = \gamma R S = \gamma y S}$ = 9810 * 2 * 0.03 = 588.6 N

Considerando $\boldsymbol{\tau_c = \tau_0}$ nel parametro di Shields e considerando la densità dei massi ρ_s = 2650 Kg/m^3, è possibile determinare il diametro medio dei massi per una protezione in tipo di Riprap come segue:

$$\theta_c = \frac{\tau_c}{(\rho_s - \rho)g \cdot d_{50}} = 0.047$$

588.6/[(2650 – 1000) 9.81*d_{50}] = 0.047 quindi d_{50} = 0.77 m ≈ 80 cm.

Questi massi con diametro medio d_{50} = 80 cm sono applicabili per proteggere la parte finale del canale di progetto, in prossimità del territorio naturale.

5 MODELLAZIONE IDRAULICA

Lo studio idraulico ha prodotto una mappa di allagamento dell'area di Maruggio post opera che ben identifica le differenze rispetto alla mappa di inondazione ante opera, per la quale si fa riferimento alle indicazioni del Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Puglia.

Figura -5-1 – Mappa di Allagamento Post-Opera

La legenda riportata a destra in Fig. 5-1 indica il tirante idrico ed è espresso in metri.

Le profondità dell'acqua sul territorio, su base Google Maps, vengono riportate in Figura 5-2. Come si vede, l'altezza della strada SP 141 non permette il passaggio dell'acqua e la maggior parte di flusso raggiunge la zona urbana. La Figura 5-3 mostra la distribuzione delle velocità nella mappa di allagamento e mostra, inoltre, un flusso ad alta velocità che passa dalla zona urbana scorrendo sul canale Cupo.

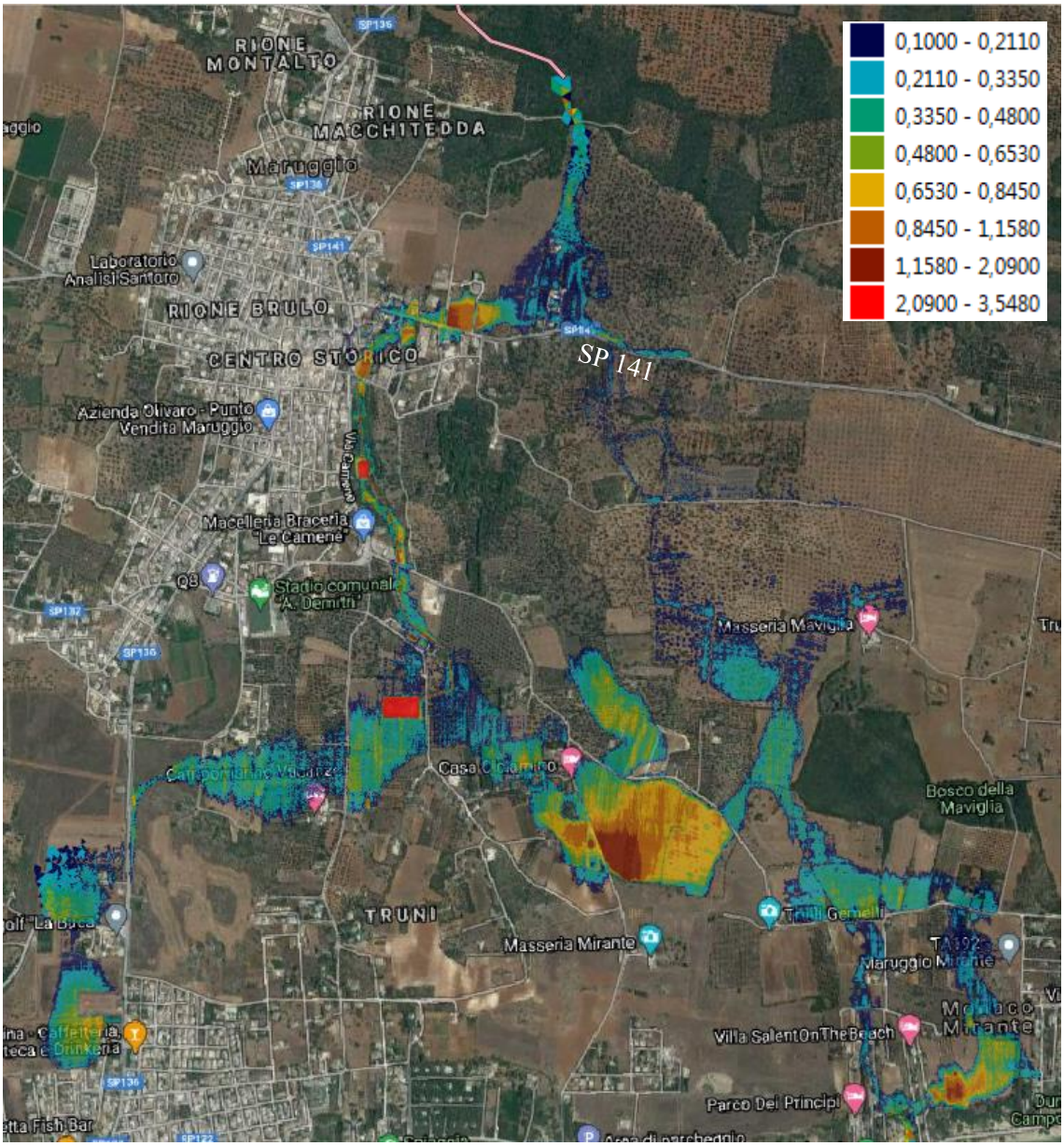

Figura -5-2 – Mappa di Allagamento Post-Opera su Google Maps

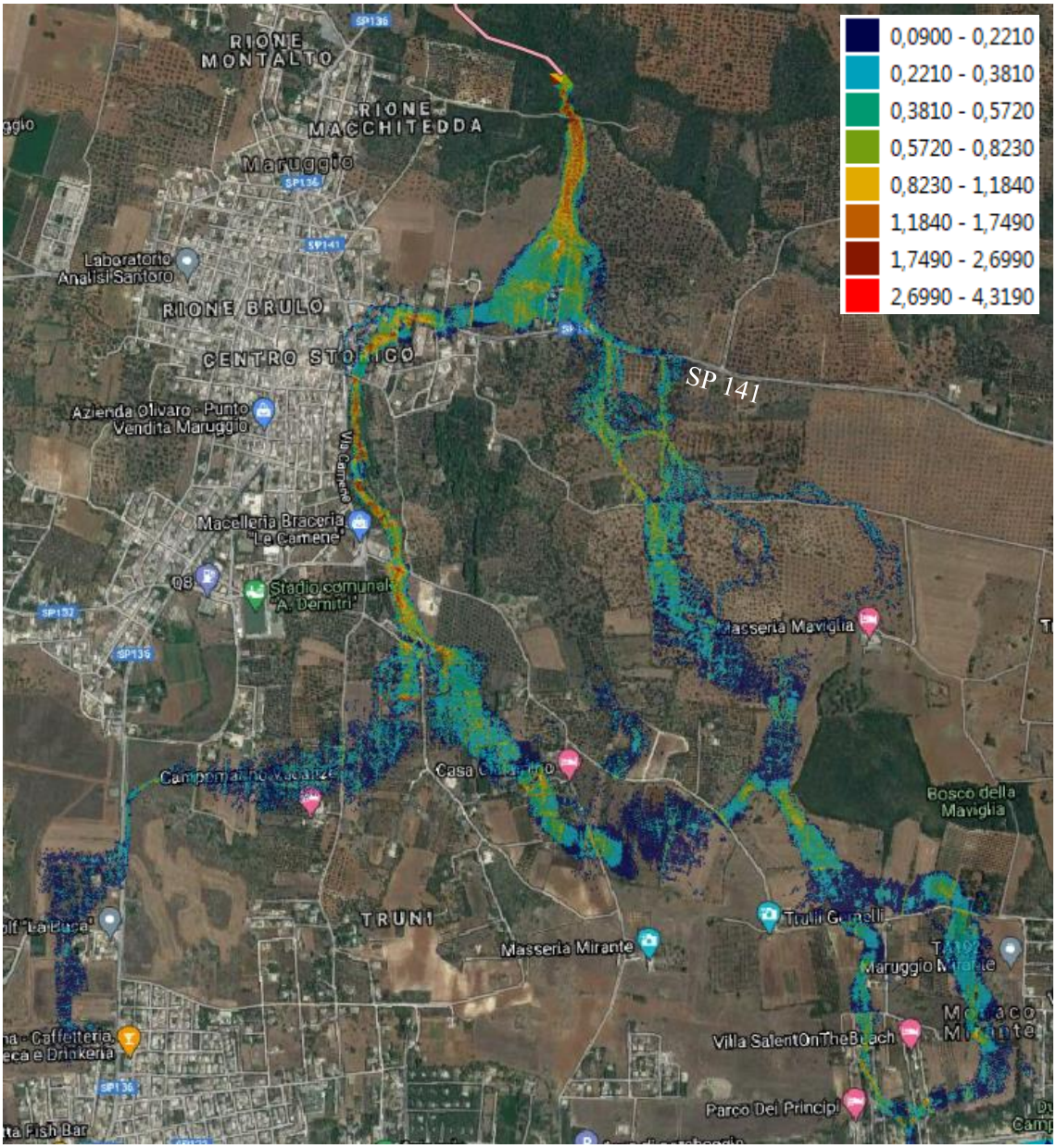

Figura -5-3 – Distribuzione delle velocità nella Mappa di Allagamento Post-Opera su Google Maps

6 CONCLUSIONI

Il centro abitato di Maruggio è frequentemente interessato da fenomeni di allagamento come conseguenza della completa assenza di opere di difesa idraulica rispetto alle piene occasionali del canale Cupo, nel cui alveo sorge parte del centro abitato.

In occasione di eventi meteorici sufficienti ad attivare il deflusso, tutta la portata drenata dal bacino del canale Cupo va ad allagare il centro abitato, ed è concreto il rischio di perdita di vite umane.

Facendo seguito alle conclusioni a cui è giunto lo "Studio per la rivisitazione delle perimetrazioni di pericolosità idraulica dovuta alle piene del canale Cupo a Maruggio (TA)", il presente progetto ha individuato una soluzione tecnica che consegua l'obiettivo della **riduzione della pericolosità di allagamento nel centro urbano di Maruggio**.

Nello specifico, gli elementi costitutivi l'opera in progetto sono:

- un canale a cielo aperto, per una lunghezza pari a 650 metri, che si estende a nord dell'abitato di Maruggio e il cui sbocco è previsto in un'area di espansione posta a nord-est dell'abitato.
- complessivi 2 attraversamenti di viabilità esistente, 1 strada comunale e la SP 136.