



Soggetto promotore: **Gruppo Marseglia**

Soggetto proponente: **Masserie Salentine S.r.l. Società Agricola** (componente agricola)

Soggetto proponente: **Energetica Salentina S.r.l.** (componente fotovoltaica)

IMPIANTO AGRIVOLTAICO

SITO NEI COMUNI DI NARDÒ, SALICE SALENTINO E VEGLIE
IN PROVINCIA DI LECCE

Valutazione di Impatto Ambientale

(artt. 23-24-25 del D.Lgs. 152/2006)

Commissione Tecnica PNRR-PNIEC

(art. 17 del D.L. 77/2021, convertito in L. 108/2021)

Idea progettuale e coordinamento generale: **AG Advisory S.r.l.**

Paesaggio e supervisione generale: **CRETA S.r.l.**

Programma di ricerca "Paesaggi del Futuro", Responsabili scientifici: **Prof. Arch. Paolo Mellano, Prof.ssa Arch. Elena Vigliocco** (Politecnico di Torino)

Programma di ricerca "Ottimizzazione dell'agrivoltaico con oliveti a siepe: analisi numerico matematica", Responsabili scientifici: **PhD Cristiano Tamborrino** (Università degli Studi di Bari), **PhD Elisa Gatto** (Biologa ambientale)

Postproduzione: **Galante – Menichini Architetti per AG Advisory S.r.l.**

Supporto grafico: **Heriscape Progetti S.r.l. STP per AG Advisory S.r.l.**

Progettisti:

Redazione Studio di Impatto Ambientale (SIA): **Arch. Sandra Vecchietti**
Arch. Filippo Boschi
Arch. Anna Trazzi
Arch. Jacopo Gianello

Contributi specialistici:

Acustica: **Ing. Massimo Rah**
Agronomia: **Dott. Agr. Barnaba Marinosci**
Approvvigionamento idrico: **Geol. Massimilian Brandi**
Archeologia: **Dott.ssa Caterina Polito**
Clima e PMA: **Dott.ssa Elisa Gatto**
Fauna: **Dott. Giacomo Marzano**
Geologia: **Geol. Pietro Pepe**
Idraulica: **Ing. Luigi Fanelli**
Rilievi: **Studio Tafuro**
Risparmio idrico: **Netafim Italia S.r.l.**
Vegetazione e microclima: **Dott. Leonardo Beccarisi**

Cartella
VIA_3/

Identificatore:
7_DOCSPEC12

Relazione idraulica

Descrizione Relazione idraulica

Nome del file:
7_DOCSPEC12.pdf

Tipologia
Relazione

Scala
-

Autori elaborato: Ing. Luigi Fanelli

Rev.	Data	Descrizione
00	18/03/24	Prima emissione
01		
02		

Spazio riservato agli Enti:

INDICE

1	PREMESSA	2
2	STATO DEI LUOGHI	3
2.1	Inquadramento geografico	3
2.2	IL PAI	4
3	IL PROGETTO	6
3.1	L'idea forza	6
3.2	L'intervento proposto	7
3.2.1	Il progetto agrivoltaico: le sue componenti sinergiche.....	8
3.2.2	Dati di sintesi dell'intervento proposto nella configurazione di agrivoltaico di base	9
3.2.3	Ulteriori elementi che caratterizzano il progetto	9
4	SINTESI ANALISI IDROLOGICA	11
5	ANALISI IDRAULICA	13
5.1	Teoria del modello numerico bidimensionale FLO2D	13
5.2	Scelta dei limiti di rappresentazione delle aree di allagamento	15
5.3	Costruzione del modello	16
5.4	Analisi dei risultati	17
6	INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA	21

INDICE Tabelle

Tab. 4.1	Altezze di pioggia al variare della durata e del tempo di ritorno	11
Tab. 4.2	Risultati dell'analisi idrologica.....	12

INDICE Figure

Fig. 2.1	Area di intervento	3
Fig. 2.2	Stralcio planimetrico su ortofoto Pericolosità idraulica	4
Fig. 2.3	Stralcio planimetrico su ortofoto pericolosità Geomorfologica.....	4
Fig. 2.4	Stralcio planimetrico su ortofoto Classi di Rischio	5
Fig. 4.1	Curve di pioggia.....	11
Fig. 5.1	Mappa dei massimi tiranti idrici Tr 30	17
Fig. 5.2	Mappa dei massimi tiranti idrici Tr 200	18
Fig. 5.3	Mappa dei massimi tiranti idrici Tr 500	18
Fig. 5.4	Planimetria aree inondabili.....	20
Fig. 6.1	Mappa dei tiranti idrici massimi a 200 anni stato fatto e interventi di sistemazione	22
Fig. 6.2	Sezione tipo canali deviatori di progetto	22
Fig. 6.3	Sezione tipo asta reticolo principale.....	23
Fig. 6.4	Sistemazione idraulica reticolo minore	23
Fig. 6.5	Aree inondabili stato di progetto su layout di impianto (vedi allegato).....	24

Codice	Titolo	Pag. 1 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

1 PREMESSA

L’oggetto dell’incarico, prevede la redazione di uno studio di compatibilità idrologica idraulica a supporto del Progetto di un parco agrivoltaico denominato “Borgo Monteruga” della potenza di picco di 291,33 MWp (con moduli fotovoltaici bifacciali da 600 W) e potenza nominale di 250 MWac, ed uno storage da 50 MW, da realizzarsi nei comuni di Nardò, Salice Salentino e Veglie in provincia di Lecce ed opere di connessione costituite da un cavidotto interrato su strada pubblica che collega l’impianto alla sottostazione sita nel comune di Erchie in provincia di Brindisi.

Le aree interessate risultano infatti caratterizzate dalla presenza di brevi tratti di reticolo idrografico e pertanto ai sensi dell’art. 6 delle NTA del PAI è sottoporre le stesse ad uno studio di compatibilità idraulica che ne definisca le perimetrazioni.

Nel presente documento e nei relativi elaborati grafici allegati vengono presentati i metodi di analisi adottati e gli esiti ottenuti.

Nel dettaglio, nei paragrafi che seguono oltre ad illustrare brevemente gli interventi in progetto e lo stato dei luoghi, si riportano i vari step seguiti e le fasi di sviluppo dello studio idraulico:

- Analisi idrologica per la definizione dei parametri idraulici (pioggia, portate, volumi) utili all’implementazione dei modelli di calcolo;
- Analisi idrauliche con modello bidimensionale FLO2D;
- Definizione delle aree inondabili.

Codice	Titolo	Pag. 2 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

2 STATO DEI LUOGHI

2.1 Inquadramento geografico

L'area interessata dagli interventi ricade parzialmente nei territori dei comuni di Nardò, Veglie e Salice Salentino, tutti in provincia di Lecce. L'area è attraversata da Nord a Sud, dalla strada Provinciale 109, incrociando anche la strada provinciale 111. L'estensione totale dell'area esaminata è pari a circa 640 Ha.



Fig. 2.1 Area di intervento

Morfologicamente Il territorio in esame si presenta prevalentemente pianeggiante con quote variabili tra 90 m s.l.m. e 60 m s.l.m. e risulta caratterizzato dalla presenza di diverse depressioni morfologiche poco estese tipiche del paesaggio del luogo, che costituiscono tipicamente il recapito finale dei deflussi superficiali.

Codice	Titolo	Pag. 3 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

2.2 IL PAI

Secondo l'analisi della carta idrogeomorfologica, le aree interessate sono caratterizzate dalla presenza di brevi tratti di reticolo idrografico.

Dalla consultazione delle perimetrazioni relative alla pericolosità idraulica oggi vigenti (vedi Fig. 2.2 – fonte <http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>) l'area oggetto di studio risulta parzialmente studiata.



Fig. 2.2 Stralcio planimetrico su ortofoto Pericolosità idraulica

Relativamente alla pericolosità geomorfologica dall'analisi è merso che l'area oggetto di studio non è interessata da alcun vincolo come si evince dalla figura seguente.

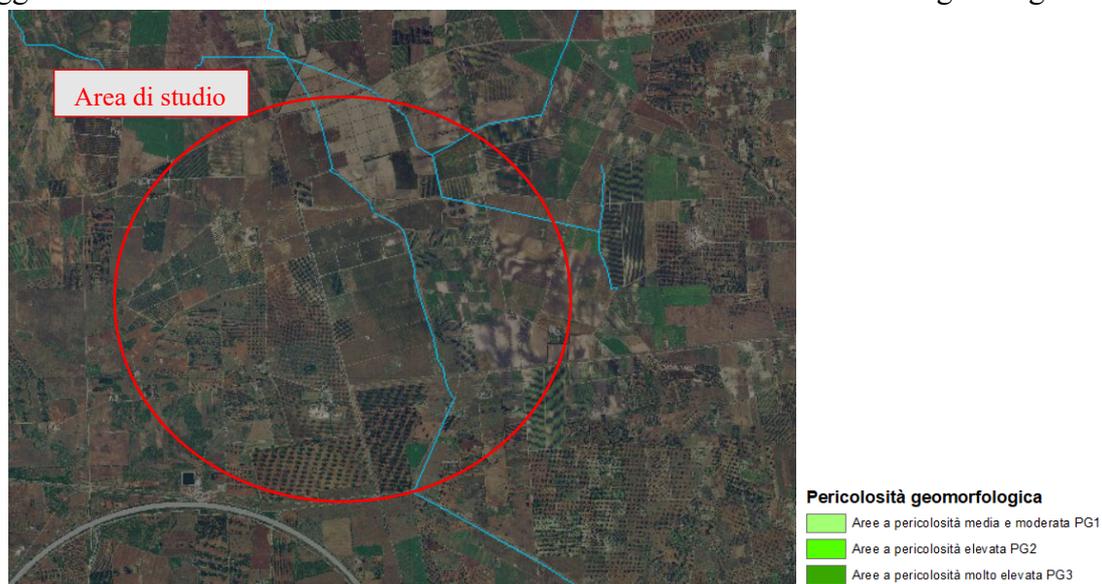


Fig. 2.3 Stralcio planimetrico su ortofoto pericolosità Geomorfologica

Codice	Titolo	Pag. 4 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

Relativamente alla pericolosità geomorfologica dall’analisi è merso che per l’area oggetto di studio è sono state definite delle classi di rischio moderato e medio in corrispondenza delle aree interessate dalla pericolosità idraulica.

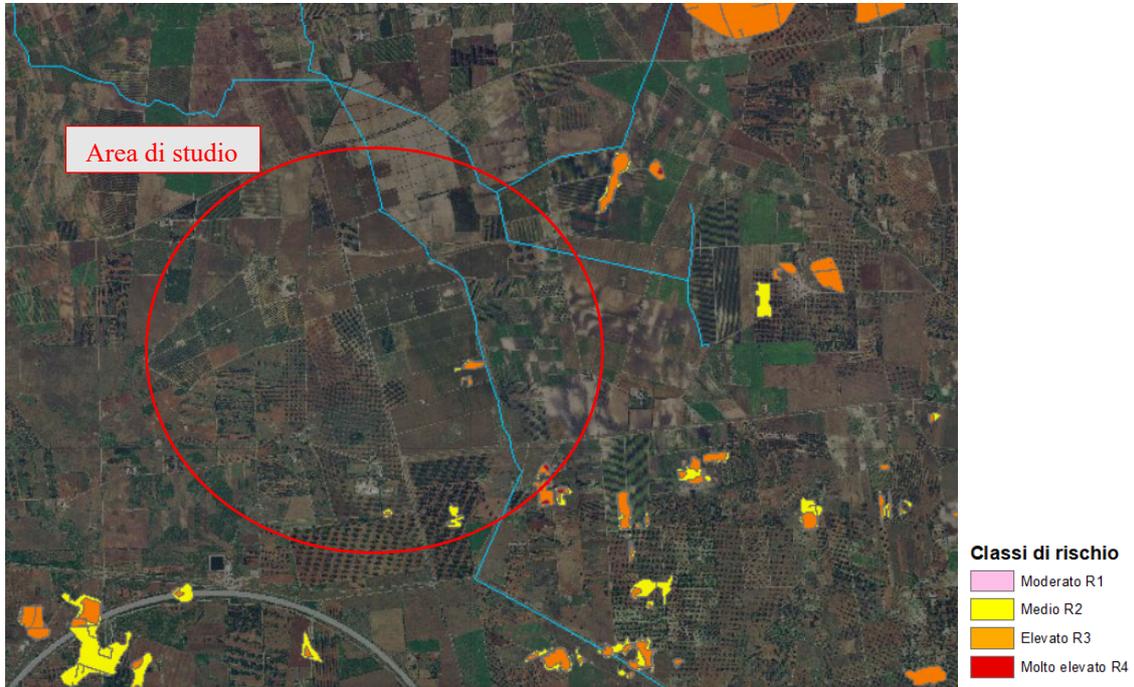


Fig. 2.4 Stralcio planimetrico su ortofoto Classi di Rischio

Codice	Titolo	Pag. 5 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

3 IL PROGETTO

3.1 L’idea forza

Il progetto consiste nella realizzazione di un intervento volto a dimostrare nuove modalità di rigenerazione sostenibile dell’agricoltura dei territori colpiti dal complesso del disseccamento rapido dell’olivo, probabilmente la peggior emergenza fitosanitaria al mondo, causata dal batterio *Xylella fastidiosa* ssp. *pauca*. Si tratta della progettazione e realizzazione di un “Parco agrivoltaico”, uno spazio in cui la funzione di generazione energetica da fotovoltaico e quella agricola (integrate in maniera sinergica nell’approccio agrivoltaico) convivono con la fruizione di tale spazio da parte dei cittadini e favoriscono attività ricreative e comunitarie.

La proposta nasce dalla necessità congiunta di ricostruire l’attività agricola nelle aree colpite da *Xylella fastidiosa* e di attivare una strategia agro-industriale incentrata sulle “green technologies” per supportare il perseguimento degli obiettivi legati alla transizione energetica.

Infatti, da un lato, vi sono gli ambiziosi obiettivi che, su scala europea e nazionale, impongono una drastica accelerazione della potenza installata con gli impianti a tecnologia fotovoltaica (considerata preminente nello scenario rappresentato dalle diverse fonti rinnovabili), dall’altro occorre garantire la ripresa della coltivazione dell’olivo, nei territori colpiti dal batterio, per quantità e qualità, che sappia reggere un confronto globalizzato sempre più competitivo, e che necessita di un incessante flusso d’innovazione tecnologica per potervi far fronte in modo efficace.

L’agrivoltaico, in questa chiave interpretativa, diviene un “volano” di sviluppo che agevola la “permeabilità” del sistema agricolo ad innovazioni che attengono al processo produttivo (automazione delle operazioni colturali, sistemi di supporto alle decisioni, impiego di sensoristica e big data, tecnologie ICT e IoT (*Internet of Things*), *precision farming*, ecc.) e che, al contempo, può costituire un’importante integrazione al reddito agricolo che, in tal modo, viene ad avvantaggiarsi di un effetto assai provvido di stabilizzazione a fronte delle scarse risorse finanziarie messe a disposizione dalla politica, chiaramente insufficienti a finanziare le attività per il conseguimento dell’obiettivo di rigenerazione agricola nel Salento.

L’obiettivo generale del progetto, stante la necessità di dimostrare le potenzialità offerte da questo approccio ancora innovativo e poco applicato, è di sperimentare le possibili integrazioni virtuose (tipologia delle colture e tipologie/*patterns* di impianti fotovoltaici) e definire approcci e modelli per la creazione e replicabilità di “parchi

Codice	Titolo	Pag. 6 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

agrivoltaici”, in cui la funzione energetica e agricola e la dimensione sociale (collettività) trovino una forma efficace e ripetibile.

Le aree agricole infette e attualmente non produttive dell’estensione di 587,51 ettari di proprietà della società Masserie Salentine S.r.l. Società Agricola, su cui insiste il Villaggio Monteruga, colpite da *Xylella fastidiosa* risultano, quindi, candidate a sperimentare sinergie tra diverse funzioni: quella agricola, quella di generazione energetica, e quelle delle comunità.

In riferimento al fotovoltaico, il processo di transizione energetica, che necessariamente comporta un percorso di trasformazione del paesaggio per l’introduzione di nuovi apparati tecnologici, deve essere opportunamente costruito mediante un approccio complesso che integri la tutela del paesaggio con la conservazione delle colture agricole, la generazione di energia da fotovoltaico e gli aspetti culturali del paesaggio stesso. L’impiego del fotovoltaico, per sua natura modulare e versatile in termine di design, offre la grande opportunità di favorire nuovi modelli impiantistici e approcci innovativi, in cui diverse istanze possono fondersi in un progetto efficace dal punto di vista ecologico. La risorsa “suolo” è particolarmente preziosa in un contesto, quello nazionale, in cui il consumo di suolo continua a crescere, nonostante gli obiettivi europei prevedano l’azzeramento del consumo di suolo netto. Inoltre, il concetto di “distanziamento” introdotto dalla pandemia COVID-19 comporta delle implicazioni che hanno delle conseguenze (dirette ed indirette) sull’uso dello spazio pubblico all’interno delle città. In particolare, la necessità di destinare degli spazi aperti all’interno dei confini urbani alle attività commerciali genera, lo si ribadisce, una spinta verso l’esterno della città di altre attività, soprattutto quelle ricreative, non direttamente legate al “consumo” di qualcosa.

In questo nuovo contesto, appare importante sperimentare nuovi modelli in cui le fonti rinnovabili, ed il fotovoltaico in particolare, possano essere utilizzate nella configurazione di nuove aree a servizio dei cittadini, in cui la generazione energetica, la rigenerazione dell’uso agricolo del suolo, e la fruizione da parte delle comunità, possano trovare una forma che rispetti anche le caratteristiche del paesaggio. Infine, l’approccio proposto consente anche di promuovere le cooperative agricole-energetiche e le comunità energetiche locali, quali garanti di multifunzionalità e di sostenibilità ecologica e culturale di nuovi impianti ed anche il coinvolgimento di reti esistenti per patto di ferro agricoltura sostenibile-energia rinnovabile.

3.2 L’intervento proposto

Il progetto del parco agrivoltaico “Borgo Monteruga” è volto alla realizzazione e messa in esercizio di un impianto agrivoltaico, che vede combinarsi della coltivazione di 965.754 mq (96,57 ha) di aree a seminativo e la messa a dimora di n. 110.590 piante appartenenti alla *cultivar* resistente FS-17 e di 1.492 piante appartenenti alla *cultivar*

Codice	Titolo	Pag. 7 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

tollerante Leccino. L’impianto fotovoltaico elevato da terra è caratterizzato da una potenza nominale 250,00 MWac e da una potenza di picco di 291,33 MWp (con moduli fotovoltaici bifacciali da 600 W), le opere di connessione sono costituite da un cavidotto interrato su strada pubblica che collega l’impianto alla sottostazione sita nel comune di Erchie in provincia di Brindisi.

3.2.1 Il progetto agrivoltaico: le sue componenti sinergiche

Il progetto agrivoltaico sito nei comuni di Nardò, Salice Salentino e Veglie, si basa su un innovativo modello produttivo integrato che, utilizzando le migliori e più avanzate tecnologie disponibili, intende raccogliere la sfida lanciata dalla filiera agroindustriale pugliese sul fronte dell’efficientamento produttivo, sfruttando una piena sinergia con la produzione di energia rinnovabile.

Due sono quindi le componenti in gioco che caratterizzano il progetto agrivoltaico, che complessivamente, consiste in:

Il progetto agricolo – si prefigura come una consociazione tra la coltura arborea dell’olivo ed un variegato ventaglio di essenze foraggere e officinali a rotazione ad elevato grado di meccanizzazione. È prevista la piantumazione di n. 110.590 piante appartenenti alla *cultivar* resistente FS-17 e di 1.492 piante appartenenti alla *cultivar* tollerante Leccino, tutte irrigate con sistema di sub-irrigazione. Nella configurazione di *agrivoltaico di base*, la componente di colture erbacee foraggere ed officinali si estenderà su un’area di 965.754 mq (96,57 ha), mentre nella configurazione di *agrivoltaico avanzato*, tale superficie aumenterà fino a 4.094.523,90 mq (409,45 ha) e comprenderà anche l’attività di allevamento apistico con la costituzione di un vero e proprio apiario di 60 arnie, le cui api potranno visitare le aree oggetto di mitigazione, ottimizzazione e compensazione, nonché le colture officinali stesse. I soggetti proponenti si riservano, ovviamente, la facoltà di valutare in futuro sia l’eventuale sostituzione della coltivazione dell’olivo con altre coltivazioni sia lo svolgimento dell’attività agricola anche sotto i moduli fotovoltaici, al fine di poter garantire, sempre ed in ogni momento, la sostenibilità economica dell’intervento, in relazione alla coltivazione delle superfici agricole sia tra le file dei moduli fotovoltaici sia al di sotto di essi;

L’impianto fotovoltaico – a supporto e integrazione della produzione agricola, che a questa si alterna sul terreno agricolo, della potenza nominale 250,00 MWac e con potenza di picco di 291,33 MWp (con moduli fotovoltaici bifacciali da 600 W), ottenuta dall’impiego di n. 485.548 moduli fotovoltaici bifacciali (Longi LR7-72HGD 585~620 W) da installare su strutture metalliche ad inseguimento di rollio (Est- Ovest) infisse a terra, costituite da inseguitori monoassiali disposti secondo l’asse nord-sud con un interasse di 9 m (distanza ottimale per le colture erbacee foraggere ed officinali) e 12 m (distanza ottimale

Codice	Titolo	Pag. 8 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

all'alternanza con la coltura olivo), per una estensione complessiva di 4.187.048,49 mq (418,70 ha).

La definizione della potenza effettiva dei moduli e il numero di moduli per ciascuna classe di potenza sarà confermata in fase d'ordine dei materiali:

MW _{ac}	Potenza disponibile in immissione impianto fotovoltaico.
250,00	

N. Moduli Tot.	W Modulo	MW _p	Tale potenza è riferita all'impianto di produzione, non al punto di connessione, ed è definita come la somma delle singole potenze di picco di ciascun modulo fotovoltaico facente parte dell'impianto, misurate alle condizioni nominali, come definite dalle rispettive norme di prodotto.
485.548	585	284,05	
485.548	600	291,33	
485.548	620	301,04	

Completano l'impianto fotovoltaico un cavidotto interrato di circa 11,41 km di lunghezza da realizzarsi prevalentemente su strada pubblica e la Stazione di utenza SU di nuova costruzione, connessi all'ampliamento della Stazione Elettrica RTN denominata "ERCHIE" nel comune di Erchie (BR).

3.2.2 Dati di sintesi dell'intervento proposto nella configurazione di agrivoltaico di base

Aree nelle disponibilità dei proponenti [mq]	5.875.112,00
Superficie impianto [mq]	4.187.048,49
Potenza [MW _p]	291,33
Area coltivata [mq]	3.809.911,34
Area moduli Fotovoltaici - Proiezione a terra [mq]	1.144.761,83
Superficie captante moduli Fotovoltaici [mq]	1.277.606,91
Pannelli Fotovoltaici [n]	485.548,00
Inverter [n]	67,00
Area viabilità interna [mq]	263.006,73
Cabina di campo [n]	67,00
Area Fascia di mitigazione [mq]	242.341,79
Lunghezza Cavidotto di collegamento tra impianto e SSE [m]	11.412,50
Indice di occupazione = area Pannelli /area a disposizione [%]	30,51%
Nuovo impianto di alberi di ulivo della varietà Favolosa Fs-17 [n]	110.590,00
Nuovo impianto di alberi di ulivo della varietà Leccino [n]	1.492,00
Aree coltivate a seminativo [mq]	965.754,00

3.2.3 Ulteriori elementi che caratterizzano il progetto

Il progetto:

- è localizzato in area agricola **infetta non produttiva e non intercetta vincoli paesaggistici o archeologici**, nonché in aree idonee;

Codice	Titolo	Pag. 9 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

- coniuga, **in linea con la normativa di riferimento e le più recenti tendenze regolamentari, l'attività di produzione di energia da fonti rinnovabili con l'attività agricola;**
- è caratterizzato da **imponenti misure di mitigazione** (tali da costituire un corridoio ecologico coerente con il contesto paesaggistico) e da **significative opere di ottimizzazione** (consistenti nel ripristino della componente ecologica e di paesaggio e nella sistemazione idraulica dell'intera area), tali opere avranno anche uno scopo produttivo, in quanto al servizio dell'apiario;
- prevede **innovative misure di compensazione e di riequilibrio ambientale e territoriale** (consistenti nel recupero di vecchi fabbricati rurali in stato di abbandono e degrado e nel ripristino ecologico di aree in stato di abbandono).

Codice	Titolo	Pag. 10 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

4 SINTESI ANALISI IDROLOGICA

Lo studio che si propone riguarda la stima dei parametri idraulici caratterizzanti gli eventi di piena per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

Si specifica che trattandosi di bacino endoreico la determinazione dei volumi di piena dell'infiltrazione e del conseguente ruscellamento superficiale è stata effettuata utilizzando sia il metodo del Soil Conservation Service che il metodo di Horton.

Nella seguente tabella e nella seguente figura, sono riportati i valori dell'altezza di pioggia calcolati, per ogni durata, in funzione del tempo di ritorno e la curva di possibilità climatica ad esso corrispondente.

Durata in ore (h)	Altezze di pioggia in mm per i tempi di ritorno in anni		
	30	200	500
1	64.65	86.92	100.28
3	87.30	117.81	136.16
6	101.86	135.90	156.21
12	118.27	157.80	181.38
24	129.10	170.30	194.67

Tab. 4.1 Altezze di pioggia al variare della durata e del tempo di ritorno

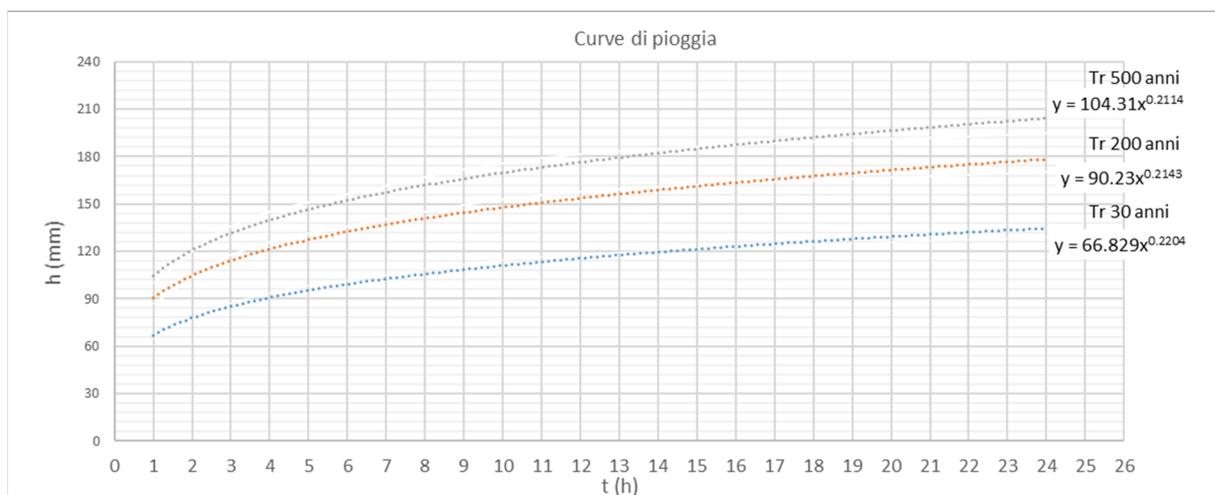


Fig. 4.1 Curve di pioggia

Data la natura endoreica del bacino idrografico in esame sono stati determinati, oltre alle portate massime, anche i massimi volumi. A tal fine per giungere alla valutazione del volume di deflusso e della relativa pioggia netta, al variare del tempo di ritorno, sono stati utilizzati il metodo del Soil Conservation Service noto come il metodo del CN SCS ed il metodo di Horton

Codice	Titolo	Pag. 11 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

Successivamente si sono confrontati i risultati ottenuti con i due metodi per determinare il massimo volume di piena per ogni bacino. Dal volume di piena, considerando l'estensione dei bacini e il loro tempo di corrivazione, è stata calcolata la pioggia netta utilizzata nelle simulazioni idrauliche.

Dal confronto è emerso che i volumi massimi di piena sono quelli ottenuti con il metodo SCS, pertanto, le successive valutazioni sono state condotte con riferimento ai risultati ottenuti con tale metodo.

Trattandosi di un bacino di tipo endoreico ed avendo l'esigenza di implementare modelli idraulici a parametri distribuiti è stato necessario ricavare il valore della pioggia netta per i tempi di ritorno considerati.

Nella tabella a seguire si riportano pertanto i valori di pioggia netta che caratterizzano il bacino al variare del tempo di ritorno.

t_c [h]	T_r [anni]	P_n [mm]
2.6	30	65
	200	93
	500	110

Tab. 4.2 Risultati dell'analisi idrologica

Codice	Titolo	Pag. 12 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

5 ANALISI IDRAULICA

Definito il valore delle altezze critiche di pioggia e dei volumi di piena, relativamente ai tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni, si è proceduto all'analisi idraulica.

L'analisi idraulica condotta è stata mirata primariamente alla ridefinizione dello stato di fatto ed all'individuazione delle criticità mediante l'osservazione delle direzioni preferenziali di deflusso e delle zone di accumulo. Successivamente, individuate le criticità, sono state studiate, in via preliminare, una serie di alternative progettuali, discusse nella relazione generale, mediante implementazione di ulteriori modelli idraulici al fine di valutare i benefici delle stesse in termini di riduzione della pericolosità idraulica del centro urbano.

Si precisa che, sia per lo stato di fatto, che per lo stato di progetto, è stato usato un approccio a parametri distribuiti mediante l'impiego del software FLO2D.

Attraverso l'applicazione del modello FLO2D sono state quindi calcolate le principali grandezze idrauliche, utili alla definizione della pericolosità quali: i tiranti idrici, le velocità di deflusso e l'estensione delle aree interessate dalla piena.

Occorre sottolineare ancora una volta che il territorio esaminato è caratterizzato dall'assenza di un reticolo idrografico superficiale sviluppato e facilmente individuabile e che l'abitato, ricade all'interno di un bacino endoreico che per sua natura è privo di emissari, pertanto, il volume idrico che non riesce ad infiltrarsi e che ruscella in superficie, si dirige ed accumula verso l'area più depressa dando origine ad allagamenti più o meno vasti in relazione all'entità dell'evento meteorico. Fatte salve queste considerazioni, legate strettamente alla natura morfologica del territorio, si specifica che le analisi idrauliche di seguito descritte sono state in una prima fase utili e necessarie per l'individuazione delle direzioni preferenziali di deflusso e quindi delle criticità ed in una seconda fase sono state utili alla definizione della pericolosità idraulica. Analizzando i risultati delle modellazioni, dall'andamento delle velocità è infatti possibile evidenziare le direzioni preferenziali di deflusso, in tal modo è possibile interpretare con maggior dettaglio il fenomeno dinamico dell'inondazione individuando le zone da cui ha origine il problema e di conseguenza le aree di intervento.

5.1 Teoria del modello numerico bidimensionale FLO2D

Il FLO-2D è un software per la modellazione idraulica bidimensionale utilizzato per diversi tipi di verifiche idrauliche come la propagazione delle piene anche quando siano interessate le golene, deflussi in zone non confinate, deflussi in aree urbane, trasformazione afflussi-deflussi, deflusso delle piene in aree costiere e colate fangose e detritiche.

Esso permette di simulare un'inondazione su una topografia complessa e con una data scabrezza basando il suo funzionamento sulla conservazione del volume, che è fondamentale per avere un'esatta distribuzione della piena.

Codice	Titolo	Pag. 13 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

Il modello usa l'equazione completa del moto di un'onda dinamica ed uno schema centrale alle differenze finite con otto potenziali direzioni di flusso per predire il procedere dell'idrogramma di piena su una griglia di elementi quadrati.

Questo software è 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 pluviometrica distribuita.

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.

Un programma GDS (grid developer system) genera il sistema a griglia ed assegna le quote. 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 di inondazione.

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 della conservazione del volume fluido, sia per un'inondazione di acqua sia per un flusso di sedimento.

Quindi le equazioni costitutive su cui si basa il modello sono:

1. l'equazione di continuità;

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

2. 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.

Codice	Titolo	Pag. 14 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

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: $S_0 \delta y / \delta x$ $V \delta V / g \delta x$ $\delta V / g \delta t$
- Grandezza (ft/mi): 26 0.5 0.12-0.25 0.05

dove S_0 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 ($S_0 = S_f$) 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 FLO-2D.

5.2 Scelta dei limiti di rappresentazione delle aree di allagamento

Le procedure esposte nei precedenti paragrafi hanno consentito di individuare le aree interessate dalle inondazioni relative alle piene aventi tempi di ritorno (30, 200 e 500 anni), e di determinare i parametri idraulici come i tiranti idrici e le velocità con cui è possibile valutare gli effetti delle onde di piena sul territorio punto per punto.

La determinazione dei parametri idraulici è l'elemento più importante per la definizione delle pericolosità idraulica, in quanto è bene sottolineare come la sola

Codice	Titolo	Pag. 15 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

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 il livello idrico, la velocità di scorrimento 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 un’elevata velocità di scorrimento e il secondo fosse quasi statico, potrebbe risultare più pericoloso il tirante inferiore.

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.

Allo scopo di circoscrivere la problematica dell’allagamento ed effettuare una corretta valutazione della pericolosità idraulica è opportuno valutare la stessa tenendo conto sia dei tiranti idrici che delle velocità, adottando dove possibile approcci suggeriti dall’Autorità di Bacino.

Nel presente studio si è preferito, cautelativamente, adottare il una condizione (filtro) (solitamente utilizzato dall’AdB Puglia.

$$h_{max} + \left(\frac{0,5}{1,3}\right) v_{max} > 0,2$$

Nel capitolo successivo si discutono le risultanze ottenute in termini di tiranti e di superfici inondabili.

5.3 Costruzione del modello

Il primo passo per l’implementazione del modello idraulico è la costruzione di una geometria mediante la definizione del modello digitale del terreno, per il quale, come detto in premessa, è stato utilizzato il rilievo Lidar effettuato nell’ambito di tale progettazione e messo a disposizioni dal committente.

Successivamente è stata creata una griglia di calcolo avente celle quadrate di lato pari a 8 metri; tale valore rappresenta il giusto compromesso tra il dettaglio dello studio e i tempi computazionali, ad ognuna delle celle costituenti la griglia di calcolo viene associata la quota del terreno che il sistema estrapola automaticamente dal modello digitale del terreno utilizzato.

A questo punto è necessario definire la porzione dalla griglia che costituisce il vero e proprio dominio di calcolo che verrà utilizzato nell’analisi bidimensionale.

Alla costruzione della geometria segue la definizione delle condizioni al contorno, per le quali sono state utilizzate le seguenti funzioni:

Codice	Titolo	Pag. 16 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

Outflow condition: definisce le celle attraverso cui può esserci deflusso in uscita dal dominio di calcolo, tale condizione è stata imposta a tutte le celle disposte lungo il perimetro del dominio di calcolo.

Rain: definisce la pioggia netta che incide sul bacino

Il valore della scabrezza è stato assunto pari a $0,04 \text{ s/m}^{1/3}$ per tutte le aree interne del dominio.

Si specifica che per tutti i modelli le simulazioni sono state condotte considerando un tempo di pioggia pari a 3 ore ed una durata totale pari a 12 h.

5.4 Analisi dei risultati

Una volta effettuate le tre simulazioni è possibile visualizzare i risultati ottenuti per ciascuna di esse in termini di tiranti idrici e velocità nella configurazione massima, minima e variabile nel tempo.

Nelle figure seguenti, estratte dal modello si riporta l'involuppo dei tiranti idrici massimi maggiori di 20 cm e delle massime velocità.

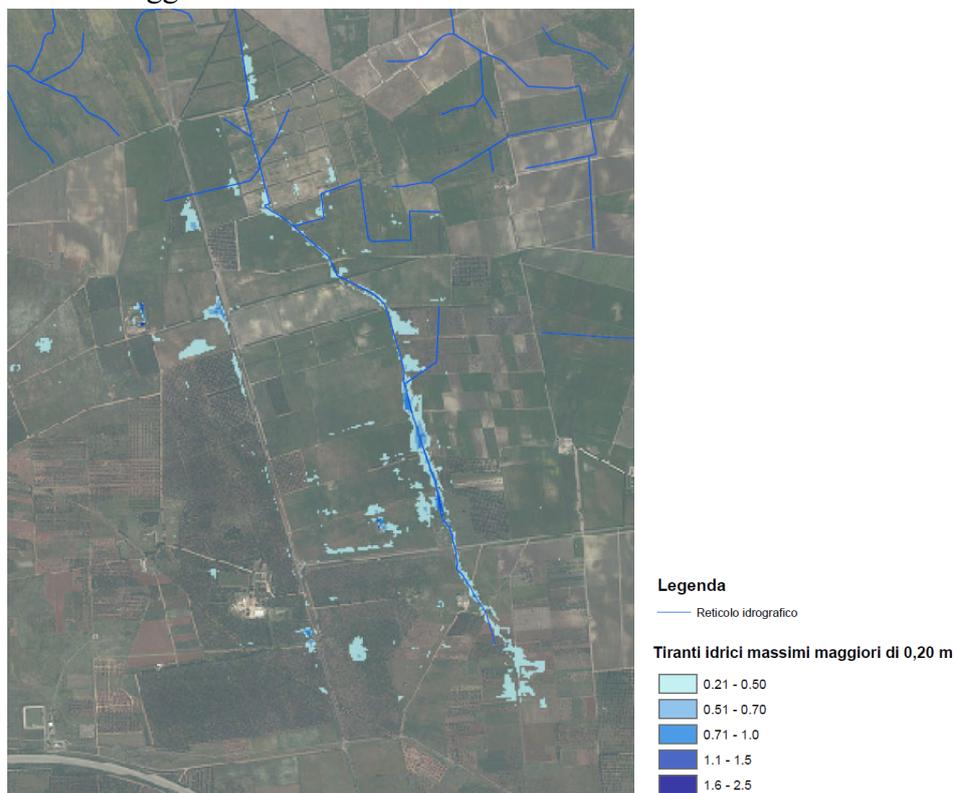


Fig. 5.1 Mappa dei massimi tiranti idrici Tr 30

Codice	Titolo	Pag. 17 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

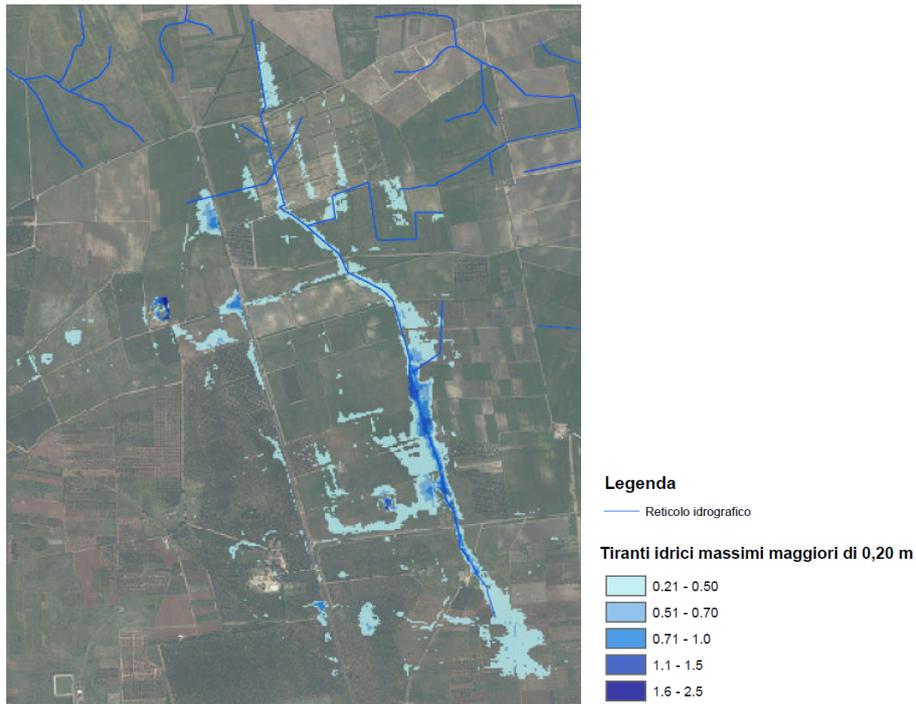


Fig. 5.2 Mappa dei massimi tiranti idrici Tr 200

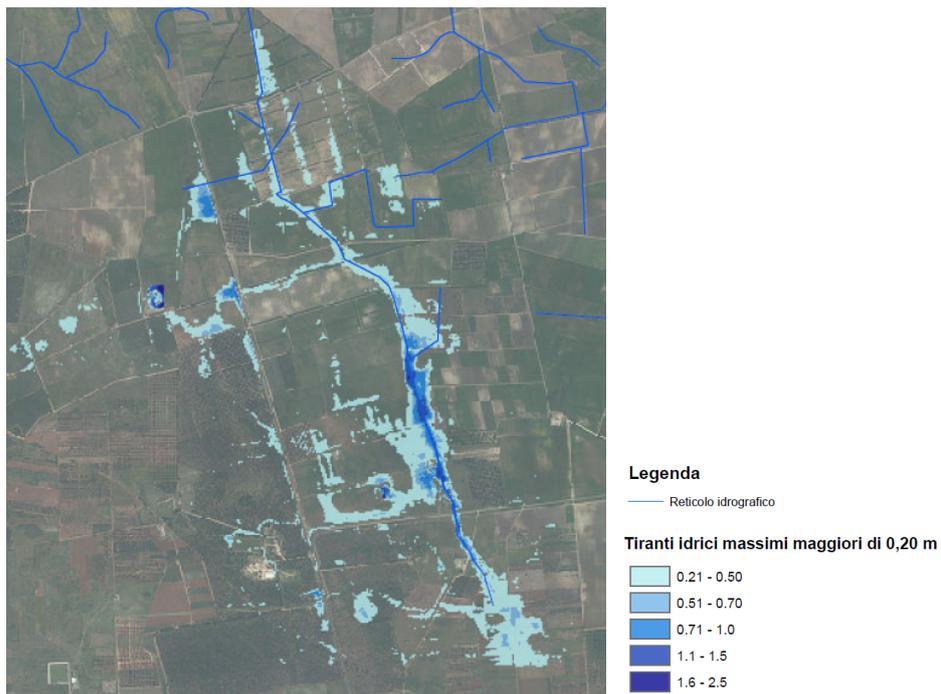


Fig. 5.3 Mappa dei massimi tiranti idrici Tr 500

Codice	Titolo	Pag. 18 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

L'osservazione dei tiranti, nelle figure sopra riportate, evidenzia come questi risultino prevalentemente compresi in un range di valori modesti tra 0,0 m e 0,6 m e che valori maggiori fino a 2 m si registrano solo puntualmente in corrispondenza di depressioni morfologiche di modesta estensione.

L'osservazione delle mappa delle velocità permette invece di evidenziare le direzioni preferenziali di deflusso e comprendere la dinamica di formazione delle aree di allagamento.

Nel caso in esame il modello ha messo in evidenza che il ruscellamento avviene prevalentemente lungo direttrici in direzione nord-est sud-ovest con valori, lungo tali direttrici, spesso superiori a 0,5 m/s.

La combinazione di tiranti velocità secondo la condizione espressa nel paragrafo 4.2 definisce l'estensione delle aree inondabili.

La figura 5.1 mostra la distribuzione delle aree inondabili ottenute mediante l'applicazione del filtro di cui al paragrafo 4.2.

Codice	Titolo	Pag. 19 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

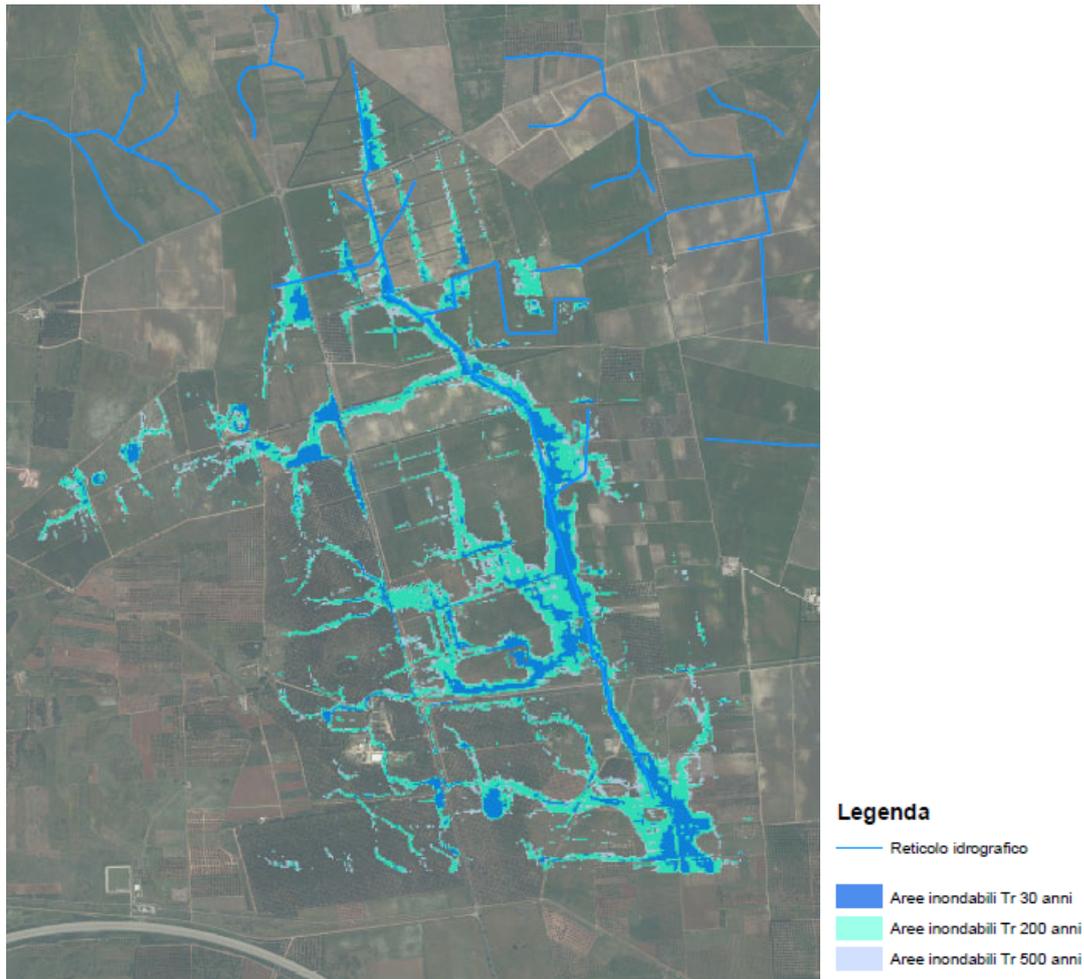


Fig. 5.4 Planimetria aree inondabili

L'applicazione del filtro permette di escludere dalle aree inondabili quelle che presentano valori di tiranti massimi e velocità massime al di sotto della retta limite.

Dall'osservazione dei risultati ottenuti è emersa la necessità di prevedere delle opere di sistemazione idraulica consistenti in canali di regimazione delle acque di ruscellamento diffuso caratterizzate da tiranti e velocità di modesta entità data la morfologia prevalentemente pianeggiante del sito. In corrispondenza del tratto di reticolo lungo si sviluppa invece un canale esistente lo stesso sarà oggetto di sistemazione idraulica attraverso l'adeguamento della sezione idraulica. Nel capitolo seguente si descrivono le opere proposte.

Codice	Titolo	Pag. 20 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

6 INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

Lo studio per il dimensionamento e lo sviluppo planimetrico delle opere di regimazione è stato effettuato sulla base delle risultanze ottenute dalle modellazioni idrauliche effettuate con riferimento allo stato di fatto.

L'analisi dei risultati dei modelli relativi allo stato di fatto ed in particolare l'osservazione delle mappa delle velocità ha permesso di evidenziare le direzioni preferenziali di deflusso e comprendere la dinamica di formazione delle aree di allagamento. Nel dettaglio è emerso che il ruscellamento avviene prevalentemente lungo le direttrici in direzione nord-est sud-ovest, lungo le quali di fatto si registrano valori di velocità spesso superiori a 0,5 m/s.

Lo scopo primario, per gli interventi di sistemazione idraulica su bacini endoreici come quello in esame, è quello di intercettare la maggior parte dei volumi di ruscellamento. In tal senso l'approccio più efficace è quello di disporre i canali lungo le principali linee di deflusso (lì dove queste sono particolarmente evidenti lungo le incisioni morfologiche più importanti) e trasversalmente alle direzioni prevalenti del ruscellamento diffuso.

Ad ogni buon conto si specifica che lo studio dello sviluppo planimetrico delle opere di regimazione è stato altresì effettuato ottimizzandolo rispetto alle previsioni di layout dell'impianto al fine di ottimizzare la gestione delle aree.

Per le considerazioni ed i criteri sopra esposti i canali di regimazione si sviluppano parallelamente alla viabilità esistente o di progetto, e unicamente lì dove si è ritenuto essenziale i canali si sviluppano all'interno delle *aree utili* al fine di risolvere il problema dell'allagamento da cui risultano interessate nella condizione dello stato di fatto. Gli interventi di sistemazione idraulica in uno ai canali di regimazione prevedono in taluni casi anche la realizzazione di piccoli inviti al fine di migliorare l'intercettazione dei deflussi da parte dei canali.

Codice	Titolo	Pag. 21 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

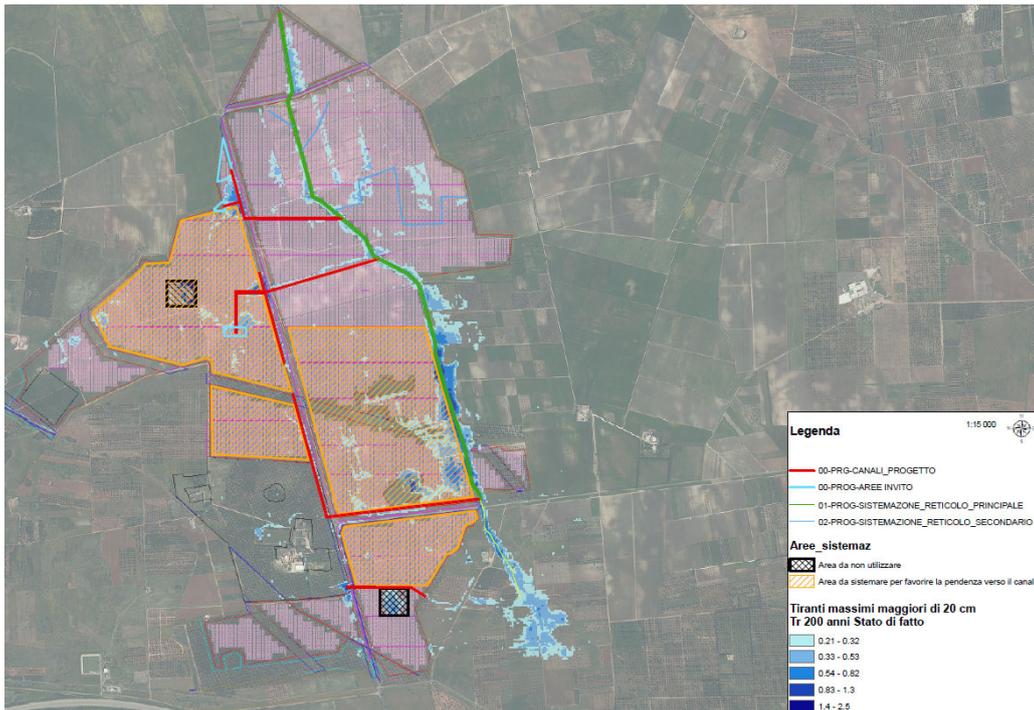


Fig. 6.1 Mappa dei tiranti idrici massimi a 200 anni stato fatto e interventi di sistemazione

Nella figura sopra riportata sono illustrati gli interventi di sistemazione idraulica, in particolare:

- ✓ con **il tracciato in rosso** sono stati indicati i canali deviatori aventi le seguenti caratteristiche geometriche: sezione trapezia di base inferiore 1,50 m, altezza 1,50, scarpa 1/1 e base superiore 4,50 m.

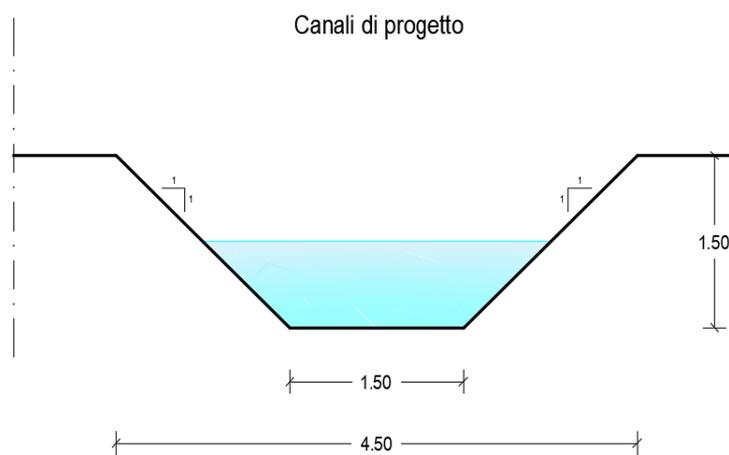
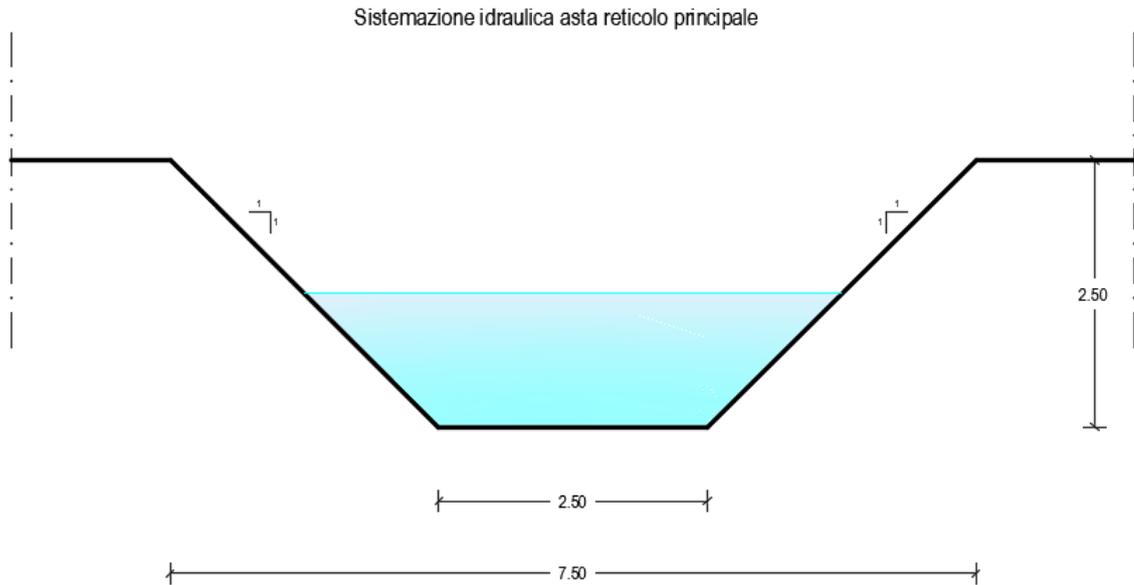


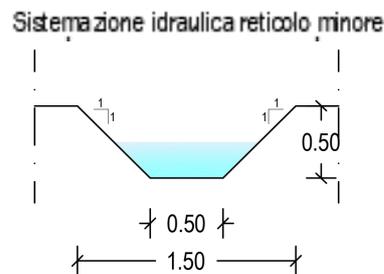
Fig. 6.2 Sezione tipo canali deviatori di progetto

Codice	Titolo	Pag. 22 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

- ✓ con **il tracciato in verde** è stato indicato i canali principale (reticolo lungo il limite di proprietà) la sistemazione idraulica prevede che tale canale presenti le seguenti caratteristiche geometriche: sezione trapezia di base inferiore 2,50 m, altezza 2,50, scarpa 1/1 e base superiore 7,50 m.



- ✓ con **il tracciato in azzurro** sottile sono stati indicati i canali con cui si prevede di effettuare la sistemazione idraulica delle aste di reticolo secondario. Questi canali avranno sezione trapezia di base 0,50 m, altezza 0,50 e scarpa 1/1.



Codice	Titolo	Pag. 23 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	

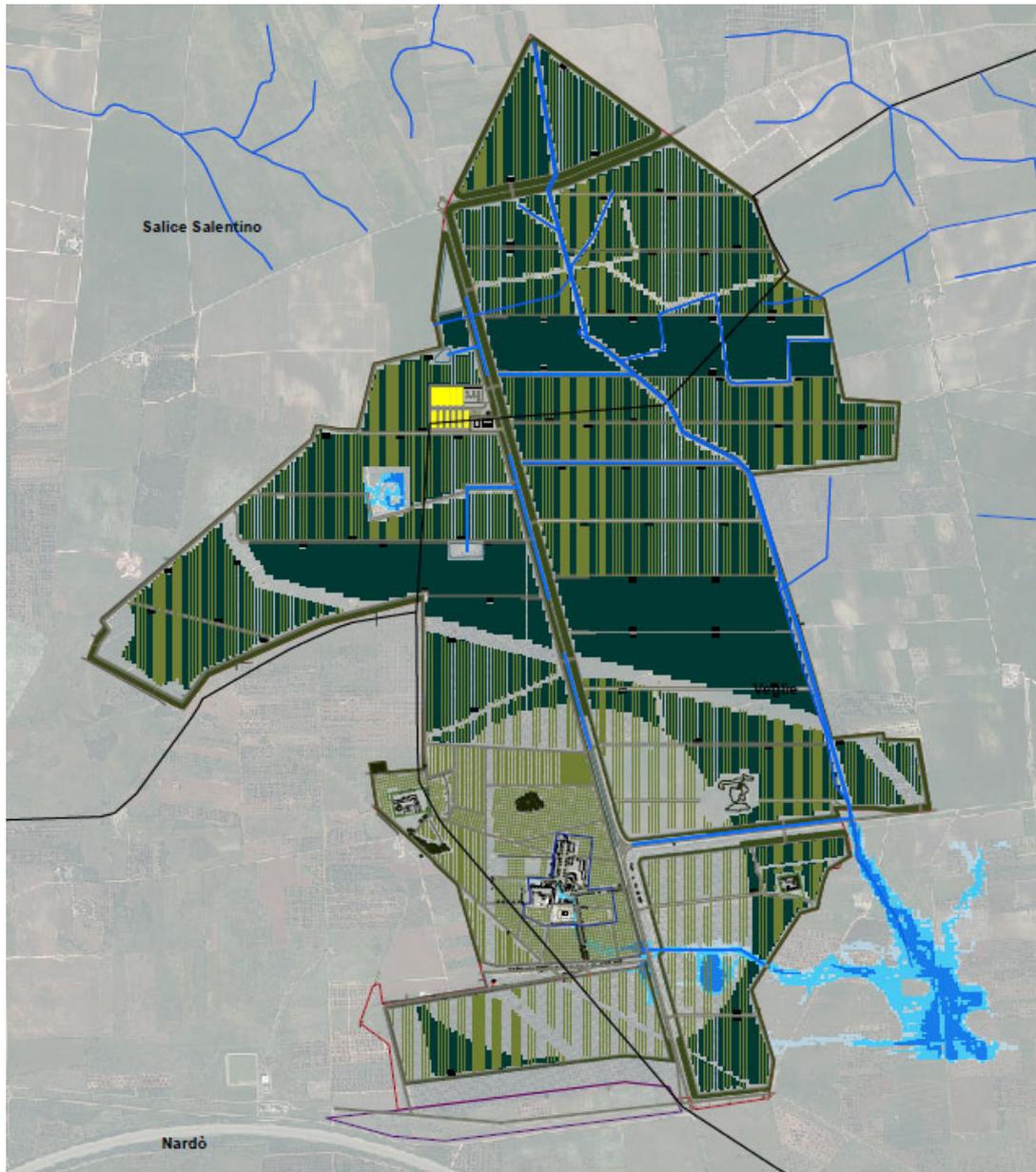


Fig. 6.5 Aree inondabili stato di progetto su layout di impianto (vedi allegato)

Codice	Titolo	Pag. 24 di 24
7_DOCSPEC12	Relazione idraulica	