



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_DOCSPEC11

Relazione idrologica

Descrizione Relazione idrologica

Nome del file:
7_DOCSPEC11.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	ANALISI IDROLOGICA	11
4.1	Introduzione	11
4.2	Caratterizzazione del bacino idrografico analizzato	11
4.3	Metodo probabilistico per la determinazione della pioggia critica... 12	
4.3.1	Determinazione della curva di pioggia	13
4.4	Analisi idrologica:	14
4.4.1	Metodologia CN SCS	15
4.4.2	L’idrogramma di Mockus	17
4.4.3	Determinazione della portata al colmo di piena col metodo CN SCS	19
4.4.4	Modello di Horton	20

INDICE Tabelle

Tab. 4.1	Parametri geomorfologici dei bacini	11
Tab. 4.2	Altezze di pioggia al variare della durata e del tempo di ritorno.....	14
Tab. 4.3	Valori del CN in funzione del tipo di suolo e dell’uso del suolo.....	17
Tab. 4.4	Portata di piena e Volumi di piena al variare del tempo di ritorno (metodo SCS).	20
Tab. 4.5	Parametri del modello di Horton in funzione del tipo di suolo.....	21
Tab. 4.6	Volumi di deflusso (metodo di Horton).....	21
Tab. 4.7	Risultati dell’analisi idrologica.....	22

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	Delimitazione del bacino idrografico (Elab. T01 – Planimetria bacino)	12
Fig. 4.2	Curve di pioggia.....	14
Fig. 4.3	Idrogramma triangolare utilizzato per il calcolo della portata al colmo con il metodo SCS. ..	18
Fig. 4.4	Andamento delle curve d’infiltrazione di Horton per diversi tipo di suolo classificati dal Soil Conservation Service.....	21

Codice	Titolo	Pag. 1 di 22
7_DOCSPEC11	Relazione idrologica	

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 22
7_DOCSPEC11	Relazione idrologica	

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 22
7_DOCSPEC11	Relazione idrologica	

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.

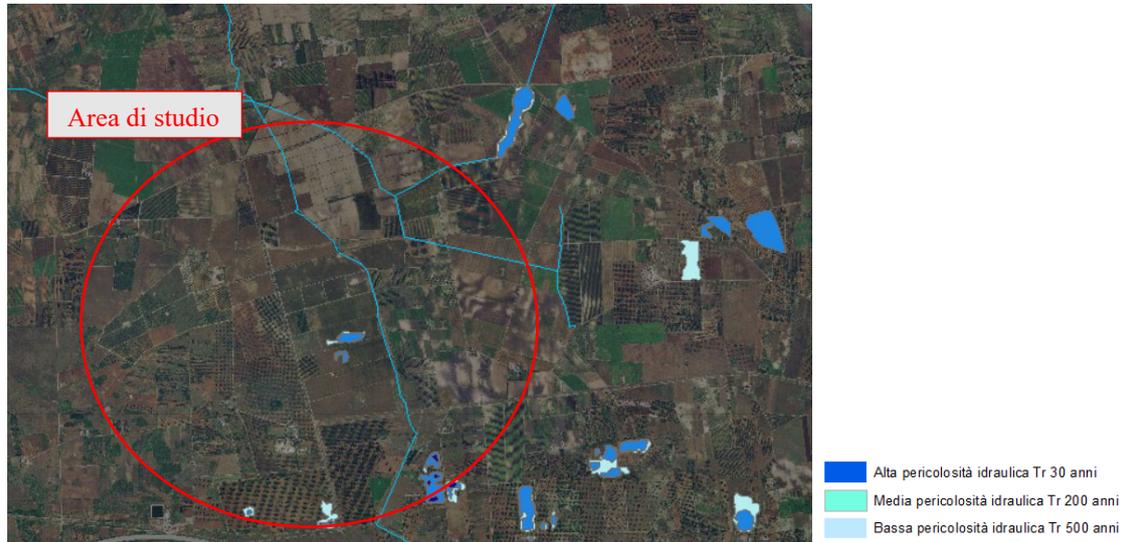


Fig. 2.2 Stralcio planimetrico su ortofoto Pericolosità idraulica

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.

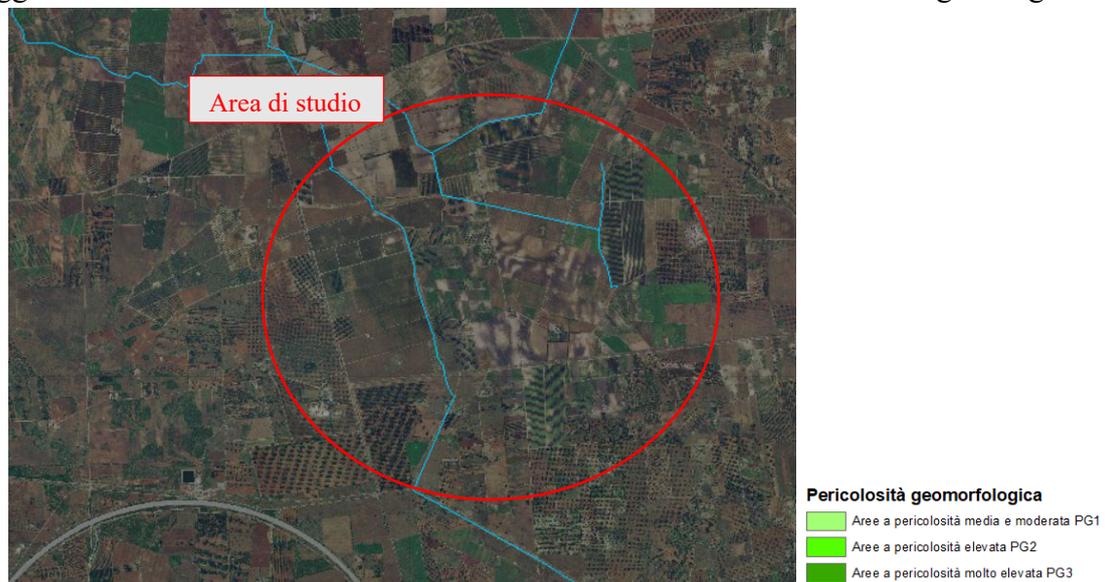


Fig. 2.3 Stralcio planimetrico su ortofoto pericolosità Geomorfologica

Codice	Titolo	Pag. 4 di 22
7_DOCSPEC11	Relazione idrologica	

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.

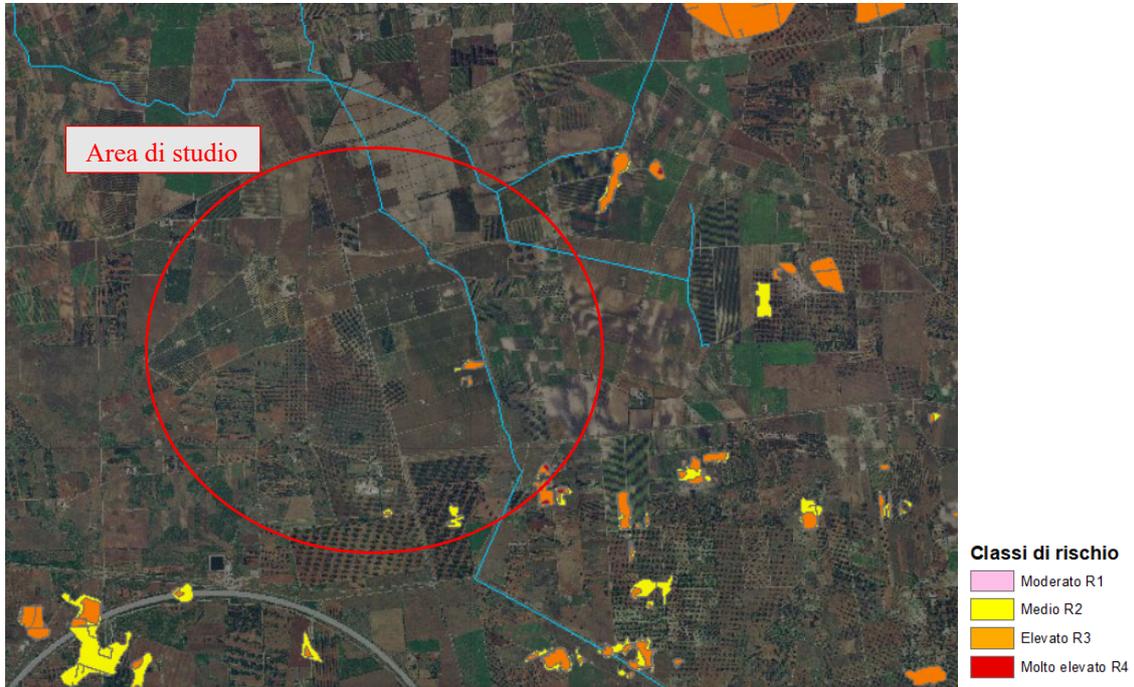


Fig. 2.4 Stralcio planimetrico su ortofoto Classi di Rischio

Codice	Titolo	Pag. 5 di 22
7_DOCSPEC11	Relazione idrologica	

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 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

Codice	Titolo	Pag. 6 di 22
7_DOCSPEC11	Relazione idrologica	

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* 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.

Codice	Titolo	Pag. 7 di 22
7_DOCSPEC11	Relazione idrologica	

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'efficiamento 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 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:

Codice	Titolo	Pag. 8 di 22
7_DOCSPEC11	Relazione idrologica	

MWac	Potenza disponibile in immissione impianto fotovoltaico.
250,00	

N. Moduli Tot.	W Modulo	MWp	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 [MWp]	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;
- 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;

Codice	Titolo	Pag. 9 di 22
7_DOCSPEC11	Relazione idrologica	

- 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 22
7_DOCSPEC11	Relazione idrologica	

4 ANALISI IDROLOGICA

4.1 Introduzione

L'analisi idrologica ha come obiettivo la valutazione degli eventi di piena che, per prefissati tempi di ritorno, interessano un bacino idrografico e, di conseguenza, le sue infrastrutture, centri abitati, elementi vulnerabili. In Puglia le stazioni di misura idrometriche sono in numero assai limitato, se confrontato con quelle di misure pluviometriche; pertanto il calcolo della portata di piena deve spesso essere realizzato attraverso un modello di trasformazione afflussi-deflussi.

Nel caso in esame per la determinazione delle altezze critiche di precipitazione e delle curve di possibilità pluviometrica si è fatto ricorso ad analisi di tipo statistico applicate alle serie di dati di pioggia, disponibili sul portale istituzionale della protezione civile, relative alla stazione di misura di Nardò, la più prossima al sito di intervento.

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.

4.2 Caratterizzazione del bacino idrografico analizzato

Il primo passo, per procedere con lo studio idrologico, è quello di individuare i bacini idrografici nella zona d'interesse.

Il bacino idrografico è la superficie topografica dalla quale le acque di pioggia, defluendo naturalmente, confluiscono nella sezione d'interesse chiamata sezione di chiusura. La linea che delimita un bacino idrografico è una linea sempre ortogonale alle curve di livello e passante per i punti singolari di displuvio. La delimitazione dei bacini idrografici è pertanto eseguita mediante utilizzo delle curve di livello e dei punti quotati.

La morfologia dell'area è tale per cui il bacino esaminato risulta avere natura endoreica. La determinazione del bacino idrografico consente di passare all'individuazione dei principali parametri morfologici geologici e climatici, utili alla caratterizzazione delle variabili idrologiche utilizzate nei modelli di calcolo per la stima dei deflussi attesi.

Nella tabella seguente si riportano le grandezze geomorfologiche di interesse del bacino in esame.

A [km ²]	H _{max} [m s.l.m.]	H _{min} [m s.l.m.]	H _{med} [m s.l.m.]	i _{med} [%]	L _{asta} [m]	CN(II)
22,40	98	43	61,50	2,18	3,00	75

Tab. 4.1 Parametri geomorfologici dei bacini

Codice	Titolo	Pag. 11 di 22
7_DOCSPEC11	Relazione idrologica	

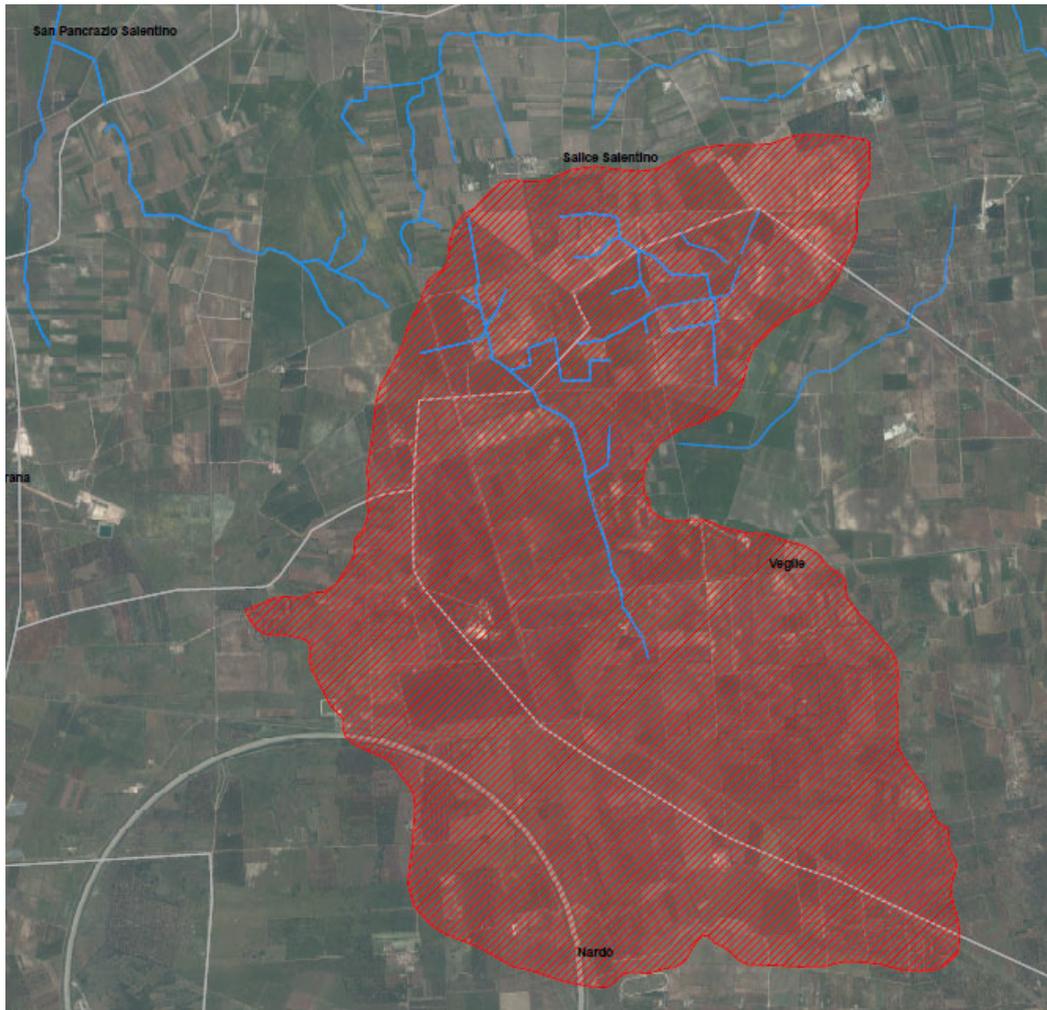


Fig. 4.1 Delimitazione del bacino idrografico (Elab. T01 – Planimetria bacino)

Con

A = superficie del bacino (km^2);

H_{max} = quota massima bacino (m)

H_{min} = quota minima bacino (m)

H_{med} = quota media bacino (m)

i_{media} = pendenza media del bacino (%)

L = lunghezza dell'asta idrografica principale allungata fino allo spartiacque;

4.3 Metodo probabilistico per la determinazione della pioggia critica

L'analisi del regime pluviometrico richiede l'impiego di valutazioni di tipo statistico - probabilistico, ai fini della stima delle curve di possibilità climatica e, di conseguenza, della pioggia di assegnato tempo di ritorno.

Codice	Titolo	Pag. 12 di 22
7_DOCSPEC11	Relazione idrologica	

In caso di aree sprovviste di stazioni di misura è possibile fare ricorso alle procedure di regionalizzazione che offrono la possibilità di trasferire le informazioni idrologiche provenienti da zone a comportamento omogeneo a siti non forniti di osservazioni specifiche

Nel caso in esame per la determinazione della pioggia critica che caratterizza il bacino di interesse, avendo individuato una stazione di monitoraggio ubicata esattamente in località Masseria Monteruga, è stata effettuata un'analisi statistica su dati di pioggia relativi alla stazione di misura di Masseria Monteruga. Nel dettaglio l'analisi è stata condotta sulla serie di dati di pioggia di massima intensità e breve durata, quest'ultima variabile da 1 ora a 24 ore, dal 1921 al 2020.

4.3.1 Determinazione della curva di pioggia

Scopo dell'analisi è stato quello di giungere alla determinazione della curva di possibilità climatica al variare del tempo di ritorno, la cui espressione classica risulta:

$$h = at^n$$

La metodologia statistica adottata si basa sulla individuazione della legge di probabilità più idonea a rappresentare il fenomeno tra le molte note in letteratura tecnica, valutando dapprima i parametri della distribuzione teorica di probabilità considerata.

Successivamente la scelta viene effettuata tramite alcuni stimatori (test statistici) che consentono di valutare la bontà dell'adattamento.

Si lega quindi la probabilità di verificarsi dell'evento al tempo di ritorno T (che rappresenta l'intervallo espresso in anni in cui l'evento si verifica mediamente una sola volta, tramite la relazione:

$$\Phi(Z) = \frac{T-1}{T}$$

e quindi applicando i legami ormai noti tra la variabile casuale z e le altezze di precipitazione se ne determinano i valori corrispondenti.

La procedura complessiva di calcolo risulta piuttosto laboriosa e pertanto è invalso l'uso di adoperare appositi programmi di calcolo che alleviano la fatica del tecnico.

I dati acquisiti sono stati elaborati mediante di analisi statistica degli eventi massimi in idrologia. Con tale approccio sono state utilizzate sei leggi di distribuzione di probabilità tra le quali, attraverso quattro test statistici, è possibile individuare quella che meglio rappresenta il fenomeno.

Le leggi di distribuzione considerate sono la Log-normale a due ed a tre parametri, Gumbel, Frechet e Gamma a due ed a tre parametri; i parametri vengono stimati con il metodo della verosimiglianza.

I test riportati sono quello del χ^2 , Kolgomorov, Kramer-Von Mises e l'errore standard relativo alla media.

Codice	Titolo	
7_DOCSPEC11	Relazione idrologica	Pag. 13 di 22

Verificato che sia il test di Kolmogorov che quello di Kramer-Von Mises risultano superati per tutte le leggi considerate, per ogni durata si è accentrata l'attenzione sul test del χ^2 e sull'errore del vettore.

Dall'analisi condotta è emerso che la legge di distribuzione rappresentativa della stazione considerata è la Gumbel.

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

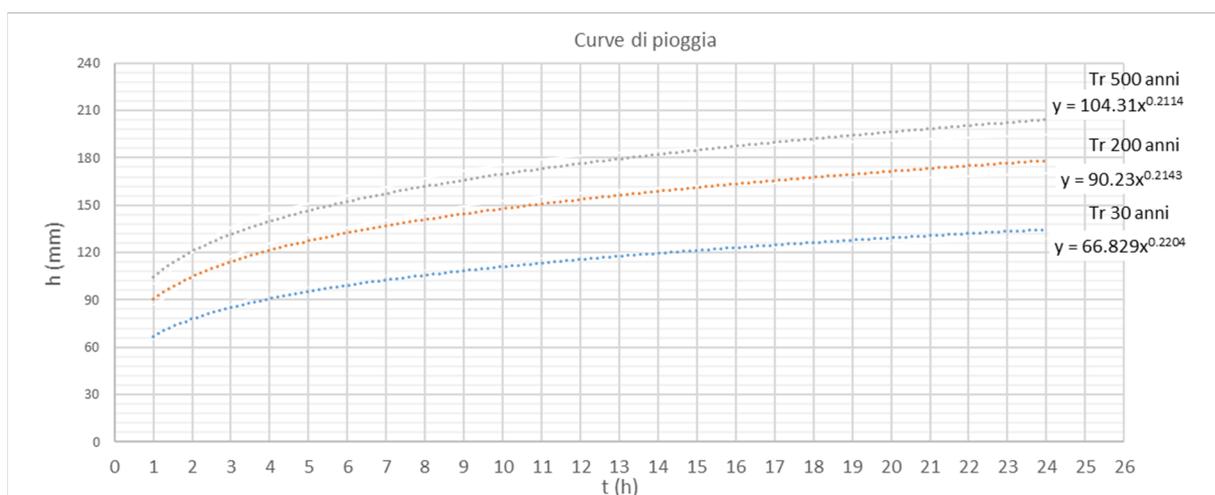


Fig. 4.2 Curve di pioggia

4.4 Analisi idrologica:

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. 14 di 22
7_DOCSPEC11	Relazione idrologica	

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.

4.4.1 Metodologia CN SCS

Il metodo usualmente denominato “curve number” ed elaborato dal Soil Conservation Service assume che la produzione del volume di deflusso superficiale, Q , sia data dalla seguente espressione:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{(P-I)}$$

in cui: F = volume specifico infiltrato;

S = volume specifico di saturazione di un terreno;

P = precipitazione (ottenuta dalle curve di pioggia in figura 3.2);

I = assorbimento iniziale;

quindi, tenendo conto dell'equazione di continuità:

$$F = P - I - Q$$

dalla precedente, si ottiene:

$$Q = \frac{(P-I)^2}{(P-I+S)}$$

Il volume specifico di saturazione dipende dalla natura del terreno e dall'uso del suolo, fattori che vengono espressi, per mezzo del CN, attraverso la seguente relazione:

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

in cui:

S_0 è un fattore di scala, pari a 254 se la pioggia viene espressa in mm;

CN è il parametro di cui sopra, che può essere un valore compreso fra zero e cento.

Tale modello, quindi, prende in considerazione le due variabili I ed S . In realtà, il termine I rappresenta un volume specifico di pioggia, generalmente sottratto a priori al bilancio in esame, che descrive in modo globale diversi processi, quali l'intercettazione, l'accumulo nelle depressioni superficiali, l'imbibimento iniziale del terreno. Nella procedura SCS-CN standard, I viene valutato come una quota parte di S , specificatamente il 20%.

Resta, infine, da definire come si determina il parametro CN. Tale parametro, come abbiamo già accennato, è funzione della permeabilità, dello stato di umidità del suolo al momento dell'evento meteorico in esame e dell'uso del suolo.

Codice	Titolo	Pag. 15 di 22
7_DOCSPEC11	Relazione idrologica	

Nel presente studio, la valutazione di tale parametro è stata eseguita secondo le indicazioni del Maione sia per quel che riguarda le espressioni matematiche, sia per la tabella uso del suolo-permeabilità, sia per la valutazione dell'umidità del suolo, supportate da valutazioni conseguenti ad indagini effettuate in loco. Riportiamo di seguito uno schema della metodologia adottata:

- 1) Classificazione del suolo secondo quattro classi di permeabilità ottenute dal confronto delle formazioni geologiche presenti nel bacino con tabelle di conversione estratte da studi precedenti:
A: molto permeabile,
B: poco permeabile,
C: quasi impermeabile,
D: impermeabile.
- 2) Determinazione dell'uso del suolo;
- 3) Determinazione dell'umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico e riconoscimento di tre classi (classi AMC, Antecedent Moisture Condition), in funzione della pioggia caduta nei cinque giorni precedenti.
- 4) Tenendo conto della stagione in cui ricade l'evento in esame, rispetto al periodo di crescita delle piante, si hanno le seguenti espressioni per la valutazione del CN:

$$CN(I) = \frac{4.2 \cdot CN(II)}{10 - 0.058 \cdot CN(II)}$$
$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0.13 \cdot CN(II)}$$

Il CN(II) è definito dalla tabella a doppio ingresso uso del suolo-permeabilità.

Codice	Titolo	Pag. 16 di 22
7_DOCSPEC11	Relazione idrologica	

Tipo di copertura	A	B	C	D
Aree agricole con presenza di spazi naturali	62	71	78	81
Aree Urbane	98	98	98	98
Area residenziale	77	85	90	92
Cava	60	60	60	60
Distretti industriali	81	88	91	93
Bacini di acqua	100	100	100	100
Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo estivo-autunnale/primaverile	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo primaverile-estivo	72	81	88	91
Colture temporanee associate a colture permanente	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori non irrigui	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori irrigui	72	81	88	91
Oliveti irrigui	72	81	88	91
Oliveti non irrigui	62	71	78	81
Prati stabili non irrigui	30	58	71	78
Seminativi in aree non irrigue	62	71	78	81
Sistemi colturali e particellari complessi	72	81	88	91
Vigneti irrigui	72	81	88	91
Vigneti non irrigui	62	71	78	81
Zone boscate	45	66	77	83

Tab. 4.3 Valori del CN in funzione del tipo di suolo e dell'uso del suolo.

L'analisi effettuata sul bacino in esame, con riferimento alla natura del suolo ed alla classificazione del CN ha messo in evidenza che più del 90% della superficie è costituita da terreni caratterizzati da bassissima permeabilità (classe D), pertanto a vantaggio di sicurezza, tra il CN (I), il CN (II) ed il CN (III) per la determinazione delle portate di piena è stato utilizzato il CN (III).

Attraverso l'utilizzo di tecniche GIS è stata calcolata una media pesata sulle aree del CN (II) e da tale media sono stati calcolati i parametri CN(I) ed al CN (III).

Tali valori consentono di ricavare il valore della pioggia netta e dell'afflusso nelle ipotesi di ietogramma rettangolare di durata pari al tempo di ritardo del bacino, nel seguito definito e determinato.

4.4.2 L'idrogramma di Mockus

Per il calcolo della portata al colmo, si è utilizzata la metodologia proposta dal Soil Conservation Service. Questo metodo considera un idrogramma approssimato di forma triangolare con una fase crescente di durata t_a (tempo di accumulo) ed una fase di esaurimento di durata t_e (tempo di esaurimento) e il cui volume V , in m^3 , ha la seguente espressione:

Codice	Titolo	Pag. 17 di 22
7_DOCSPEC11	Relazione idrologica	

$$V = \frac{Q_p}{2}(t_a + t_e) = \frac{Q_p \cdot t_b}{2}$$

con t_b durata dell'evento di piena.

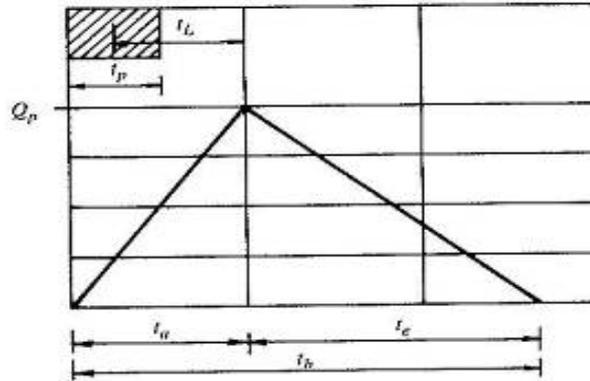


Fig. 4.3 Idrogramma triangolare utilizzato per il calcolo della portata al colmo con il metodo SCS.

A seguito di analisi sperimentali dell'SCS è stato stabilito che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume idrico che è pari al 37.5% del volume totale V di deflusso, ne consegue che la durata della fase crescente è pari a 0.375 volte la durata dell'evento di piena t_b e pertanto:

$$t_b = 2.67 \cdot t_a$$

Di conseguenza è possibile esprimere la portata al colmo secondo la relazione qui di seguito riportata:

$$Q_p = 0.208 \frac{V \cdot A}{t_a}$$

in cui:

V = volume di deflusso espresso in mm;

A = area del bacino espressa in Km^2 ;

t_a = tempo di accumulo espresso in h.

La determinazione di t_a , nell'ipotesi di precipitazione di intensità costante, di durata t_p e indicando con t_L il tempo di ritardo (distanza tra il baricentro dello istogramma ed il picco dell'idrogramma triangolare), si effettua con la semplice relazione:

$$t_a = 0.5 \cdot t_p + t_L$$

Per la determinazione del tempo di ritardo, espresso in ore, si utilizza la formula di Mockus:

Codice	Titolo	Pag. 18 di 22
7_DOCSPEC11	Relazione idrologica	

$$t_L = 0.342 \cdot \frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

in cui s è la pendenza del bacino espressa in percentuale, L è la lunghezza dell'asta principale, prolungata fino alla displuviata espressa in Km.

Sulla base di determinazioni empiriche effettuate dall'SCS, è possibile affermare che il rapporto t_L/t_c è pari a 0,6, con t_c tempo di corrivazione del bacino.

4.4.3 Determinazione della portata al colmo di piena col metodo CN SCS

La durata della precipitazione che è critica per il bacino, cioè che mette in crisi la rete idrografica perché per essa si raggiunge il valore più elevato di portata, dipende dall'estensione del bacino stesso. Questa circostanza è una logica conseguenza del fenomeno di trasferimento che impone che ogni particella liquida che cade in un punto del bacino deve seguire un suo percorso per giungere alla sezione di chiusura, impiegando, a parità di velocità di trasferimento, un tempo tanto maggiore quanto più lungo è il percorso da effettuare.

Un tempo caratteristico dell'evento di piena è il tempo di ritardo del bacino, generalmente definito come la distanza temporale tra il baricentro dell'idrogramma di piena superficiale, depurato cioè delle portate di base, che sarebbero defluite nel corso d'acqua anche in assenza dell'evento di piena, ed il baricentro del pluviogramma netto. Coerentemente con la metodologia definita dal Soil Conservation Service per la definizione dell'idrogramma di piena, si è scelta, per la determinazione di questo parametro, la formulazione proposta da Mockus, sopra descritta.

Le piogge critiche per assegnato tempo di ritorno si definiscono attraverso le curve di possibilità climatiche precedentemente definite; quindi si ricava il valore della pioggia netta, dell'afflusso netto al bacino e della portata al colmo di piena attraverso l'applicazione del metodo Curve Number - SCS già descritto. A tale proposito va sottolineato che avendo utilizzato le piogge critiche per tempi di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni si ottengono le portate di piena aventi medesimi rispettivi tempi di ritorno (30, 200 e 500 anni).

Per la definizione della pioggia critica e dei volumi di piena è stato utilizzato il valore del CN (II) relativo alle condizioni di media umidità, scelta effettuata in ragione del fatto che la superficie del bacino è caratterizzata in parte da terreni molto permeabili, in parte da terreni mediamente permeabili, ed in parte anche da una zona in cui i terreni risultano scarsamente permeabili.

Attraverso la convoluzione di tale afflusso netto con l'idrogramma definito dall'SCS, precedentemente valutato per i bacini in esame, si ottengono gli idrogrammi di piena e le portate di picco per ciascuno dei tempi di ritorno esaminati:

Codice	Titolo	Pag. 19 di 22
7_DOCSPEC11	Relazione idrologica	

Tr [anni]	Q _{max} [m ³]	V _{max} [m ³]
30	46,36	383816
200	79,90	661522
500	102,00	844493

Tab. 4.4 Portata di piena e Volumi di piena al variare del tempo di ritorno (metodo SCS).

4.4.4 Modello di Horton

Il modello di Horton è tra i modelli più utilizzati per valutare l'andamento nel tempo della capacità di infiltrazione del terreno $f(t)$. Il modello si fonda su tre ipotesi fondamentali:

1. l'intensità di pioggia è maggiore della velocità di infiltrazione (si ritiene pertanto che la superficie sia satura, $S=1$);
2. ogni tipologia di suolo è caratterizzata da una velocità di infiltrazione massima iniziale, f_0 , ed una minima, f_c , al cui valore tende asintoticamente la velocità di infiltrazione quando la durata dell'evento tende all'infinito;
3. in ogni istante dell'evento la variazione dell'intensità di infiltrazione, $f(t)$, è proporzionale, tramite un coefficiente k , alla differenza tra la velocità attuale e quella finale:

$$\frac{df}{dt} = -\frac{(f(t) - f_c)}{k}$$

Integrando ed introducendo la condizione iniziale $f = f_0$ per $t = 0$:

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

Considerando solo il termine che rappresenta le forze capillari ed in ipotesi di diffusività costante, tale equazione risulta essere soluzione dell'equazione Richards. Si tiene poi conto della componente gravitativa attraverso il termine aggiuntivo f_c che, infatti, usualmente si fa coincidere con quello della conduttività idraulica a saturazione, K_s . Il volume specifico cumulato di infiltrazione si ottiene integrando l'espressione precedente:

$$F = \int_0^t f(t)dt = f_c t + k[(f_0 - f_c)] \cdot [1 - e^{-t/k}]$$

La stima dello ietogramma di pioggia netta si ricava dalla differenza tra intensità di precipitazione e velocità di infiltrazione per ogni intervallo temporale

Codice	Titolo	Pag. 20 di 22
7_DOCSPEC11	Relazione idrologica	

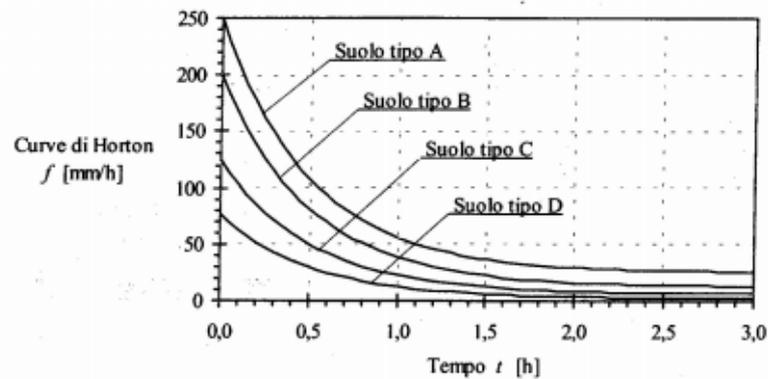


Fig. 4.4 Andamento delle curve d'infiltrazione di Horton per diversi tipi di suolo classificati dal Soil Conservation Service

Con riferimento alla classificazione dei suoli suggerita dallo SCS e di cui si è detto in precedenza sono stati utilizzati per i parametri del modello, f_0 , f_c , e k i valori riportati nella seguente tabella.

Gruppo SCS	f_0 [mm/h]	f_c [mm/h]	k [h]
A	250	25.4	0.5
B	200	12.7	0.5
C	125	6.3	0.5
D	76	2.5	0.5

Tab. 4.5 Parametri del modello di Horton in funzione del tipo di suolo

Nella tabella a seguire si riassumono i risultati ottenuti in termini di volumi di piena.

Tr [anni]	V_{Horton} [m ³]
30	103787
200	427423
500	533339

Tab. 4.6 Volumi di deflusso (metodo di Horton)

Dal confronto dei risultati dei due metodi appena esposti è stato possibile determinare i volumi massimi di piena del bacino in esame.

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.

Codice	Titolo	Pag. 21 di 22
7_DOCSPEC11	Relazione idrologica	

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]	Tr [anni]	P_n [mm]
2.6	30	65
	200	93
	500	110

Tab. 4.7 Risultati dell'analisi idrologica

Codice	Titolo	Pag. 22 di 22
7_DOCSPEC11	Relazione idrologica	