



REGIONE PUGLIA



COMUNE DI POGGIO
IMPERIALE



COMUNE DI LESINA



COMUNE DI SAN PAOLO
CIVITATE



COMUNE DI APRICENA

Nome Progetto / Project Name

**IMPIANTO AGRIVOLTAICO,
DENOMINATO POGGIO 2
POTENZA INSTALLATA 20,35 MW
CON PANNELLI SU SUPPORTO TRACKER
AD ASSE ORIZZONTALE IN AGRO DI
POGGIO IMPERIALE, LESINA, SAN PAOLO CIVITATE
E OPERE DI CONNESSIONE**

committente GC POGGIO IMP II	Titolo documento / Document title RELAZIONE IDRAULICA		
	Tavola / Pannel	Codice elaborato / Code processed PG2_REL_IDRG_010	

00	30/06/2022	PROGETTO DEFINITIVO	Preparato	Vagliato	Approvato
N.	Data Revisione	Descrizione revisione			

Specialista / Specialist Ing. Maria DI MODUGNO Ing. Gabriele IEMMOLO Dr.geol. Baldassarre Franco LA TESSA		Sviluppatore / Developer RENEWABLE CONSULTING
--	---	---

Progettisti / Planner RENEWABLE CONSULTING SRL			
	Nome file	Dimensione cartiglio	Scala
	Relazione idraulica	A4	---

Indice

1. PREMESSA.....	2
2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....	3
3. VERIFICA DEI VINCOLI AI SENSI DEL PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI) – SEZIONE IDRAULICA	6
3.1. UoM Regionale Puglia ed Interregionale Ofanto	6
3.2. UoM Fortore	10
4. ANALISI IDRAULICA	13
4.1. Teoria del modello idraulico bidimensionale.....	13
4.2. Teoria del modello di simulazione dei tombini idraulici	15
4.3. Scelta dei limiti di rappresentazione delle aree di allagamento	15
5. MODELLI IDRAULICI BIDIMENSIONALI.....	19
5.1. Modello n.2	19
5.1.1. Risultati della simulazione del modello idraulico n.2	22
5.2. Modello n.5	24
5.2.1. Risultati della simulazione del modello idraulico n.5	26
5.3. Modello A	27
5.3.1. Risultati della simulazione del modello idraulico A	29
5.4. Modello B	30
5.4.1. Risultati della simulazione del modello idraulico B	33
5.5. Modello Fortore	35
5.5.1. Risultati della simulazione del modello idraulico Fortore	36
5.6. Modello C	38
5.6.1. Risultati della simulazione del modello idraulico C	40
5.7. Modello D	41
5.7.1. Risultati della simulazione del modello idraulico D	42
6. REALIZZAZIONE LINEA INTERRATA CON TECNICA NO DIG	44
6.1. Studio dei processi erosivi	44

ALLEGATI:

- ALLEGATO 1A: Planimetria delle aree inondabili per T=200 anni;
- ALLEGATO 1B: Planimetria delle aree inondabili per T=200 anni;
- ALLEGATO 1C: Planimetria delle aree inondabili per T=200 anni
- ALLEGATO 2A: Planimetria degli scavi mediante tecnologia T.O.C.;
- ALLEGATO 2B: Planimetria degli scavi mediante tecnologia T.O.C.;

1. PREMESSA

La presente relazione costituisce lo studio del contesto agrario relativo alle aree interessate dalla realizzazione di un sistema agrivoltaico, di potenza installata pari a 20,35 MW, con pannelli su supporto tracker ad asse orizzontale da realizzarsi in agro di Apricena, Poggio Imperiale e San Paolo di Civitate in Regione Puglia e le relative opere di connessione.

Obiettivo di tale relazione è la caratterizzazione dell'area (aspetti climatici e pedologici), finalizzata alla valutazione della produttività dei suoli interessati dall'intervento in oggetto in riferimento alle sue potenzialità ed al valore delle colture ivi presenti.

L'attività di studio del territorio è stata condotta in più fasi che hanno previsto sopralluoghi al fine di osservare e valutare, sotto l'aspetto agronomico, la superficie oggetto di intervento e la consultazione dei dati cartografici disponibili sul S.I.T. della Regione Puglia e degli studi effettuati dagli Organi competenti (regionali/nazionali) per esaminare il territorio.

L'iniziativa è in linea con gli obiettivi del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC), Dicembre 2019; con il quale l'Italia intende promuovere il Green New Deal per la decarbonizzazione dell'economia, inteso come un patto verde con le imprese e i cittadini, che consideri l'ambiente come motore economico del Paese.

La presente relazione è relativa allo studio degli impianti di produzione dell'energia elettrica relativa alle aree di produzione, ai cavidotti di connessione tra i campi agrivoltaici e al cavidotto di connessione alla stazione di Smistamento "CS Serracapriola". Le opere di connessione comprese tra la stazione di Smistamento "CS Serracapriola" e la SE di trasformazione di Rotello (CB) saranno trattate nel relativo elaborato specialistico.

2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

L'impianto agrivoltaico, la cui potenza è di 20,35 MW che prevede la coltivazione del suolo sottostante, è costituito da moduli montati su inseguitori fotovoltaici monoassiali (tracker). L'impianto è incluso nel progetto denominato "Agripuglia", che prevede la realizzazione di cinque sistemi agrivoltaici, con il coinvolgimento di più partner come Legambiente Puglia, CIA Agricoltori Italiani Capitanata, Università degli Studi di Foggia Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimenti, Risorse Naturali e Ingegneria e la Diocesi di San Severo.

La realizzazione dei cinque sistemi di agrivoltaico prevede le medesime caratteristiche tecniche; sono previste tre tipologie di struttura: ad una stringa (26 moduli), a due stringhe (52 moduli) e a quattro stringhe (78 moduli). Le strutture saranno disposte secondo file parallele, la cui distanza sarà di 5 m, in modo da ottenere una fascia di 3,73 m utile alla coltivazione. Tali moduli verranno installati su più appezzamenti di terreno che saranno contemporaneamente coltivati con differenti tipi di colture in modo da favorire la biodiversità e preservare la fertilità del suolo.

Il modello, infatti, descritto in maniera più dettagliata nelle relazioni specialistiche, si prefigge l'obiettivo di ottimizzare e utilizzare in modo efficiente il territorio, garantendo al contempo produzione agricola e elettrica.

Il progetto prevede, inoltre, la realizzazione di:

- Cabine di conversione e trasformazione dell'energia elettrica;
- Cabine di raccolta e monitoraggio;
- Rete elettrica interna a 1500 V tra i moduli fotovoltaici, e tra questi e le cabine di conversione trasformazione;
- Rete elettrica intera a 30 kV per il collegamento in entra-esce tra le varie cabine di conversione e trasformazione, e con le cabine di raccolta e monitoraggio;
- Rete elettrica interna a bassa tensione per l'alimentazione dei servizi ausiliari di centrale (controllo, illuminazione, forza motrice, ecc...);
- Rete elettrica esterna a 30 kV dalle cabine di raccolta e monitoraggio alla Sottostazione Elettrica AT/MT;
- Rete telematica interna di monitoraggio per il controllo dell'impianto fotovoltaico;
- N.1 Stazione Condominio;
- Collegamento tra la stazione di raccolta "SR-Condominio" e la futura stazione di Smistamento "CS Serracapriola".

Nella struttura ad inseguitore solare i moduli fotovoltaici son fissati ad un telaio in acciaio, che ne forma il piano d'appoggio, a sua volta opportunamente incernierato ad un palo, anch'esso in acciaio, da applicare direttamente nel terreno. Questa tipologia di struttura eviterà l'esecuzione

di opere di calcestruzzo e faciliterà enormemente sia la costruzione che la dismissione dell'impianto a fine vita, diminuendo drasticamente il possibile impatto sul suolo agricolo.

I cavi interrati direttamente sotto i pannelli per raggiungere le cabine di trasformazione non rappresentano una problematica per lo svolgimento delle lavorazioni periodiche del terreno. Tali lavorazioni, infatti, non raggiungono mai una profondità superiore a 40 cm, mentre i cavi saranno interrati ad una profondità minima di 80 cm.

Il collegamento tra le varie aree di impianto fino al condominio riguarderà le seguenti particelle:

Foglio	Particella	Comune
8	STRADA P.	Poggio Imperiale
8	513	Poggio Imperiale
8	548	Poggio Imperiale
8	444	Poggio Imperiale
8	443	Poggio Imperiale
8	442	Poggio Imperiale
8	538	Poggio Imperiale
8	406	Poggio Imperiale
14	STRADA P.	Apricena
14	303	Apricena
10	372	Poggio Imperiale
10	312	Poggio Imperiale
10	212	Poggio Imperiale
10	366	Poggio Imperiale
10	380	Poggio Imperiale
10	356	Poggio Imperiale
10	359	Poggio Imperiale
10	81	Poggio Imperiale
10	377	Poggio Imperiale
10	82	Poggio Imperiale

10	375	Poggio Imperiale
9	53	Poggio Imperiale
9	99	Poggio Imperiale
9	100	Poggio Imperiale
9	54	Poggio Imperiale
9	19	Poggio Imperiale
9	226	Poggio Imperiale
9	228	Poggio Imperiale
9	229	Poggio Imperiale
14	303	Apricena
14	STRADA P.	Apricena
9	STRADA P.	Poggio Imperiale
9	152	Poggio Imperiale
5	25	San Paolo di Civitate
5	42	San Paolo di Civitate
5	9	San Paolo di Civitate

L'intervento per la realizzazione di suddetto percorso ricade in area agricola, caratterizzata da una morfologia pianeggiante. Dalla carta d'uso dei suoli, i terreni che saranno interessati dalla costituzione del cavidotto risultano ricadere principalmente nelle aree a seminativi semplici in aree irrigue.

Il percorso interrato del cavidotto comunque interesserà le zone più esterne, limitrofe alla strada, non alterando così, il normale utilizzo del suolo agricolo. La sottostazione di consegna verrà collegata alla SE di smistamento "Serracapriola 2" tramite cavidotto. Tale cavidotto passerà per i comuni di San Paolo di Civitate, Poggio Imperiale, Lesina e Serracapriola. Il percorso di connessione che attraversa i primi tre comuni, fino alla SE di smistamento sarà quasi del tutto realizzato a mezzo di interrimento, ricadendo, in alcuni punti, sulla strada provinciale 31 (SP31) e sulla strada statale 16 ter Adriatica (ss16ter).

Passerà, inoltre, in strade secondarie che separano le diverse aree agricole, senza alterazione dello stato dei luoghi, interessando terreni non coltivati con particolari produzioni di pregio; ed in minima parte un uliveto non comportando, quindi, una sostanziale invasione di terreni ad uso agricolo-paesaggistico. Consultando la carta d'uso dei suoli della regione Puglia, è possibile notare come tale connessione attraverserà una zona principalmente a seminativi semplici in aree non irrigue.

Di seguito, un inquadramento degli interventi previsti:

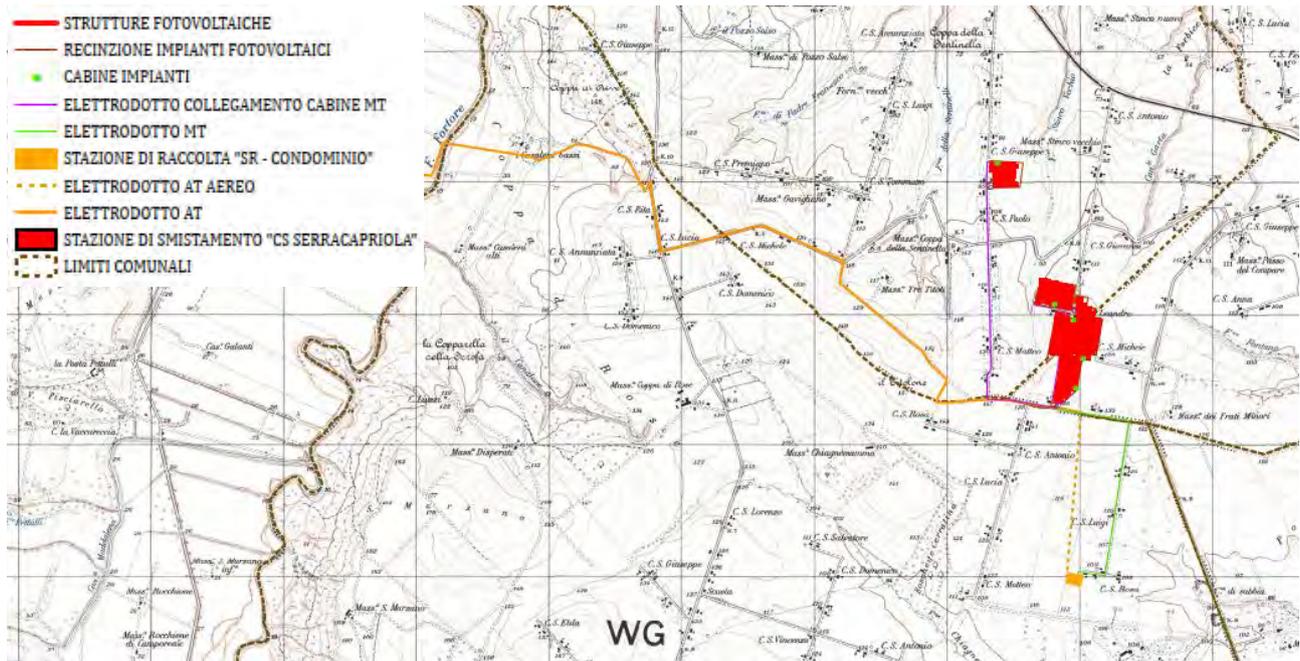


Figura 2.1 – Inquadramento delle opere in progetto

3. VERIFICA DEI VINCOLI AI SENSI DEL PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI) – SEZIONE IDRAULICA

L'area di intervento è ubicata all'interno del territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale tra la Unit of Management (UoM) Regionale Puglia ed Interregionale Ofanto (già Autorità di Bacino della Puglia) e la UoM Fortore (già Autorità di Bacino dei fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore).

3.1. UoM Regionale Puglia ed Interregionale Ofanto

L'analisi territoriale dei vincoli relativi al PAI Puglia è stata condotta attraverso la consultazione della seguente documentazione cartografica:

Dall'analisi delle perimetrazioni di pericolosità idraulica ai sensi delle NTA (Norme tecniche di Attuazione) del PAI (Piano di Assetto idrogeologico) della Regione Puglia in vigore (aggiornate al 19/11/2019), redatte dall'Autorità di Bacino Distrettuale (già Autorità di Bacino della Puglia), si evince come l'area di intervento non risulti interessata da perimetrazioni relative ad aree a pericolosità idraulica (alta, media o bassa) (Figura 3.1.1).

La valutazione dell'interferenza con il reticolo idrografico è stata sviluppata attraverso la consultazione della carta IGM 1:25.000, cartografia ufficiale del PAI Puglia, e della Carta Idrogeomorfologica della Puglia, la quale costituisce un sostanziale elemento conoscitivo del territorio pugliese.

Ai fini della salvaguardia dei corsi d'acqua e la prevenzione dei presumibili effetti dannosi prodotti da interventi antropici, il PAI individua l'insieme degli alvei fluviali in modellamento attivo e le aree golenali e le fasce di pertinenza fluviale, di cui agli Artt. 6 e 10 delle NTA del PAI.

Secondo quanto disciplinato dall'Art. 6, comma 8, *“Quando il reticolo idrografico e l'alveo in modellamento attivo e le aree golenali non sono arealmente individuate nella cartografia in allegato e le condizioni morfologiche non ne consentano la loro individuazione, le norme si applicano alla porzione di terreno a distanza planimetrica, sia in destra che in sinistra, dall'asse del corso d'acqua, non inferiore a 75 m”*.

L'art.10, comma 3, dispone che *“Quando la fascia di pertinenza fluviale non è arealmente individuata nelle cartografie in allegato, le norme si applicano alla porzione di terreno, sia in destra che in sinistra, contermine all'area golenale, come individuata all'art. 6 comma 8, di ampiezza comunque non inferiore a 75 m”*.

Dalla consultazione dell'IGM 1:25.000 è emersa l'individuazione di cigli di versante o piedi esterni dell'argine maestro (le cosiddette "barbette") che, come innanzi detto, definiscono l'alveo fluviale in modellamento attivo. Tuttavia, in via cautelativa, si è stabilito di riferirsi alle massime ampiezze definite dall'Art.6 delle NTA del PAI Puglia, ossia sono state considerate le porzioni di terreno, in destra e sinistra, all'asse del corso d'acqua pari a 75 metri (Figura 3.1.1 – aree in verde).

Ne consegue che le fasce di pertinenza fluviale sono state definite come porzione di terreno, sia in destra che in sinistra, contermine all'area golenale di ampiezza pari a 75 m (Figura 3.1.1 – aree in azzurro).

Emerge, quindi, che gli interventi di progetto risultano interferire con le aree di cui all'art. 6 (Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali) e all'art.10 (Disciplina delle fasce di pertinenza fluviale) delle NTA del PAI Puglia (Figura 3.1.1).

In particolare, sono state rilevate n. 12 interferenze con aree vincolate ai sensi del PAI Puglia (artt. 6 e 10 delle NTA), di seguito riepilogate:

Interferenza	Elementi vincolato	Vincolo NTA PAI Puglia	Note
1-P	Strutture fotovoltaiche	Artt.6 e 10	Vincolo studiato tramite modellazione idraulica bidimensionale
2-P	Strutture fotovoltaiche	Artt.6 e 10	Vincolo studiato tramite modellazione idraulica bidimensionale
3-P	Strutture fotovoltaiche	Art.10	Vincolo studiato tramite modellazione idraulica bidimensionale
4-P	Elettrodotto MT	Artt.6 e 10	Vincolo studiato tramite modellazione idraulica bidimensionale
5-P	Elettrodotto MT	Artt.6 e 10	Vincolo studiato tramite modellazione idraulica bidimensionale
6-P	Elettrodotto MT; Stazione di Raccolta "SR - Condominio"	Artt.6 e 10	Vincolo studiato tramite modellazione idraulica bidimensionale
7-P	Elettrodotto collegamento cabine MT; Elettrodotto AT interrato	Artt.6 e 10	Vincolo relativo ad un reticolo che si sviluppa a valle delle opere in progetto, pertanto, da considerarsi trascurabile in relazioni agli effetti pratici - vincolo di natura puramente grafica.
8-P	Elettrodotto AT interrato	Artt.6 e 10	Vincolo relativo ad un reticolo che si sviluppa a valle delle opere in progetto, pertanto, da considerarsi trascurabile in relazioni agli effetti pratici - vincolo di natura puramente grafica.
9-P	Elettrodotto AT interrato	Artt.6 e 10	Vincolo relativo ad un reticolo che si sviluppa a valle delle opere in progetto, pertanto, da considerarsi trascurabile in relazioni agli effetti pratici - vincolo di natura puramente grafica.
10-P	Elettrodotto AT interrato	Artt.6 e 10	Vincolo studiato tramite modellazione idraulica bidimensionale
11-P	Elettrodotto AT interrato	Artt.6 e 10	Vincolo relativo ad un reticolo che si sviluppa a valle delle opere in progetto, pertanto, da considerarsi trascurabile in relazioni agli effetti pratici - vincolo di natura puramente grafica.

12-P	Elettrodotto AT interrato	Artt.6 e 10	Vincolo relativo ad un reticolo che si sviluppa a valle delle opere in progetto, pertanto, da considerarsi trascurabile in relazioni agli effetti pratici - vincolo di natura puramente grafica.
------	---------------------------	-------------	--

3.2. UoM Fortore

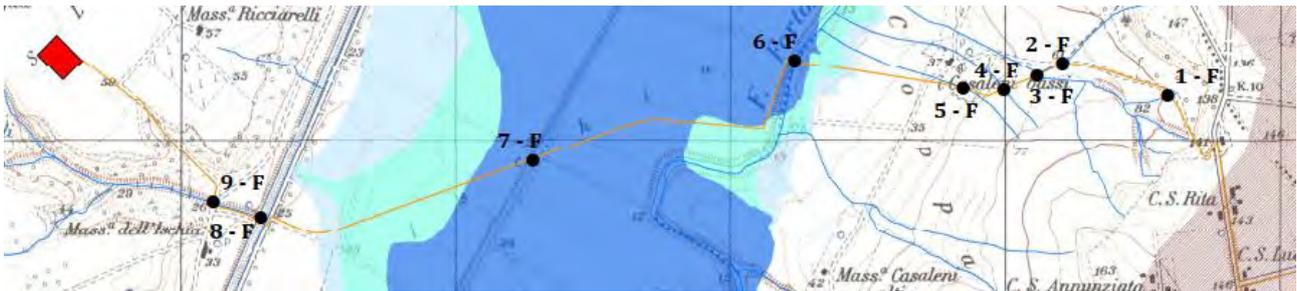


Figura 3.2.1 - Interferenze delle opere in progetto con le aree vincolate ai sensi del PAI Fortore

Dall'analisi delle perimetrazioni di pericolosità idraulica ai sensi del PAI (Piano di Assetto idrogeologico) del Bacino interregionale del Fiume Fortore, redatte dall'Autorità di Bacino Distrettuale (già Autorità di Bacino dei fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore), si evince come l'area di intervento risulti interessata da perimetrazioni relative ad aree a pericolosità idraulica P1 (elevata), P2 (moderata) e P3 (bassa) (Figura 3.2.1).

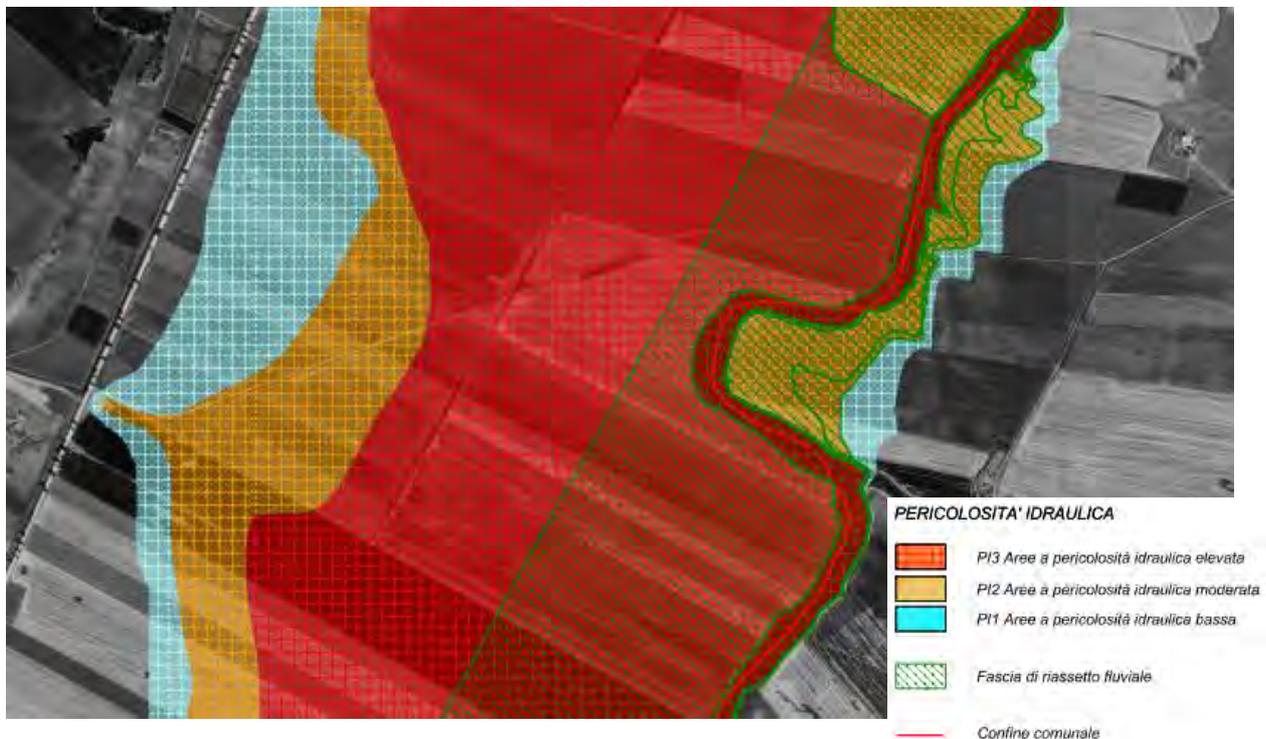


Figura 3.2.2 – Stralcio della tavola T.04-27 “Carta della Pericolosità Idraulica” delle NTA del PAI del Bacino interregionale del fiume Fortore- Fasce di riassetto fluviale

Dette aree risultano disciplinate ai sensi delle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del PAI del Bacino interregionale del Fiume Fortore rispettivamente all'art.13 (Aree a pericolosità idraulica alta-PI3), all'art.14 (Aree a pericolosità idraulica moderata- PI2) e all'art.15 (Aree a pericolosità idraulica alta- PI1)

All'art. 12 delle NTA del PAI del Bacino interregionale del Fiume Fortore sono individuate “le fasce di riassetto fluviale”, le quali comprendono “l'alveo, le aree di pertinenza fluviale e quelle necessarie per l'adeguamento del corso d'acqua all'assetto definitivo previsto dallo stesso Piano per l'assetto idraulico”. Al riguardo le suddette norme esplicano come “la disciplina relativa alle fasce di riassetto fluviale prevale, in caso di sovrapposizione, sulla disciplina relativa alle aree a diversa pericolosità.”

Nella carta della pericolosità idraulica, allegata alle NTA del PAI del Bacino interregionale del Fiume Fortore, sono riportate le fasce di riassetto fluviale per il reticolo maggiore, oggetto di studi di dettaglio da parte dell'Autorità Competente.

Dall'analisi della Carta della Pericolosità Idraulica delle NTA del PAI (tavola T.04-27) si evince l'individuazione delle fasce di riassetto fluviale per il Fiume Fortore in corrispondenza dell'area di intervento (Figura 3.2.2).

Il reticolo idrografico minore, ossia non oggetto di studi preliminari di dettaglio da parte dell'Autorità Competente è, invece, disciplinato dall'art.16 (“Tratti fluviali non studiati”) delle NTA del PAI del Bacino interregionale del Fiume Fortore, il quale recita: “Per le aree limitrofe a corsi d'acqua, che non sono state oggetto o di verifiche idrauliche o di perimetrazioni su base geomorfologica e storica, per le quali non sono quindi disponibili la zonazione di pericolosità e la individuazione della fascia di riassetto fluviale, è stabilita una fascia di rispetto, misurata dai limiti dell'alveo attuale come definito all'art. 7 delle presenti norme sulla quale si applica la disciplina dell'Art. 12 pari a:

- a) 40 metri per il reticolo principale costituito dai corsi d'acqua Fortore e Tappino;
- b) 20 metri per il reticolo minore (affluenti del reticolo principale identificabili sulla cartografia IGM scala 1:25000 con propria denominazione);
- c) 10 metri per il reticolo minuto (restanti corsi d'acqua distinguibili sulla cartografia IGM scala 1:25000 ma privi di una propria denominazione).”

Dall'analisi della cartografia disponibile sono state rinvenute n. 9 interferenze tra il reticolo idrografico e l'elettrodotto AT di collegamento alla Smistamento “CS Serracapriola”:

Interferenza	Elementi vincolato	Vincolo NTA PAI Fortore	Note
1-F	Elettrodotto AT interrato	Art.16 lettera c) Reticolo minuto	Vincolo studiato tramite modellazione idraulica bidimensionale
2-F	Elettrodotto AT interrato	Art.16 lettera c) Reticolo minuto	Vincolo studiato tramite modellazione idraulica bidimensionale
3-F	Elettrodotto AT interrato	Art.16 lettera c) Reticolo minuto	Vincolo studiato tramite modellazione idraulica bidimensionale.
4-F	Elettrodotto AT interrato	Art.16 lettera c) Reticolo minuto	Vincolo studiato tramite modellazione idraulica bidimensionale.
5-F	Elettrodotto AT interrato	Art.16 lettera c) Reticolo minuto	Vincolo studiato tramite modellazione idraulica bidimensionale.
6-F	Elettrodotto AT interrato	Art.12	Vincolo studiato tramite modellazione idraulica bidimensionale.
7-F	Elettrodotto AT interrato	Art.16 lettera c) Reticolo minuto	Vincolo studiato tramite modellazione idraulica bidimensionale.
8-F	Elettrodotto AT interrato	Art.16 lettera c) Reticolo minuto	Vincolo studiato tramite modellazione idraulica bidimensionale.
9-F	Elettrodotto AT interrato	Art.16 lettera c) Reticolo minuto	Vincolo studiato tramite modellazione idraulica bidimensionale

Infine, si sottolinea che, come riportato all'art. 17 delle NTA del PAI del Bacino interregionale del Fiume Fortore (*“Realizzazione di opere pubbliche e/o dichiarate di pubblico interesse”*), *“la realizzazione di opere pubbliche e/o dichiarate di pubblico interesse nella fascia di riassetto fluviale o nelle fasce di pericolosità può essere autorizzata dall’Autorità competente in deroga ai conseguenti vincoli, previa acquisizione del parere favorevole del Comitato Tecnico dell’Autorità di Bacino...”*

Nella presente relazione si approfondiscono gli aspetti idrodinamici afferenti alle interferenze appena descritte, mentre gli aspetti idrologici sono affrontati nell'elaborato *PG2_REL_IDR_009 Relazione Idrologica*.

4. ANALISI IDRAULICA

L'elaborato in oggetto concerne la definizione delle aree allagabili per un tempo di ritorno di 200 anni. A tal fine sono stati implementati modelli idraulici bidimensionali, di cui, a seguire, si fornisce puntuale descrizione unitamente ad una rappresentazione teorica dello schema di calcolo utilizzato dal solutore numerico. Inoltre, al fine di meglio definire le scale di deflusso da utilizzare all'interno dei modelli idraulici, le tombature presenti sono state modellate in moto monodimensionale permanente tramite il software HY-8 Culvert Hydraulic Analysis Program.

4.1. Teoria del modello idraulico bidimensionale

Il modello idraulico utilizzato è il FLO-2D che permette la modellazione idraulica bidimensionale della propagazione delle piene anche quando siano interessate golene, deflussi in zone non confinate, deflussi in aree urbane, trasformazione afflussi-deflussi, deflusso delle piene in aree costiere, colate fangose e detritiche.

Il FLO-2D permette di simulare l'inondazione in una topografia complessa e con una predefinita scabrezza, basando il suo funzionamento sulla conservazione del volume della piena. Il modello adotta l'equazione completa del moto di un'onda dinamica applicata ad uno schema centrale alle differenze finite che definisce otto potenziali direzioni di flusso per predire il procedere dell'idrogramma di piena su una griglia di elementi quadrati.

Il software obbliga una combinazione tra modello idrologico e modello idraulico e richiede per ogni simulazione di inondazione principalmente due tipi di informazione: quella associata alle quote (modello digitale del terreno, DTM) e quella idrologica. La topografia della superficie di flusso potenziale è rappresentata da un sistema di griglie quadrate. Agli elementi di griglia sono assegnati le quote ricavate da un'interpolazione dei punti del DTM. Attraverso il programma di pre-processor GDS (Grid Developer System), presente nel pacchetto FLO-2D, si genera il sistema a griglia assegnando le quote alle singole celle. Il GDS sovrappone le griglie sui punti del DTM ed interpolando per mezzo di particolari punti, detti filtri, determina le quote di ogni elemento di griglia. Esso genera automaticamente il "piano di piena" (che rappresenterà schematicamente la nostra superficie di inondazione) e gli altri dati per cominciare una simulazione.

Il procedere dell'onda di piena sul dominio di flusso è controllato dalla topografia e dalla resistenza al deflusso. La simulazione dell'inondazione che si sviluppa in due dimensioni è portata a termine tramite un'integrazione numerica delle equazioni del moto e quella di continuità.

Le equazioni costitutive su cui si basa il modello sono:

- l'equazione di continuità;

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h v_x}{\partial x} = i$$

- l'equazione del moto (equazione del momento di un'onda dinamica).

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{v_x}{g} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{v_x}{g} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial t}$$

dove h è la profondità di flusso e V_x è la componente della velocità mediata lungo la profondità. L'eccesso di pioggia può essere diverso da zero sulla superficie di flusso. La componente di attrito del pendio S_{fx} è basata sull'equazione di Manning.

Gli altri termini includono la pendenza del letto S_{ox} , variazione di pressione e termini di accelerazione convettivi e locali.

Le equazioni del moto in FLO-2D sono definite meglio come un quasi bidimensionale. L'equazione del moto è risolta calcolando la velocità di flusso media attraverso un elemento di griglia di confine, considerando una direzione alla volta.

Ci sono otto direzioni potenziali di flusso, le quattro perimetrali (nord, sud, est, ovest) e le quattro diagonali (nordest, sudest, nordovest, sudovest).

Ogni calcolo di velocità è essenzialmente monodimensionale in natura ed è risolto indipendentemente delle altre sette direzioni.

La stabilità di questo schema numerico esplicito è basata su uno specifico criterio di controllo della misura della variabile computazionale "intervallo temporale".

La grandezza delle componenti dell'accelerazione relative alla pendenza del fondo ed ai termini di pressione è importante.

Henderson nel 1966 calcolò i termini dell'equazione del moto per un canale alluvionale ripido ed un idrogramma crescente velocemente. I risultati di Henderson sono i seguenti:

– Termini dell'equazione:	S_o	$\delta y/\delta x$	$V\delta V/g\delta x$	$\delta V/g\delta t$
– Grandezza (ft/mi):	26	0.5	0.12-0.25	0.05

dove S_o rappresenta la pendenza del fondo, $\delta y/\delta x$ è il gradiente di pressione, $V\delta V/g\delta x$ è l'accelerazione convettiva, $\delta V/g\delta t$ è l'accelerazione locale.

Egli dimostrò su varie applicazioni per diverse pendenze, che l'applicazione dell'onda cinematica ($S_o=S_f$) è sufficiente per modellare la progressione dell'onda di piena e che il contributo del gradiente di pressione e delle accelerazioni può essere trascurato.

L'aggiunta del gradiente di pressione migliorerà la simulazione del flusso su superfici caratterizzate da una complessa topografia.

L'equazione di onda diffusiva con il gradiente di pressione è necessaria se il sistema di griglie presenta depressioni topografiche.

I termini dell'accelerazione locale e convettiva sono importanti soprattutto per la soluzione di canali con pendenze nulle (secche) o con pendenze molto elevate.

Quindi è sempre usata l'equazione completa del moto, senza apportare nessuna delle semplificazioni suddette, enunciate soltanto per chiarire meglio il modello teorico che è alla base del calcolo effettuato attraverso la modellazione con il FLO-2D.

4.2. Teoria del modello di simulazione dei tombini idraulici

Al fine di simulare il comportamento dei tombini idraulici in moto permanente, necessari per la definizione delle simulazioni idrauliche bidimensionali, sono stati sviluppati i relativi modelli tramite l'uso del software HY-8 Culvert Analysis Program distribuito dalla Federal Highway Administration (FHWA).

HY-8 è un software in grado di automatizzare i calcoli idraulici relativi ai tombini idraulici e, di conseguenza, una serie di caratteristiche essenziali che rendono l'analisi e la progettazione degli stessi più facili.

In particolare, HY-8 consente agli utenti di analizzare:

- Le prestazioni dei tombini idraulici;
- Tombini a canne multiple in corrispondenza di un singolo o molteplici attraversamenti;
- Un rilevato stradale che si sviluppa su un attraversamento;
- Sviluppare la documentazione dei report sotto forma di tabelle, grafici e informazioni chiave riguardanti le variabili di input.

4.3. Scelta dei limiti di rappresentazione delle aree di allagamento

Le valutazioni idrauliche condotte nel presente studio hanno consentito di delimitare le aree interessate dalle inondazioni relative alle piene per tempo di ritorno di 200 anni, determinando anche i tiranti e le velocità nei diversi punti inondatai.

Tuttavia, è bene sottolineare come l'indicazione di allagamento di una superficie non rappresenti di per sé un fattore di pericolosità, in quanto 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 10 cm potrebbe sembrare meno rischioso di uno con tiranti di 2 m, anche se si dovessero verificare con lo stesso tempo di ritorno. Al contrario, se il primo dovesse possedere una elevata velocità di scorrimento e il secondo fosse quasi statico, potrebbe risultare più pericoloso il tirante inferiore.

Anche se l’Autorità di Bacino della Puglia non fornisce indicazioni a riguardo, è possibile riferirsi ad approcci adottati da altre Autorità di Bacino che suggeriscono più oggettive modalità di perimetrazione delle aree di allagamento che tengono conto dei tiranti e delle velocità valutate nei diversi punti del bacino inondato.

L’Autorità di Bacino del Tevere ha proposto un diagramma che mette in relazione i due parametri fondamentali nella determinazione del livello di pericolosità dell’inondazione, tirante e velocità.

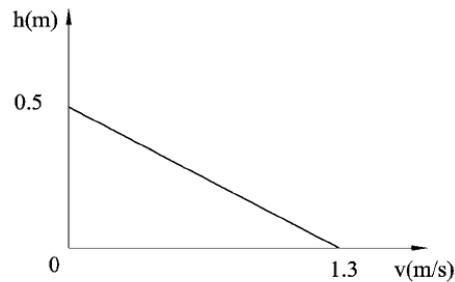
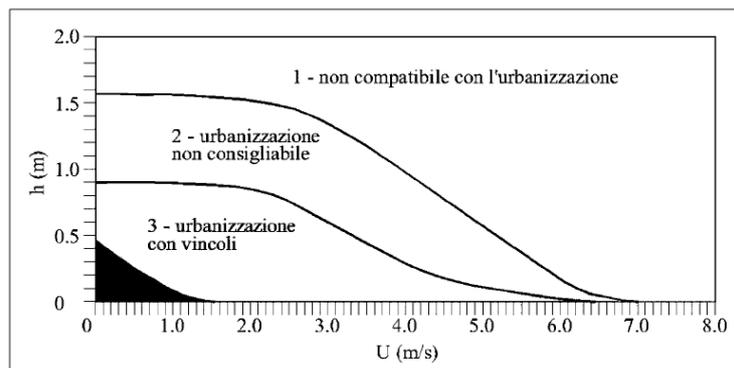


Figura 4.3.1.: Diagramma delle vulnerabilità (AdB Tevere).

Quindi la superficie esondata è stata suddivisa in sottozone caratterizzate da un medesimo valore della spinta idrostatica. Il valore della spinta è funzione della velocità di scorrimento V , e del tirante idrico h ; nel grafico sottostante ($V-h$) sono identificate porzioni caratterizzate da stesso valore della spinta. A seconda della coppia $V-h$ ogni punto geografico dell’area allagata è catalogato con il riferimento (1, 2, 3, 4) relativo alla porzione del grafico all’interno del quale ricade il punto ($V-h$).

Vengono così definite aree “marginali”, quelle ricadenti nella porzione 4 del grafico colorato in nero nel grafico successivo; qui le condizioni di rischio in termini di incolumità delle persone risultano accettabili anche per minori e disabili con accompagnamento.

Si giunge quindi ad una distinzione generale delle aree a pericolosità in tre classi: dirette, indirette e marginali. I primi due termini derivano da considerazioni prettamente idrauliche, già esposte in precedenza e funzione delle caratteristiche del deflusso, il terzo esprime una condizione di effettiva trascurabilità del rischio.



fonte: A.B. Tevere, 2002

In definitiva si assume che le condizioni di rischio non dipendano solo dalla presenza/assenza d'acqua e dell'entità del tirante idrico, ma anche dalla velocità di scorrimento (valutata localmente) che gioca un ruolo determinante nell'attribuzione del livello di danno effettivo.

Similmente l'Autorità di Bacino dell'Adige individua 4 aree di pericolosità idraulica (molto elevata, elevata, media, moderata) in base allo schema seguente:

*1) aree di pericolosità idraulica molto elevata (P4): aree allagate in occasione dell'evento di piena con tempo di ritorno di 30 anni nel quale risulti o la presenza di una **lama d'acqua sul piano di campagna superiore ad 1m** o una **velocità massima di trasferimento superiore ad 1m/s**;*

*2) aree di pericolosità idraulica elevata (P3): aree allagate o in occasione di un evento di piena con tempo di ritorno di 30 anni e condizioni di **lama d'acqua massima raggiunta sul piano di campagna tra 50 cm e 1m**, o per un evento più raro ($Tr=100$ anni) con condizioni come quelle stabilite per pericolosità molto elevata (**lama d'acqua massima maggiore di 1m** oppure **velocità superiore ad 1 m/s**);*

*3) aree di pericolosità idraulica media (P2): aree allagate per un evento caratterizzato da un tempo di ritorno di 100 anni nelle quali si instaurino condizioni di **lama d'acqua massima sul piano di campagna compresa tra 0 cm ed 1 m**;*

*4) aree di pericolosità idraulica moderata (P1): aree esondabili con eventi di piena meno frequenti ($Tr=200$ anni) **in qualunque condizione di lama d'acqua e velocità sul piano di campagna.***

Sulla base delle quali perimetrare aree a diversa pericolosità attraverso un modello di propagazione dell'onda di piena. Ovviamente le ultime due classi di pericolosità danno luogo ad un rischio NON elevato e quindi non pericoloso per l'incolumità di persone o cose.

Nel presente studio si è preferito, cautelativamente, assumere come limiti di rappresentazione della pericolosità, e quindi della vulnerabilità idraulica, i seguenti valori:

- tirante idrico $> 0,2$ m
- velocità $> 0,52$ m/s.

che risultano, comunque, essere più cautelativi dei limiti proposti dalla letteratura tecnica e dalle Autorità di Bacino sopra indicate.

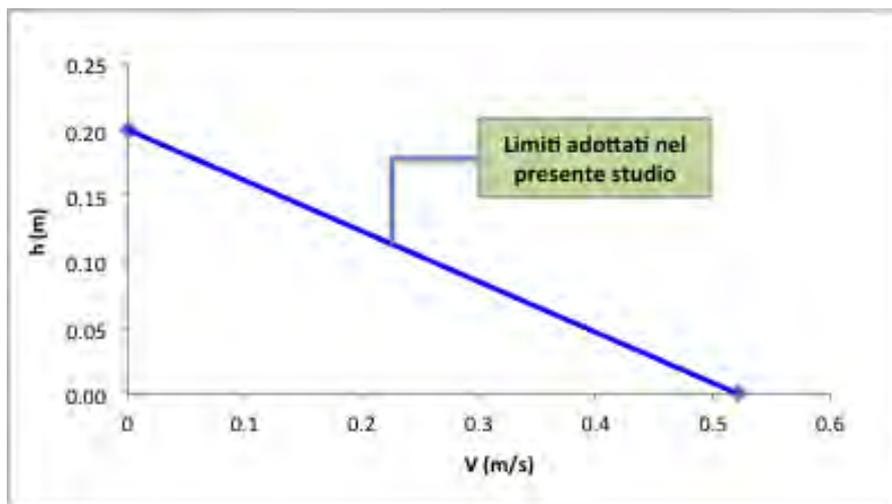


Figura 4.3.2: Filtro adottato nello studio.

5. MODELLI IDRAULICI BIDIMENSIONALI

5.1. Modello n.2

Il modello idraulico n.2 ha riguardato la definizione delle aree allagabili relative alla piena bicentenaria per il reticolo idrografico afferente alle interferenze n.4-P, n.5-P e n.6-P, relative al cavidotto MT di connessione alla stazione di raccolta “SR -Condominio”.

L'applicazione del modello idraulico ha visto preliminarmente la definizione del modello digitale del terreno con riferimento all'area in esame.

Per detta fase ci si è avvalsi delle cartografie ufficiali della regione Puglia, del DEM con risoluzione 8m distribuito dal SIT Puglia e di un rilievo di dettaglio dei tombini idraulici presenti nell'area.

In questo modo è stato possibile definire un modello con celle di calcolo aventi dimensioni 8 m x 8 m. Tale griglia ha permesso la ricostruzione dettagliata dello stato dei luoghi nella simulazione bidimensionale.

Definito il dominio computazionale è stata ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

In particolare, si è fatto ricorso alle seguenti funzioni:

- *In condition*: per assegnare l'idrogramma di piena di piena calcolato in precedenza, dividendo il colmo in più celle per rispettare i parametri di stabilità numerica del software.
- *Out Condition*: per definire le celle attraverso cui può avvenire il deflusso al di fuori del dominio computazionale.
- *Hydraulic Structures*: per simulare la presenza dei tombini idraulici.

A vantaggio di sicurezza, i valori di scabrezza sono stati assunti pari a $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ per tutte le aree interne al dominio di studio (terreno e strade).

Nel modello sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena, definiti nel dettaglio all'elaborato *PG2_REL_IDR_009 Relazione Idrologica*.

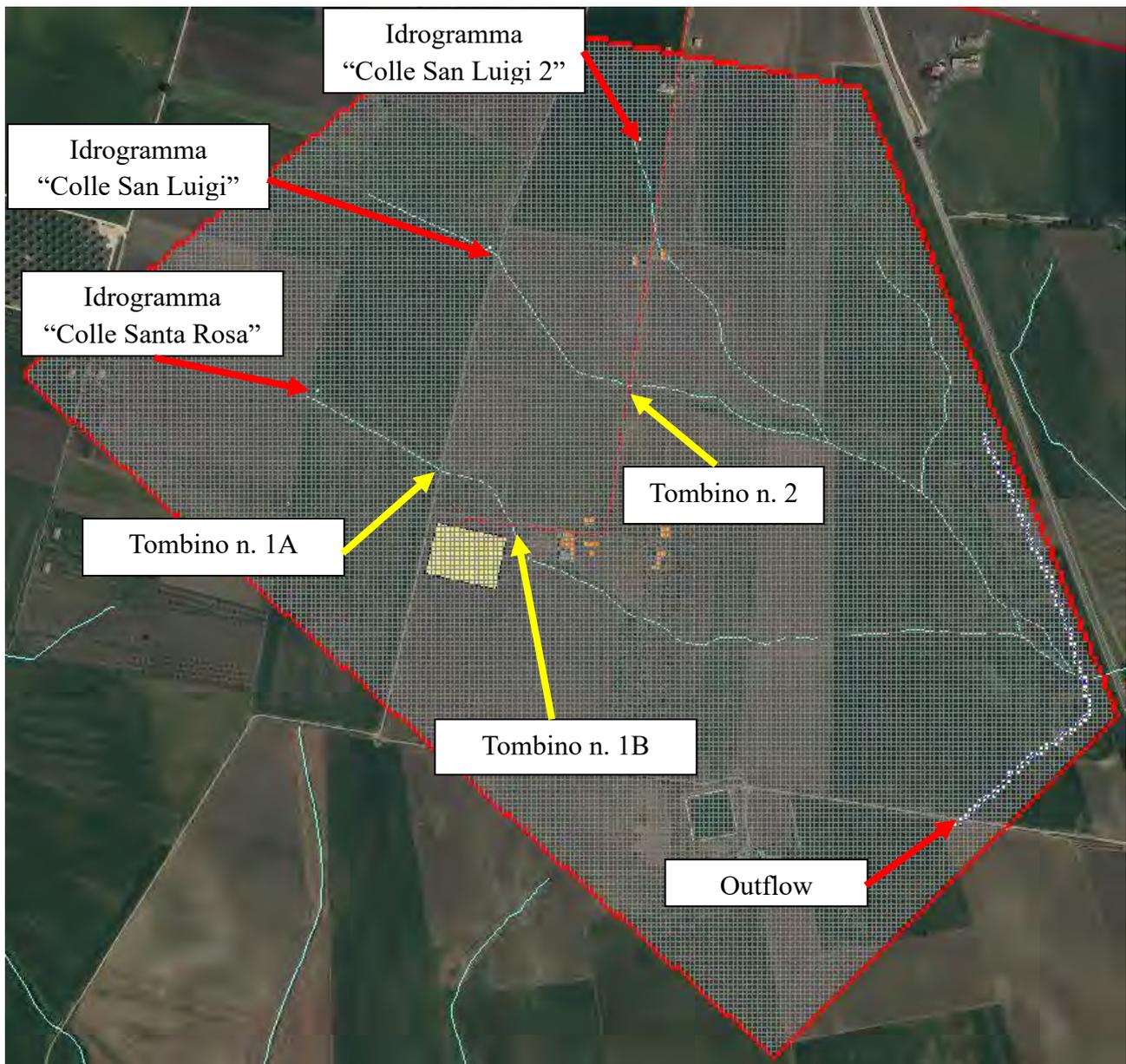


Figura 5.1.1: Dominio di calcolo del modello n.2

Di seguito, si riporta la documentazione fotografica dei tombini idraulici rilevati nell'area di studio.



Figura 5.1.2: Documentazione fotografica - Tombino n.1A



Figura 5.1.3: Documentazione fotografica - Tombino n.1B



Figura 5.1.4: Documentazione fotografica - Tombino n.2

5.1.1. Risultati della simulazione del modello idraulico n.2

La definizione delle aree inondabili relative alla piena bicentenaria ha permesso la stima dei parametri idrodinamici, utilizzati nell'analisi dei fenomeni erosivi, definita al capitolo successivo della presente relazione.

Di seguito, si propone una rappresentazione grafica delle aree allagabili definite per un tempo di ritorno di 200 anni (Figura 5.1.1.1 e Allegato 1A).



Figura 5.1.1.1: Aree inondabili per $T=200$ anni del modello n.2

La stazione di raccolta “SR -Condominio” risulta esterna alle aree inondabili per un tempo di ritorno pari a 200 anni e, pertanto, in condizione di sicurezza idraulica ai sensi dell’art.36 delle NTA del PAI Puglia.

5.2. Modello n.5

Il modello idraulico n.5 ha riguardato la definizione delle aree allagabili relative alla piena bicentenaria per il reticolo idrografico afferente alle interferenze n.1-P, n.2-P e n.3-P, relative alle strutture di produzione di energia fotovoltaica ed all'elettrodotto MT.

L'applicazione del modello idraulico ha visto preliminarmente la definizione del modello digitale del terreno con riferimento all'area in esame.

Per detta fase ci si è avvalsi delle cartografie ufficiali della regione Puglia, del DEM con risoluzione 8m distribuito dal SIT Puglia e di un rilievo di dettaglio dei tombini idraulici presenti nell'area.

In questo modo è stato possibile definire un modello con celle di calcolo aventi dimensioni 8 m x 8 m. Tale griglia ha permesso la ricostruzione dettagliata dello stato dei luoghi nella simulazione bidimensionale.

Definito il dominio computazionale è stata ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

In particolare, si è fatto ricorso alle seguenti funzioni:

- *In condition*: per assegnare l'idrogramma di piena di piena calcolato in precedenza, dividendo il colmo in più celle per rispettare i parametri di stabilità numerica del software.
- *Out Condition*: per definire le celle attraverso cui può avvenire il deflusso al di fuori del dominio computazionale.

A vantaggio di sicurezza, i valori di scabrezza sono stati assunti pari a $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ per tutte le aree interne al dominio di studio (terreno e strade).

Nel modello sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena, definiti nel dettaglio all'elaborato *PG2_REL_IDR_009 Relazione Idrologica*.



Figura 5.2.1: Dominio di calcolo del modello n.5

5.2.1. Risultati della simulazione del modello idraulico n.5

Di seguito, si propone una rappresentazione grafica delle aree allagabili definite per un tempo di ritorno di 200 anni. (Figura 5.2.1.1 e Allegato 1A).

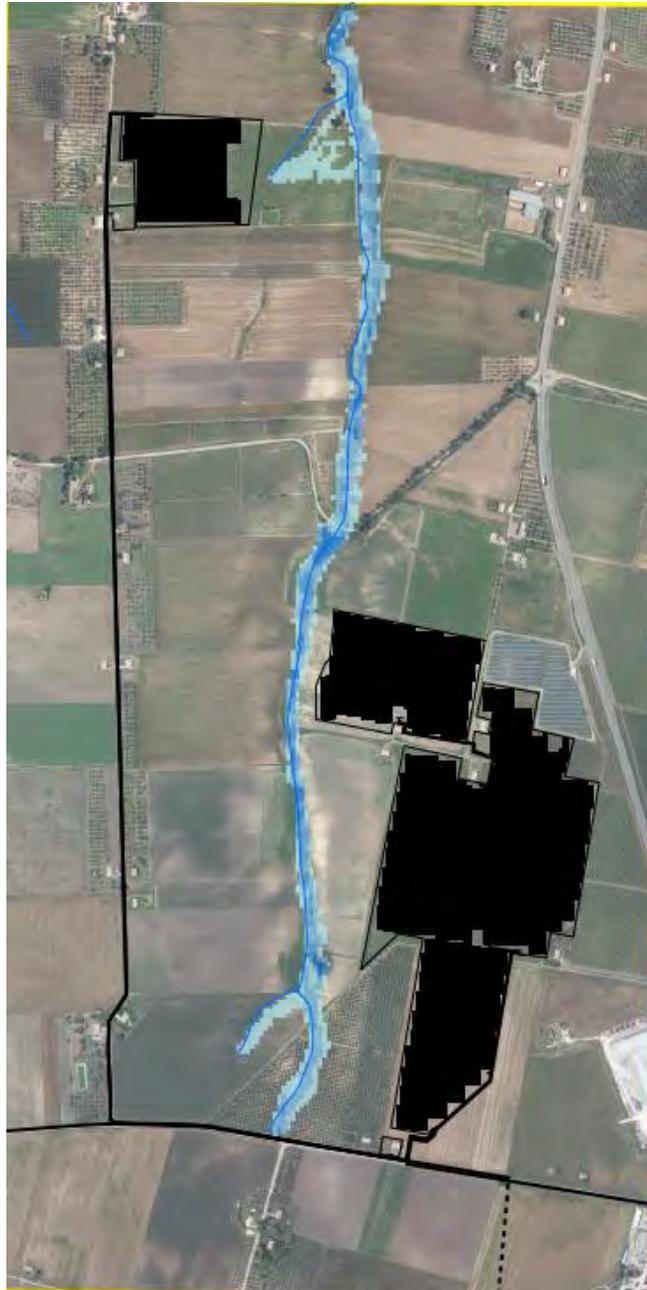


Figura 5.2.1.1: Aree inondabili per T=200anni del modello n.3

Dall'immagine sopra riportata si evince come le superfici destinate alla realizzazione degli impianti agrivoltaici risultino esterne alle aree inondabili rispetto la piena bicentenaria e, pertanto, in condizione di sicurezza idraulica ai sensi dell'art.36 delle NTA del PAI Puglia.

5.3. Modello A

Il modello idraulico “A” ha riguardato la definizione delle aree allagabili relative alla piena bicentenaria per il reticolo idrografico afferente alla interferenza n.10-P, relativa al cavidotto AT.

L'applicazione del modello idraulico ha visto preliminarmente la definizione del modello digitale del terreno con riferimento all'area in esame.

Per detta fase ci si è avvalsi della cartografia LIDAR con risoluzione 1m e di un rilievo di dettaglio dei tombini idraulici presenti nell'area, In questo modo, è stato possibile definire un modello con celle di calcolo aventi dimensioni 3 m x 3m. Tale griglia ha permesso la ricostruzione dettagliata dello stato dei luoghi nella simulazione bidimensionale.

Definito il dominio computazionale è stata ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

In particolare, si è fatto ricorso alle seguenti funzioni:

- *In condition*: per assegnare l'idrogramma di piena di piena calcolato in precedenza, dividendo il colmo in più celle per rispettare i parametri di stabilità numerica del software.
- *Out Condition*: per definire le celle attraverso cui può avvenire il deflusso al di fuori del dominio computazionale.
- *Hydraulic Structures*: per simulare la presenza dei tombini idraulici.

A vantaggio di sicurezza, i valori di scabrezza sono stati assunti pari a $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ per tutte le aree interne al dominio di studio (terreno e strade).

Nel modello sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena, definiti nel dettaglio all'elaborato *PG2_REL_IDR_009 Relazione Idrologica*.

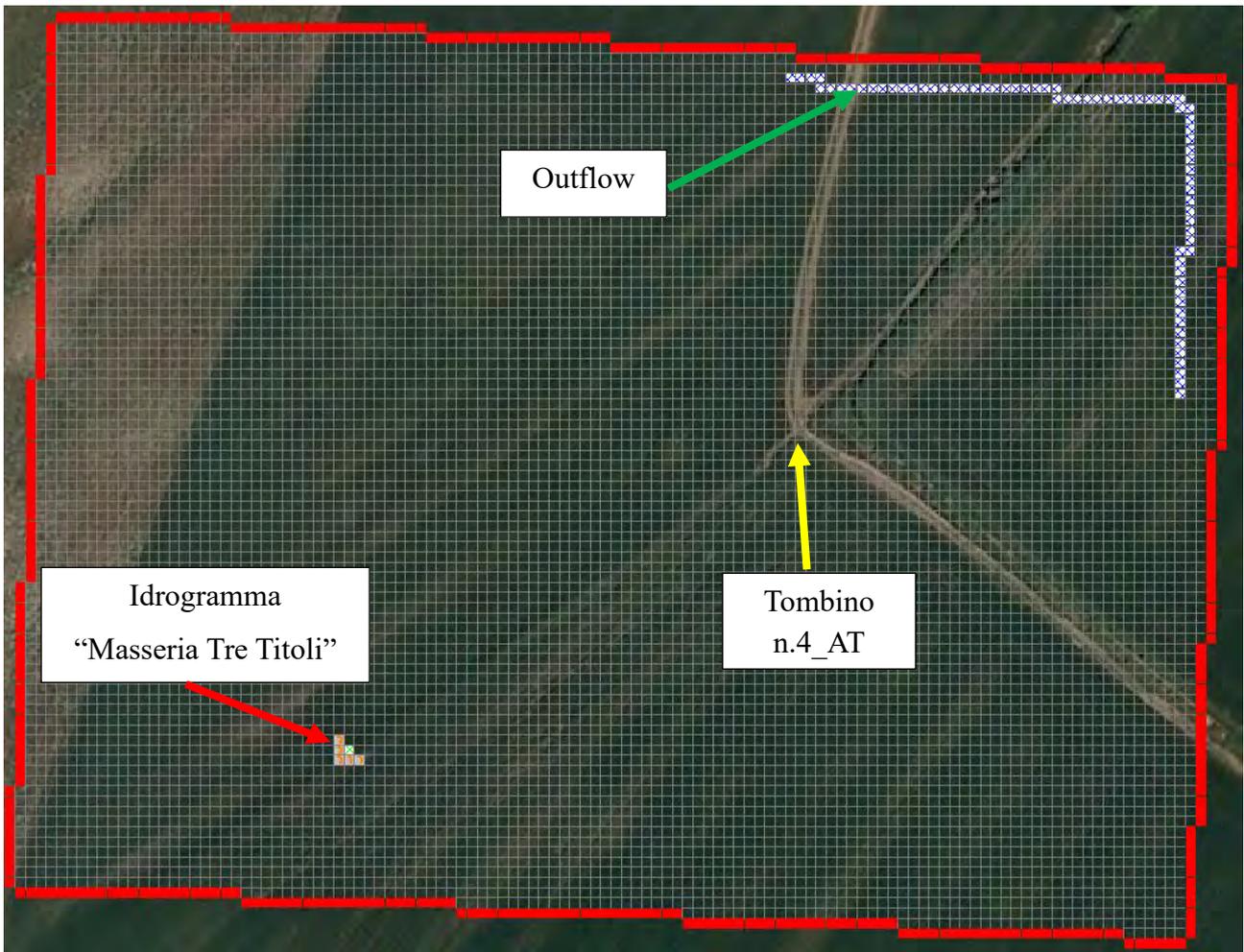


Figura 5.3.1: Dominio di calcolo del modello A

Di seguito, si riporta la documentazione fotografica del tombino idraulico rilevato nell'area di studio.



Figura 5.3.2: Documentazione fotografica - Tombino n.4_AT

5.3.1. Risultati della simulazione del modello idraulico A

La definizione delle aree inondabili relative alla piena bicentenaria ha permesso la stima dei parametri idrodinamici, utilizzati nell'analisi dei fenomeni erosivi, definita al capitolo successivo della presente relazione.

Di seguito, si propone una rappresentazione grafica delle aree allagabili definite per un tempo di ritorno di 200 anni (Figura 5.3.1.1 e Allegato1B).



Figura 5.3.1.1: Aree inondabili per $T=200$ anni del modello A

5.4. Modello B

Il modello idraulico “B” ha riguardato la definizione delle aree allagabili relative alla piena bicentenaria per il reticolo idrografico afferente alle interferenze n.1-F, n.2-F, n.3-F, n.4-F e n.5-F, relative al cavidotto AT.

L’applicazione del modello idraulico ha visto preliminarmente la definizione del modello digitale del terreno con riferimento all’area in esame.

Per detta fase ci si è avvalsi della cartografia LIDAR con risoluzione 1m e di un rilievo di dettaglio dei tombini idraulici presenti nell’area, In questo modo, è stato possibile definire un modello con celle di calcolo aventi dimensioni 3 m x 3m. Tale griglia ha permesso la ricostruzione dettagliata dello stato dei luoghi nella simulazione bidimensionale.

Definito il dominio computazionale è stata ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l’impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

In particolare, si è fatto ricorso alle seguenti funzioni:

- *In condition*: per assegnare l’idrogramma di piena di piena calcolato in precedenza, dividendo il colmo in più celle per rispettare i parametri di stabilità numerica del software.
- *Out Condition*: per definire le celle attraverso cui può avvenire il deflusso al di fuori del dominio computazionale.
- *Hydraulic Structures*: per simulare la presenza dei tombini idraulici.

A vantaggio di sicurezza, i valori di scabrezza sono stati assunti pari a $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ per tutte le aree interne al dominio di studio (terreno e strade).

Nel modello sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena, definiti nel dettaglio all’elaborato *PG2_REL_IDR_009 Relazione Idrologica*.

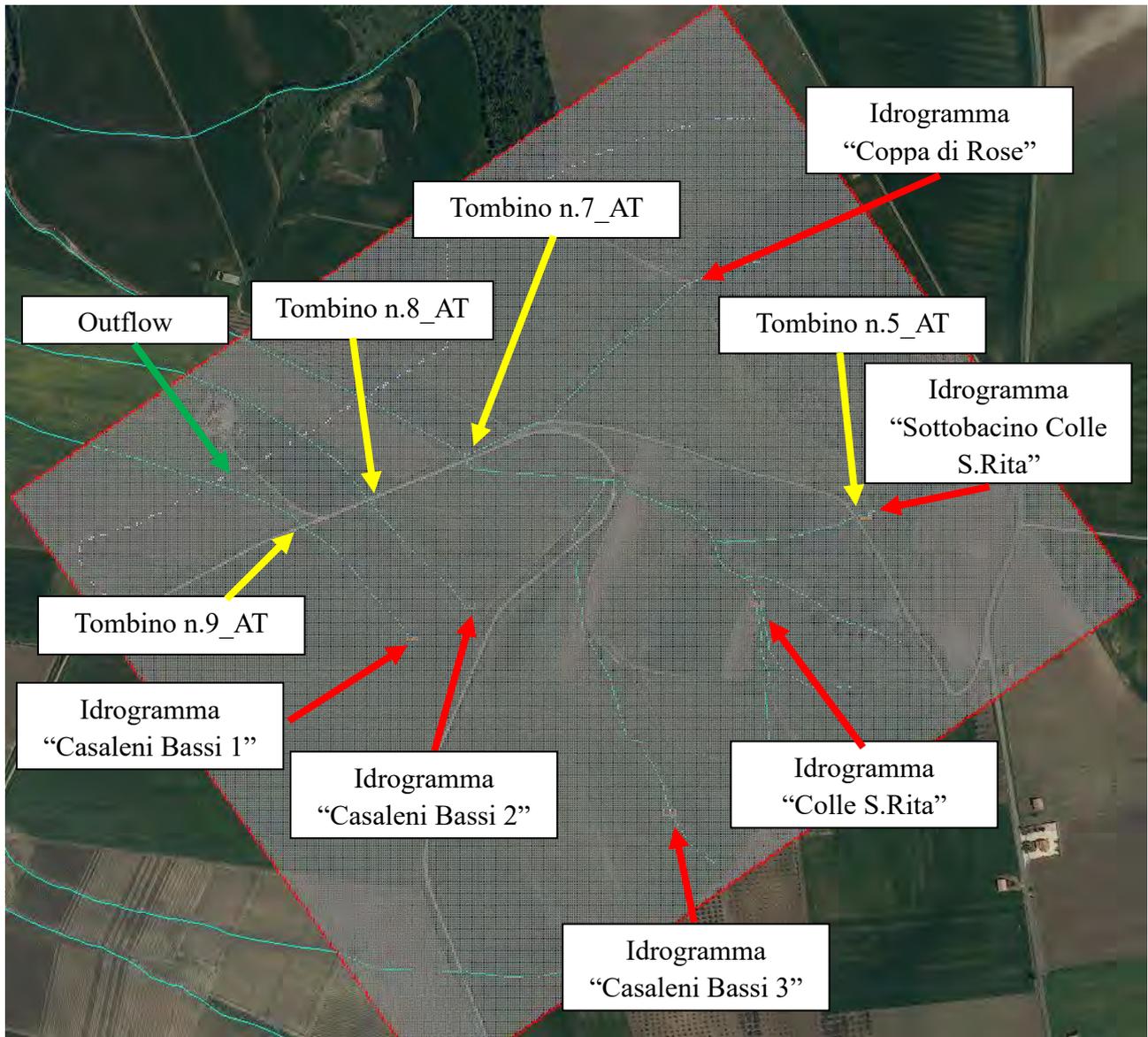


Figura 5.4.1: Dominio di calcolo del modello B

Di seguito, si riporta la documentazione fotografica dei tombini idraulici rilevati nell'area di studio:



Figura 5.4.2: Documentazione fotografica - Tombino n.5_AT



Figura 5.4.3: Documentazione fotografica - Tombino n.7_AT



Figura 5.4.4: Documentazione fotografica - Tombino n.8_AT



Figura 5.4.5: Documentazione fotografica - Tombino n.9_AT

5.4.1. Risultati della simulazione del modello idraulico B

La definizione delle aree inondabili relative alla piena bicentenaria ha permesso la stima dei parametri idrodinamici, utilizzati nell'analisi dei fenomeni erosivi, definita al capitolo successivo della presente relazione.

Di seguito, si propone una rappresentazione grafica delle aree allagabili definite per un tempo di ritorno di 200 anni (Figura 5.4.1.1 e Allegato 1B).



Figura 5.4.1.1: Aree inondabili per $T=200$ anni del modello B

5.5. Modello Fortore

Il modello idraulico “Fortore” ha riguardato la definizione delle aree allagabili relative alla piena bicentenaria per il reticolo idrografico afferente alla interferenza n.6-F, relativa al cavidotto AT.

L'applicazione del modello idraulico ha visto preliminarmente la definizione del modello digitale del terreno con riferimento all'area in esame.

Per detta fase ci si è avvalsi della cartografia LIDAR con risoluzione 1m e di un rilievo di dettaglio degli attraversamenti presenti nell'area.

In questo modo è stato possibile definire un modello con celle di calcolo aventi dimensioni 15 m x 15m. Tale griglia ha permesso la ricostruzione dettagliata dello stato dei luoghi nella simulazione bidimensionale.

Definito il dominio computazionale è stata ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

In particolare, si è fatto ricorso alle seguenti funzioni:

- *In condition*: per assegnare l'idrogramma di piena di piena calcolato in precedenza, dividendo il colmo in più celle per rispettare i parametri di stabilità numerica del software.
- *Out Condition*: per definire le celle attraverso cui può avvenire il deflusso al di fuori del dominio computazionale.
- *Hydraulic Structures*: per simulare la presenza dei ponti sul Fiume Fortore.

A vantaggio di sicurezza, i valori di scabrezza sono stati assunti pari a $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ per tutte le aree interne al dominio di studio (terreno e strade).

Nel modello sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena, definiti nel dettaglio all'elaborato *PG2_REL_IDR_009 Relazione Idrologica*.

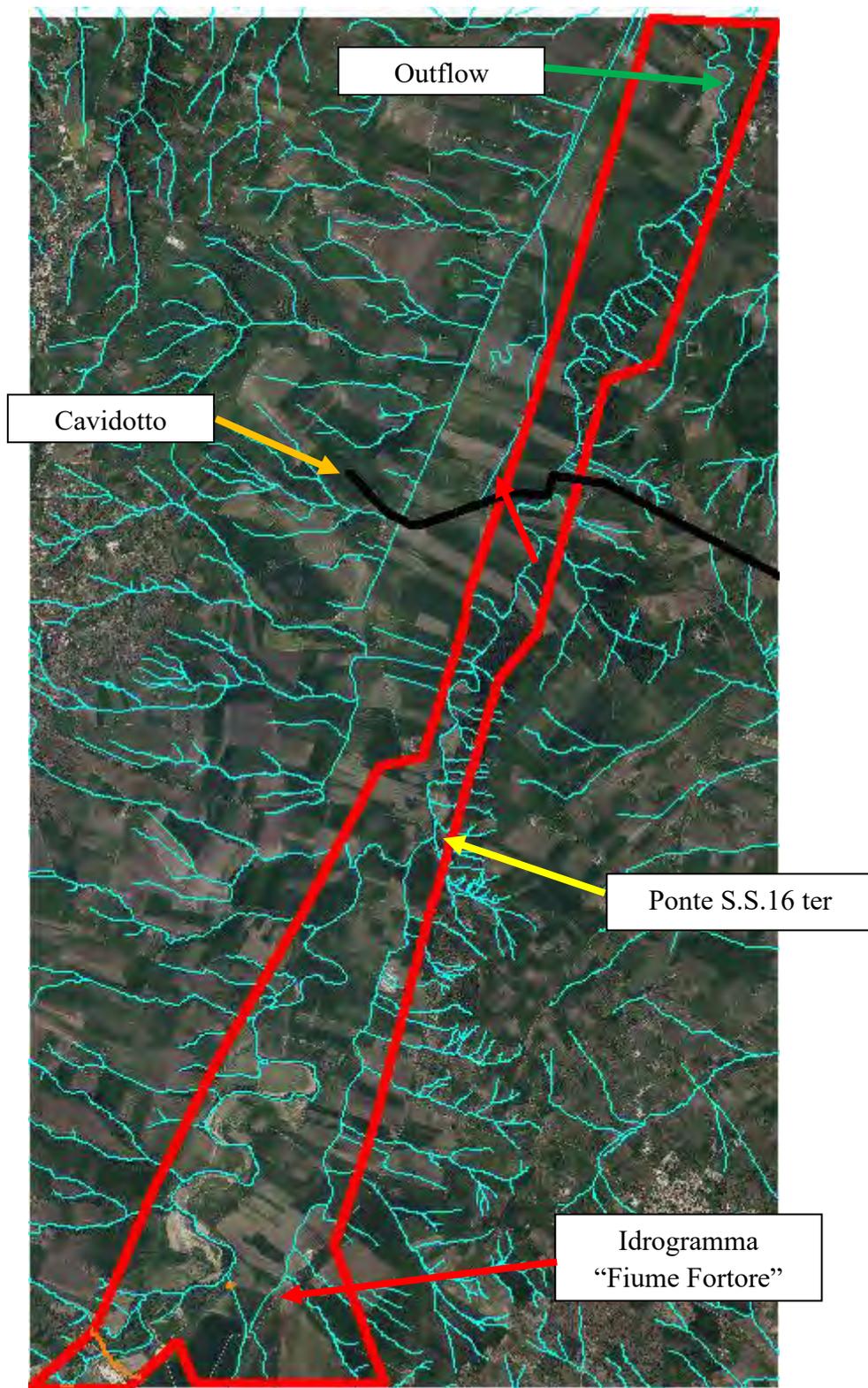


Figura 5.5.1: Dominio di calcolo del modello Fortore

5.5.1. Risultati della simulazione del modello idraulico Fortore

La definizione delle aree inondabili relative alla piena bicentenaria ha permesso la stima dei parametri idrodinamici, utilizzati nell'analisi dei fenomeni erosivi, definita al capitolo successivo della presente relazione.

Di seguito, si propone una rappresentazione grafica delle aree allagabili definite per un tempo di ritorno di 200 anni (Figura 5.5.1.1 e Allegato 1C).



Figura 5.5.1.1: Aree inondabili per $T=200$ anni del modello Fortore

5.6. Modello C

Il modello idraulico “C” ha riguardato la definizione delle aree allagabili relative alla piena bicentenaria per il reticolo idrografico afferente all’interferenza n.7-F, relativa al cavidotto AT.

L’applicazione del modello idraulico ha visto preliminarmente la definizione del modello digitale del terreno con riferimento all’area in esame.

Per detta fase ci si è avvalsi della cartografia LIDAR con risoluzione 1m e di un rilievo di dettaglio dei tombini idraulici presenti nell’area, In questo modo, è stato possibile definire un modello con celle di calcolo aventi dimensioni 5 m x 5m. Tale griglia ha permesso la ricostruzione dettagliata dello stato dei luoghi nella simulazione bidimensionale.

Definito il dominio computazionale è stata ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l’impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

In particolare, si è fatto ricorso alle seguenti funzioni:

- *In condition*: per assegnare l’idrogramma di piena di piena calcolato in precedenza, dividendo il colmo in più celle per rispettare i parametri di stabilità numerica del software.
- *Out Condition*: per definire le celle attraverso cui può avvenire il deflusso al di fuori del dominio computazionale.
- *Hydraulic Structures*: per simulare la presenza dei tombini idraulici.

A vantaggio di sicurezza, i valori di scabrezza sono stati assunti pari a $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ per tutte le aree interne al dominio di studio (terreno e strade).

Nel modello sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena, definiti nel dettaglio all’elaborato *PG2_REL_IDR_009 Relazione Idrologica*.

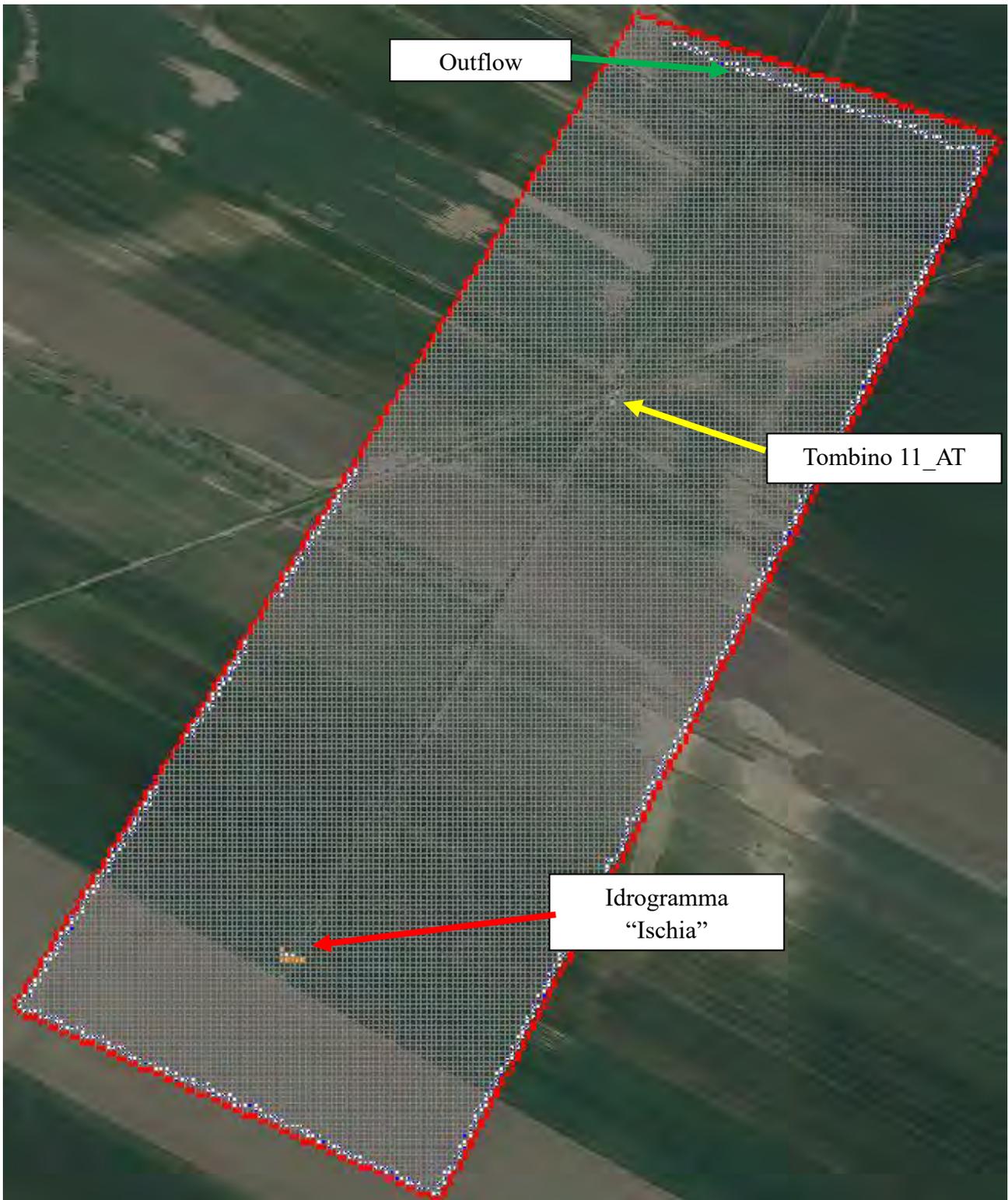


Figura 5.6.1: Dominio di calcolo del modello C

5.6.1. Risultati della simulazione del modello idraulico C

La definizione delle aree inondabili relative alla piena bicentenaria ha permesso la stima dei parametri idrodinamici, utilizzati nell'analisi dei fenomeni erosivi, definita al capitolo successivo della presente relazione.



Figura 5.6.1.1: Aree inondabili per $T=200$ anni del modello C

5.7. Modello D

Il modello idraulico “D” ha riguardato la definizione delle aree allagabili relative alla piena bicentenaria per il reticolo idrografico afferente alle interferenze n.8-F e 9-F, relative al cavidotto AT.

L’applicazione del modello idraulico ha visto preliminarmente la definizione del modello digitale del terreno con riferimento all’area in esame.

Per detta fase ci si è avvalsi della cartografia LIDAR con risoluzione 1m e di un rilievo di dettaglio dei tombini idraulici presenti nell’area, In questo modo, è stato possibile definire un modello con celle di calcolo aventi dimensioni 5 m x 5m. Tale griglia ha permesso la ricostruzione dettagliata dello stato dei luoghi nella simulazione bidimensionale.

Definito il dominio computazionale è stata ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l’impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

In particolare, si è fatto ricorso alle seguenti funzioni:

- *In condition*: per assegnare l’idrogramma di piena di piena calcolato in precedenza, dividendo il colmo in più celle per rispettare i parametri di stabilità numerica del software.
- *Out Condition*: per definire le celle attraverso cui può avvenire il deflusso al di fuori del dominio computazionale.
- *Hydraulic Structures*: per simulare la presenza dei tombini idraulici.

A vantaggio di sicurezza, i valori di scabrezza sono stati assunti pari a $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ per tutte le aree interne al dominio di studio (terreno e strade).

Nel modello sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena, definiti nel dettaglio all’elaborato *PG2_REL_IDR_009 Relazione Idrologica*.

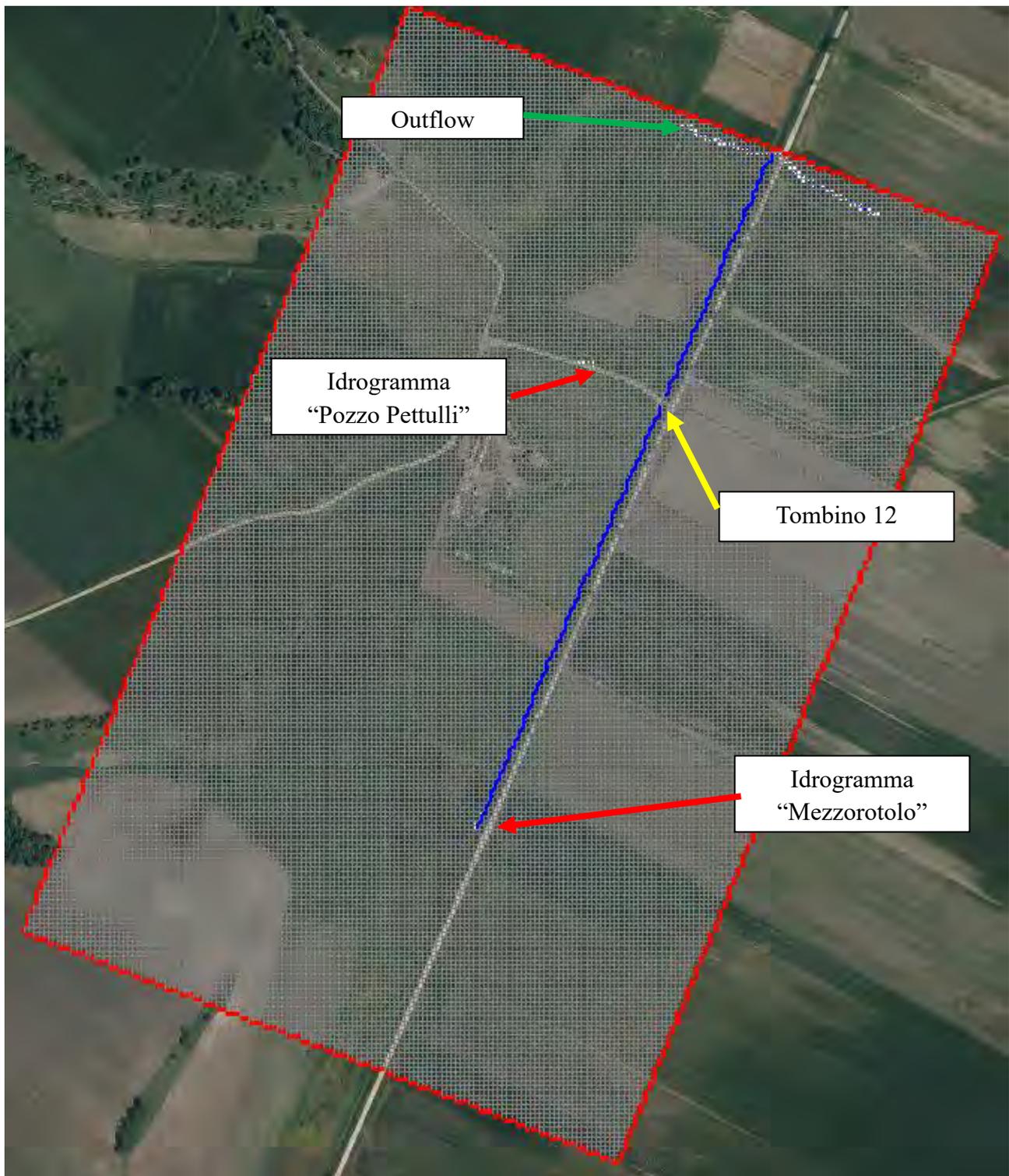


Figura 5.7.1: Dominio di calcolo del modello D

5.7.1. Risultati della simulazione del modello idraulico D

La definizione delle aree inondabili relative alla piena bicentenaria ha permesso la stima dei parametri idrodinamici, utilizzati nell'analisi dei fenomeni erosivi, definita al capitolo successivo della presente relazione.



Figura 5.7.1.1: Aree inondabili per T=200 anni del modello D

6. REALIZZAZIONE LINEA INTERRATA CON TECNICA NO DIG

Per quanto riguarda i cavidotti interrati la risoluzione delle interferenze con la viabilità stradale avverrà tramite tecnologia T.O.C. (Trivellazione Orizzontale Controllata), la quale permetterà l'infissione del cavo in profondità senza necessità di operare scavi a cielo aperto. Pertanto, si premette:

- i pozzetti di spinta saranno collocati al di fuori delle aree inondabili relative alla piena bicentenaria, definite al capitolo 5 della presente Relazione idraulica;
- il cavidotto prevede la posa di idoneo controtubo in PEAD;
- la profondità di posa del cavidotto è stata definita in maniera da preservare le condizioni di sicurezza avverso i fenomeni erosivi causati dal passaggio della piena bicentenaria. Di seguito si fornisce quantificazione della stessa.

6.1. Studio dei processi erosivi

In questo paragrafo si intende quantificare l'erosione causata al seguito del verificarsi di piene bicentinarie. Tale studio ha il fine di individuare, nel caso di un evento di piena, se il terreno è soggetto ad erosione e, nel caso lo fosse, ha il fine di definire, valutando l'entità del materiale mobilizzato dalla spinta idrodinamica dell'acqua, la profondità di posa dei cavidotti in interferenza con i reticoli idrografici, garantendo in tal modo la sicurezza degli stessi.

Attraverso lo studio descritto nel paragrafo di seguito sono state definite le distanze da rispettare tra il piano campagna e l'estradosso del cavidotto. L'interferenza analizzata riguarda il rilevato stradale interessato dalla posa del cavidotto di nuova realizzazione, il quale risulta soggetto ad inondazione per eventi bicentinari. Pertanto, si è effettuato uno studio dei fenomeni erosivi al fine di determinare, al verificarsi di un evento bicentenario di piena, la profondità massima di erosione. Tale profondità, come richiesto dall'AdB Distrettuale, dovrà essere incrementata di almeno un metro (franco di sicurezza).

Si sottolinea che le informazioni riguardanti i litotipi dell'area di studio sono state desunte dall'elaborato *PG2_REL_GEO_001 Relazione Geologica-Tecnica*

Riguardo l'assetto geologico del territorio, è stata ricostruita la seguente successione stratigrafica:

- da 0.00 m a 1.2 m Terreno vegetale
- da 1.2 m a 25.00 m Ghiaia in matrice sabbiosa e conglomerati;
- da 25.00 m a 40.00 m Sabbia limo argillosa giallastra;
- oltre 40.00m Argille marnose grigio azzurre

Il ridotto spessore del primo strato, unitamente alla profondità dei canali in oggetto, fanno ipotizzare cautelativamente che il processo erosivo si concentri prevalentemente nel secondo strato costituito da ghiaia in matrice sabbiosa e conglomerati.

Per quanto sopra detto, le verifiche sono state effettuate fissando un diametro caratteristico delle ghiaie sabbiose (d_{car}) pari a 6.0 mm, in linea con quanto riportato in letteratura tecnica. Inoltre, è stato usato un peso specifico del materiale molto basso (a vantaggio di sicurezza) per le ghiaie -sabbiose pari a $\gamma_s=1900 \text{ kg/m}^3$.

Sulla scorta di quanto stimato dai modelli idraulici, di seguito si propone un riepilogo dei principali parametri idrodinamici (tiranti, velocità e pendenza media), registrati in corrispondenza delle intersezioni con il cavidotto interrato in esame per la piena bicentenaria.

Interferenza cavidotti	Tiranti max [m]	Velocità max [m/s]	Pendenza [%]
4-P	0.20	1.11	0.029
5-P	1.08	1.22	0.034
6-P	1.25	1.21	0.040
10-P	1.43	2.22	0.049
1-F	1.74	2.31	0.061
2-F	0.48	2.69	0.100
3-F	2.42	3.96	0.044
4-F	0.15	0.72	0.051
5-F	0.18	0.84	0.164
6-F	6.38	2.01	0.026
7-F	0.44	0.47	0.013
8-F	1.75	1.73	0.028
9-F	1.67	2.06	0.040

Tabella 6.1.1- Parametri idrodinamici derivati dai modelli idraulici

Nella tabella seguente, si riporta il valore della spinta idrodinamica dell'acqua, riferite alla formula:

$$\tau = \gamma_{acqua} * i_{med} * h$$

Interferenza cavidotti	Spinta idrodinamica τ [kg/m²]
4-P	5.80
5-P	36.72
6-P	50.00
10-P	70.07
1-F	106.14

2-F	48.00
3-F	106.48
4-F	7.65
5-F	29.52
6-F	165.88
7-F	5.72
8-F	49.00
9-F	66.80

Tabella 6.1.2- Spinta idrodinamica della corrente in corrispondenza delle interferenze individuate

Per definire l'effettivo grado di erosione cui è soggetto il terreno interessato dall'evento di piena si è utilizzata la teoria di Shields. Tale teoria si basa sull'ipotesi che la spinta esercitata dalla corrente sulla particella solida sia proporzionale alla superficie investita, a sua volta funzione del diametro delle particelle solide, nonché sull'assunzione che la forza resistente dipenda esclusivamente dalla forma del terreno soggetto ad esondazione. A seguito di tale teoria è stato definito l'Abaco di Shields, nel quale è messo in relazione il parametro di Shields [Y_c] con il numero di Reynolds di attrito [Re^*]. Tale Abaco assume:

- un andamento lineare decrescente di Y_c per un [$Re^* < 1$] a flusso laminare;
- un andamento costante per [$Re^* > 400$] con [$Y_c = 0.056$] a flusso turbolento;
- un andamento non lineare di Y_c per un [$1 < Re^* < 400$] zona intermedia.

Il numero di Reynolds di attrito è definito a partire dalla relazione:

$$Re^* = \frac{\sqrt{\tau} * d_{car}}{\nu}$$

con ν la viscosità cinematica espressa in m^2/s e ρ la densità del fluido in kg/m^3 .

Interferenza cavidotti	Re* [-]
4-P	1419
5-P	3571
6-P	4168
10-P	4934
1-F	6072
2-F	4083
3-F	6082
4-F	1630
5-F	3202
6-F	7591
7-F	1410

8-F 4126

9-F 4817

Tabella 6.1.3- Valori del numero di Reynolds di attrito

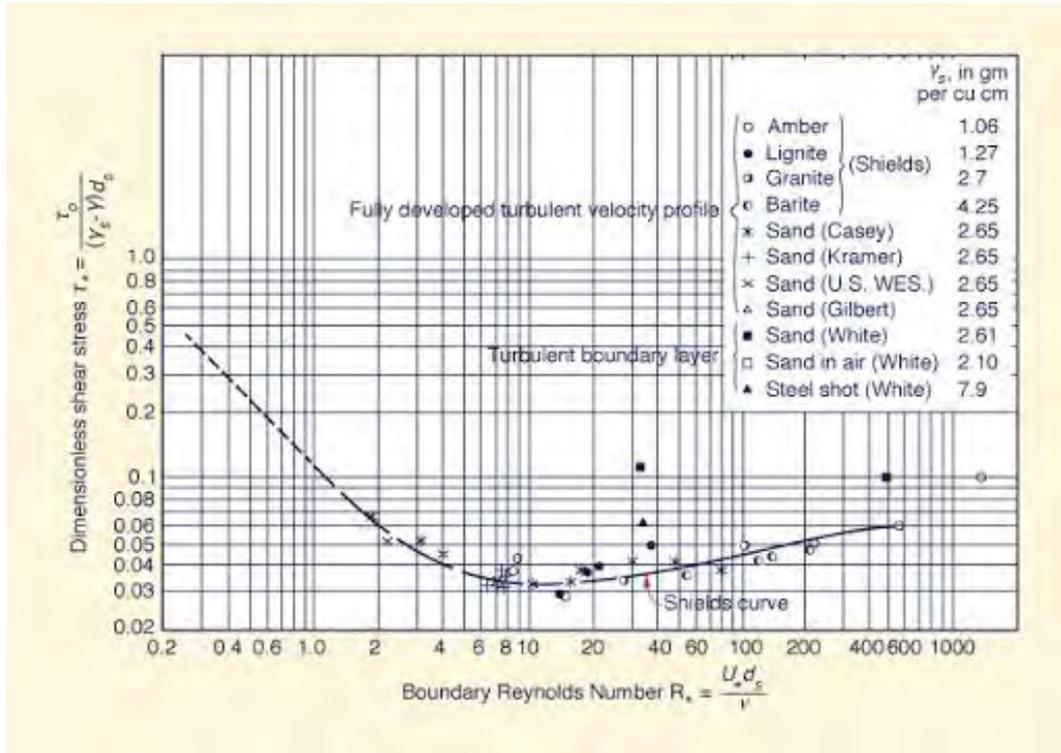


Figura 6.1.1 - Abaco di Shields

Nelle verifiche in oggetto i valori ottenuti si dispongono nella zona turbolenta, con parametro di Shields $[Y_c]$ costante.

Interferenza cavidotti	Y_c [-]
4-P	0.056
5-P	0.056
6-P	0.056
10-P	0.056
1-F	0.056
2-F	0.056
3-F	0.056
4-F	0.056
5-F	0.056
6-F	0.056
7-F	0.056
8-F	0.056
9-F	0.056

Tabella 6.1.4 Valori del parametro di Shields

Definito il parametro di Shields è possibile ricavare la tensione tangenziale di moto incipiente che rappresenta il valore limite delle resistenze del terreno, dopo di cui il materiale subisce erosione.

$$\tau_c = Y_c(\gamma - \gamma_{acqua})d_{car}$$

Interferenza cavidotti	τ_c [kg/m²]
4-P	0.1008
5-P	0.1008
6-P	0.1008
10-P	0.1008
1-F	0.1008
2-F	0.1008
3-F	0.1008
4-F	0.1008
5-F	0.1008
6-F	0.1008
7-F	0.1008
8-F	0.1008
9-F	0.1008

Tabella 6.1.5 Valori della tensione tangenziale di moto incipiente

Confrontando il valore di tensione tangenziale della spinta idrodinamica della corrente idrica nelle zone di esondazione con il valore di tensione tangenziale critica del moto incipiente, è evidente che il materiale nelle zone di esondazione è soggetto ad erosione.

Dopo aver dimostrato, al verificarsi di un'onda di piena con tempo di ritorno bicentenario, che le zone assoggettate ad esondazione sono soggette ad erosione, si quantifica il materiale eroso al fine di determinare la massima profondità a cui tale erosione può arrivare. A tal fine si utilizza lo studio di Du Boys, le cui equazioni mettono in conto l'eccesso di tensione tangenziale rispetto al valore critico [τ_c]. Il modello di trasporto proposto da Du Boys considera un volume avente lunghezza, nella direzione del fluido, ed una larghezza d'alveo unitaria. In questo modo è possibile definire la massima profondità raggiunta dall'effetto dell'erosione del terreno, definita come portata solida volumetrica. Al fine di definire detta portata solida volumetrica è necessario calcolare il parametro definito come coefficiente caratteristico del materiale secondo Du Boys (ψ), dedotto dalle esperienze di Zeller in funzione del diametro caratteristico del materiale e del suo peso per unità di volume.

$$\psi = \frac{1.8143}{\gamma * d_{car}^{0.7453}}$$

Interferenza cavidotti	ψ [m⁶/ (kg² s⁴)]
4-P	0.00025
5-P	0.00025
6-P	0.00025
10-P	0.00025
1-F	0.00025
2-F	0.00025
3-F	0.00025
4-F	0.00025
5-F	0.00025
6-F	0.00025
7-F	0.00025
8-F	0.00025
9-F	0.00025

Tabella 6.1.6 Valori del coefficiente caratteristico del materiale secondo Du Boys

La portata solida volumetrica (q_s) è definita dalla formula:

$$q_s = \psi\tau(\tau - \tau_c)$$

Interferenza cavidotti	q_s [m²/s]
4-P	0.0080
5-P	0.3359
6-P	0.6242
10-P	1.2280
1-F	2.8217
2-F	0.5751
3-F	2.8399
4-F	0.0141
5-F	0.2167
6-F	6.8991
7-F	0.0078
8-F	0.5994
9-F	1.1158

Tabella 6.1.7 Valori della portata solida volumetrica

Per passare dalla portata solida volumetrica alla quantità di materiale eroso, si fa riferimento ad una velocità media del fluido in m/s, desunta dalle simulazioni effettuate; il modello utilizzato da Du Boys considera un volume di osservazione avente lunghezza e larghezza unitaria; pertanto, l'unica incognita (X) è rappresentata dalla profondità. Di seguito la relazione per la stima del volume del materiale solido con il modello di Du Boys

$$V_{mat.solido} = lunghezza * larg * prof = 1 * 1 * X = X m^3$$

È necessario sottolineare alcune delle assunzioni del modello, ossia che:

- il materiale solido a contatto con il fluido ne assume la stessa velocità;
- l'andamento della velocità con la profondità decresce linearmente, fino ad una profondità a cui il materiale solido non è soggetto ad erosione.

Quindi, la velocità del materiale solido eroso varia da quella del fluido al valor nullo. La relazione per il calcolo della velocità media del materiale solido trasportato con variazione lineare lungo la verticale è la seguente:

$$v_{media\ mat.solido} = \frac{v_{max} + v_{min}}{2} = \frac{v_{fluido} + 0}{2}$$

Interferenza cavidotti	$V_{Media, mat.solido}$ [m/s]
4-P	0.555
5-P	0.610
6-P	0.605
10-P	1.110
1-F	1.155
2-F	1.345
3-F	1.980
4-F	0.360
5-F	0.420
6-F	1.005
7-F	0.235
8-F	0.865
9-F	1.030

Tabella 6.1.8 Valori della velocità media del materiale solido trasportato

Partendo dalla portata solida volumetrica si può ricavare la profondità a cui il materiale è soggetto ad erosione (X):

$$q_s = v_{M\ mat.solido} * larg * prof = v_{M\ mat.solido} * 1 * X = v_{M\ mat.solido} * X \frac{m^3}{s}$$

$$X = \frac{q_s}{v_{M\ mat.solido}}$$

Interferenza cavidotti	Profondità erosione X [m]
4-P	0.01
5-P	0.55
6-P	1.03

10-P	1.11
1-F	2.44
2-F	0.43
3-F	1.43
4-F	0.04
5-F	0.52
6-F	6.86
7-F	0.03
8-F	0.69
9-F	1.08

Tabella 6.1.9 Valori della profondità massima di erosione in corrispondenza della piena bicentenaria

In base al modello di trasporto, sopra citato, la portata volumetrica è stata calcolata con una lunghezza e larghezza unitaria tale da rendere incognita solo la profondità del volume trasportato. Quest'ultima, dunque coinciderà con la profondità (in metri) della materia erosa.

Pertanto, si può stimare la "profondità suggerita" (X_s), ossia la massima erosione dal piano campagna già comprensiva del franco di sicurezza pari ad 1.00 metro, in linea con quanto richiesto dall'Autorità di Bacino della Puglia. Quindi è lecito definire il materiale al di sotto di tale profondità stabile e non soggetto ad alcun tipo di erosione.

$$X_s = X + 1.00 \text{ m}$$

Interferenza cavidotti	<i>Profondità erosione suggerita X_s</i>
	[m]
4-P	1.01
5-P	1.55
6-P	2.03
10-P	2.11
1-F	3.44
2-F	1.43
3-F	2.43
4-F	1.04
8-P	1.52
4-P	7.86
5-P	1.03
6-P	1.69
10-P	2.08

Tabella 6.1.10 Valori della profondità di posa suggerita

Si sottolinea che nello studio dei fenomeni erosivi condotto, si è ipotizzato il terreno di tipo monogranulare. La presenza, invece, di materiale più grossolano anche se in quantità minori, tende a fornire un effetto di schermatura sulle particelle fini. In considerazione di tale erosione selettiva sarebbe stato possibile introdurre parametri correttivi che in questa analisi sono stati omessi; di conseguenza, si ritiene che tale studio sia cautelativo in termini di sicurezza.

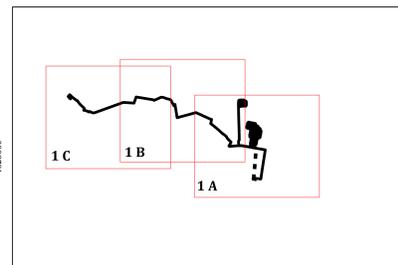
Allo scopo di proteggere il cavidotto si propone di rispettare una distanza tra fondo canale e generatrice superiore del cavidotto pari quanto riportato nella tabella seguente. In questi casi il cavidotto avrà opportuno controtubo.

Interferenza cavidotti	<i>Profondità posa cavidotto di progetto X_d</i>
	[m]
4-P	1.50
5-P	2.00
6-P	2.50
10-P	2.50
1-F	3.50
2-F	1.50
3-F	2.50
4-F	1.50
5-F	2.00
6-F	8.00
7-F	1.50
8-F	2.50
9-F	2.50

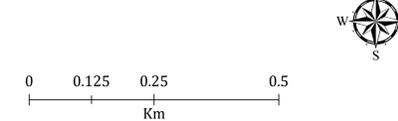
Tabella 6.1.11 Valori della profondità di posa di progetto

ALLEGATO 1A

- INTERVENTI IN PROGETTO
 - RETICOLO IDROGRAFICO DELLA CARTA IDROGEOMORFOLOGICA
 - DOMINIO COMPUTAZIONALE MODELLO N.2
 - DOMINIO COMPUTAZIONALE MODELLO N.5
- TIRANTI [m] - AREE INONDABILI MODELLO N.2
- 0.06 - 0.25
 - 0.26 - 0.50
 - 0.51 - 0.75
 - 0.76 - 1.01
 - 1.01 - 1.25
 - 1.26 - 1.50
 - + 1.50
- TIRANTI [m] - AREE INONDABILI MODELLO N.5
- 0.06 - 0.25
 - 0.26 - 0.50
 - 0.51 - 0.75
 - 0.76 - 1.00
 - 1.01 - 1.25
 - 1.26 - 1.50
 - + 1.50



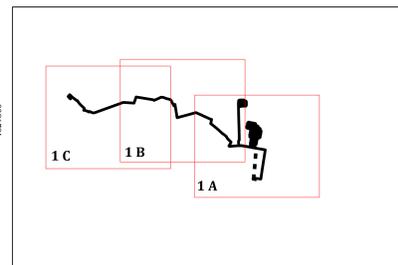
SISTEMA DI RIFERIMENTO: WGS 1984 - UTM ZONA 33N
BASE CARTOGRAFICA: ORTOFOTO 2019 AGEA DA SIT PUGLIA
SCALA: 1:5000



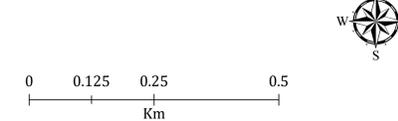
ALLEGATO 1B

- INTERVENTI IN PROGETTO
 - RETICOLO IDROGRAFICO DELLA CARTA IDROGEOLOGICA
 - DOMINIO COMPUTAZIONALE MODELLO A
 - DOMINIO COMPUTAZIONALE MODELLO B
- TIRANTI [m] - AREE INONDABILI MODELLO A
- 0.06 - 0.25
 - 0.26 - 0.50
 - 0.51 - 0.75
 - 0.76 - 1.01
 - 1.01 - 1.25
 - 1.26 - 1.50
 - + 1.50

- TIRANTI [m] - AREE INONDABILI MODELLO B
- 0.060 - 0.25
 - 0.26 - 0.50
 - 0.51 - 0.75
 - 0.76 - 1.00
 - 1.01 - 1.25
 - 1.26 - 1.50
 - + 1.50

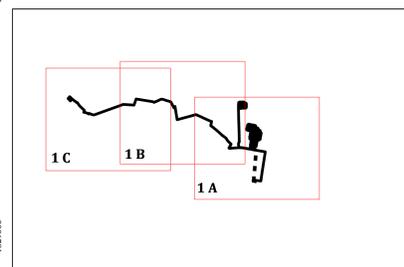


SISTEMA DI RIFERIMENTO: WGS 1984 - UTM ZONA 33N
BASE CARTOGRAFICA: ORTOFOTO 2019 AGEA DA SIT PUGLIA
SCALA: 1:5000

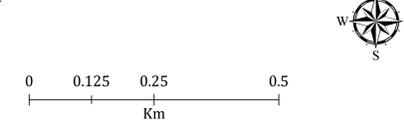


ALLEGATO 1C

- INTERVENTI IN PROGETTO
 - RETICOLO IDROGRAFICO DELLA CARTA IDROGEOMORFOLOGICA
 - DOMINIO COMPUTAZIONALE MODELLO C
 - DOMINIO COMPUTAZIONALE MODELLO D
 - DOMINIO COMPUTAZIONALE MODELLO FORTORE
- TIRANTI [m] - AREE INONDABILI MODELLO C**
- 0.060 - 0.250
 - 0.251 - 0.500
 - 0.501 - 0.750
 - 0.751 - 1.000
 - 1.001 - 1.250
 - 1.251 - 1.500
 - 1.501 - 2.478
- TIRANTI [m] - AREE INONDABILI MODELLO D**
- 0.060 - 0.250
 - 0.251 - 0.500
 - 0.501 - 0.750
 - 0.751 - 1.000
 - 1.001 - 1.250
 - 1.251 - 1.500
 - 1.501 - 2.478
- TIRANTI [m] - AREE INONDABILI MODELLO FORTORE**
- 0.06 - 0.25
 - 0.26 - 0.50
 - 0.51 - 1.00
 - 1.01 - 2.50
 - 2.51 - 5.00
 - 5.01 - 10.00
 - + 10.00



SISTEMA DI RIFERIMENTO: WGS 1984 - UTM ZONA 33N
BASE CARTOGRAFICA: ORTOFOTO 2019 AGEA DA SIT PUGLIA
SCALA: 1:5000



ALLEGATO 2A

- AdB DISTRETTUALE DELL'APPENNINO MERIDIONALE - UoM FORTORE
- RETICOLO IDROGRAFICO DELLA CARTA IDROGEOMORFOLOGICA
- INTERVENTI IN PROGETTO
- SCAVO MEDIANTE TECNOLOGIA T.O.C.

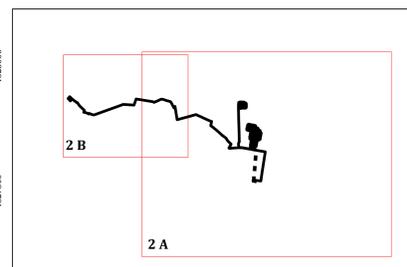


INTERFERENZA 10-P
POSA CON T.O.C.
LUNGHEZZA = 50.00m
PROFONDITA' = 2.50m

INTERFERENZA 4-P
POSA CON T.O.C.
LUNGHEZZA = 250.00m
PROFONDITA' = 1.50m

INTERFERENZA 6-P
POSA CON T.O.C.
LUNGHEZZA = 100.00m
PROFONDITA' = 2.50m

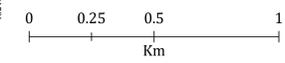
INTERFERENZA 5-P
POSA CON T.O.C.
LUNGHEZZA = 100.00m
PROFONDITA' = 2.00m



SISTEMA DI RIFERIMENTO: WGS 1984 - UTM ZONA 33N

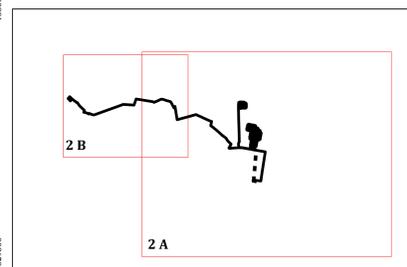
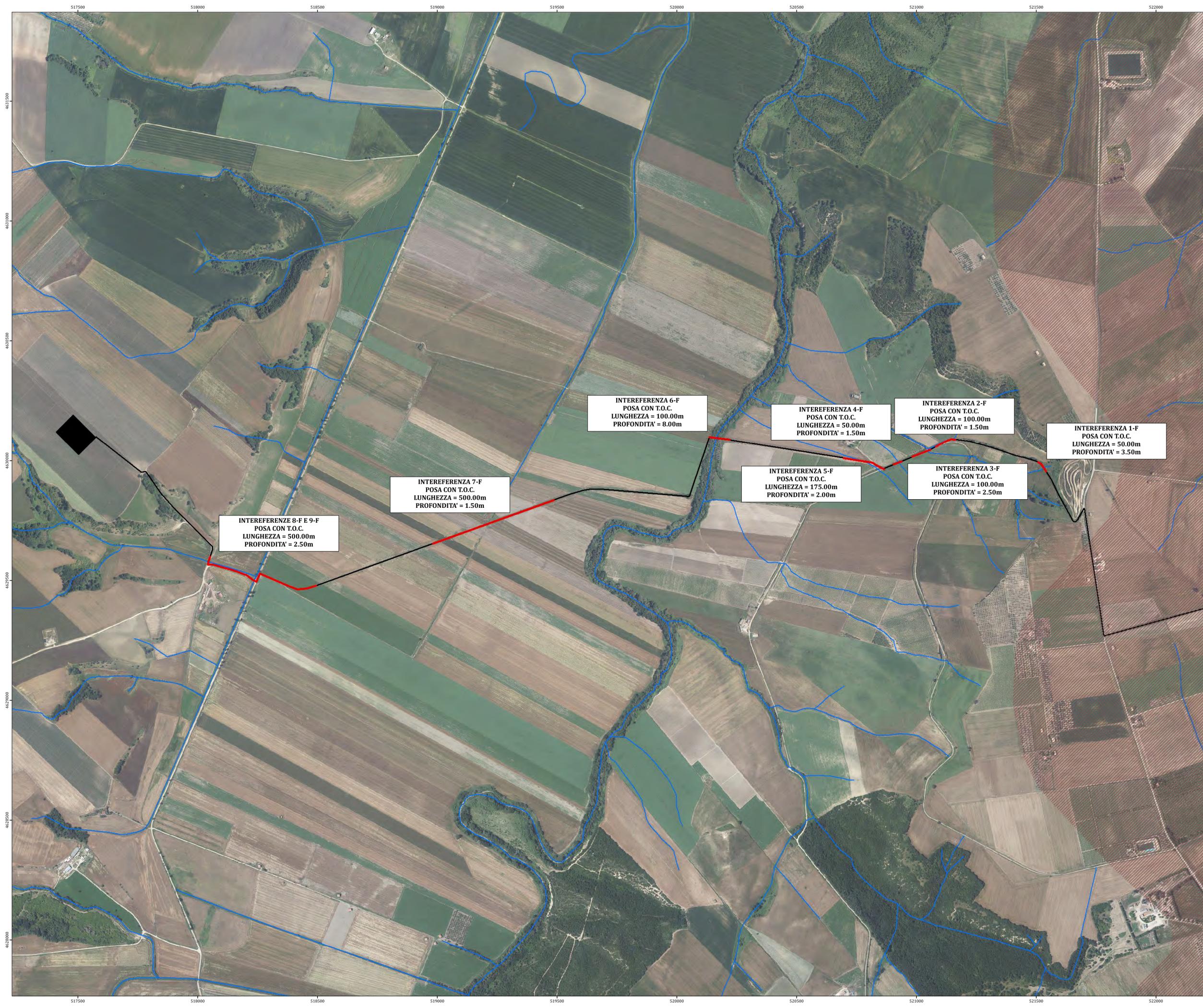
BASE CARTOGRAFICA: ORTOFOTO 2019 AGEA DA SIT PUGLIA

SCALA: 1:10000



ALLEGATO 2B

- AdB DISTRETTUALE DELL'APPENNINO MERIDIONALE - UoM PUGLIA
- RETICOLO IDROGRAFICO DELLA CARTA IDROGEOMORFOLOGICA
- INTERVENTI IN PROGETTO
- SCAVO MEDIANTE TECNOLOGIA T.O.C.



SISTEMA DI RIFERIMENTO: WGS 1984 - UTM ZONA 33N

BASE CARTOGRAFICA: ORTOFOTO 2019 AGEA DA SIT PUGLIA

SCALA: 1:5000

