

**IMPIANTO AGRIVOLTAICO DENOMINATO "SOLAR ENERGY"  
CON POTENZA NOMINALE DI 200 MVA  
E POTENZA INSTALLATA DI 202,07 MWp**

**REGIONE PUGLIA  
PROVINCIA di BRINDISI  
COMUNI di BRINDISI E MESAGNE  
OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN NEI COMUNI DI BRINDISI E MESAGNE**

**PROGETTO DEFINITIVO**

Tav.:	Titolo:
<b>R32c</b>	<b>Analisi meteo-climatica e valutazione del rischio climatico</b>

Scala:	Formato Stampa:	Codice Identificatore Elaborato
n.a.	<b>A4</b>	<b>R32c_StudioFattibilitàAmbientale_32c</b>

Progettazione:	Committente:
 <b>Dott. Ing. Fabio CALCARELLA</b> Studio Tecnico Calcarella Via Vito Mario Stampacchia, 48 - 73100 Lecce Mob. +39 340 9243575 fabio.calcarella@gmail.com - fabio.calcarella@ingpec.eu	<b>SOLAR ENERGY &amp; PARTNERS S.R.L.</b> Località: Strizzi, 23 - 72100 Brindisi P.IVA: 02257280749 - REA: BR-132374 PEC: solareenergypartners@gigapec.it
<b>Dott.ssa Elisa Gatto</b> PhD in Biological and Environmental Sciences and Technologies Biologa ambientale Albo Nazionale dei Biologi (n. AA090001)	

Data	Motivo della revisione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
Febbraio 2024	Prima emissione	EG	FC	SOLAR ENERGY & PARTNERS s.r.l.



# ANALISI METEOCLIMATICA E VALUTAZIONE DEL RISCHIO CLIMATICO

Progetto di realizzazione dell'impianto agrivoltaico  
Solar Energy nel comune di Brindisi (BR)  
ai sensi del Regolamento UE 241/2021

A cura di  
Dott.ssa Elisa Gatto, PhD  
Biologa





## Sommario

Introduzione e nota metodologica.....	3
1. Inquadramento meteo-climatico .....	4
1.1. Caratterizzazione climatica: gli indicatori climatici .....	9
1.1.1. Continentalità / oceanicità .....	9
1.1.2. Aridità / Umidità.....	11
1.1.2.1. Pluviofattore di Lang.....	11
1.1.2.2. Indice di De Martonne .....	12
1.1.2.3. Indice di Crowther .....	12
1.1.2.4. Indice bioclimatico di J. L. Vernet .....	13
1.1.2.5. Indice FAO.....	13
1.1.2.6. Quoziente pluviometrico di Emberger .....	14
1.2. Caratterizzazione climatica: i risultati per l'area di interesse .....	14
1.3. Climogrammi.....	15
1.3.1. Diagramma ombrotermico.....	16
1.3.2. Diagramma Walter & Lieth.....	16
1.3.3. Climogramma di Peguy .....	18
3. Analisi dei rischi climatici fisici.....	21
4. Proiezioni climatiche future: un'analisi a scala regionale .....	21
3.1. Proiezioni CMIP6.....	21
3.2. Scenari SSP2-4.5 e SSP5-8.5 .....	22
3.3. Variazione delle principali variabili climatiche .....	22



3.4.	Impatto sui servizi ecosistemici .....	25
5.	Stressor climatici nell'area di interesse: un'analisi a scala locale.....	27
4.1.	Alte temperature .....	29
4.2.	Precipitazioni intense.....	30
4.3.	Siccità .....	32
4.4.	Indice di sfruttamento della risorsa idrica .....	34
4.5.	Incendi .....	36
4.6.	Innalzamento del livello del mare .....	37
5.	Resilienza dell'impianto agri-fotovoltaico al rischio climatico: Strategie di compatibilità e gestione .....	39



## Introduzione e nota metodologica

Il presente elaborato tecnico ha come **obiettivo** lo studio e caratterizzazione della condizione climatica e dei mutamenti prevedibili della stessa in un'area sita nel territorio comunale di Brindisi (BR, Italia) da destinare alla realizzazione di un impianto agrivoltaico. È altresì mirato alla definizione di un Indice di Rischio Climatico – *Climate Risk Index* che aumenti la resilienza dell'intervento e promuova il *climate proofing* degli investimenti auspicato dalla Commissione Europea nella Strategia Europea per l'Adattamento ai Cambiamenti Climatici<sup>1</sup>.

Nello specifico, tale studio tiene conto degli **Orientamenti tecnici sull'applicazione del principio "non arrecare un danno significativo"**<sup>2</sup> a norma del regolamento sul dispositivo per la ripresa e resilienza<sup>3</sup> ed è, quindi, altresì focalizzato a garantire che l'opera in esame non pregiudichi il conseguimento degli obiettivi climatici e ambientali ai sensi dell'articolo 17 del Regolamento (UE) 2020/852. L'analisi condotta è inoltre conforme agli **Orientamenti tecnici per infrastrutture a prova di clima nel periodo 2021-2027 (2021/C 373/01)** e si configura come una documentazione consolidata di **screening climatico/resa a prova di clima**.

Le infrastrutture energetiche sono particolarmente esposte ai cambiamenti a lungo termine. Si è perciò ritenuto necessario considerare i cambiamenti climatici a partire dalle fasi iniziali del progetto, attraverso l'utilizzo di opportuni criteri di progettazione, l'adozione di misure tecnologiche specifiche e l'analisi di proiezioni climatiche future su scala appropriata.

Lo studio è strutturato nelle seguenti fasi di analisi (NB: il presente documento non riporta lo studio relativo all'analisi modellistica degli impatti dell'opera sul microclima al quale è dedicata una relazione distinta):

---

<sup>1</sup> EC (Commissione Europea), 2009. Libro Bianco. *L'adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d'azione europeo*.

<sup>2</sup> Regolamento (UE) 2020/852, detto "regolamento Tassonomia", relativo all'istituzione di un quadro che favorisce gli investimenti sostenibili, tramite la definizione di un sistema di classificazione ("tassonomia") delle attività ecosostenibili.

<sup>3</sup> Regolamento (UE) 2021/241 del Parlamento europeo e del Consiglio riguardo i piani di ripresa e resilienza che prevede che "Nessuna misura per l'attuazione delle riforme e dei progetti di investimento inclusi nel piano per la ripresa e la resilienza arreca un danno significativo agli obiettivi ambientali ai sensi dell'articolo 17 del regolamento (UE) 2020/852 (principio «non arrecare un danno significativo»)"



## 1. Inquadramento meteo-climatico

Secondo la classificazione di Köppen - Geiger<sup>4</sup>, l'areale in oggetto, sito nel comune di Brindisi (BR), è inquadrabile nella zona "Csa" (**clima subtropicale umido** o **clima temperato caldo**), una zona climatica che interessa le aree più calde di ristrette fasce costiere dell'Italia meridionale e insulare con una media annua > 17 °C; media del mese più freddo > 10 °C; 5 mesi con media > 20 °C; escursione annua da 13 °C a 17 °C (Figura 1).

<sup>4</sup> Wladimir Köppen, 1936. *Das geographische System der Klimate*, in *Handbuch der Klimatologie*, vol. 1, Berlino, Borntraeger.

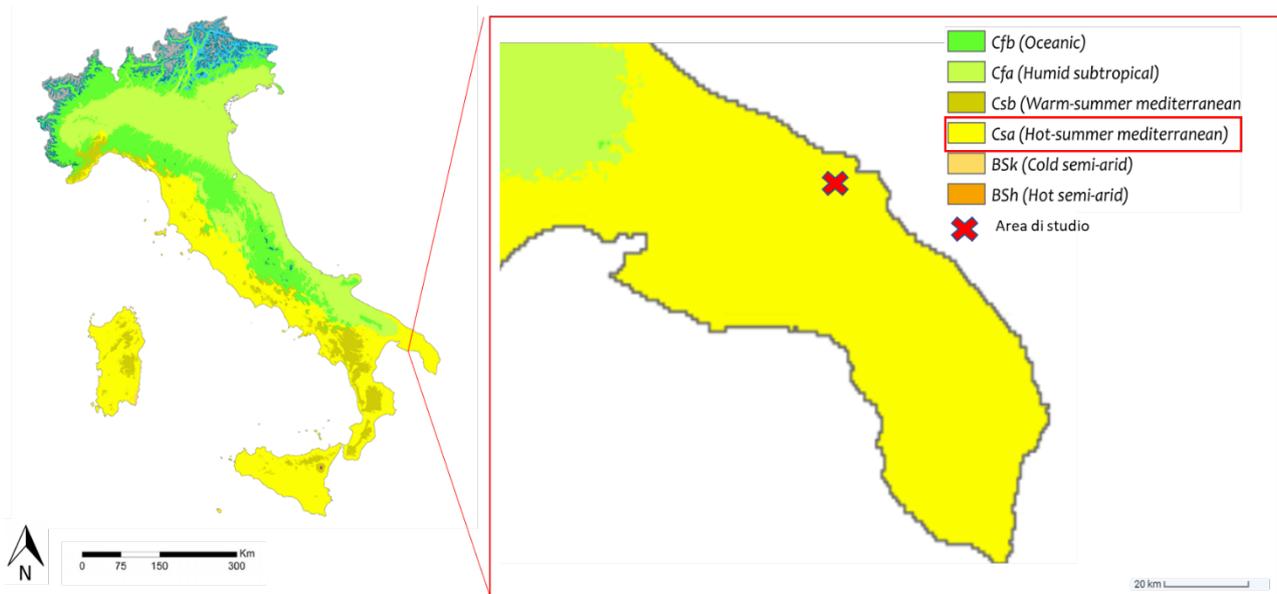


Figura 1: Carta della classificazione climatica di Köppen – Geiger del territorio italiano (sinistra) e dettaglio dell'areale di interesse (destra).

Per la descrizione meteo-climatica dell'area è stato utilizzato il dataset di rianalisi di quinta generazione ERA5<sup>5</sup>, prodotto utilizzando il sistema di assimilazione dei dati a variazione quadrimensionale e le previsioni dei modelli in CY41R2 dell'ECMWF, IFS (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Integrated Forecast System*). ERA5 permette un'analisi del clima locale e globale ad alta risoluzione spaziale e temporale e consente studi di maggior dettaglio e affidabilità. Le rianalisi forniscono una descrizione numerica del clima recente integrando opportunamente dati da modello e osservazioni.

La caratterizzazione climatica riportata in Tabella 1 considera l'intervallo di tempo 1990-2022 e, in particolare, le variabili di temperatura (°C), precipitazioni (mm), umidità relativa (%) e giorni di pioggia (gg). I dati relativi alle ore di sole sono stati invece raccolti nel periodo 1999-2019.

Dall'analisi del dataset emerge che l'area è caratterizzata da una temperatura media annuale di 17,3 °C e da una piovosità annuale di 628 mm.

<sup>5</sup> <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation>



Tabella 1: Medie mensili per i parametri meteorologici considerati. L'intensità del colore è direttamente proporzionale all'intensità del valore misurato. I dati sono stati estrapolati dal dataset ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) 1990-2022.

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Medie Temperatura (°C)	9.2	9.6	12	15	19.3	24.2	26.8	26.8	22.4	18.3	14.3	10.6
Temperatura minima (°C)	6.2	6.3	8.2	10.8	14.6	19.2	21.8	22	18.7	15	11.3	7.8
Temperatura massima (°C)	12.4	13	15.9	19.4	24	29	31.8	31.9	26.6	22.1	17.6	13.6
Precipitazioni (mm)	68	60	62	53	36	20	15	15	57	76	92	74
Umidità(%)	76%	73%	72%	69%	64%	57%	54%	57%	67%	76%	77%	77%
Giorni di pioggia (g.)	7	7	6	6	4	3	2	2	5	6	7	8
Ore di sole (ore)	6.3	7.3	8.8	10.3	11.9	12.9	12.9	12.0	10.1	7.9	6.7	6.3

La temperatura media dei mesi di Luglio e Agosto, i più caldi dell'anno, è di 26,8 °C. Durante l'anno, Gennaio ha una temperatura media di 9,2 °C, la temperatura media più bassa di tutto l'anno.

I mesi più secchi sono Luglio e Agosto con una media di 15 mm di pioggia e un'umidità relativa del 54% e 57% rispettivamente, mentre il mese con maggiori piogge è Novembre con una media di 92 mm circa e un'umidità relativa del 77%. La differenza tra le precipitazioni del mese più secco e quelle del mese più piovoso è 77 mm.

Le ore di sole vanno da un minimo di 6,3 nei mesi invernali di Dicembre e Gennaio, a un massimo di 13 nei mesi di Giugno e Luglio. L'area di interesse gode di **un'abbondante quantità di luce solare** durante tutto l'anno, con una media di oltre 2.500 ore di sole annue. Ciò contribuisce alla **vitalità della vegetazione locale e alla produttività agricola** della regione circostante. In termini di irraggiamento, le aree designate per la realizzazione dell'opera godono di **un'ottima insolazione**, come, peraltro, gran parte della Regione (Figura 2), dove la maggior parte dei territori beneficiano di un irraggiamento solare annuo cumulato con valori superiori ai **2000 kWh/m<sup>2</sup>** (Joint Research Center, 2019<sup>6</sup>).

<sup>6</sup> Joint Research Centre (2019). [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_download/map\\_index.html#!](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_index.html#!).

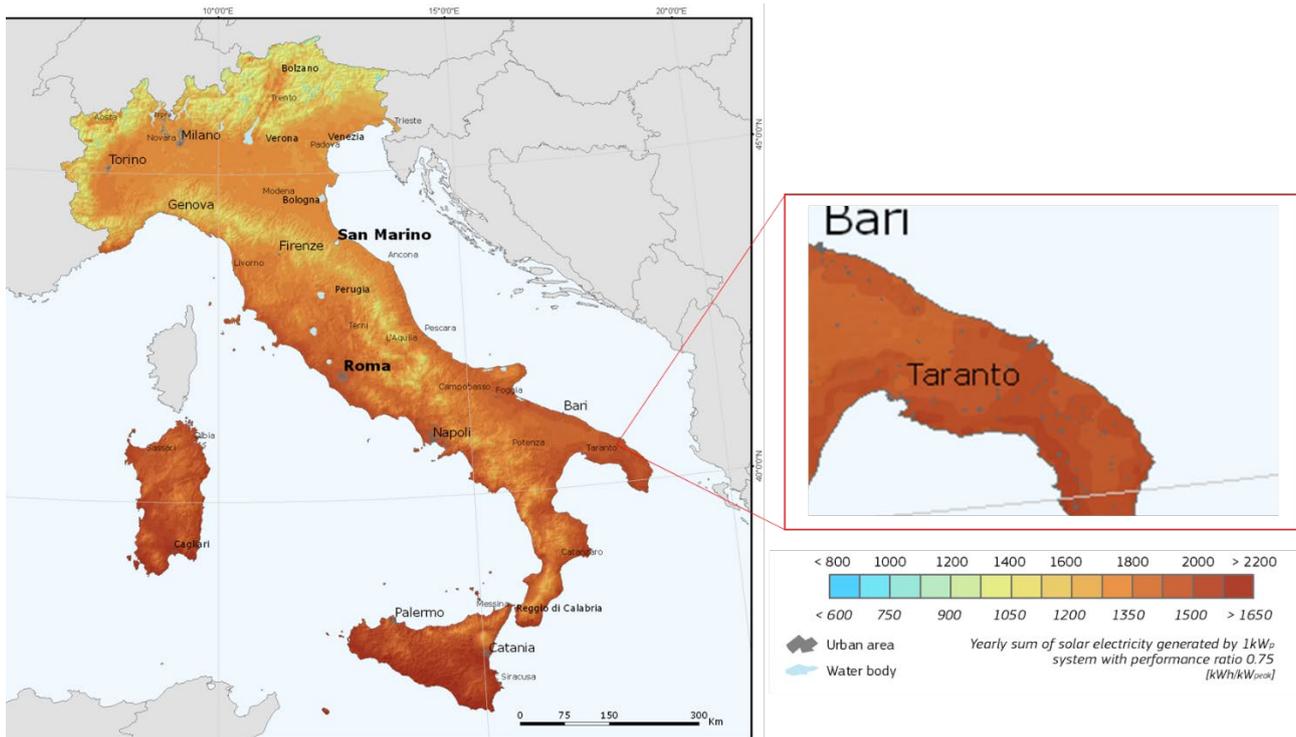


Figura 2: Somma della radiazione globale annua con inclinazione ottimale dei pannelli (European Commission, PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM).

Perciò, sotto quest'aspetto, l'area risulta potenzialmente adatta alla realizzazione di un impianto agrivoltaico.

Il riferimento principale per definire il **regime anemologico** dell'area in esame è rappresentato dalla rosa dei venti riprodotta in Figura 3, calcolata considerando il dataset di dati dal 2008 al 2021 e i dati del vento estratti a 10m.

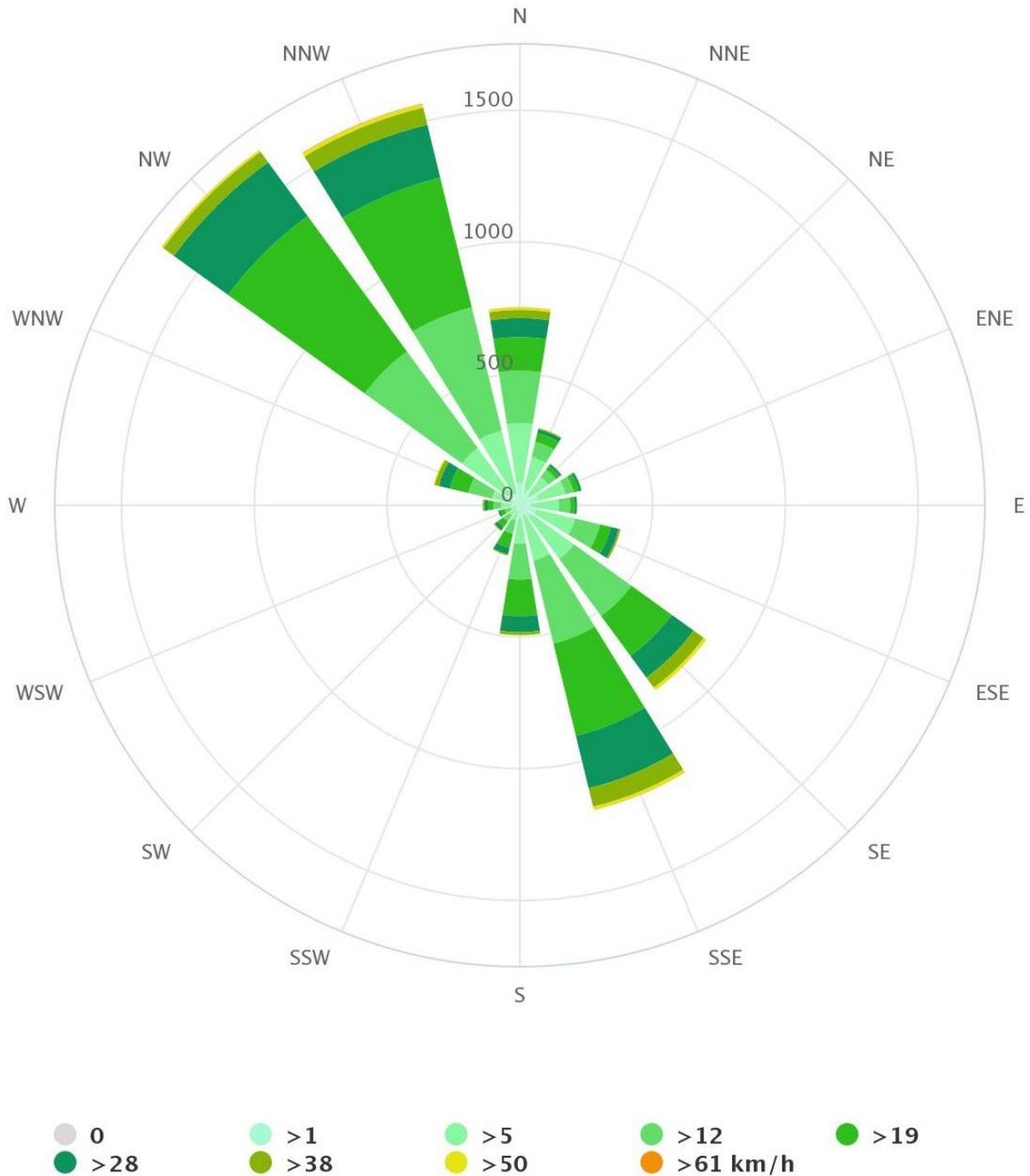


Figura 3: Rosa dei venti calcolata in base ai dati degli anni 2008-2021 (ERA5, ECMWF)

La forma della rosa dei venti evidenzia una prevalenza delle direzioni Nord Ovest. Come si può notare, le maggiori frequenze sono associate a venti di 3 -5.5 m/s.



## 1.1. Caratterizzazione climatica: gli indicatori climatici

Questa sezione si propone di offrire una visione dettagliata delle caratteristiche climatiche dell'area di studio attraverso l'analisi approfondita di indicatori climatici specifici che, rappresentati da parametri chiave come temperatura, umidità, precipitazioni ecc., sono strumenti fondamentali per valutare le dinamiche atmosferiche e le variazioni climatiche.

La lettura accurata e l'interpretazione degli indicatori climatici è fondamentale perché permette di:

- **Comprendere le dinamiche climatiche locali:** gli indicatori climatici offrono un'analisi dettagliata delle caratteristiche termiche, pluviometriche e altre dinamiche climatiche specifiche dell'area in esame.
- **Valutare impatti ambientali:** l'analisi degli indicatori climatici supporta la valutazione degli impatti ambientali, consentendo di anticipare e comprendere le variazioni climatiche che possono influenzare ecosistemi, risorse idriche, e agricoltura.
- **Ottimizzare la progettazione di sistemi:** la conoscenza dettagliata degli indicatori climatici è cruciale per ottimizzare la progettazione del sistema, considerando fattori come l'ombreggiamento, la temperatura, e le esigenze idriche delle colture.
- **Supportare decisioni di gestione:** la gestione efficiente delle risorse agricole e ambientali richiede una comprensione approfondita delle condizioni climatiche locali, resa possibile dalla corretta interpretazione degli indicatori climatici.

### 1.1.1. Continentalità / oceanicità

La continentalità climatica emerge quando una regione si trova a una notevole distanza dalle masse marine o oceaniche, in contrasto con l'oceanicità che denota la prossimità a tali masse d'acqua. Tale condizione solitamente comporta un'accentuata escursione termica annuale, ossia una significativa differenza tra le temperature del mese più caldo e quello più freddo. Questa caratteristica esercita un'influenza significativa sul regime pluviometrico, spesso risultando in una diminuzione delle precipitazioni allontanandosi dalla costa.

Gli indici di continentalità sono spesso calcolati sull'escursione termica annuale. Dal semplice indice  $I_c$  di Rivas - Martinez proposto nell'ambito del Worldwide Bioclimatic Classification System (1996 – 2009), che consiste nella semplice differenza di temperatura tra il mese più caldo e quello più freddo, si passa ai classici indici di Gorczynski (1920) e della rivisitazione di Conrad (1946), che compensano la naturale diminuzione dell'escursione termica verso l'equatore, includendo la latitudine come variabile nella formula.



La valutazione della continentalità e degli indici ad essa associati risulta fondamentale per una completa comprensione del clima in una specifica area. Le tre equazioni impiegate per la definizione del grado di continentalità sono le seguenti, dove  $T_m$  è la temperatura media dei singoli 12 mesi,  $Lat$  la latitudine (gradi):

$$\text{Gorczynski (1920)}^7: K_G = 1.7 \frac{\max(T_m) - \min(T_m)}{\text{sen}(Lat - 20.4)}$$

$$\text{Conrad (1946)}^8: K_C = 1.7 \frac{\max(T_m) - \min(T_m)}{\text{sen}(Lat - 14)}$$

$$\text{Rivas-Martinez (1996-2009)}^9: I_c = \max(T_m) - \min(T_m)$$

Le scala di classificazione degli indici è solitamente interpretata in termini di grado di continentalità, che varia da bassa a elevata a seconda dei valori degli indici specifici. Nello specifico, per  $K_G$  e  $K_C$  valori <33 indicano un Clima marittimo di transizione (verso la continentalità), valori compresi o uguali a 34 – 66 un Clima continentale e valori >77 un Clima estremamente continentale. Per  $I_c$  valori <10 indicano una Bassa continentalità, valori compresi tra 10 – 20 una Moderata continentalità e valori >20 un'Alta continentalità.

Tabella 2: Valori degli indici di continentalità

INDICE DI CONTINENTALITÀ	VALORE	CLIMA
$K_G$	25,54	Clima marittimo di transizione (verso la continentalità)
$K_C$	31,94	Clima marittimo di transizione (verso la continentalità)
$I_c$	17,60	Moderata continentalità

La presenza di un clima marittimo di transizione, inclinato verso una moderata continentalità, ha implicazioni significative per la pianificazione e l'esecuzione del progetto agrivoltaico. Ecco alcuni punti chiave da considerare:

1. Variabilità termica stagionale: la moderata continentalità e il clima marittimo di transizione suggeriscono una variabilità termica stagionale moderata. La transizione alla continentalità,

<sup>7</sup> Gorczynski, L. (1920) : Sur le calcul du degre de continentalisme et son application dans la climatologie. Geografiska Annaler 2, 324-331

<sup>8</sup> Conrad, V. 1946: Usual formulas of continentality and their limits of validity. Transactions, American Geophysical Union, Volume 27, Issue 5, p. 663-664.

<sup>9</sup> Rivas – Martinez: [http://www.iao.florence.it/training/geomatics/BenSlimane/Marocco21\\_3\\_1\\_2.htm](http://www.iao.florence.it/training/geomatics/BenSlimane/Marocco21_3_1_2.htm)



tuttavia, visibile soprattutto con l'indice  $K_c$ , indica un'escursione termica annuale maggiore ed è soprattutto causata dalle elevate temperature estive delle quali bisogna dunque tener conto per le colture.

2. Adattabilità dell'olivo: generalmente adattabili a un'ampia gamma di condizioni climatiche. Tuttavia, la variabilità termica stagionale richiede una scelta attenta delle pratiche agronomiche per massimizzare la resa.
3. Gestione Idrica: la continentalità potrebbe influire sui *pattern* di precipitazioni. Una gestione dell'acqua efficace è essenziale per garantire che la coltura riceva l'irrigazione necessaria durante periodi più secchi o con potenziali variazioni nella distribuzione delle precipitazioni.
4. Ombreggiamento e impatto dell'Agrivoltaico: la presenza di una moderata continentalità potrebbe suggerire la necessità di un adeguato ombreggiamento per proteggere le colture dagli stress termici. L'ombreggiamento dei pannelli dell'impianto agrivoltaico può contribuire a mitigare le temperature più elevate durante l'estate.

**La natura di un clima marittimo di transizione con moderata continentalità indica una situazione favorevole per tale progetto agrivoltaico. Tuttavia, è fondamentale un'attenta attività di monitoraggio che garantisca una risposta flessibile alle variazioni stagionali ottimizzando l'efficienza complessiva del progetto.**

### 1.1.2. Aridità / Umidità

Il concetto di clima arido o umido (con tutti i gradi in cui questa schematizzazione si manifesta) è insito in ogni classificazione climatica di per sé, prima fra tutte proprio quella di Köppen, qui impiegata. Tuttavia, l'uso di indici specifici chiarisce con maggior dettaglio il grado di aridità o di umidità del clima di una regione. In generale, gli indici di aridità hanno lo scopo di stimare in modo molto approssimativo la possibilità del verificarsi o meno di condizioni di deficit idrico durante l'anno; per fare ciò, risulta necessario stimare le perdite evapotraspirative annuali (o in qualche caso con dettaglio superiore, mensile).

#### 1.1.2.1. Pluviofattore di Lang

Lang ha messo in relazione la piovosità media annua  $P$  (in mm) con la temperatura media annua  $T$  (in °C), e ha definito questo rapporto pluviofattore  $P_f = P/T$ . L'indice ha un significato ecologico in quanto esprime l'umidità di un determinato areale entro determinati limiti di temperatura. L'indice classifica il clima secondo la seguente scala di valori:  $>160$  il clima è Umido, 160-100 Temperato Umido, 100-60 Temperato Caldo, 60-40 Semiarido,  $<40$  Steppico.



### 1.1.2.2. Indice di De Martonne

L'indice di De Martonne rappresenta un perfezionamento del pluviofattore di Lang. L'indice è rappresentato mediante la formula:  $IA = P / (T+10)$  dove IA è l'indice di aridità, P le precipitazioni medie annue in mm e T le temperature medie annue in °C. In base all'indice di De Martonne, i vari gradi di aridità vengono indicati come:

Tabella 3. Classificazione climatica secondo l'indice di De Martonne

Valori dell'indice	Tipo	Valori dell'indice	Tipo
0 - 5	arido estremo (deserto)	20 - 30	Subumido <u>irrigazione opportuna</u>
5 - 15	arido (steppe circumdesertiche) <u>irrigazione continua</u>	30 - 60	Umido <u>irrigazione occasionale</u>
15 - 20	semiarido (di tipo mediterraneo) <u>irrigazione necessaria</u>	> 60	Perumido <u>autosufficienza idrica</u>

Secondo l'analisi di De Martonne, valori dell'Indice superiori a 20 indicano la prevalenza di vegetazione forestale. Questo indice assume un ruolo cruciale nella caratterizzazione climatica e vegetazionale, permettendo di definire con precisione i gradi di umidità nell'ambiente e quantificando numericamente le condizioni ambientali.

L'utilità dell'Indice di De Martonne va oltre il solo aspetto climatologico, estendendosi alla valutazione delle condizioni ideali per la crescita di specifici tipi di piante o colture. La sua capacità di quantificare le esigenze vegetative attraverso valori numerici consente una pianificazione agricola più mirata.

Particolarmente rilevante è il ruolo dell'indice nella determinazione della necessità di irrigazione. La conoscenza dei gradi di umidità fornita dall'Indice di De Martonne è essenziale per valutare la disponibilità d'acqua nell'area, diventando cruciale per la gestione dell'acqua in progetti agrivoltaici.

### 1.1.2.3. Indice di Crowther

L'indice di aridità di Crowther tiene conto del bilancio tra precipitazioni e evaporazione ed è calcolato attraverso la seguente espressione:  $Ia = P - 3.3 * T$  dove:

P = precipitazione totale annua espressa in cm; T = temperatura media annua in °C; 3,3 = costante numerica. Si possono presentare i seguenti casi:

Tabella 4: Classificazione climatica secondo l'indice di Crowther

Valori dell'indice	Tipo	Valori dell'indice	Tipo
--------------------	------	--------------------	------



< -30	Zone desertiche o limitrofe	0 < Ic < 15	Modeste condizioni di umidità <u>irrigazione opportuna</u>
-30 < Ic < -15	Semiaridità ( <u>irrigazione costante e continua</u> )	15 < Ic < 40	Apprezzabile acqua di scorrimento <u>irrigazione stagionale</u>
-15 < Ic < 0	Formazioni erbacee ed alberi <u>irrigazione necessaria</u>	> 40	Molta acqua

#### 1.1.2.4. Indice bioclimatico di J. L. Vernet

L'indice è rappresentato mediante la formula:

$$IB = 100 \times \frac{H - h}{P} \times \frac{Me}{Pe}$$

dove IB è l'indice di aridità, H indica le precipitazioni medie della stagione più piovosa (in mm), h le precipitazioni medie della stagione meno piovosa (in mm), P le precipitazioni medie annuali (in mm), Pe le precipitazioni medie estive e Me la temperatura media massima estiva (in °C). L'indice dà valori proporzionali all'umidità.

La classificazione climatica secondo tale indice è:

Tabella 5: Classificazione climatica secondo l'indice bioclimatico di J.L. Vernet

Valori dell'indice	Tipo	Valori dell'indice	Tipo
> +2	Clima continentale	-3 < I < -2	Clima mediterraneo di transizione oceanico
0 < I < + 2	Clima oceanico continentale	-4 < I < -3	Clima Mediterraneo
-2 < I < 0	Clima pseudo-oceanico		

#### 1.1.2.5. Indice FAO

L'indice bioclimatico di aridità e desertificazione FAO-UNEP, introdotto in base alle convenzioni delle Nazioni Unite, è calcolato dalla seguente espressione: Ia = P/ETP dove: P = precipitazioni medie annue; ETP = evapotraspirazione media annua; si possono presentare i seguenti casi:

Tabella 6: Classificazione climatica secondo l'indice FAO

Valori dell'indice	Tipo	Valori dell'indice	Tipo
< 0,05	Clima iperarido	< 0,65	Clima subumido secco
< 0,2	Clima arido	> 0,65	Clima umido
< 0,5	Clima semiarido		



### 1.1.2.6. Quoziente pluviometrico di Emberger

La classificazione bioclimatica di Emberger ha trovato larga applicazione nella caratterizzazione dei climi del Bacino mediterraneo per la relativa semplicità di calcolo e per la buona corrispondenza che, in genere, si riscontra con i caratteri vegetazionali delle diverse regioni geografiche di quest'area.

L'elemento fondamentale della classificazione bioclimatica di Emberger è il quoziente pluviometrico (Q), che esprime la siccità generale in clima mediterraneo. Il clima è tanto più secco quanto più basso è il valore di questo quoziente. Il quoziente di Emberger, proposto inizialmente nel 1923, corrisponde alla formulazione seguente:  $Q = (2000 \times P) / (T_{max}^2 - T_{min}^2)$ .

Tabella 7: Classificazione climatica secondo l'indice Emberger

Valori dell'indice	Tipo
> 90	Umido
90 - 50	Subumido
50 - 30	Semiarido
30 - 0	Arido

Nello specifico, nell'area Mediterraneo questo indice comprende valori che vanno da 50 – 250. L'area Mediterranea è così caratterizzata:

- una estate calda con scarse precipitazioni (periodo arido);
- temperature invernali non tanto basse;
- precipitazioni concentrate principalmente in autunno-inverno (periodo umido).

## 1.2. Caratterizzazione climatica: i risultati per l'area di interesse

L'area interessata dal progetto agrivoltaico in esame è descritta dagli indici riportati in Tabella 8.

Tabella 8: Classificazione climatica dell'area di studio

INDICE	VALORE	CLIMA
Pluviofattore di Lang	32,89	Steppico (caratterizzato da precipitazioni annue moderate, con una stagione secca più lunga rispetto a quella umida)
Mesi Aridi:	Secondo Koppen: mag giu lug ago Secondo Gaussen: mag giu lug ago	-
Indice di De Martonne	20,90	Subumido (irrigazione opportuna)



Indice di aridità di Crowther	-0,19	Formazioni erbacee ed alberi ( <u>irrigazione necessaria</u> )
Indice bioclimatico di J.L. Vernet	5,54	Continentale (variabilità stagionale moderata per le precipitazioni)
Indice FAO	1,11	Umido
Evaporazione media mensile [mm]	163,59	-
Quoziente pluviometrico di Emberger	76,61	Subumido (area Mediterranea con estati calde e aride e inverni umidi)

L'indice di De Martonne è stato calcolato per ogni mese:

*Tabella 9: Indice di De Martonne mensile; il giallo indica un clima arido, il grigio un clima semiarido, il celeste chiaro un clima subumido, il celeste scuro un clima umido.*

	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Indice di De Martonne	37,50	38,57	39,82	16,80	11,88	6,67	3,26	8,15	17,04	30,11	36,54	39,61

L'analisi complessiva suggerisce una disponibilità moderata d'acqua con fluttuazioni stagionali e con periodi estivi aridi. La gestione oculata dell'irrigazione, particolarmente durante la stagione secca, diventa essenziale per massimizzare la produzione agricola e l'efficienza del sistema agrivoltaico.

**Il progetto agrivoltaico è compatibile con gli indici e la classificazione climatica presa in considerazione.** La moderata disponibilità d'acqua, le variazioni stagionali e le esigenze di irrigazione suggerite dagli indici climatici sono aspetti che possono essere adeguatamente gestiti attraverso una pianificazione accurata del progetto. **La compatibilità con l'ambiente climatico delineato conferma la fattibilità e la sostenibilità del progetto agrivoltaico nell'area di studio.**

### 1.3. Climogrammi

I climogrammi rappresentano un potente strumento visuale che combina dati mensili di temperatura e precipitazioni, offrendo una panoramica completa delle caratteristiche climatiche nel corso dell'anno. In questa sezione, esamineremo attentamente i climogrammi dell'area di studio. Queste rappresentazioni grafiche non solo ci consentiranno di identificare i modelli climatici stagionali, ma ci aiuteranno anche a valutare l'idoneità del sito per il progetto in questione.



### 1.3.1. Diagramma ombrotermico

Il climogramma ombrotermico è un grafico che rappresenta graficamente la distribuzione mensile delle temperature medie e delle precipitazioni. Per l'area in esame si nota ciò che è già stato evidenziato per l'area in esame e cioè la variabilità stagionale con una stagione più secca estiva con temperature più alte e una più umida.

Dal climogramma riportato in Figura 4 emerge visivamente la variabilità stagionale che caratterizza l'area di interesse con un periodo caratterizzato da temperature più alte e basse precipitazioni (aprile-settembre) e un periodo con abbondanti precipitazioni (ottobre-marzo).

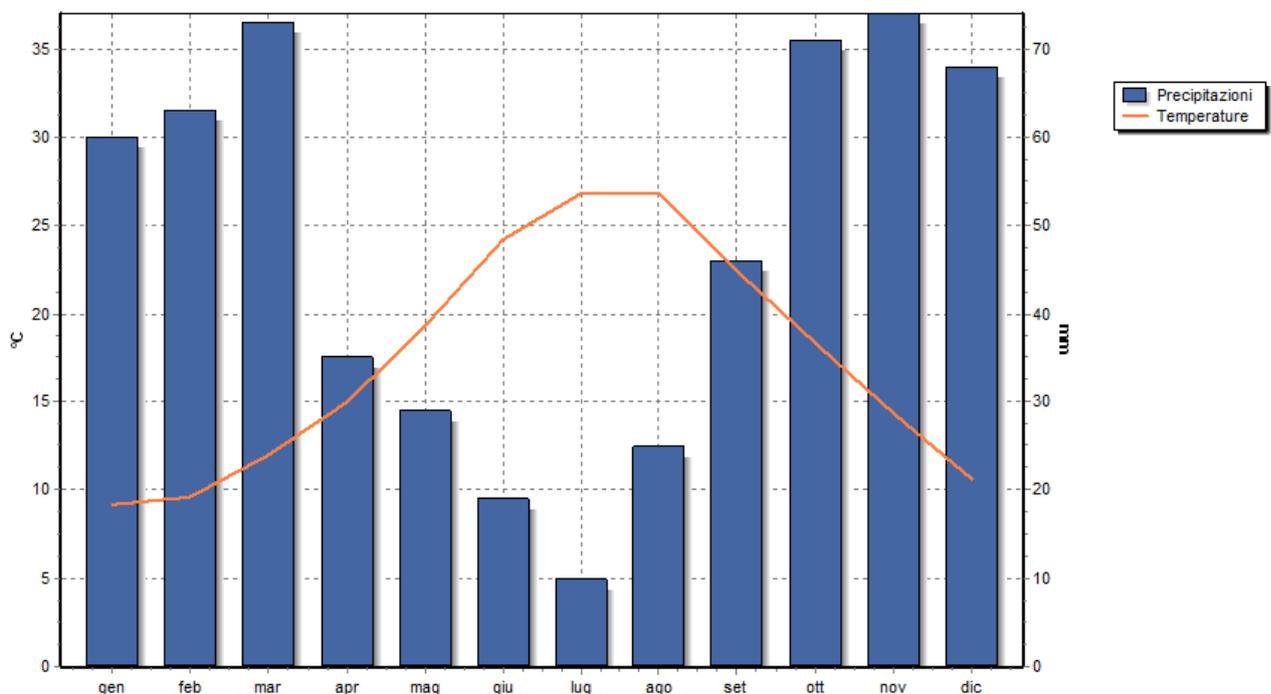


Figura 4: Diagramma ombrotermico

### 1.3.2. Diagramma Walter & Lieth

Questo diagramma<sup>10</sup> è particolarmente utile per valutare la disponibilità di acqua in relazione alle temperature. Nello specifico, analizzando la posizione relativa delle curve delle temperature e delle precipitazioni, è possibile identificare visivamente i periodi in cui potrebbero verificarsi condizioni di aridità o eccesso idrico. Quando la curva delle precipitazioni scende sotto quella delle temperature medie il mese/periodo interessato viene considerato "arido", altrimenti con "disponibilità idrica". Inoltre, sono indicati anche i mesi/periodi con rischio gelate ( $T < 0$  °C).

<sup>10</sup> Lieth, H., Berlekamp, J., Fuest, S., and Riediger, S., 1957: Walter-Lieth: Climate Diagram World Atlas, CD-Series I of Climate and Biosphere, 1st edit.



Dal climogramma rappresentato dalla Figura 5 si evince che il periodo con disponibilità idrica va da Ottobre a fine Marzo. Questi mesi rappresentano la stagione piovosa nella regione. Il periodo da Aprile a inizio Settembre è invece prettamente arido. Questi mesi rappresentano la stagione secca in cui la disponibilità di precipitazioni è bassa. Quanto descritto è anche visibile dal climogramma in Figura 6.

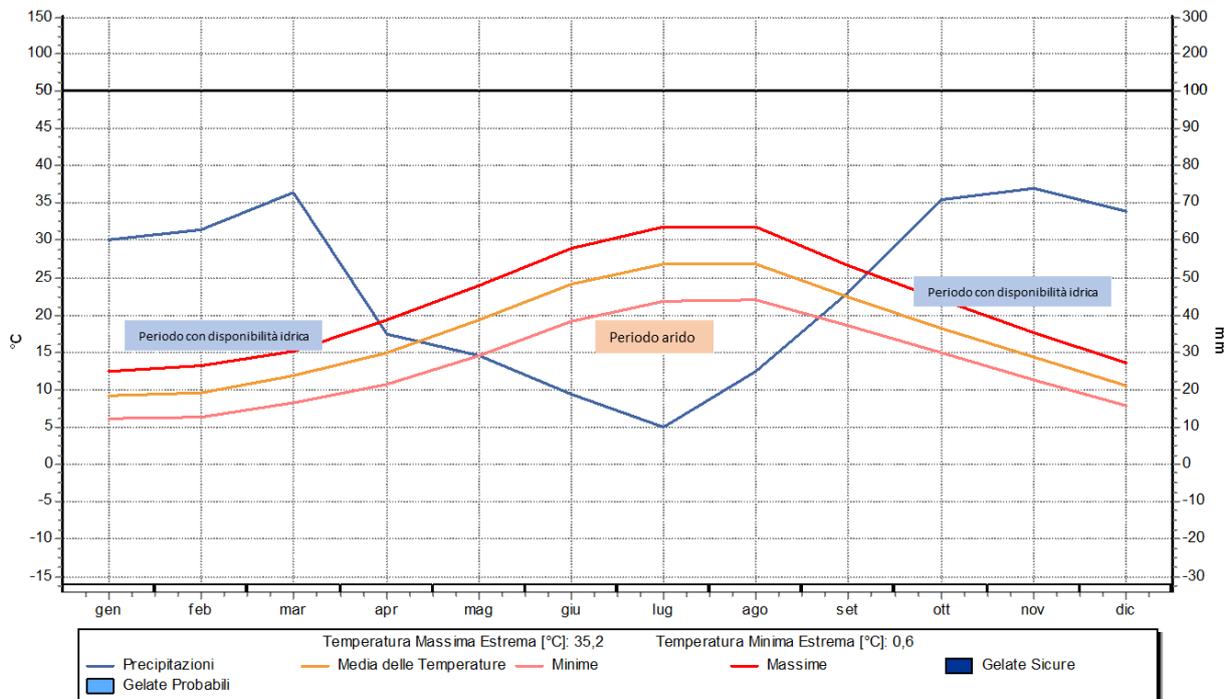


Figura 5: Climogramma di Walter & Lieth

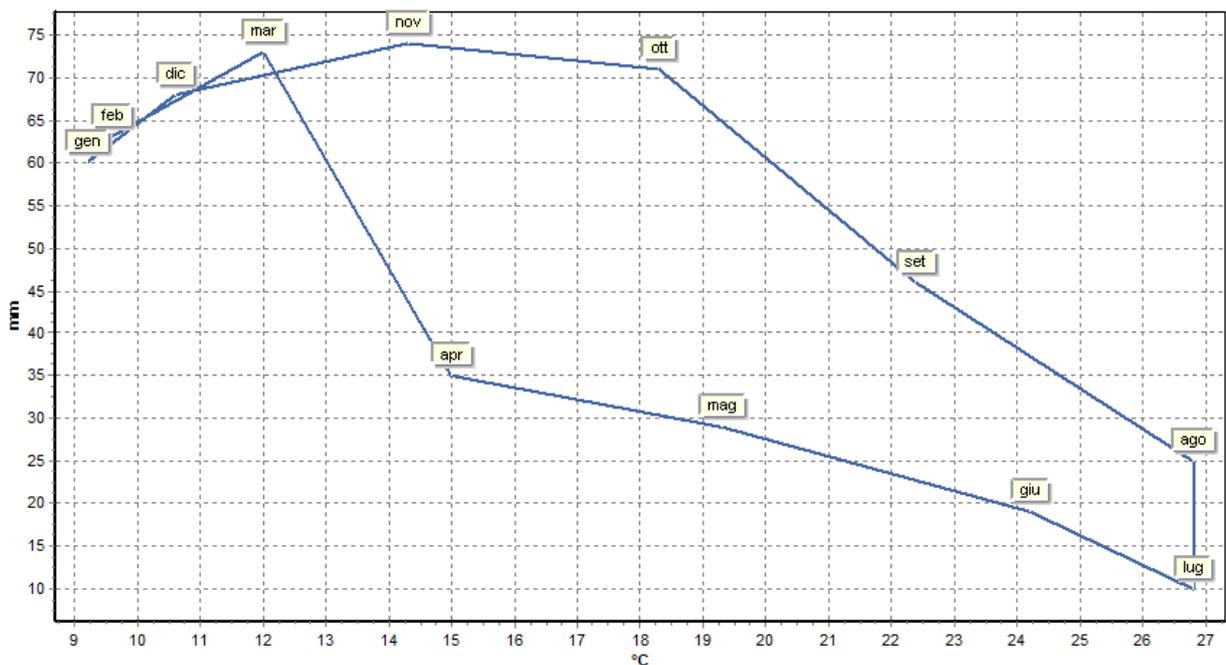


Figura 6: Climogramma Precipitazioni e Temperature



### 1.3.3. Climogramma di Peguy

I climogrammi di Péguy<sup>11</sup> rappresentano la climatologia mensile di una stazione nei confronti di una schematica classificazione climatica che viene rappresentata nel grafico in base a temperatura e precipitazione (Figura 7). I diversi mesi si collocano così dentro il grafico in diverse aree, ognuna identificata con un termine. I mesi aridi sono Maggio Giugno Luglio e Agosto mentre i restanti sono considerati temperati.

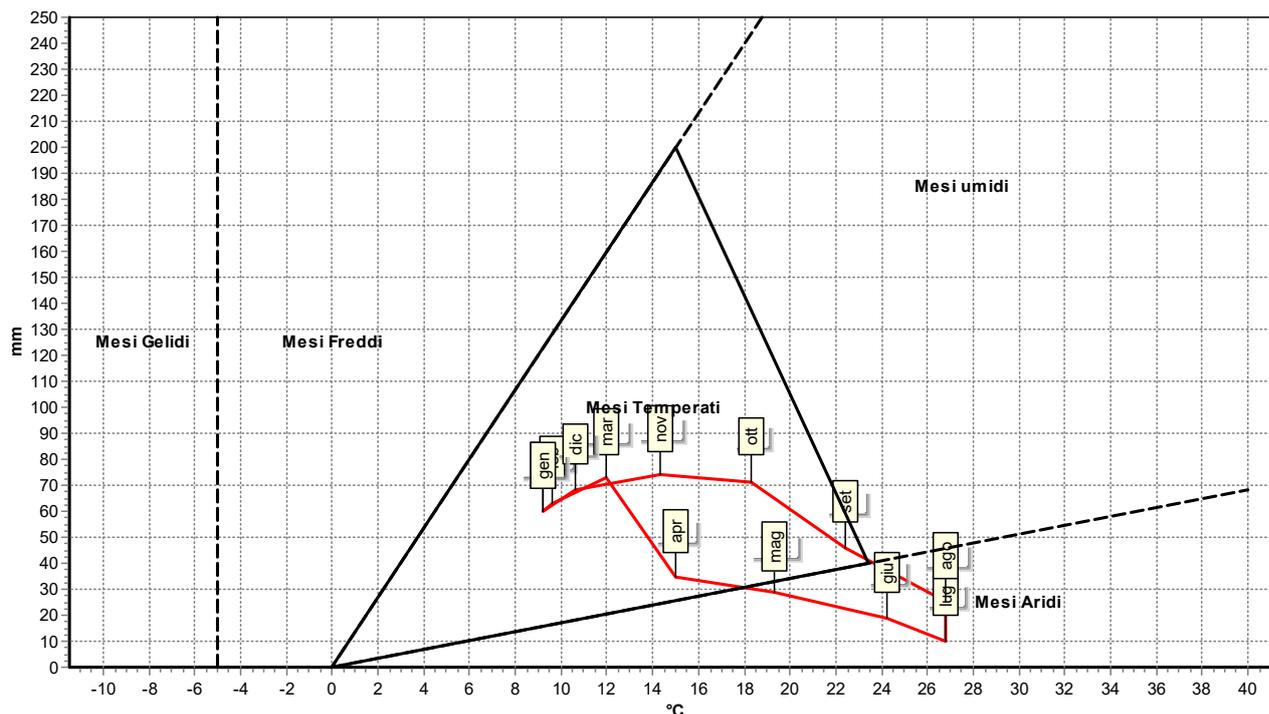


Figura 7: Climogramma di Peguy

## 2. Analisi trend climatici

I diagrammi riportati nella presente sezione descrivono i trend climatici negli ultimi 40 anni e forniscono una prova analitica del cambiamento climatico già in atto nell'area di interesse. La fonte di dati utilizzata è il dataset di rianalisi di quinta generazione ERA5<sup>12</sup>. L'intervallo di tempo analizzato va dal 1979 al 2021 con una risoluzione spaziale di 30 km.

I grafici riportati in Figura 8 e 9 mostrano una stima della temperatura media e delle precipitazioni totali medie annuali per Brindisi e dintorni. La linea blu tratteggiata mostra la tendenza lineare del cambiamento climatico. Nella parte inferiore del grafico sono riportate le cosiddette strisce di

<sup>11</sup> Péguy, C.P. , 1970 : Precis de climatologie, ed. Masson, Paris

<sup>12</sup> <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation>



anomalia. Ogni striscia colorata rappresenta la temperatura media di un anno: blu per gli anni più freddi e rosso per quelli più caldi.

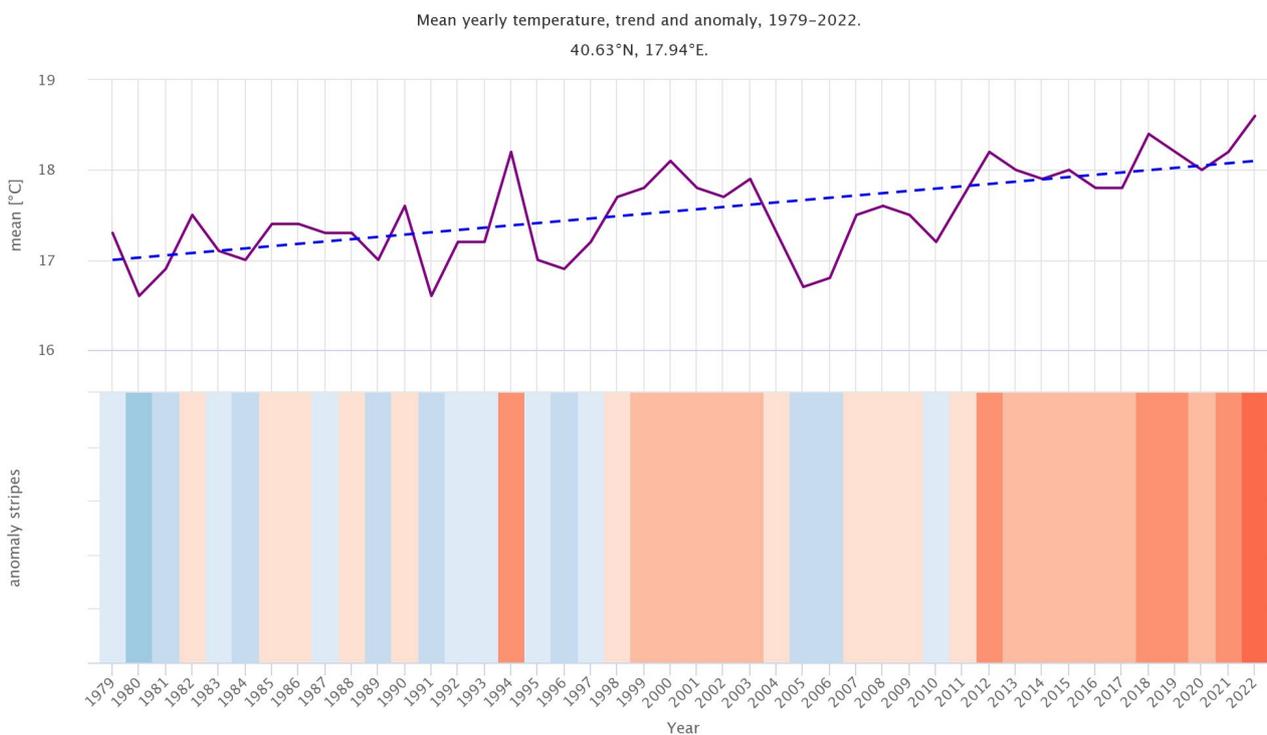


Figura 8: Stima della temperatura media annuale per Brindisi e dintorni dal 1979 al 2021 (ERA5, ECMWF). La linea blu tratteggiata mostra la tendenza lineare del cambiamento climatico. In basso le strisce anomalia che rappresentano la temperatura media di un anno: blu per gli anni più freddi e rosso per quelli più caldi.

La linea di tendenza sale da sinistra a destra e ciò indica un cambiamento climatico in corso con una variazione della temperatura positiva ed indica, cioè, che l'area sta diventando più calda.

In particolare, si osserva che dal 2007 ad oggi, ad eccezione dell'anno 2010, la tendenza di temperatura è sempre stata positiva con un'anomalia massima negli ultimi 40 anni di 1.3 °C nel 2022.

Il grafico in Figura 9 mostra che la linea di tendenza delle precipitazioni sale da sinistra a destra e ciò indica che la variazione delle precipitazioni è positiva e che nell'area vi è un cambiamento climatico in corso che la rende maggiormente piovosa.

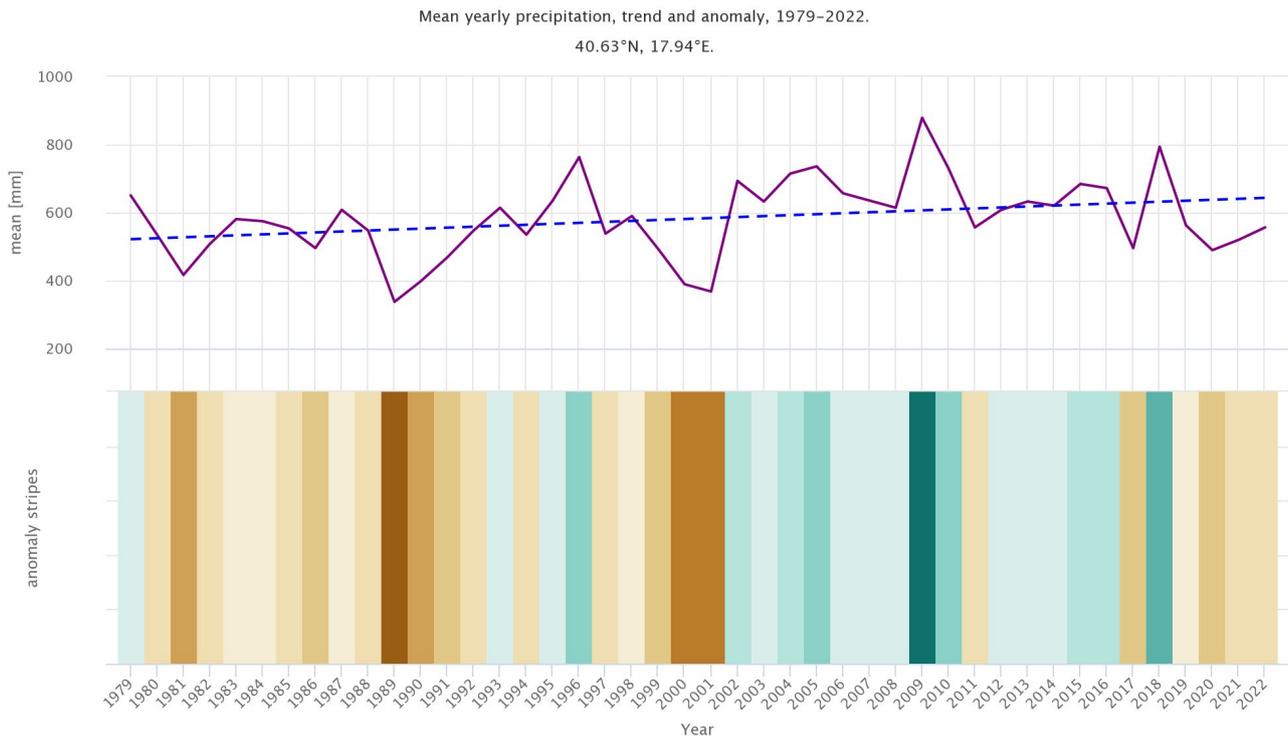


Figura 9: Stima delle precipitazioni totali medie annuali per Brindisi e dintorni dal 1979 al 2021 (ERA5, ECMWF). La linea blu tratteggiata mostra la tendenza lineare del cambiamento climatico. In basso le strisce anomalia che rappresentano la precipitazione totale di un anno: verde per gli anni più umidi e marrone per quelli più secchi.

Il grafico evidenzia una **storia climatica caratterizzata da anni particolarmente secchi e aridi**. L'ultima anomalia massima negativa è stata registrata nel **2001 ed è stata di -237,3 mm annui**. Successivamente la tendenza diventa positiva con un'**anomalia massima nel 2009 di 258,5 mm/anno**. Negli ultimi 2 anni (2021-2022) la **tendenza è tornata negativa con un'anomalia massima registrata di -85,2 mm nell'anno 2021**.

La linea di tendenza positiva non esclude il rischio siccità dell'area, che verrà analizzato in seguito, poiché la media dei mm di pioggia annuali potrebbero oscillare in base ad eventi di piovosità estremi.



### 3. Analisi dei rischi climatici fisici

Partendo dalle condizioni climatiche attuali dell'area, questa sezione riporta le **proiezioni climatiche valutate per identificare i rischi climatici fisici**; gli impatti sono stati valutati sulla base delle migliori pratiche e degli orientamenti disponibili e tenendo conto delle più attuali conoscenze scientifiche per l'analisi della vulnerabilità e del rischio e delle relative metodologie adottate dal Gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico<sup>13</sup>.

Nel contesto del cambiamento climatico, **l'analisi del rischio climatico rappresenta uno strumento fondamentale per valutare e comprendere gli impatti futuri del clima su diverse attività umane**, tra cui l'agricoltura e l'installazione di nuovi impianti per la produzione di energia rinnovabile. Il cambiamento climatico è una delle sfide più pressanti del nostro tempo, con **il riscaldamento globale e i cambiamenti nei pattern meteorologici che influenzano direttamente i sistemi agricoli e le pratiche di coltivazione**.

L'analisi del rischio climatico permetterà di **identificare le potenziali vulnerabilità e gli impatti del cambiamento climatico sull'efficienza e la sostenibilità dell'impianto agri-fotovoltaico, consentendo una migliore pianificazione e adattamento per affrontare le sfide future.**

### 4. Proiezioni climatiche future: un'analisi a scala regionale

La valutazione dei rischi fisici dell'area è effettuata utilizzando **proiezioni climatiche avanzate** alla massima risoluzione disponibile nella serie esistente di scenari futuri coerenti con la durata prevista dell'attività.

Per comprendere meglio gli impatti futuri del cambiamento climatico e fornire basi solide per la pianificazione e l'adattamento, il Gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico (IPCC) ha sviluppato il sesto progetto di intercomparazione dei modelli climatici accoppiati (CMIP6 *Coupled Model Intercomparison Project Phase 6*). Nel presente capitolo, esamineremo le proiezioni climatiche future relative agli scenari SSP2-4.5 (*Shared Socioeconomic Pathway 2-4.5*) e SSP5-8.5 (*Shared Socioeconomic Pathway 5-8.5*) al fine di valutare le potenziali tendenze climatiche nell'area Mediterranea in cui rientra la nostra area di interesse.

#### 3.1. Proiezioni CMIP6

---

<sup>13</sup> Relazioni di valutazione sui cambiamenti climatici relative a impatti, adattamento e vulnerabilità, pubblicati periodicamente dal Gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico (IPCC), l'organismo delle Nazioni Unite per la valutazione delle informazioni scientifiche prodotte relativamente al cambiamento climatico, <https://www.ipcc.ch/reports/>.



Il CMIP6 rappresenta un'importante iniziativa scientifica che coinvolge una vasta rete di modellisti climatici in tutto il mondo. L'obiettivo principale del progetto è migliorare la comprensione delle risposte climatiche ai cambiamenti nell'emissione di gas serra e **fornire proiezioni climatiche avanzate basate su scenari socio-economici** noti come *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP). Le proiezioni CMIP6 costituiscono un significativo progresso rispetto ai progetti precedenti, incorporando modelli climatici più sofisticati e raffinati per fornire una maggiore precisione nelle previsioni climatiche.

### 3.2. Scenari SSP2-4.5 e SSP5-8.5

Gli scenari SSP2-4.5 e SSP5-8.5 rappresentano diverse traiettorie socio-economiche future definite nel contesto del CMIP6. Essi consentono di esplorare **le possibili evoluzioni globali basate su una combinazione di fattori socio-economici e tecnologici**.

SSP2-4.5 descrive un futuro in cui le politiche globali mirano a una mitigazione significativa delle emissioni di gas serra, risultando in una stabilizzazione delle concentrazioni atmosferiche e un moderato aumento delle temperature globali rispetto agli scenari più inquinanti.

SSP5-8.5, al contrario, rappresenta un futuro in cui le politiche di mitigazione delle emissioni sono scarse o inefficaci, portando a una crescita continua delle concentrazioni di gas serra e ad un aumento più marcato e rapido delle temperature globali.

### 3.3. Variazione delle principali variabili climatiche

Nella nostra analisi, esamineremo una serie di variabili climatiche cruciali per comprenderne l'evoluzione futura nella nostra area di interesse. Queste variabili includono:

- **Mean temperature** (T) (temperatura media): La temperatura media annuale e in una specifica area geografica.
- **Minimum temperature** (TN) (temperatura minima): La temperatura minima giornaliera annuale e in una specifica area geografica.
- **Frost days** (FD) (giorni di gelo): Il numero di giorni in un anno in cui la temperatura scende al di sotto dello zero.
- **Maximum temperature** (TX) (temperatura massima): La temperatura massima giornaliera in un anno e in una specifica area geografica.
- **Days with TX above 35°C** (TX35) (giorni con temperatura massima sopra i 35°C): Il numero di giorni in cui la temperatura massima supera i 35°C.



- **Days with TX above 40°C** (TX40) (giorni con temperatura massima sopra i 40°C): il numero di giorni in cui la temperatura massima supera i 40°C.
- **Total precipitation** (PR) (precipitazioni totali): la quantità totale di precipitazioni su un periodo di tempo e in una specifica area geografica.
- **Maximum 1-day precipitation** (RX1day) (massima quantità di precipitazioni in un giorno): la massima quantità di precipitazioni registrata in un singolo giorno.
- **Maximum 5-day precipitation** (RX5day) (massima quantità di precipitazioni in 5 giorni): la massima quantità di precipitazioni registrata in un periodo di 5 giorni.
- **Consecutive Dry Days** (CDD) (giorni consecutivi senza precipitazioni): il numero di giorni consecutivi senza precipitazioni sopra una soglia specifica.
- **Standardized Precipitation Index** (SPI-6) (Indice Standardizzato di Precipitazione): un indicatore di siccità basato sulla distribuzione delle precipitazioni su un periodo di tempo e luogo specifici. Valori negativi indicano condizioni di siccità, mentre valori positivi indicano condizioni di abbondanti precipitazioni.
- **Sea level rise** (SLR) (innalzamento del livello del mare): si riferisce al fenomeno di aumento del livello medio dei mari e degli oceani a livello globale.

In Tabella 10 si riporta **la variazione delle variabili climatiche** (rispetto all'arco di tempo recente 1990-2014) espressa in valori medi annuali per gli scenari **SSP2 4.5** (ottimistico - migliorativo) e **SSP5 8.5** (pessimistico – peggiorativo) calcolati per il **vicino (NT)** (2021-2040), **medio (MT)** (2041-2060) e **lungo periodo (LT)** (2081-2100).

Tabella 10: Variazione delle variabili climatiche per gli scenari SSP2 4.5 (ottimistico - migliorativo) e SSP5 8.5 (pessimistico – peggiorativo) calcolati per il vicino (NT) (2021-2040), medio (MT) (2041-2060) e lungo periodo (LT) (2081-2100).

Variabile	Periodo	SSP2 4.5	SSP5 8.5
<b>Mean temperature</b> (T) (°C)	NT	0.9	1.1
	MT	1.5	2.0
	LT	2.4	4.6
<b>Minimum temperature</b> (TN) (°C)	NT	0.9	1
	MT	1.4	2
	LT	2.3	4.5
<b>Frost days</b> (FD) (giorni)	NT	-3.1	-3.5
	MT	-4.6	-6.5
	LT	-7.2	-12.4
<b>Maximum temperature</b> (TX)	NT	1.0	1.1
	MT	1.6	2.2



(°C)	LT	2.5	4.8
<i>Days with TX above 35°C (TX35)</i> (giorni)	NT	11.9	12.8
	MT	16.3	20.5
	LT	23.0	43.1
<i>Days with TX above 40°C (TX40)</i> (giorni)	NT	6.3	6.8
	MT	8.8	11.3
	LT	13.1	26.8
<i>Total precipitation (PR)</i> (%)	NT	-5.7	-7
	MT	-8.7	-12
	LT	-11.3	-22.2
<i>Maximum 1-day precipitation (RX1day)</i> (%)	NT	1.8	1.7
	MT	2.2	3.1
	LT	3.9	5.4
<i>Maximum 5-day precipitation (RX5day)</i> (%)	NT	0.8	0.6
	MT	0.5	0.2
	LT	0.9	-1.4
<i>Consecutive Dry Days</i> (CDD) (giorni)	NT	3.2	4.3
	MT	6.5	9.4
	LT	10.1	20.4
<i>Standardized Precipitation Index</i> (%)	NT	-8.8	-12.3
	MT	-19.7	-30.9
	LT	-30.2	-68.4
<i>Sea level rise (SLR)</i> (m)	NT	0.1	0.1
	MT	0.2	0.3
	LT	0.5	0.7

Rielaborando i dati possiamo osservare:

- **Aumento della temperatura media (T):** In entrambi gli scenari, si nota un trend in aumento della temperatura media (T) nel corso dei periodi "NT", "MT" e "LT". Tuttavia, nel caso dello **scenario SSP2 4.5**, i valori sono più contenuti e controllati rispetto allo scenario SSP5 8.5, indicando un impatto minore delle emissioni di gas serra sulla temperatura.
- **Aumento dei giorni con temperature superiori a 35°C e 40°C (TX35 - TX40):** Entrambi gli scenari mostrano un aumento del numero di giorni con temperature massime sopra i 35°C e 40°C nei periodi "MT" e "LT". Tuttavia, anche in questo caso, lo scenario **SSP2 4.5** presenta



valori più contenuti rispetto allo scenario "SSP5 8.5", suggerendo una **minore probabilità di ondate di calore estreme**.

- **Precipitazioni negative e condizioni siccitose:** Entrambi gli scenari mostrano valori negativi per le precipitazioni totali (PR) e per l'Indice di Precipitazione Standardizzato (SPI) nei periodi "MT" e "LT". Questo suggerisce un aumento delle **condizioni siccitose nel futuro**, con una diminuzione delle precipitazioni. Anche in questo caso, lo scenario SSP2 4.5 presenta valori meno negativi rispetto allo scenario SSP5 8.5, indicando una maggiore probabilità di avere condizioni meno severe di siccità.
- **Aumento del livello del mare (SLR):** Entrambi gli scenari indicano un aumento proiettato del livello del mare (SLR) nei periodi "MT" e "LT", ma i valori nello scenario SSP2 4.5 sono più contenuti e controllati rispetto allo scenario SSP5 8.5. Questa tendenza è coerente con le proiezioni dell'innalzamento del livello del mare legato al cambiamento climatico.

In sintesi, i dati della tabella suggeriscono che entrambi gli scenari mostrano **una tendenza in aumento della temperatura, dei giorni con temperature elevate e dell'innalzamento del livello del mare**. Inoltre, entrambi gli scenari prospettano un **futuro caratterizzato da condizioni siccitose, con una diminuzione delle precipitazioni**. Tuttavia, **lo scenario SSP2 4.5 mostra valori più contenuti e controllati per tutte le variabili climatiche considerate rispetto allo scenario SSP5 8.5 indicando che politiche di mitigazione e riduzione delle emissioni di gas serra potrebbero avere un impatto positivo nel limitare gli effetti del cambiamento climatico.**

### 3.4. Impatto sui servizi ecosistemici

Come osservato, l'area di interesse è interessata da un **cambiamento climatico che porterà a perdite nei rendimenti agricoli e nel potenziale di stoccaggio del carbonio, ad un aumento dei rischi legati agli incendi e cambiamenti nella tipologia del bioma**<sup>14</sup>. I servizi ecosistemici risultano particolarmente sensibili ad eventi o stagioni estreme, come estati molto calde e secche<sup>15</sup> così come a inverni miti,

---

<sup>14</sup> Navarra, A. and Tubiana, L. (eds), 2013. *Regional assessment of climate change in the Mediterranean. Volume 1: Air, Sea and precipitation and water, Advances in Global Change Research, Springer Netherlands, Dordrecht.*

Santini, M., Caccamo, G., Laurenti, A., Noce, S. and Valentini, R., 2010. *A multi-component GIS framework for desertification risk assessment by an integrated index, Applied Geography 30(3), 394–415*

<sup>15</sup> Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabre, A., DeFries, R., Galloway, J., Heimann, M., Jones, C., Le Quéré, C., Myneni, R. B., Piao, S. and Thornton, P., 2013. *Carbon and other biogeochemical cycles. in: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., et al. (eds), Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge; New York, pp. 465–570.*

Reichstein, M., Ciais, P., Papale, D., Valentini, R., Running, S., Viogy, N., Cramer, W., Granier, A., Ogé, J., Allard, V., Aubinet, M., Bernhofer, C., Buchmann, N., Carrara, A., Grünwald, T., Heimann, M., Heinesch, B., Knohl, A., Kutsch, W. et



tempeste di vento e forti piogge. Inoltre, tali servizi ecosistemici sono minacciati dai cambiamenti climatici a lungo termine, come l'aridificazione e la degradazione, i quali potrebbero portare a una desertificazione irreversibile<sup>16</sup>.

Il cambiamento climatico futuro **influenzerà le colture tipiche di quest'area geografica, come la vite, il grano duro e l'olivo**<sup>17</sup>. In particolare, si prevede che l'area adatta agli alberi di olivo subirà uno spostamento verso nord e verso est a causa del riscaldamento e dell'inaridimento.

La Tabella 11 fornisce un riassunto degli stress climatici, impatti e sensibilità per i diversi servizi ecosistemici e i settori che essi supportano.

Tabella 11: Impatti di diversi stress climatici e antropici sui servizi ecosistemici e i settori che essi supportano.

Settore	Servizi Ecosistemici	Stress (climatici, altri)	Impatti/Sensibilità
Agricoltura, pascolo, agroforestazione	Produzione di cibo (colture e bestiame)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Temperature più elevate</li><li>- Modelli di precipitazioni variabili</li><li>- Stress idrico</li><li>- Malattie</li><li>- Erosione</li><li>- Espansione urbana</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Maggiore domanda di irrigazione</li><li>- Ridotta produttività</li><li>- Insuccesso delle colture</li><li>- Mortalità del bestiame</li></ul>
Agricoltura	Sequestro del carbonio	<ul style="list-style-type: none"><li>- Temperature più elevate</li><li>- Modelli di precipitazioni variabili</li><li>- Stress idrico</li><li>- Malattie</li><li>- Erosione</li><li>- Espansione urbana</li><li>- Maggiore domanda di irrigazione</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ridotta produttività</li><li>- Decomposizione della materia organica del suolo</li></ul>

al., 2007, 'Reduction of ecosystem productivity and respiration during the European summer 2003 climate anomaly: A joint flux tower, remote sensing and modelling analysis', *Global Change Biology* 13(3), 634–651.

<sup>16</sup> Rubio, J. L., Safriel, U., Daussa, R., Blum, W. and Pedrazzini, F. (eds), 2009. *Water scarcity, land degradation and desertification in the Mediterranean region*, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, Springer Netherlands, Dordrecht.

<sup>17</sup> Ponti, L., Gutierrez, A. P., Ruti, P. M. and Dell'Aquila, A., 2014, 'Fine-scale ecological and economic assessment of climate change on olive in the Mediterranean Basin reveals winners and losers', *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111(15), 5 598–5 603.

Tanasijevic, L., Todorovic, M., Pereira, L. S., Pizzigalli, C. and Lionello, P., 2014. *Impacts of climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region*. *Agricultural Water Management* 144, 54–68

Saadi, S., Todorovic, M., Tanasijevic, L., Pereira, L. S., Pizzigalli, C. and Lionello, P., 2015, 'Climate change and Mediterranean agriculture: Impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield', *Agricultural Water Management* 147, 103–115



<i>Agricoltura, foreste</i>	Biocarburanti, compensazione del carbonio	<ul style="list-style-type: none"><li>- Temperature più elevate</li><li>- Modelli di precipitazioni variabili</li><li>- Stress idrico</li><li>- Malattie</li><li>- Incendi</li><li>- Erosione/sfruttamento eccessivo</li><li>- Espansione urbana</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ridotta produttività</li><li>- Mortalità delle colture o degli alberi</li></ul>
<i>Selvicoltura</i>	Produzione di legname	<ul style="list-style-type: none"><li>- Temperature più elevate</li><li>- Modelli di precipitazioni variabili</li><li>- Stress idrico</li><li>- Malattie</li><li>- Incendi</li><li>- Erosione/sfruttamento eccessivo</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ridotta produttività</li><li>- Mortalità degli alberi</li></ul>
<i>Selvicoltura, ecosistemi terrestri</i>	Sequestro del carbonio	<ul style="list-style-type: none"><li>- Temperature più elevate</li><li>- Modelli di precipitazioni variabili</li><li>- Stress idrico</li><li>- Malattie</li><li>- Incendi</li><li>- Erosione</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ridotta produttività</li><li>- Mortalità degli alberi</li><li>- Decomposizione della materia organica del suolo</li></ul>
<i>Ecosistemi terrestri e acquatici</i>	Fornitura/regolazione idrica	<ul style="list-style-type: none"><li>- Temperature più elevate</li><li>- Modelli di precipitazioni variabili</li><li>- Stress idrico</li><li>- Cambiamenti nella copertura del suolo</li><li>- Degradazione del paesaggio</li><li>- Erosione</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Riduzione della disponibilità di acqua</li><li>- Maggiore domanda di acqua</li><li>- Degradazione della qualità dell'acqua</li><li>- Produzione di sedimenti</li></ul>

## 5. Stressor climatici nell'area di interesse: un'analisi a scala locale

Gli *stressor* climatici più rilevanti per l'area di interesse sono le **ondate di calore e l'intensificarsi degli eventi di precipitazione estremi**, che si accompagnano ad una generalizzata riduzione delle precipitazioni nel periodo estivo. Potenziali impatti climatici di particolare rilievo saranno quelli sulla **salute**, derivanti dalle patologie legate all'aumento delle temperature, incluse le ondate di calore. Inoltre, l'aumento della temperatura porterà ad un incremento dell'**aridificazione** (perdita umidità dei suoli) nelle **aree agricole, forestali e pastorali e ad un aumento del rischio di incendi** soprattutto in zone forestali non gestite e in aree abbandonate. L'aumento degli episodi di siccità porterà ad una **riduzione della disponibilità idrica**.



Per approfondire gli *stressor* climatici che porteranno ad un aumento del rischio nell'area indagata sono stati utilizzati i seguenti strumenti: *ThinkHazard!*<sup>18</sup>, un modello web-based sviluppato dal *Global Facility for Disaster Reduction and Recovery* e la piattaforma *Climate-ADAPT*<sup>19</sup> sviluppata dalla Commissione Europea e dall'Agenzia Europea dell'Ambiente.

La Tabella 12 riporta una panoramica degli *stressor* climatici approfonditi, dei livelli di pericolo associati, delle minacce e del livello di rischio che ne consegue. Il livello di rischio è strettamente legato al pericolo e alle minacce.

Tabella 12: Rischi climatici fisici e livelli di pericolo riferiti a proiezioni future nell'area di studio.

STRESSOR CLIMATICI	LIVELLO DI PERICOLO	MINACCE	LIVELLO DI RISCHIO
ALTE TEMPERATURE	Moderato/Alto	Ecosistemi Salute Umana Risorse idriche Foreste	Moderato
PRECIPITAZIONI INTENSE	Basso	Inondazioni Erosione del suolo	Moderato
SICCITA'	Moderato	Riduzione delle risorse idriche Impatti sull'agricoltura	Moderato
STRESS IDRICO	Alto	Scarsità di acqua Riduzione delle risorse idriche	Alto
INCENDI	Alto	Incendi boschivi Perdita di biodiversità	Alto
INNALZAMENTO DEL LIVELLO DEL MARE	Alto	Inondazioni costiere Intrusione di acqua salata nelle falde acquifere Perdita di terreni agricoli costieri	Alto

<sup>18</sup> GNU General Public Licence, Version 3, 29 June 2007

<sup>19</sup> <https://climate-adapt.eea.europa.eu/>



#### 4.1. Alte temperature

Le alte temperature sono probabilmente il pericolo climatico più urgente per le città in termini di rischi per la vita umana. Il calore influisce sul benessere e può essere letale per gli anziani e le persone in gravi condizioni di salute, in particolare quando si verificano lunghi periodi di giorni caldi e notti calde (ondate di calore)<sup>20</sup>. Secondo il sesto rapporto di valutazione del gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici<sup>21</sup> le continue emissioni di gas serra causeranno un ulteriore riscaldamento, ed è praticamente certo che nei prossimi cinquant'anni ci saranno più frequenti estremi di temperatura calda sulla maggior parte delle aree terrestri. Il riscaldamento non sarà uniforme a livello regionale.

**Nell'area interessata dal progetto, l'aumento della temperatura nei prossimi cinquant'anni sarà leggermente superiore alla media mondiale. Sarebbe perciò prudente dotare i progetti in quest'area di misure di mitigazione e adattamento al riscaldamento globale.**

**Il pericolo di calore estremo nell'area di studio è classificato come moderato in base alle informazioni sul calore attualmente disponibili nel modello *ThinkHazard!* e questo significa che c'è più del 25% di possibilità che almeno un periodo di esposizione prolungata al calore estremo, con conseguente stress da calore, si verifichi nei prossimi cinque anni.**

Il modello *ThinkHazard*, nella stima di tale rischio climatico, calcola l'indice *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT, in °C) e più precisamente il massimo giornaliero WBGT. Tale indice è una misura dello stress termico alla luce diretta del sole e tiene conto di: temperatura, umidità, velocità del vento, angolo del sole e copertura nuvolosa (radiazione solare). Ha un'ovvia rilevanza per la salute umana ed è rilevante in tutti i tipi di progetti e settori, compresi quelli relativi alle infrastrutture. Gli studi sullo stress da calore nella letteratura scientifica che fanno uso del WBGT applicano soglie di 28°C e 32°C per classificare il rischio di stress da calore. Le soglie di intensità del danno sono applicate seguendo questa definizione: stress da calore lieve/basso (<28°C), moderato/alto (28-32°C) e grave/molto alto (>32°C).

In Figura 10 è riportata la proiezione su 20 anni della distribuzione dell'indice WBGT in una sezione della Puglia vicina all'area di interesse. Il **valore di WBGT** nella zona di interesse è di **28.04: stress da calore moderato/alto**.

---

<sup>20</sup> EEA Report No 1/2017 *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016*

<sup>21</sup> IPCC, 2021: *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press

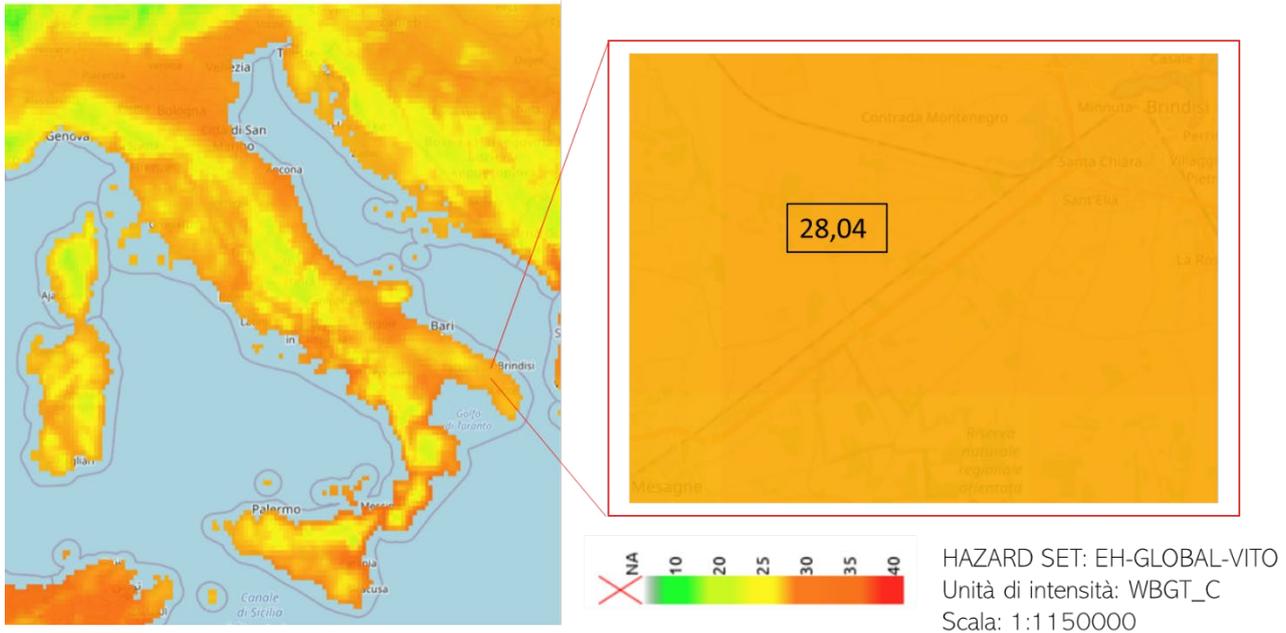


Figura 10: Distribuzione spaziale dell'indice WBGT in una proiezione futura di 20 anni secondo la stima del modello ThinkHazard!.

#### 4.2. Precipitazioni intense

I cambiamenti previsti nelle precipitazioni intense (espressi in percentuale) in inverno (dicembre, gennaio, febbraio) sono stati calcolati a partire dai dati EURO-CORDEX: "Climate change projections for Europe based on an ensemble of regional climate model simulations provided by the EURO-CORDEX initiative" per lo scenario RCP8.5. Le simulazioni del modello climatico regionale CORDEX per il dominio europeo (EURO-CORDEX) sono condotte a due diverse risoluzioni spaziali, la risoluzione generale CORDEX di 0,4 gradi (EUR-44, ~50 km) e in aggiunta la risoluzione più fine di 0.11 gradi (EUR-11, ~12,5 km), quest'ultima utilizzata in questo set di dati<sup>22</sup>.

In Figura 11 è riportata la previsione dei cambiamenti nelle precipitazioni intense (in %) in inverno dal 1971-2000 al 2071-2100 per lo scenario RCP 8.5 basato sulla media dei risultati di diversi modelli climatici regionali annidati in diversi modelli di circolazione generale.

Per l'area di riferimento il **livello di pericolo** è **basso** con un **aumento previsto delle precipitazioni intense invernali del 9%**.

<sup>22</sup> <https://www.euro-cordex.net/060378/index.php.en>.

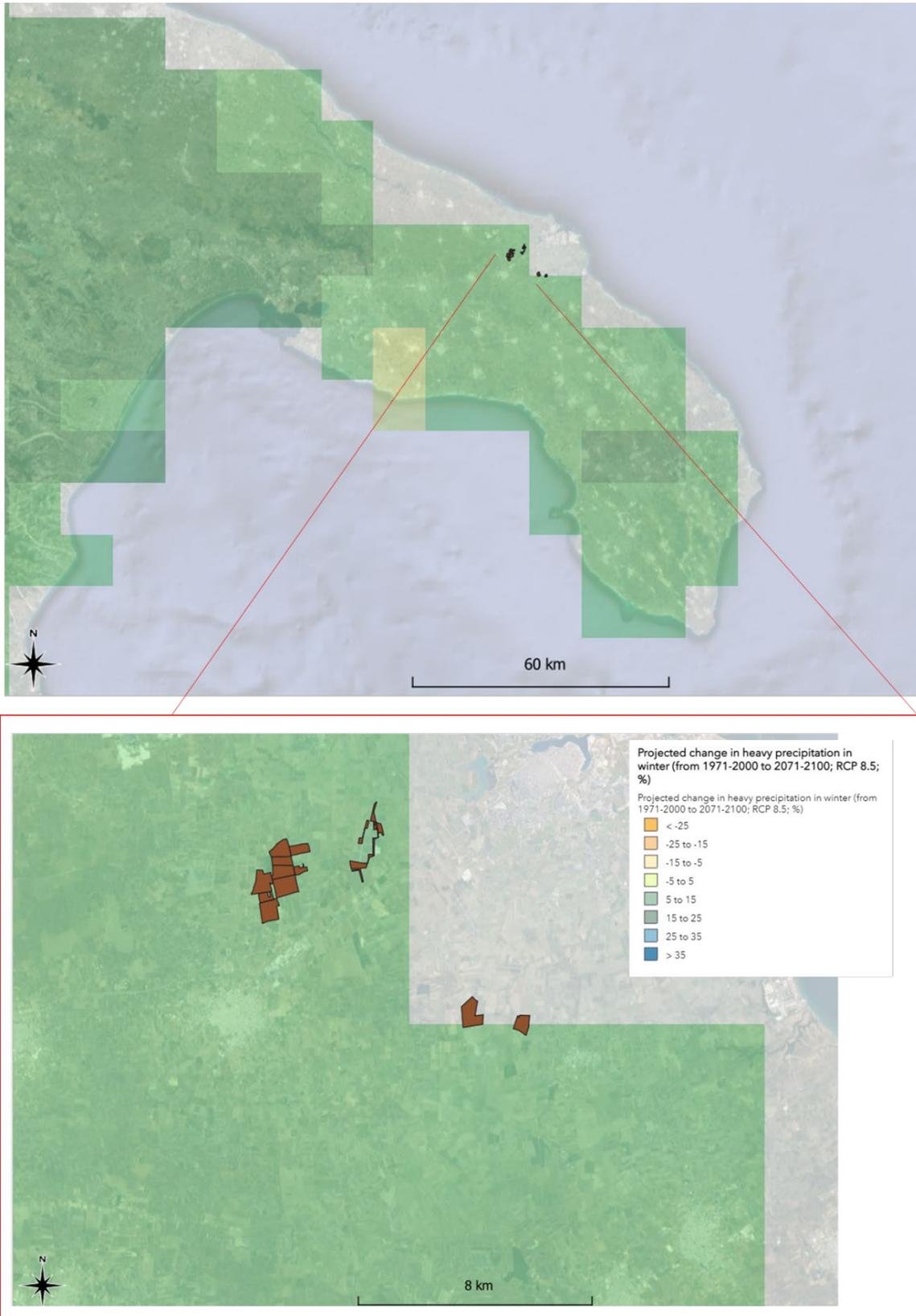


Figura 11: Previsione dei cambiamenti nelle precipitazioni intense (in %) in inverno dal 1971-2000 al 2071-2100 per lo scenario RCP 8.5 (EURO-CORDEX). L'area di studio è indicata in nero.



### 4.3. Siccità

Nell'area d'interesse il **livello di pericolo di siccità** è classificato, secondo i modelli regionali europei, come **moderato**. Ciò significa che c'è fino al 20% di possibilità che si verifichino condizioni di siccità nei prossimi 10 anni.

La Figura 9 riporta la previsione della frequenza di eventi siccitosi in 30 anni per lo scenario RCP 8.5, ottenuta con il set di dati delle simulazioni dei modelli climatici regionali fornite da EURO-CORDEX.

La siccità meteorologica si basa sull'indice di precipitazione standardizzato per tre mesi (SPI-3). Le tendenze passate si basano sui dati di precipitazione del dataset grigliato E-OBS<sup>23</sup> mentre le proiezioni si basano su un insieme di modelli del progetto EURO-CORDEX per due scenari di emissioni RCP.

Le tendenze della siccità idrologica sono calcolate in base al deflusso durante il mese più secco nel dataset E-RUN<sup>24</sup> che impiega un modello statistico per stimare il deflusso in tutta Europa, basato sul più grande database di osservazioni di flusso e sul dataset E-OBS. Le proiezioni sulla siccità idrologica si basano sul deficit idrico fluviale a 10 anni, calcolato dal modello idrologico LISFLOOD<sup>25</sup> forzato da un insieme di modelli del progetto EURO-CORDEX.

**Nell'area oggetto di studio la frequenza probabile di eventi siccitosi nei prossimi 30 anni è compresa tra 7 - 11 eventi.**

---

<sup>23</sup> <https://www.ecad.eu/download/ensembles/download-charme.php>

<sup>24</sup> [https://store.pangaea.de/Publications/Gudmundsson-Seneviratne\\_2016/e-run\\_v1.1.nc](https://store.pangaea.de/Publications/Gudmundsson-Seneviratne_2016/e-run_v1.1.nc)

<sup>25</sup> *Natural Hazards Project of the Joint Research Centre of the European Commission*

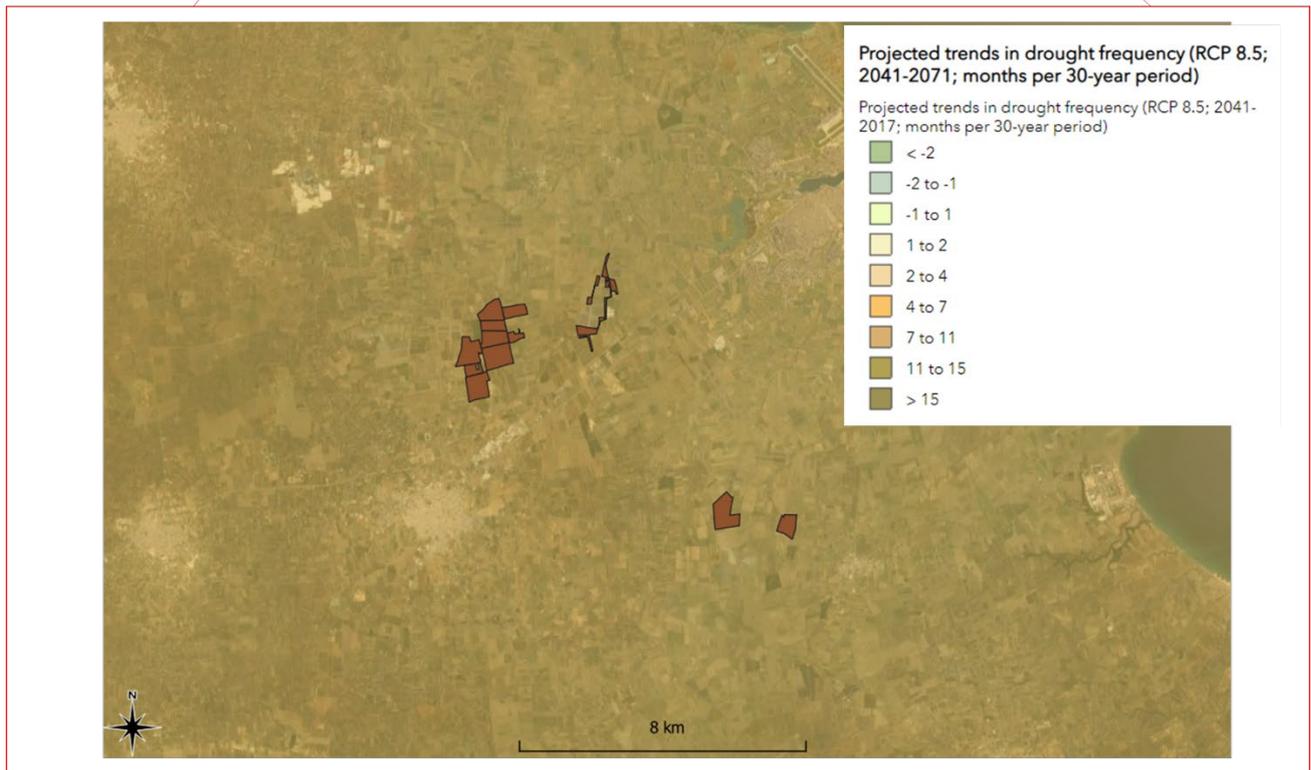
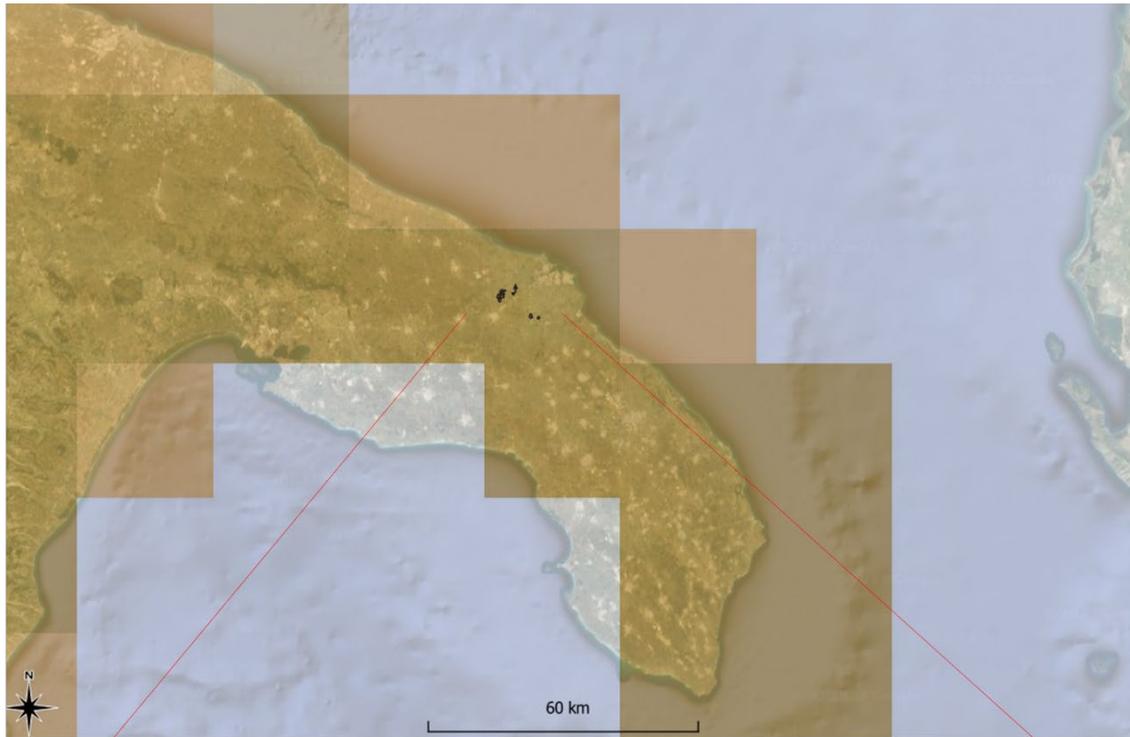


Figura 12: Previsione della frequenza di eventi siccitosi in 30 anni per lo scenario RCP 8.5 (Climate-ADAPT). L'area di studio è indicata in rosso.



#### 4.4. Indice di sfruttamento della risorsa idrica

Strettamente legato allo stress da siccità è l'indice di sfruttamento della risorsa idrica (*Water Exploitation Index plus, WEI+*) che ha lo scopo di illustrare la pressione sulle risorse idriche rinnovabili di un territorio definito in un determinato periodo (ad esempio, stagionale, annuale) come conseguenza dell'uso dell'acqua per le attività umane. I valori superiori al 20% indicano che le risorse idriche sono sotto stress, mentre quelli superiori al 40% indicano uno stress grave e un uso chiaramente insostenibile delle risorse di acqua dolce<sup>26</sup>. Il WEI+ è stato stimato come media trimestrale per distretto idrografico, per gli anni 1990-2015, come definito nell'*European catchments and rivers network system* (ECRINS).

L'indice di sfruttamento della risorsa idrica è pari al 42.4% per l'area di riferimento (Figura 13). Ciò indica un sovrasfruttamento della risorsa e che la popolazione è esposta a condizioni di stress idrico.

---

<sup>26</sup> Raskin, P., Gleick, P.H., Kirshen, P., Pontius, R. G. Jr and Strzepek, K. ,1997. Indicator codes: CSI 018, WAT 001 Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world. Stockholm Environmental Institute, Sweden. Document prepared for UN Commission for Sustainable Development 5th Session 1997 - Water stress categories are described on page 27-29.

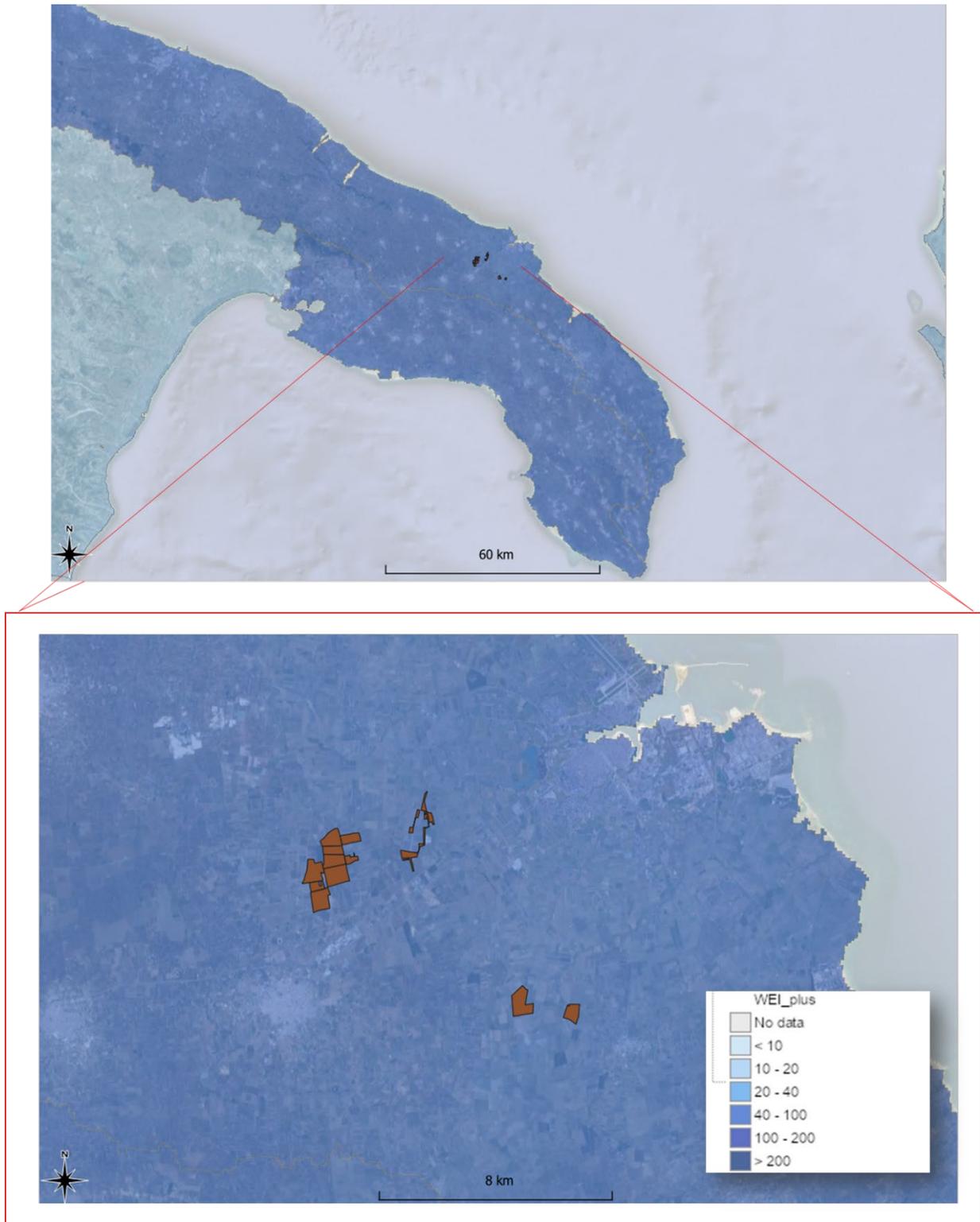


Figura 13: Indice di sfruttamento della risorsa idrica (WEI+). Fonte: European Environment Agency (EEA)<sup>27</sup>

<sup>27</sup> European Environment Agency (EEA), Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI), Eurostat, JRC.



## 4.5. Incendi

Il rischio di incendi ai margini di molte città europee sta crescendo a causa del verificarsi più frequente di ondate di calore e siccità. Il più alto rischio di incendi si verifica nei paesi dell'Europa meridionale, in particolare in Portogallo, Spagna, Francia meridionale, Italia meridionale e Grecia, dove nel 2018 quasi 100 persone hanno perso la vita in incendi nella zona costiera dell'Attica<sup>28</sup>.

Il rischio incendi viene calcolato nel modello *ThinkHazard!* attraverso l'indice *Canadian Fire Weather Index* (FWI) che è il sistema di classificazione del pericolo di incendio più usato a livello mondiale. Il FWI integra diversi fattori meteorologici che influenzano la probabilità che un incendio di una copertura vegetativa si accenda e si diffonda. L'indice si basa su misurazioni istantanee (o previsioni) di temperatura, umidità relativa e velocità del vento. Inoltre, lo storico delle precipitazioni a lungo termine viene usato per valutare la secchezza del materiale combustibile disponibile e dunque per valutare il livello di diffusione del fuoco.

In *ThinkHazard!* le soglie di intensità dannose sono: alta: FWI >30; media: 30 <FWI< 20; bassa: FWI< 20.

Nell'area di interesse il pericolo di incendi è classificato come **alto** secondo le informazioni attualmente disponibili e valutando i prossimi 10 anni, con un indice **FWI** di circa **96**. Questo significa che c'è più del 50% di possibilità che si sviluppi un incendio significativo.

---

<sup>28</sup> EEA Report No 1/2017 *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016*

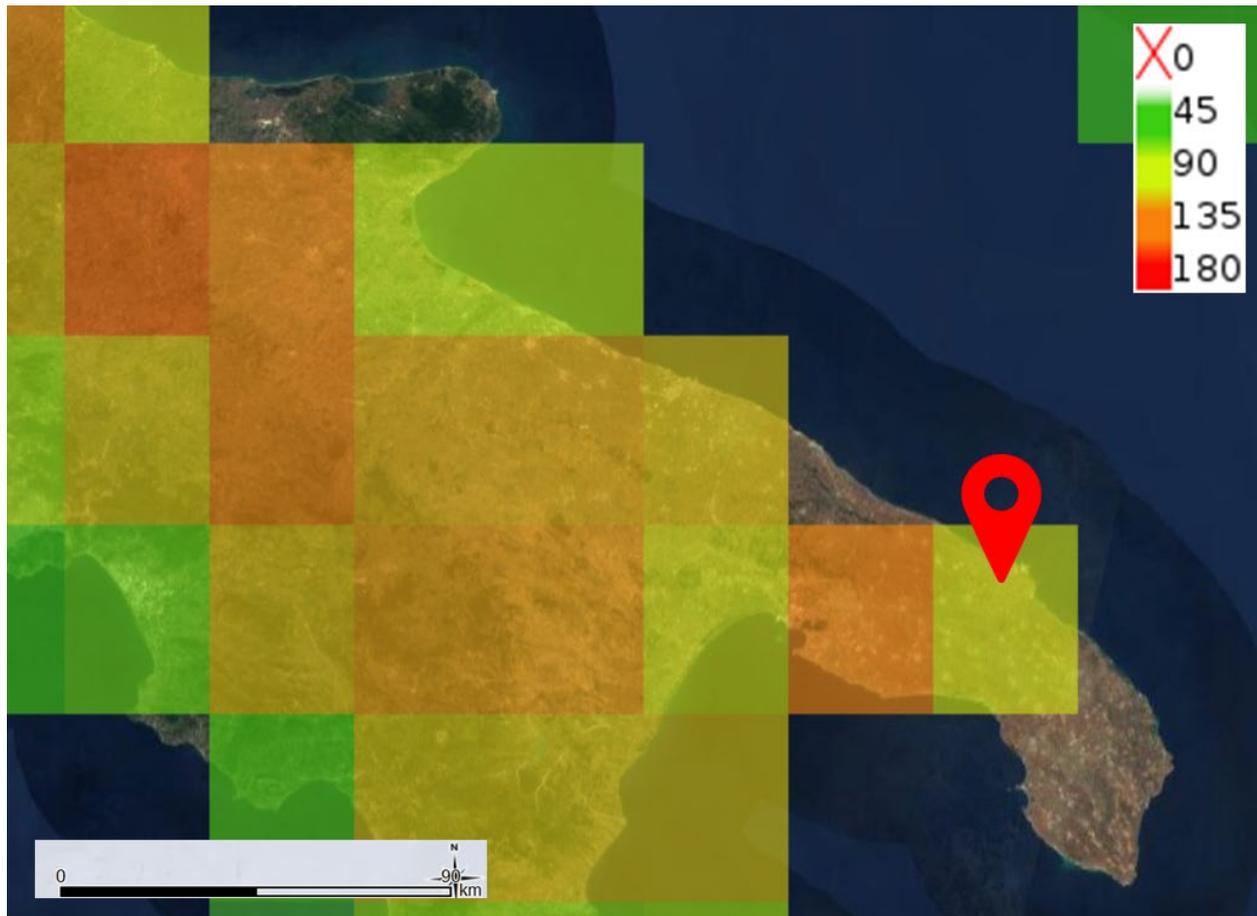


Figura 14: Previsione del rischio incendi classificato con l'indice Canadian Fire Weather Index (FWI).

#### 4.6. Innalzamento del livello del mare

Il previsto innalzamento del livello del mare dovuto ai cambiamenti climatici avrà ripercussioni sugli insediamenti costieri, aumentando l'erosione e le inondazioni. Inoltre, l'innalzamento del livello del mare potrà compromettere la disponibilità di acqua dolce a causa dell'intrusione di acqua salata nelle falde acquifere sotterranee. Questo fattore aumenta il livello di rischio nell'area di studio in considerazione del sovrasfruttamento delle risorse idriche analizzato nella sottosezione 4.4.

Nell'area d'interesse il livello di rischio legato all'innalzamento del livello del mare è classificato **alto**, secondo i modelli regionali europei. Ciò significa che si prevede la possibilità che onde potenzialmente dannose inondino la costa almeno una volta nei prossimi 10 anni.

La Figura 15 mostra la variazione prevista del livello relativo del mare (in metri) nel 2081-2100 rispetto al 1986-2005 per lo scenario di emissioni RCP4.5 basato su un insieme di modelli climatici innestati (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5).

Nell'area di interesse si prevede un innalzamento del livello del mare di 0.40 m nel periodo 2081-2100.

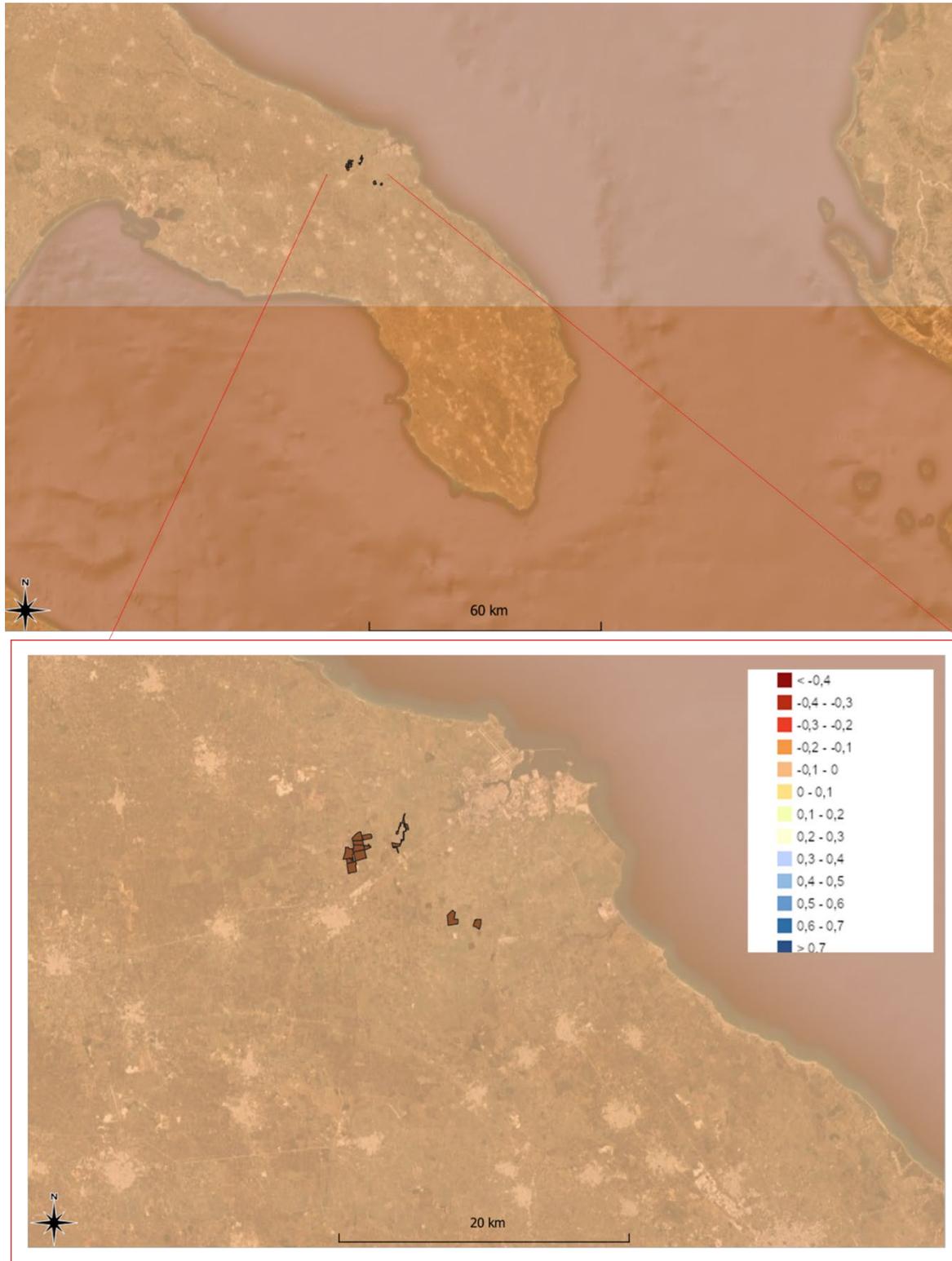


Figura 15: Previsione dell'innalzamento del livello del mare per lo scenario RCP 4.5 (Climate-ADAPT).



## 5. Resilienza dell'impianto agri-fotovoltaico al rischio climatico: Strategie di compatibilità e gestione

Per rendere il progetto agrivoltaico più compatibile con gli *stressor* climatici e **ridurre i livelli di pericolo e rischio** saranno adottate diverse strategie e misure di adattamento. Alcune delle azioni chiave considerate sono:

1. **Sistemi di irrigazione efficienti e sostenibili:** L'utilizzo di sistemi di irrigazione ad alta efficienza può contribuire a ridurre il rischio di stress idrico in caso di siccità o riduzione delle risorse idriche.
2. **Prevenzione e gestione degli incendi:** Un'adeguata prevenzione e gestione degli incendi boschivi è essenziale per ridurre il rischio di incendi. Ciò può includere la creazione di fasce di protezione, il controllo delle erbe infestanti, il monitoraggio costante e l'addestramento del personale per la gestione degli incendi.
3. **Scelta di colture adattate al clima locale:** Optare per colture adattate alle condizioni climatiche dell'area di interesse può aiutare a mitigare gli effetti negativi delle alte temperature e delle precipitazioni intense. Le colture resistenti alla siccità o alle temperature estreme possono essere preferite per garantire la stabilità del rendimento in caso di cambiamenti climatici.
4. **Conservazione del suolo:** Adottare misure per la conservazione del suolo, come la copertura vegetale e l'uso di pratiche di coltivazione sostenibili ed evitare l'erosione del suolo può aiutare a proteggere il terreno da danni e ridurre il rischio di perdita di fertilità del suolo.
5. **Pianificazione e progettazione attente all'ambiente:** Una pianificazione e progettazione che tiene conto delle condizioni microclimatiche e ambientali garantisce che il progetto agrivoltaico sia adeguatamente integrato nell'ecosistema circostante. La scelta della posizione, delle colture e delle tecnologie deve essere basata su una valutazione completa delle condizioni locali e dei possibili impatti del cambiamento climatico.

Inoltre, è importante tenere presente che il **monitoraggio continuo del clima e degli effetti del cambiamento climatico nell'area di interesse è fondamentale per adattare il progetto agrivoltaico in modo tempestivo ed efficace**. L'adozione di strategie di adattamento flessibili e la capacità di apportare modifiche in base alle nuove informazioni climatiche possono contribuire a garantire la sostenibilità e la resilienza del progetto agrivoltaico nel lungo termine.