

# ATLANTE CLIMATOLOGICO DELLA SICILIA – SECONDA EDIZIONE

## CLIMATOLOGICAL ATLAS OF SICILY – SECOND EDITION

Antonino Drago <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>: Regione Siciliana – Assessorato Agricoltura e Foreste SIAS - Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano

\*: Corresponding author, e-mail [adrigo@regione.sicilia.it](mailto:adrigo@regione.sicilia.it)

### Riassunto

Le elaborazioni climatologiche possono avere numerosi risvolti applicativi su vari campi delle attività umane: gestione del territorio, salvaguardia dell'ambiente, attività di programmazione, sia a livello politico che tecnico. La conoscenza dettagliata del clima in tutte le sue manifestazioni consente di guardare i fenomeni atmosferici più come risorsa, che come avversità. Questo lavoro presenta i risultati di molte elaborazioni statistiche su un dataset climatico trentennale, di temperatura e precipitazioni, disponibile per la regione Sicilia. Sono presentate numerose elaborazioni tabulari, grafiche e cartografiche mesoclimatiche (rappresentazione alla scala 1:250000) e le relative metodologie di realizzazione. Il lavoro è disponibile su supporto cartaceo (solo alcune mappe) e su CD-ROM ed è consultabile sul sito web del SIAS, anche mediante interfacce WEB-GIS.

**Parole chiave:** Climatologia, analisi statistica, interpolazione spaziale, rappresentazioni grafiche e cartografiche, diffusione delle elaborazioni.

### Abstract

*Climatological processing could have a lot of practical applications in different fields of human activities: territory management, environment protection, technical and political planning. Climatological knowledge allows to look at atmospheric phenomena as a resource, instead of an adversity. This work presents the results of numerous statistical analysis over a 30-years period climatological dataset, of temperature and precipitation, available for Sicily region. A lot of tables, graphics and thematic mesoscale maps (scale of representation 1:250000) and related methodologies are presented. The work is available on paper (just some maps), CD-ROM support, and on our web site, available in cartographical format, by means of WEB-GIS applications too.*

**Keywords:** Climatology, statistical analysis, spatial interpolation, graphical and cartographical representation, diffusion of informations.

### Introduzione

La climatologia studia le caratteristiche degli elementi meteorologici di una regione, attraverso l'analisi statistica di serie storiche di dati sufficientemente lunghe, in genere, in accordo con molti climatologi e con il WMO (World Meteorological Organization), quelle di un periodo trentennale.

Le elaborazioni climatologiche possono avere risvolti applicativi molto vasti e interessare numerosi campi delle attività umane, come la gestione del territorio nei suoi vari aspetti, la salvaguardia dell'ambiente e tutte le attività di programmazione, sia a livello politico che tecnico. La conoscenza dettagliata del clima in tutte le sue manifestazioni consente di guardare i fenomeni atmosferici più come risorsa, che come avversità.

Tra i settori maggiormente interessati alla climatologia ricordiamo:

- l'agricoltura, sia a livello di programmazione in generale, sia per la scelta della destinazione colturale nei diversi comprensori;

- la protezione dalle avversità atmosferiche, attraverso l'individuazione dei migliori mezzi necessari a limitarne i danni;
- l'idrologia, in relazione alla problematica dei dissesti e della conservazione del suolo e alla gestione delle risorse idriche;
- la protezione dell'ambiente, sia agricolo che urbano, anche in relazione alla diffusione di sostanze inquinanti.

In agricoltura, disporre di studi climatici dettagliati consente di definire specificamente e con precisione la vocazione dell'ambiente nei confronti di una determinata coltura.

E' noto, infatti, che aree anche geograficamente vicine possono presentare differenze climatiche talvolta consistenti, soprattutto in dipendenza di una differente situazione orografica o topografica.

Non tenere conto di questi elementi può comportare scelte sbagliate, con notevoli ripercussioni economiche e ambientali.

Utilizzare la climatologia in agricoltura serve quindi ad effettuare scelte ottimali, alla luce della naturale predispo-

sizione di ciascun ambiente nel soddisfare le esigenze delle diverse colture, esaltandone le caratteristiche produttive e limitando, al contempo, i rischi di avversità atmosferiche e i danni causati dalle avversità biotiche (malattie crittogamiche, insetti, ecc.).

I mercati agricoli chiedono sempre più produzioni di qualità, dalle caratteristiche organolettiche e nutrizionali elevate, ma anche prodotti "fuori stagione" (precoci, tardivi, ecc.) capaci di reggere la concorrenza dei mercati esteri. Occorre quindi coniugare bene il potenziale genetico delle specie con le risorse che l'ambiente può offrire. Per questo, ad esempio, la coltivazione di cultivar precoci o l'introduzione di specie tropicali e subtropicali è possibile, negli ambienti meridionali, solo in quelle aree in cui le temperature dei mesi autunno-invernali non comportino rischi di gelate e non si verifichino repentini abbassamenti termici, e dove le temperature non si innalzino eccessivamente durante il periodo fioritura-maturazione.

Anche le caratteristiche organolettiche e merceologiche del prodotto sono influenzate dall'andamento meteorologico. Le arance pigmentate, ad esempio, raggiungono la loro colorazione caratteristica in seguito alle elevate escursioni termiche giornaliere, nel periodo della maturazione, mentre l'accumulo degli zuccheri, nello stesso periodo, è favorito da temperature sufficientemente alte. Al contrario, la qualità dei mosti delle uve risulta peggiorata da temperature elevate durante la fase di maturazione dei grappoli.

La conoscenza approfondita dell'andamento di alcuni elementi meteorologici (radiazione solare, vento, ecc.) può essere di grande aiuto, inoltre, per la definizione dei criteri costruttivi degli apprestamenti protettivi (serre, tunnels, ecc.).

Un altro settore, assai caro soprattutto all'agricoltura del Meridione, in quanto legato ai problemi della cronica e crescente carenza d'acqua, è quello dell'idrologia. L'acqua è una risorsa insostituibile e preziosa, anche perché, purtroppo, limitata e sempre più contesa tra i diversi ambiti delle attività umane. Per questo motivo è necessario gestirla in modo ottimale. Nel settore agricolo, un corretto uso dell'acqua deve perciò partire dalla conoscenza delle aree interessate da apporti meteorici mediamente consistenti e di quelle caratterizzate, invece, da apporti scarsi; deve prevedere lo studio dell'andamento stagionale delle precipitazioni, della durata del periodo in cui esse sono assenti (periodo secco) e delle probabilità con cui certi eventi estremi, in eccesso o in difetto, si manifestano.

Inoltre, conoscere la frequenza con cui certi eventi estremi si verificano è di grande utilità per le fasi progettuali relative alla costruzione di dighe, invasi ed altre opere di carattere ingegneristico, legate alla conservazione delle risorse idriche e alla tutela del territorio.

Dopo la pubblicazione, nel 1998, dei volumi "Climatologia della Sicilia", con la quale si è fornito un primo quadro di riferimento per la caratterizzazione climatica della Sicilia, con questo nuovo lavoro si arricchisce l'informazione climatologica, attraverso dei procedimenti di spazializzazione alla mesoscala (distribuzione territoriale delle variabili meteorologiche studiate) dei dati puntuali

le variabili meteorologiche studiate) dei dati puntuali di base e le successive rappresentazione cartografica alla scala 1:250000. Le diverse elaborazioni hanno consentito di definire ancora più dettagliatamente il clima delle diverse aree della nostra regione. Rispetto a quanto già pubblicato nella "Climatologia della Sicilia", in questa seconda edizione dell'"Atlante climatologico della Sicilia" è da evidenziare la disponibilità dello studio di alcuni eventi estremi, quelli cioè che assumono carattere di eccezionalità, sia in eccesso che in difetto, la cui conoscenza permette una più completa e corretta interpretazione dei fenomeni studiati. Questo lavoro di caratterizzazione climatologica, costituito dall'insieme delle elaborazioni a livello puntuale (sui singoli siti di rilevamento) e a livello territoriale (carte tematiche), oltre che dei dati mensili di base, rappresenta quindi un ulteriore passo nella definizione del clima della nostra regione.

Tutte le elaborazioni contenute nell'"Atlante" sono pure pubblicate tra le pagine del sito web del SIAS. In particolare, le elaborazioni puntuali sono disponibili in formato pdf, nella sezione "Pubblicazioni", mentre le elaborazioni cartografiche sono consultabili attraverso interfacce WEB-GIS, nella sezione "Cartografia tematica", anche attraverso l'importante ausilio della cartografia di base IGM.

La Sicilia, la più grande isola del Mediterraneo e la più grande regione italiana, con una superficie complessiva di circa 25.000 km<sup>2</sup>, si estende in latitudine fra circa 36° e 38° nord e in longitudine fra circa 12° e 15° est.

Pur in presenza di una situazione orografica molto articolata, con aspetti morfologici singolari, è possibile suddividere sommariamente il territorio in tre distinte macroaree: il macro-versante settentrionale, che si estende da Capo Peloro a Capo Lilibeo; il macro-versante meridionale, che va da Capo Lilibeo a Capo Passero; ed infine il macro-versante orientale, che si estende da Capo Passero a Capo Peloro.

L'orografia mostra complessivamente dei contrasti netti tra la porzione settentrionale, prevalentemente montuosa, quella centro-meridionale e sud-occidentale, essenzialmente collinare; quella tipica di altopiano, presente nella zona sud-orientale, e quella vulcanica nella Sicilia orientale.

Considerando le condizioni medie dell'intero territorio, la Sicilia, secondo la classificazione macroclimatica di Köppen, può essere definita una regione a clima temperato-umido (di tipo C) (media del mese più freddo inferiore a 18 °C ma superiore a -3 °C) o, meglio, mesotermico umido sub-tropicale, con estate asciutta (tipo Csa), cioè il tipico clima mediterraneo, caratterizzato da una temperatura media del mese più caldo superiore ai 22 °C e da un regime delle precipitazioni contraddistinto da una concentrazione delle precipitazioni nel periodo freddo (autunno-invernale). Tuttavia, questa definizione ha appunto un valore solamente macroclimatico, cioè serve a distinguere, ad esempio, il clima siciliano da quello del Medio Oriente o dell'Europa centrale.

Secondo Pinna, se si passa infatti all'analisi di quanto può trovarsi all'interno del clima temperato del tipo C di Köp-

pen, si possono già distinguere diversi sottotipi: clima temperato subtropicale, temperato caldo, temperato sub-litoraneo, temperato sub-continentale, temperato fresco, ognuno dei quali è riscontrabile nelle diverse aree del territorio della nostra regione.

D'altronde, se guardiamo un po' più dettagliatamente i diversi regimi termo-pluviometrici delle stazioni considerate in questo studio, possiamo notare che la temperatura media annua varia dagli 11 °C di Floresta fino ai 20 °C di Gela, mentre le precipitazioni totali annue oscillano da un valore medio annuo (mediana) di 385 mm a Gela (CL) fino ai 1192 mm a Zafferana Etnea (CT).

Occorre inoltre precisare che tali differenze sono spesso riscontrabili non solo tra zone molto distanti e con altitudine e distanza dal mare profondamente diverse, quali appunto Gela e Zafferana E. Infatti, se confrontiamo quest'ultima località, situata sul versante orientale delle pendici dell'Etna, con un'altra posta invece sul versante occidentale, Bronte, non molto diversa per altitudine e latitudine, notiamo che le precipitazioni medie annue in quest'ultima sono di appena 548 mm: poco più della metà, rispetto alla precedente località.

Partendo da queste considerazioni, pertanto, occorre sottolineare come lo studio climatico del territorio siciliano non risulta affatto semplice; e il grado di complessità va aumentando, se dai valori medi annui passiamo a quelli mensili, oppure se analizziamo gli eventi estremi delle temperature massime e minime, o gli eventi piovosi eccezionali. In quest'ultimo caso, infatti, la variabilità spaziale e temporale diventa molto elevata, principalmente a causa della complessità morfologica del territorio regionale, di cui prima si è fatto cenno.

## Materiali e Metodi

Per questo studio sono stati utilizzati i dati del trentennio 1965-1994 del Servizio Idrografico Regionale, che ha nel tempo costituito l'archivio di dati più ricco e più antico esistente in Sicilia, con rilevazioni che partono in qualche caso anche dalla fine del 1800, e al quale di ciò vanno i meriti e i ringraziamenti.

Delle numerose stazioni presenti in archivio, ne sono state scelte 55 termopluviometriche e 124 pluviometriche, preferendo quelle che consentissero la maggiore copertura possibile del territorio regionale, individuate possibilmente tra quelle che presentavano l'intero trentennio climatico.

Scelte le stazioni, è stato quindi costituito l'archivio informatico, utilizzando un programma commerciale di foglio di calcolo elettronico, opportunamente organizzato per la successiva elaborazione. Sono stati quindi inseriti i valori mensili e giornalieri, medi ed estremi, delle temperature massima e minima, i valori totali mensili e giornalieri delle precipitazioni e i valori di intensità massima di precipitazioni ad un'ora e a ventiquattro ore; questi ultimi, su base annuale, associati ai mesi in cui si sono verificati gli eventi.

Sull'archivio provvisorio è stata quindi avviata una procedura automatizzata di controllo di qualità dei dati, per verificarne l'attendibilità. Tramite apposite funzioni del foglio elettronico e con istruzioni opportunamente imple-

mentate, sono state condotte due tipologie di controllo di qualità dei dati meteorologici: *controllo climatico* e *controllo spaziale*.

Dopo questi controlli, sui dati sospetti si è comunque eseguito un ulteriore controllo manuale; è stato così alla fine possibile scartare i dati non attendibili e passare successivamente alla fase di *ricostruzione statistica dei dati*.

Per un'analisi climatologica fedele sono infatti indispensabili, per ciascuna stazione in esame, delle serie storiche continuative. Si impone quindi la necessità, nei casi in cui una stazione presenti delle lacune di dati, di provvedere alla ricostruzione di quelli mancanti.

Se, ad esempio, si escludesse un anno in cui la piovosità fosse stata bassissima, dalle elaborazioni risulterebbe, erroneamente, che quella stazione è interessata da valori pluviometrici più alti di quelli reali. Di conseguenza, pur con i limiti che porta con sé un dato ricostruito, esso è senz'altro preferibile ad un dato mancante, il quale andrebbe ad inficiare in modo assai più evidente l'elaborazione statistica.

Nei casi presi in esame in questo studio, la ricostruzione ha riguardato sia i dati mancanti già all'origine (perché non pubblicati) che quelli ritenuti poco attendibili e quindi scartati, in base ai controlli prima detti (casi assai più rari).

Per il procedimento di ricostruzione, che, a seconda della stazione considerata, ha riguardato i dati medi mensili di temperatura massima e minima e/o i totali mensili di precipitazioni, è stato preliminarmente effettuato il calcolo delle correlazioni tra tutte le possibili coppie di stazioni limitrofe, i cui valori fossero effettivamente disponibili e validi.

Nei casi in cui si è riscontrato un elevato grado di correlazione tra una stazione e almeno altre due vicine, è stata calcolata la regressione lineare semplice tra le coppie di valori, che ha permesso di ricostruire i pochi dati mancanti.

Una volta ricostruiti, questi sono stati inseriti, insieme agli altri già controllati, a formare l'archivio completo e definitivo, su cui sono state effettuate le elaborazioni climatologiche.

Malgrado questi procedimenti, per alcune stazioni non è stato comunque possibile ricomporre l'intero trentennio di riferimento, in quanto, per le serie che presentavano molti anni di dati mancanti, soprattutto se consecutivi, non è stato possibile ricostruirli.

La ricostruzione, peraltro, non ha comunque riguardato i dati giornalieri, in quanto risulta per essi assai più difficile e impreciso lo studio della correlazione.

L'analisi statistica effettuata nel presente lavoro è stata eseguita ricavando dai dati di temperatura e precipitazioni una serie di indici statistici (media aritmetica, mediana, quantili, coefficiente di variazione), di cui si darà breve cenno, in grado di rendere ricca di informazioni e notizie l'analisi stessa.

Una serie di osservazioni relative ad un determinato elemento meteorologico (es. temperatura), effettuate ad intervalli regolari di tempo, costituisce quella che viene chiamata *serie temporale* e rappresenta il punto di partenza dell'analisi statistica.

Alla serie temporale vengono solitamente applicati degli indici, alcuni analitici, altri sintetici, che forniscono informazioni più o meno dettagliate sulle caratteristiche di questa.

Il primo, ed anche il più comune indice sintetico, è la *media aritmetica*. Essa è la somma degli  $n$  valori assunti da ogni dato osservato, da cui è composta la popolazione, divisa per il numero complessivo delle osservazioni. La media racchiude quindi in un unico valore l'informazione riguardante una popolazione di dati.

Un altro indice sintetico è rappresentato dalla *mediana*; essa è quel valore che all'interno di una distribuzione ordinata di dati in ordine crescente occupa il posto centrale; in altre parole, è il valore che suddivide una distribuzione ordinata in due distribuzioni, che raccolgono ciascuna il 50% della distribuzione totale.

Va da sé che la capacità di informazione che possiede una media, sia essa media aritmetica, sia essa mediana, è piuttosto limitata. Nulla dicono riguardo ai vari elementi che compongono la distribuzione, né permettono di giungere ad una conoscenza completa della stessa.

La mediana è un indice più "robusto" rispetto alla media aritmetica, in quanto essa non risente dei valori estremi di una distribuzione (ossia il valore più basso e quello più elevato).

La media aritmetica, al contrario, è influenzata dai valori dei diversi termini della distribuzione: ha quindi una capacità di informazione più alta rispetto alla mediana, ma esprime in ogni caso un dato che è estremamente aggregato e quindi non in grado di caratterizzare bene una distribuzione. Vi sono, infatti, infinite distribuzioni, tutte diverse tra loro, per le quali la media può assumere il medesimo valore.

Per potere scegliere quale è il miglior indice, la media o la mediana, da adottare per rappresentare sinteticamente una distribuzione, bisogna conoscere bene la popolazione di dati che si vuole analizzare e il tipo di informazione che se ne intende ricavare.

Per l'analisi delle temperature, ad esempio, l'uso della media aritmetica serve bene a fornire un valore che sia la vera sintesi dell'intera popolazione di dati. Al contrario, per l'analisi delle precipitazioni, è preferibile utilizzare la mediana; questa, pur essendo un indice con una minore capacità informativa rispetto alla media, è tuttavia più adatta a rappresentare una distribuzione di valori di questo tipo, poiché, come già detto, non risulta influenzata dagli eventi estremi (precipitazioni troppo abbondanti o troppo scarse), che verificandosi assai raramente, andrebbero a pesare troppo sul reale andamento del fenomeno, falsando il valore finale dell'indice.

Le informazioni ricavate dall'uso degli indici sintetici, possono non essere sufficienti a caratterizzare una distribuzione di dati: occorre, quindi, adottare degli altri indici che siano in grado di esprimere la variabilità della distribuzione, cioè quanto i diversi elementi che la compongono si discostano dalla media e fra loro.

Tra i diversi indici di variabilità, il più usato, e anche quello adottato nel presente lavoro, è il *coefficiente di variazione*, dato dal rapporto percentuale tra lo scarto quadratico medio e la media, e si utilizza quando si vogliono

mettere a confronto le misure di variabilità di popolazioni di dati che hanno medie differenti.

Oltre agli indici sintetici e agli indici di dispersione o variabilità, per fornire ulteriori indicazioni che servissero a caratterizzare meglio il clima è stata utilizzata l'analisi probabilistica, attraverso l'uso dei *quantili*. Può rivelarsi utile, per uno studio più approfondito di una distribuzione ordinata di dati, suddividere questa in un determinato numero di distribuzioni parziali, ciascuna delle quali può essere genericamente detta quantile. Il 1° quantile segna il limite tra la prima e la seconda distribuzione parziale, il 2° quantile segna il limite tra la seconda e la terza, e così via.

Tra i più usati vi sono i *quartili*, che dividono la distribuzione in quattro parti uguali, aventi ciascuna il 25% della popolazione totale. Nel presente lavoro sono stati utilizzati invece i *centili*, che suddividono la distribuzione in cento parti uguali, in particolare il 5°, il 10°, 25°, il 50° (mediana), il 75°, il 90° e il 95° percentile.

L'uso dei percentili nella statistica applicata alla climatologia serve ad individuare con quale probabilità si possa verificare un determinato evento. Ad esempio, con quale probabilità una determinata soglia termica possa essere superata, o che probabilità ci sia riguardo al verificarsi di determinati eventi piovosi.

Dire che il valore di temperatura del 5° percentile del mese di gennaio è 1,2 °C, equivale a dire che vi è il 5% di probabilità di avere nel mese di gennaio una temperatura inferiore o uguale a 1,2 °C, o, allo stesso modo, di avere il 95% di probabilità che questo valore venga superato.

## Metodologia utilizzata per le elaborazioni puntuali (per stazione)

### SEZIONE TEMPERATURA E CLIMOGRAMMI

#### Temperature medie mensili

Per ciascuna stazione, i dati sono presentati innanzitutto in una tabella riassuntiva di valori medi mensili di temperatura massima, minima e media.

#### Climogrammi di Peguy

Oltre che per tale tabella, i dati medi mensili sono stati utilizzati, assieme a quelli medi delle precipitazioni, per la realizzazione dei climogrammi di Peguy.

I climogrammi di Peguy riassumono sinteticamente le condizioni termo-pluviometriche delle diverse località considerate. Essi sono costruiti, appunto, a partire dai dati medi mensili di temperatura media e precipitazioni cumulate. Sulle ascisse è riportata la scala delle temperature (°C), mentre sulle ordinate quella delle precipitazioni (mm). Dall'unione dei 12 punti relativi a ciascun mese, si ottiene un poligono racchiudente un'area, la cui forma e dimensione rappresentano bene le caratteristiche climatiche di ciascuna stazione. Sul climogramma è anche riportata un'area triangolare di riferimento che, secondo Peguy, distingue una situazione di clima temperato (all'interno dell'area stessa), freddo, arido, caldo (all'esterno del triangolo, ad iniziare dalla parte in alto a sinistra del grafico, in senso antiorario). Il triangolo è costruito sulla base delle seguenti coordinate dei vertici: (0 °C, 0 mm); (23,4 °C, 40 mm); (15 °C, 200 mm). La posi-

zione dell'area poligonale, rispetto a quella triangolare di riferimento fornisce una rappresentazione immediata delle condizioni climatiche della stazione. Inoltre, dal confronto grafico delle aree poligonali delle varie stazioni risulta agevole e intuitivo lo studio comparato delle zone in cui sono ubicate le stazioni stesse.

Solo qualche esempio, per guidare la lettura dei climogrammi. Un'area poligonale sviluppata lungo l'asse delle ordinate rappresenta una stazione caratterizzata da evidenti differenze di precipitazioni totali mensili, fra i mesi autunno-invernali e quelli primaverili-estivi. Viceversa, un'area molto allungata nella direzione dell'asse delle  $x$  rappresenta una condizione climatica caratterizzata da elevate escursioni termiche annuali.

Due esempi di climogrammi per stazioni con caratteristiche molto diverse sono riportati in appendice (figg. 1 e 2).

### Studio probabilistico mensile e decadico

In altre cinque distinte tabelle sono presentati i dati relativi allo studio probabilistico dei valori medi e assoluti mensili di temperatura massima, minima e media. In tal caso, oltre ai valori minimi e massimi, sono stati considerati i seguenti percentili: quinto (5°), venticinquesimo (25°), cinquantesimo (mediana) (50°), settantacinquesimo (75°) e novantacinquesimo (95°). In tal modo, come già detto nella parte generale, è possibile trarre maggiori informazioni dai dati elaborati, rispetto a quanto interpretabile attraverso i soli dati medi. Circa il significato dell'elaborazione probabilistica con il metodo dei quantili si rimanda alla parte metodologica generale.

Le stesse elaborazioni, sono state effettuate a livello decadico, presentando però, in tre ulteriori tabelle, delle soglie di probabilità leggermente diverse: anziché il 5° e il 95° percentile sono riportati il 10° e il 90° percentile.

Per ciascuna elaborazione probabilistica, sono stati anche calcolati i coefficienti di variazione (c.v.), tra tutti i valori delle serie storiche considerate. Tale coefficiente dà una misura della loro variabilità relativa, espressa in termini percentuali. Va precisato che il c.v. perde significato statistico quando la media è prossima a zero. In tali circostanze infatti, trovandosi quest'ultima al denominatore dell'espressione di calcolo, il c.v. tende a infinito. Pertanto, nei casi in cui nelle tabelle di presentazione dei dati si notano dei valori di c.v. molto alti, positivi o negativi (ad esempio, superiori a 100%), essi non rappresentano più una reale situazione fisica.

### Studio probabilistico sulle temperature estreme giornaliere

In una tabella riassuntiva sono state poi presentate le elaborazioni relative ad uno studio su base giornaliera, riportante per ciascun mese, nonché a livello annuale, le probabilità del numero di giorni in cui le temperature abbiano raggiunto delle soglie estreme, considerate "a rischio" per molte specie vegetali coltivate: due relative a valori molto bassi (-3 °C e 0 °C) e due relative ad alte temperature (30 °C e 35 °C). I livelli di probabilità presentati sono gli stessi visti prima, a proposito delle elaborazioni medie decadiche: minimo del trentennio, 10°, 25°, 50° (mediana), 75° e 90° percentile e massimo del trentennio.

Una particolare elaborazione grafica è poi quella mirante a evidenziare graficamente, per ciascuna stazione studiata, i periodi, espressi in giorni, in cui gli anzidetti 4 valori soglia vengono raggiunti e quindi i corrispondenti periodi di presenza e assenza di rischio.

Ciò, in particolare, è stato realizzato fissando delle soglie di probabilità a livelli nettamente prudenziali: 99% (per le soglie di 0 °C e -3 °C) e 90% (per le due soglie di alte temperature). I livelli di rischio relativi al numero di anni non considerati sono stati quindi volutamente tenuti molto bassi: 1% degli anni, nel caso delle basse temperature, e 10% degli anni, per le alte temperature.

E' opportuno evidenziare che, soprattutto per le soglie minime, molta attenzione deve essere prestata nella lettura delle suddette elaborazioni tabulari e grafiche. Infatti, gran parte delle stazioni di rilevamento considerate sono ubicate presso siti urbani, caratterizzati in genere da più alti valori delle minime, rispetto al territorio circostante. Ciò è particolarmente evidente per le aree territoriali vallive e depresse, nelle quali si verificano degli addensamenti e dei ristagni di aria fredda, ben più evidenti rispetto alle aree collinari, in cui in genere ricadono molti centri urbani.

Se queste considerazioni valgono comunque per tutte le elaborazioni relative allo studio sulle temperature, tuttavia per gli estremi minimi esse assumono un maggiore e ulteriore significato applicativo.

Due esempi relativi a tale studio probabilistico sono riportati in appendice (figg. 5 e 6).

## SEZIONE PRECIPITAZIONI

### Probabilità di precipitazioni mensili

Per ogni stazione pluviometrica che presentava una serie trentennale completa, o ricostruibile come già detto nella parte metodologica generale, sono stati determinati i valori mensili di precipitazioni che non vengono superati a predeterminati livelli di probabilità, utilizzando anche in questo caso, il metodo dei centili. Oltre ai valori minimi e massimi, le soglie considerate sono quelle del 5%, 25%, 50%, 75% e 95%. I dati sono presentati in un'unica tabella riassuntiva, che comprende anche i valori del coefficiente di variazione. Esso, come già detto nella sezione Temperature, consente di valutare il grado di dispersione relativa dei dati della serie intorno alla media, anche in tal caso espressa in valori percentuali.

Sotto la tabella, i dati sono stati anche presentati in forma grafica. L'analisi dei diagrammi consente di ottenere agevolmente delle informazioni sulla variabilità delle precipitazioni nell'ambito di ogni mese: se infatti i punti relativi ai diversi livelli di probabilità, e quindi le relative spezzate che li congiungono, sono fra loro molto distanziati, significa che vi è una maggiore variabilità che non nel caso in cui essi siano ravvicinati.

Dalla lettura dell'ultimo livello di probabilità di non superamento inoltre, quello del 95%, si possono trarre indicazioni anche sui valori estremi verificatisi nelle varie stazioni e nei vari mesi.

### Probabilità di precipitazioni decadiche

Anche per le precipitazioni decadiche è stato seguito lo stesso metodo di elaborazione. Tuttavia le soglie di probabilità scelte sono leggermente diverse da quelle adottate a livello mensile. Esse, oltre al minimo e al massimo, comprendo i seguenti percentili: 10°, 25°, 50° (mediana), 75° e 90°.

### Precipitazioni di massima intensità

In una apposita tabella, raggruppando le stazioni per provincia, sono stati riportati i dati relativi alle precipitazioni di massima intensità. Le elaborazioni riguardano i dati annuali delle stazioni pluviometriche con strumenti registratori; per tale motivo le stazioni presenti in questa elaborazione sono molto meno numerose del totale regionale delle pluviometriche. Va pure considerato che, in tal caso, le serie storiche non sono ricostruibili con le procedure già viste e sono state quindi escluse da questa elaborazione tutte le stazioni che presentavano un numero insufficiente di anni di osservazione, cioè delle serie con molti "buchi".

Nelle colonne sono rappresentati i valori massimi e medi degli eventi estremi a 1 ora e 24 ore e i mesi in cui tali eventi si sono verificati. Nelle righe sono state invece riportate le stazioni presenti nell'area di studio.

Dall'analisi dei valori medi, è possibile effettuare un confronto territoriale e risalire alle caratteristiche climatiche riguardanti gli eventi temporaleschi, per le diverse aree in cui sono ubicate le stazioni. Si tratta pertanto di un'elaborazione tendente a visualizzare soprattutto un confronto spaziale. Oltre a ciò, si ha la possibilità di conoscere qual è il valore massimo raggiunto nell'intero periodo di osservazioni e quale il mese in cui si hanno maggiori probabilità che si verifichino eventi di precipitazioni molto intense. In quest'ultimo caso la statistica adottata è stata la moda: il valore che si presenta con maggiore frequenza.

### Giorni piovosi

In climatologia, in genere, per giorno piovoso si intende un giorno in cui le precipitazioni sono superiori o uguali a 1 mm. Con tale criterio sono quindi state effettuate tutte le elaborazioni.

Per quanto riguarda lo studio probabilistico, così come visto sopra per le precipitazioni decadiche, anche in questo caso è stato seguito lo stesso metodo di elaborazione, con le medesime soglie di probabilità.

### SEZIONE BILANCIO IDRICO DEI SUOLI SECONDO IL METODO THORNTWHAITE-MATHER

Uno dei fattori limitanti per l'agricoltura meridionale è rappresentato dalla disponibilità idrica. Per evitare carenze e sprechi della risorsa acqua è pertanto essenziale conoscere l'evoluzione del contenuto idrico dei suoli, in rapporto alle caratteristiche degli stessi e alle condizioni climatiche.

Specialmente negli ambienti di pianura e di bassa collina, dove il territorio è maggiormente utilizzato a fini agricoli, è quindi molto utile prevedere in che misura il suolo sarà in grado di rifornire le colture sotto l'aspetto idrico, al fine di valutarne le potenzialità.

Nel suolo, sia esso naturale o coltivato, il contenuto di acqua disponibile per i vegetali è intimamente legato alle caratteristiche fisiche dello stesso (tessitura e struttura) e alle condizioni climatiche dell'area sulla quale tale suolo si è evoluto.

La disponibilità di dati climatici, pedologici e colturali consente lo studio delle condizioni idriche dei suoli e rappresenta uno degli strumenti più validi per un corretto e razionale uso della risorsa acqua in campo agronomico e territoriale, indicando in particolare la presenza di zone più o meno deficitarie dal punto di vista della disponibilità idrica, e permettendo, nel contempo, di classificare i territori a differente marginalità di tipo pedoclimatico.

Tuttavia, se da un lato la disponibilità di dati climatici è già sufficiente per le applicazioni di bilancio idrico, dall'altro lato i dati pedologici sono spesso carenti, oppure disponibili a scale non adeguate o, ancora, per la loro disponibilità sono richiesti tempi lunghi.

Per ovviare a questo problema, in questo studio è stato considerato un suolo-tipo con caratteristiche fisiche medie (vedi tabella sotto), caratterizzato da una capacità di riserva idrica utile di 100 mm, puntando piuttosto la nostra attenzione sulla domanda evaporativa dell'atmosfera.

Occorre dunque tenere presente che i suoli più profondi e/o dotati di frazioni tessiturali più fini (limo, argilla) presentano valori di deficit idrico meno accentuati e possono nel contempo assicurare una riserva idrica maggiore nei riguardi dei vegetali, per cui il decorso del deficit idrico durante l'anno varia, in particolare, in relazione al valore della riserva idrica utile del suolo (ST), all'intensità della evapotraspirazione potenziale (PE) ed alla consistenza delle precipitazioni.

Di seguito, saranno indicate le metodologie attraverso le quali è possibile giungere alla formulazione di un bilancio idrico semplificato.

### L'evapotraspirazione ed il bilancio idrico del suolo, secondo Thornthwaite-Mather.

Lo studio del bilancio idrico dei suoli comporta comunque, necessariamente, delle semplificazioni di tutti i fenomeni fisici e i processi fisiologici che interagiscono nel sistema terreno-pianta-bassa atmosfera.

Tali considerazioni conducono alla scelta, ad esempio, di una metodologia che utilizzi delle relazioni empiriche per il calcolo del bilancio idrico, in particolare per quanto riguarda l'evapotraspirazione potenziale (ETP).

Numerose sono le formulazioni empiriche, per la stima del calcolo della ETP, mediante la correlazione con alcune grandezze meteorologiche (radiazione solare, umidità dell'aria, vento, temperatura dell'aria, ecc.). Disponendo tuttavia, come accade per la maggior parte del territorio regionale, di serie storiche complete di dati relativi ad una rete di stazioni di densità accettabile, solo per la temperatura dell'aria e le precipitazioni, la scelta ricade su quelle equazioni che utilizzano soltanto queste due grandezze, quale ad esempio, nel nostro caso, quella di Thornthwaite (1957).

Il bilancio idrico del suolo secondo Thornthwaite è stato indicato come il metodo standard per il calcolo del regime idrico dei suoli a livello tassonomico, dalla Soil Taxo-

nomo, del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti d'America (U.S.D.A.) (1975).

La vasta raccolta di dati ottenuti dall'Autore a livello mondiale, ha permesso inoltre di addivenire alla stesura di un vero e proprio sistema climatico noto con il suo nome. Di seguito, verranno forniti alcuni elementi fondamentali sulla metodologia utilizzata da Thornthwaite, per giungere alla definizione del bilancio idrico.

Lo schema di calcolo è costituito da una matrice (vedi tabella sotto), in cui nelle colonne sono riportati i mesi dell'anno e alcuni totali annui, mentre nelle righe, in sequenza, una serie di parametri che saranno descritti in dettaglio nelle pagine successive.

Schema di calcolo del bilancio idrico, con il metodo Thornthwaite-Mather (da Ciavatta, Vianello, mod.)

PARAMETRO	MESI												ANNO
	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	
T													
I													
P													
PE													
P-PE													
AWL													
ST													
CST													
AE													
D													
S													

Dove:

**T** (Temperature) = temperatura media mensile (°C).

**I** (Index of heat) = indice di calore annuale. Questo indice viene calcolato come sommatoria dei dodici indici di calore mensili *i*, in funzione di ciascun valore della temperatura media mensile:

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

l'indice *i*, per ciascun mese, è così calcolato:

$$i = \left( \frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

**PE** (Potential Evapotranspiration) = evapotraspirazione potenziale (ETP) (mm). Il calcolo della PE mensile si effettua in tre fasi successive:

- 1) calcolo dell'indice globale di calore I, prima descritto;
- 2) calcolo preliminare della evapotraspirazione potenziale provvisoria (PE<sub>p</sub>), in funzione dell'indice I

$$PE_p = 16 \left( \frac{10T}{I} \right)^a$$

dove:

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49$$

Tale valore, secondo lo stesso Autore, rappresenta l'evapotraspirazione potenziale mensile provvisoria (PE<sub>p</sub>), perché calcolato per una giornata con 12 ore di illuminazione; PE è invece tanto maggiore, a parità di temperatura, quanto più lunghi sono i giorni. Essa va quindi corretta, introducendo un coefficiente (*pi*) che tiene conto della latitudine in cui si trova la stazione e del mese, considerando quindi l'effetto dell'insolazione teorica nella località considerata e nei diversi periodi dell'anno; in tal modo avremo:

3) calcolo dell'evapotraspirazione potenziale finale (PE):

$$PE = (PE_p) \times pi$$

I valori di *pi* si possono calcolare, per le diverse latitudini e per ciascun mese, attraverso il rapporto fra le ore teoriche di insolazione (eliofania assoluta) e la metà delle ore giornaliere (12). Nella tabella sotto sono stati riportati i 12 valori di *pi*, per alcuni valori di latitudine nord.

Valori del coefficiente di correzione pi, per latitudine e per mese.

Mese	Latitudine nord				
	36°	36,5°	37°	37,5°	38°
Gennaio	0,85	0,85	0,85	0,84	0,84
Febbraio	0,92	0,92	0,92	0,91	0,91
Marzo	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01
Aprile	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
Maggio	1,19	1,2	1,2	1,2	1,21
Giugno	1,23	1,23	1,23	1,24	1,24
Luglio	1,21	1,21	1,21	1,22	1,22
Agosto	1,14	1,14	1,14	1,14	1,15
Settembre	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
Ottobre	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93
Novembre	0,86	0,86	0,85	0,85	0,85
Dicembre	0,83	0,83	0,82	0,82	0,81

**P** (Precipitation) = precipitazioni medie mensili (mm). Sono riportati i valori delle precipitazioni mensili.

**P-PE** = differenza fra precipitazioni mensili ed evapotraspirazione potenziale. Mette in rilievo i mesi in cui le precipitazioni sono in eccesso e quelli in cui, invece, vi è un difetto.

**AWL** (Accumulated Water Loss) = perdita d'acqua cumulata. Al fine di valutare meglio gli effetti sulla riserva idrica del terreno, occorre sommare le perdite periodiche di acqua dovute all'evapotraspirazione.

**ST** (Storage) = riserva idrica utile del suolo. Rimane immutata fino a quando le precipitazioni superano l'evapotraspirazione potenziale, poi comincia a diminuire in modo esponenziale. A inizio autunno, quando le precipitazioni tornano a superare PE, ricomincia la fase di ricarica della riserva (R).

**CST** (Changes in Storage) = variazioni della riserva idrica utile del suolo. Attraverso alcuni calcoli, è possibile stabilire la percentuale di acqua da togliere alla ST, in funzione del valore di AWL mensile.

**AE** (Actual Evapotranspiration) = evapotraspirazione reale o effettiva (ETE). Il calcolo dell'AE si effettua seguendo alcuni semplici principi:

- a) quando P è maggiore di PE e ST è integra, AE è uguale a PE;
- b) nei mesi in cui P è inferiore a PE, le piante attingono anche dal terreno per cui AE sarà uguale alla somma delle precipitazioni e della variazione di riserva (P+CST).

**D** (Deficit) = deficit idrico. Rappresenta la carenza idrica ed è calcolato effettuando la differenza fra l'evapotraspirazione potenziale e quella reale (PE-AE).

**S** (Surplus) = eccedenza idrica. Se la ST è integra, l'eccesso di precipitazioni è computato come eccedenza e soggetto a defluire, come riportato in alcuni esempi:

- a) se P è superiore a PE e ST è integra: S = (P-PE);
- b) se P è superiore a PE e ST non è ancora integra: S = 0, finché ST non sia ricostituita integralmente.
- c) se P è inferiore a PE: S = 0.

I risultati del bilancio idrico del suolo, elaborati con il metodo Thornthwaite-Mather, per ciascuna stazione termo-

pluviometrica che presentava una serie storica idonea, sono presentati in due tipologie di tabelle, riferibili distintamente all'analisi a livello annuale e mensile.

Anche in tal caso è stata scelta un'elaborazione di tipo probabilistico, utilizzando il metodo dei quantili, come già visto per le temperature e le precipitazioni. Le tabelle comprendono anche il coefficiente di variazione.

Nella parte sottostante alla tabella dei valori annui, viene presentata anche un'elaborazione grafica sull'evoluzione mensile dei principali parametri del bilancio, in modo da rendere più intuitiva l'interpretazione dei dati.

In appendice, sono riportati due grafici di esempio (figg. 3 e 4), relativi a due stazioni con caratteristiche climatiche molto diverse

### SEZIONE INDICI CLIMATICI

Gli indici climatici sono delle particolari elaborazioni con cui si cercano di riassumere, in uno o pochi numeri e/o simboli, le condizioni climatiche di una località, utilizzando soltanto alcune principali variabili meteorologiche (in genere, temperatura dell'aria e precipitazioni). Tra le numerose possibili classificazioni climatiche mediante l'uso di indici sintetici, proposte dagli studiosi di climatologia e geografia nel corso degli anni, in questo studio ne vengono considerate quattro, caratterizzate da un crescente livello di complessità: Pluviofattore di Lang, Indice di aridità di De Martonne, Quoziente pluviometrico di Emberger, Indice globale di umidità di Thornthwaite.

#### Classificazione di Lang: Pluviofattore o Regenfaktor (R).

La classificazione di Lang è la più semplice. Essa si basa sul rapporto fra il valore delle precipitazioni medie annue (mm) e quello della temperatura media annua (°C). La formula è pertanto la seguente:

$$R = \frac{P}{T}$$

dove:

P = precipitazioni medie annue (mm);

T = temperatura media annua (°C).

Sono state definite 5 classi climatiche, di seguito presentate nella tabella seguente:

Pluviofattore di Lang (R)	
Clima	R
Umido	>160
Temperato umido	160÷100
Temperato caldo	100÷60
Semiarido	60÷40
Steppa	<40

#### Classificazione di De Martonne: Indice di aridità (Ia).

Anche per quanto riguarda la classificazione di De Martonne, le grandezze considerate sono le precipitazioni medie annue (mm) e la temperatura media annua (°C). La formula proposta dall'Autore tende però a ridurre alcuni inconvenienti che si verificavano applicando la formula di Lang nelle località caratterizzate da clima freddo. Infatti,

in tali situazioni, con temperature medie annue prossime a 0 °C si hanno valori troppo elevati, mentre per valori inferiori a 0 °C si ottengono dei valori negativi del pluviometere di Lang.

Pertanto, la formula proposta da De Martonne è la seguente:

$$Ia = \frac{P}{T + 10}$$

dove:

P = precipitazioni medie annue (mm);

T = temperatura media annua (°C).

Anche in tal caso, l'Autore ha definito 5 classi climatiche, come in tabella seguente:

#### Indice di aridità di De Martonne (Ia)

CLIMA	Ia
Umido	>40
Temperato umido	40÷30
Temperato caldo	30÷20
Semiarido	20÷10
Steppa	10÷5

Classificazione di Emberger: Quoziente pluviometrico (Q).

Le grandezze considerate in questa classificazione, oltre alle precipitazioni medie annue (mm), sono: la media mensile delle temperature massime nel mese più caldo e la media mensile delle temperature minime nel mese più freddo; entrambi i valori sono espressi in gradi Celsius (°C).

La formula proposta dall'Autore è la seguente:

$$Q = \frac{P}{(M^2 - m^2)} \cdot 100$$

dove:

P = precipitazioni medie annue (mm);

M = media mensile delle temperature massime nel mese più caldo;

m = media mensile delle temperature minime nel mese più freddo.

Sono state definite 4 classi climatiche, qui presentate nella tabella che segue:

#### Quoziente pluviometrico di Emberger (Q)

Clima	Q
Umido	>90
Subumido	90÷50
Semiarido	50÷30
Arido	<30

#### Classificazione Di Thornthwaite: Indice Globale di Umidità (Im).

La classificazione di Thornthwaite è un po' più complessa e parte da presupposti più ampi, legati al concetto di evapotraspirazione

Le grandezze necessarie sono: temperatura media mensile e precipitazioni annue.



L'equazione che conduce al calcolo dell'indice è la seguente:

$$I_m = \frac{P - ETP}{ETP} \cdot 100$$

dove:

P = precipitazioni medie annue (mm)

ETP = evapotraspirazione potenziale media annua (mm), derivante dalla somma dei 12 valori dell'ETP media mensile.

Per il calcolo dell'ETP media mensile si rimanda a quanto detto in precedenza, relativamente alle elaborazioni del bilancio idrico dei suoli, secondo il metodo Thornthwaite-Mather.

Sono state definite 6 classi climatiche, come riportato in tabella seguente:

Indice globale di umidità di Thornthwaite (Im)

Clima	Im
Iperumido	>100
Umido	100÷20
Subumido-umido	20÷0
Asciutto-subumido	0÷-33
Semiarido	-33÷-67
Arido	-67÷-100

#### Indice bioclimatico di Rivas-Martinez

La classificazione bioclimatica di Rivas-Martinez, può essere considerata come la risultante dell'interazione di due classificazioni proposte dallo stesso Autore: il termoclima e l'ombroclima.

E' prioritario calcolare innanzitutto l'indice ombrotermico estivo ( $I_{OV}$ ) per stabilire in quale regione macroclimatica ricade l'area territoriale di nostro interesse. L'indice ombrotermico estivo è dato dal rapporto fra la somma delle precipitazioni mensili nei tre mesi estivi (giugno, luglio e agosto) e la somma delle temperature medie mensili per lo stesso periodo:

$$I_{OV} = \frac{\sum P_{giu} + P_{lug} + P_{ago}}{\sum T_{medgiu} + T_{medlug} + T_{medago}}$$

Per quanto riguarda la regione mediterranea, caratterizzata da un  $I_{OV} < 1,5$  e all'interno della quale ricade quasi tutto il territorio regionale, la classificazione termoclimatica definisce cinque classi principali, ciascuna delle quali è denominata "Piano", che a loro volta possono essere articolate in sottoclassi di maggiore dettaglio, definite dall'Autore con il nome di "Orizzonti".

Anche la subclassificazione ombroclimatica per la regione mediterranea presenta una estesa articolazione in classi, in funzione delle precipitazioni totali medie annue.

Entrambe le classificazioni sono di seguito riportate.

Termotipo (valori di It)

	Piano		Orizzonte					
			Superiore		Inferiore			
Crioromediterraneo	-100	-10	-100	-55	-	-55	-10	
Orromediterraneo	-10	70	-10	30	-	30	70	
Supramediterraneo	70	210	70	120	120	163	163	210
Mesomediterraneo	210	350	210	256	256	303	303	350
Termomediterraneo	350	450	350	400	-	400	450	
Inframediterraneo	450	500	-	-	-	-	-	

L'indice It si ricava applicando la seguente equazione:

$$I_t = (T + M + m) \cdot 10$$

dove:

T = temperatura media annua

M = temperatura media delle massime nel mese più freddo

m = temperatura media delle minime nel mese più freddo

Ombrotipo

Ombrotipo	Precipitazioni annue (mm)
Ultra iperumido	> 2300
Iperumido superiore	1950 2300
Iperumido inferiore	1600 1950
Umido superiore	1300 1600
Umido inferiore	1000 1300
Subumido superiore	800 1000
Subumido inferiore	600 800
Secco superiore	450 600
Secco inferiore	350 450
Semiarido superiore	275 350
Semiarido inferiore	200 275
Arido superiore	150 200
Arido inferiore	100 150

In questo lavoro, anche per facilitare la rappresentazione e la lettura della carta bioclimatica, riguardo alla componente termoclimatica si è ritenuto opportuno fare riferimento alla classificazione semplificata, considerando solo i piani del termoclima, omettendo quindi la distinzione nei diversi orizzonti.

La componente ombroclimatica, i cui dettagli tendono ad assumere maggiore significato nelle aree a clima tendenzialmente semiarido, è stata invece presentata per intero, ad eccezione della versione stampata su supporto cartaceo in forma di carta ancillare, dove anch'essa viene presentata in chiave sintetica.

#### Metodologia utilizzata per le elaborazioni cartografiche

Per passare da una serie di dati puntuali a una distribuzione continua nello spazio, attraverso una rappresentazione cartografica dell'andamento delle grandezze meteorologiche si possono impiegare diversi metodi. Tra i più diffusi si ricordano ad esempio quello della media aritmetica (il più semplice), della media mobile pesata, in cui il peso è in genere l'inverso della distanza elevato a potenza, le tecniche delle isoiete e dei topoieti. Negli ultimi anni, anche in climatologia si fa ricorso sempre più spesso ai metodi geostatistici, che oltre all'interpolazione dei dati

puntuali, mediante l'impiego di appropriati algoritmi di calcolo, permettono pure la possibilità di un'analisi statistica, sia a monte che a valle del processo di spazializzazione. In proposito, il metodo del Kriging sembra presentare buone possibilità applicative in climatologia.

I diversi metodi utilizzati in questo studio sono descritti di seguito, nelle specifiche sezioni riguardanti le diverse elaborazioni cartografiche.

E' innanzitutto da precisare che tutte le elaborazioni sono state effettuate pensando ad una restituzione cartografica alla scala 1:250000, che appare quella più idonea rispetto alla coerenza con un dataset climatico che consente un'elaborazione spaziale che non può andare a livelli di dettaglio oltre quelli della mesoscala. Inoltre, è qui opportuno richiamare che le elaborazioni anzidette sono state effettuate utilizzando alcune funzioni offerte dagli strumenti GIS (sistemi informativi geografici). Nel nostro caso sono stati utilizzati diversi software commerciali, alcuni impiegati per le analisi preliminari, alcuni per particolari funzioni complesse di analisi e calcolo, altri per la fase di realizzazione finale.

Infine è opportuno evidenziare che tutte le carte derivate (escursioni termiche, evapotraspirazione potenziale, indici climatici) sono state ottenute attraverso l'esecuzione dell'algoritmo di calcolo sui dati cartografici di base (file grid di temperatura e precipitazioni) e non attraverso l'interpolazione dei valori puntuali dei diversi indici.

#### CARTE DI TEMPERATURA

Le carte delle temperature sono state ottenute a partire dal noto concetto di **gradiente termico verticale** medio dell'atmosfera, in prossimità della superficie terrestre.

In pratica, sulla base della conoscenza di tale fenomeno, si è indagato sull'entità del **coefficiente di correlazione** fra la temperatura media annua rilevata presso tutte le stazioni oggetto del presente studio e la quota altimetrica alla quale le stesse sono ubicate. Stesso discorso è stato poi fatto a livello mensile e decadico. Da tale analisi è risultata una elevata correlazione negativa fra le due variabili, con qualche eccezione per le massime estive, che ha consentito di applicare con una buona affidabilità il metodo della regressione lineare semplice, al fine di stimare il gradiente termico verticale.

A partire dai valori di gradiente termico verticale, e impiegando il DEM (Digital Elevation Model), Modello Digitale delle Elevazioni, prodotto qualche anno fa dall'Assessorato Regionale dei Beni Culturali e Ambientali e appositamente fornitoci per tale applicazione, si è quindi stimato il valore della temperatura su tutto il territorio regionale, attraverso i seguenti passaggi metodologici:

- riduzione sul livello del mare dei valori di temperatura delle singole stazioni;
- produzione delle carte intermedie, attraverso un procedimento di spazializzazione orizzontale, utilizzando il metodo "*spline*" quale interpolatore;
- realizzazione delle carte finali, applicando, per ciascuna carta intermedia, lo specifico gradiente termico verticale e la differenza di quota tra le celle del DEM e quelle delle carte intermedie (considerate a quota 0 m s.l.m.).

I valori stimati attraverso tali metodi e rappresentati dalle varie carte di temperatura sembrano rappresentare bene la reale distribuzione territoriale dei diversi aspetti del parametro, se confrontati con i dati elaborati presso le stazioni di rilevamento.

Tutte le carte fanno riferimento ad una legenda unica, che attraverso passaggi cromatici graduali rappresenta i valori di temperatura compresi in un range che va da -13 °C a 34 °C. In tal modo, un colore rappresenterà sempre, per qualsiasi carta, una determinata classe di valori. In particolare, l'intervallo delle classi è di 2 °C per tutto il campo di variabilità, ad eccezione del *range* che va da -4 °C a -13 °C, per il quale è stata definita una sola classe, stante la limitata estensione territoriale di tali valori, concentrati in pratica esclusivamente alle sommità dell'Etna.

In appendice (fig. 7) è riportata una versione ridotta della carta delle temperature medie annue.

#### CARTE DI PRECIPITAZIONI

A differenza del metodo seguito per le temperature, per la realizzazione delle carte di precipitazioni è stata effettuata soltanto una spazializzazione di tipo orizzontale. Infatti, per tale variabile meteorologica non è facile individuare un omogeneo e generale andamento dei parametri di correlazione spaziale, ad esempio rispetto alla quota altimetrica, così come avviene invece per le temperature. Ciò, in relazione all'esistenza di una situazione territoriale molto diversificata, soprattutto, ma non solo, relativamente all'orografia.

Il metodo di interpolazione utilizzato è stato quello dello "*spline*". Tale metodo è basato su una funzione matematica che minimizza la curvatura dell'intera superficie ideale che passa esattamente per i diversi punti di osservazione, con totale rispetto, nel nostro caso, dei valori rilevati presso le singole stazioni.

Tale metodo, molto diverso concettualmente dai metodi geostatistici, quale ad esempio il Kriging, fornisce dei buoni risultati in termini di rappresentazione delle superfici interpolate, paragonabili o addirittura sovrapponibili a quelle ottenute con lo stesso Kriging. Quest'ultimo metodo, d'altronde, spesso usato nelle nostre elaborazioni e impiegato specificamente nella prima edizione dell'"Atlante", fornisce delle informazioni aggiuntive, potenzialmente interessanti, circa le mappe di distribuzione degli errori e della deviazione standard delle variabili interpolate. Tuttavia, soprattutto per l'interpolazione spaziale di variabili per le quali si dispone di una serie di punti di osservazione caratterizzata da una densità territoriale molto bassa (es. 179 punti di osservazione, sull'intero territorio regionale, come nel nostro caso), i suddetti vantaggi diventano secondari, al punto, ripetiamo, da ottenere uguali risultati finali, ricorrendo ad interpolatori più semplici, dal punto di vista della struttura statistica, qual'è appunto lo *spline*.

I risultati ottenuti, infatti, sembrano rappresentare bene il reale andamento territoriale della variabile meteorologica in questione, sia rispetto al confronto con i valori puntuali elaborati per le 179 stazioni pluviometriche, sia nei confronti della diffusa conoscenza del territorio regionale, ancorché essenzialmente basata sull'esperienza diretta.

### Carta delle precipitazioni annue

La rappresentazione dei dati interpolati è stata effettuata utilizzando un'unica legenda, nella quale l'intervallo tra le classi ha un passo di 100 mm, nel *range* che va da 100 a 800 mm/anno, e di 200 mm, per il range da 800 a 2600 mm/anno.

Contestualmente alla carta annuale viene visualizzata una rappresentazione grafica a istogrammi della distribuzione mensile delle precipitazioni (in percentuale rispetto al totale annuale). I tre diagrammi visualizzati derivano da un'analisi preliminare di tale distribuzione mensile, rispetto alle 179 stazioni elaborate, che ha permesso di distinguere e raggruppare 3 diverse situazioni territoriali relativamente omogenee, caratterizzate da distribuzioni mensili leggermente diverse.

Nella fig. 8, in appendice, è riportata la carta delle precipitazioni medie annue (mediana) insieme ai tre grafici di distribuzione mensile delle stesse.

### Carte delle precipitazioni mensili

Per le carte mensili, la legenda adottata presenta 13 classi, che vanno da 0 mm a 160 mm. Da 0 mm a 20 mm l'intervallo è di 5 mm, da 20 mm a 40 mm, l'intervallo è di 10 mm, mentre per le restanti classi troviamo un intervallo di 20 mm.

### Carte delle precipitazioni decadiche

La legenda delle carte decadiche presenta 9 classi, che vanno da 0 mm a 70 mm. Da 0 mm a 20 mm l'intervallo è di 5 mm, da 20 mm a 70 mm, l'intervallo è di 10 mm.

### CARTE DEI GIORNI PIOVOSI

Così come per le precipitazioni, per la spazializzazione dei giorni piovosi è stato utilizzato il metodo dello *spline*.

### Carta annuale dei giorni piovosi

La legenda della carta annuale presenta 7 classi, che vanno da 30 a 100 giorni piovosi, con un intervallo tra le classi di 10 giorni piovosi.

### Carte mensili dei giorni piovosi

La legenda delle carte mensili presenta 8 classi, che vanno da 0 a 14 giorni piovosi, con un intervallo tra le classi di 2 giorni piovosi.

### Carte decadiche dei giorni piovosi

La legenda delle carte decadiche presenta 8 classi, che vanno da 0 a 7 giorni piovosi, con un intervallo tra le classi di 1 giorno piovoso.

### CARTE DERIVATE

Le carte derivate sono state ottenute attraverso una rielaborazione delle diverse carte di base: temperatura e precipitazioni. Queste sono state pertanto utilizzate come dati cartografici di input, per ricavare le diverse elaborazioni climatiche, impiegando gli opportuni strumenti GIS e gli algoritmi di calcolo specifici.

È quindi da sottolineare, come sopra già accennato, che alla base di queste carte vi è un calcolo effettuato direttamente sulla componente cartografica, in formato *grid*

(griglia di punti), e non un processo di interpolazione di dati elaborati a livello puntuale, cioè sul singolo sito di rilevamento.

L'esempio più semplice è riportato di seguito, nella descrizione della prima delle carte derivate qui elencate.

Lo stesso procedimento è stato utilizzato per tutte le altre, utilizzando le formule di base descritte in altre parti della guida ipertestuale, alle quali si rimanda.

### Carta delle escursioni termiche medie annue

La carta delle escursioni termiche medie annue è stata ricavata effettuando la differenza fra i valori in formato *grid* della carta delle temperature medie del mese di luglio (in genere il mese più caldo) e della carta delle temperature medie del mese di gennaio (il mese più freddo in quasi tutte le stazioni). Tale carta non è stata quindi ottenuta interpolando i dati di escursione termica media annua elaborati per singola stazione, peraltro già presenti in apposite tabelle della pubblicazione "Climatologia della Sicilia".

### Carte decadiche delle sommatorie termiche in base 10

I **gradi giorno** (GG) rappresentano un indice della disponibilità di energia termica nell'ambiente, visto in funzione delle esigenze vitali di sviluppo e crescita delle piante. Per tale ragione, in linguaggio anglosassone si utilizza la terminologia *growing degree days* (GDD). Il presupposto di base di tale indice parte dal concetto di *optimum* termico di sviluppo e crescita delle diverse specie vegetali, che ricade comunque entro un determinato intervallo di temperatura, costituito dalle soglie termiche massima e minima. Molti studi hanno evidenziato soprattutto il ruolo di quest'ultima, la soglia termica minima di sviluppo, che viene considerato il limite inferiore, al di sotto del quale il ciclo vitale rallenta fortemente o si arresta. Sulla soglia superiore, invece, i diversi studi condotti finora non hanno consentito di avere risposte univoche. Così, alcuni autori la considerano ininfluenza, altri la considerano alla stessa stregua della soglia minima, altri ancora la sottraggono nelle operazioni di calcolo, in quanto al di là di tale soglia i processi vitali non solo possono essere rallentati o arrestati, ma addirittura depressi.

In questo lavoro, che affronta in chiave generale lo studio climatologico dell'intero territorio regionale, si è adottato il metodo più diffuso, che considera solo la soglia minima quale fattore limitante; nella fattispecie, è stata considerata la soglia minima che accomuna la gran parte delle specie vegetali coltivate (specie agrarie), cioè quella di 10 °C.

Il calcolo dei gradi giorno viene effettuato in tal caso sottraendo al valore della temperatura media giornaliera (in genere, rappresentato ancora oggi, universalmente, dalla semisomma della massima e della minima giornaliera) il valore della soglia termica minima di sviluppo, cioè la costante di 10 °C. Si ottengono così i gradi di temperatura utili per la crescita di quelle specie che hanno come limite termico inferiore di sviluppo la soglia di 10 °C, cioè, appunto, i gradi giorno (GG). I valori giornalieri così ottenuti vengono poi sommati progressivamente, lungo l'arco dell'anno, a partire da date convenzionali (in genere il

primo gennaio) o da specifiche date legate agli stadi fenologici (fasi di sviluppo) delle piante.

Nel nostro caso, che rappresenta, diciamo ancora, il più generale, le sommatorie termiche sono state cumulate a partire dalla data del primo gennaio. Per cui, ad esempio, la carta di sommatoria termica della seconda decade di settembre rappresenta la distribuzione territoriale della sommatoria GG, dal 1 gennaio al 20 settembre. E così via. Le 36 carte decadiche delle sommatorie termiche cumulate sono state ottenute a partire dalle carte decadiche di temperatura media. A ciascuna di queste ultime carte, attraverso un procedimento di calcolo su *grid*, è stato innanzitutto sottratto il valore della costante (nel nostro caso 10 °C), ottenendo le 36 carte decadiche di sommatoria termica. Le carte finali di sommatoria termica cumulata sono state infine ottenute sommando a ciascuna carta di sommatoria termica i valori della decade precedente.

#### CARTE DI EVAPOTRASPIRAZIONE POTENZIALE

##### Carte di evapotraspirazione potenziale mensile

Le 12 carte sono state realizzate applicando, in formato *grid*, utilizzando il software GIS, il metodo e l'algoritmo proposto da Thornthwaite, qui descritto precedentemente, nella parte relativa alle "Elaborazioni puntuali".

##### Carta dell'evapotraspirazione potenziale annua

Tale carta è stata ottenuta effettuando la somma dei valori in formato *grid* relativi alle 12 carte mensili appena dette.

#### CARTE DEGLI INDICI CLIMATICI

Le 5 carte degli indici climatici sono state realizzate applicando, in formato *grid*, utilizzando il software GIS, i metodi e gli algoritmi proposti dai diversi autori e qui descritti precedentemente.

La fig. 9, in appendice, rappresenta un esempio delle diverse carte degli indici climatici.

#### Uso dell' Atlante

L'"Atlante climatologico della Sicilia" può essere utilizzato quale strumento per conoscere le caratteristiche climatiche del territorio regionale, secondo un approccio di studio basato su dati mensili e decadici.

L'utente, in funzione delle proprie esigenze, può condurre la propria analisi con percorsi diversi, attraverso le varie parti che compongono l'Atlante e che concorrono ad articolare, approfondire e definire meglio le caratteristiche climatiche di un luogo, di un sito o di area più o meno vasta.

La rappresentazione cartografica della distribuzione spaziale delle variabili climatiche è stata realizzata sia utilizzando il classico supporto cartaceo (Carta climatica della Sicilia), sia attraverso il più moderno e attuale supporto magnetico (CD-ROM).

La Carta climatica della Sicilia consiste in diversi tematismi, alcuni dei quali alla scala 1:250000 (temperatura e precipitazioni medie annue) altri, in forma di carte ancillari (di accompagnamento alla principale), alla scala 1:1500000 (quinto, venticinquesimo, cinquantesimo, settantacinquesimo e novantacinquesimo percentile delle precipitazioni totali annue, temperatura media delle mi-

nime nel mese più freddo, media delle massime nel mese più caldo, evapotraspirazione potenziale media annua e alcuni indici climatici).

L'Atlante climatologico su CD-ROM, oltre a comprendere tutte le rappresentazioni cartografiche ora dette, contiene ulteriori, numerose elaborazioni (altri indici climatici, distribuzione spaziale dei valori mensili e decadici di temperatura, precipitazioni, evapotraspirazione potenziale, ecc.).

Il CD-ROM è però anche un database interrogabile e consultabile in maniera interattiva, comprendente tutti i dati mensili di base già analizzati, validati e in parte ricostruiti con appropriate procedure statistiche e sui quali sono state effettuate le elaborazioni climatologiche di sintesi. L'interrogazione può essere effettuata, attraverso delle apposite query già definite, sia a livello temporale che spaziale.

Scelta la stazione che interessa, tra quelle rappresentate sul territorio regionale e attraverso un percorso guidato, la consultazione "storica" consente di estrarre i dati sulla base di un intervallo temporale che può andare da un singolo mese all'intero trentennio (in ogni caso a scansione mensile).

L'analisi, o la consultazione, di tipo spaziale, consente invece l'interrogazione del database secondo un altro criterio. In tal caso, scelta la provincia, o una particolare altra area di interesse dell'utente, su cui effettuare l'interrogazione, può essere verificato un particolare "evento" meteorologico (anche in tal caso, comunque, il passo minimo è sempre quello mensile) su più stazioni meteorologiche: ciò può risultare utile, ad esempio, per capire cosa è successo in uno stesso periodo di tempo (da un mese ad un anno), sui diversi siti di rilevamento di una porzione circoscritta di territorio.

Infine il CD-ROM contiene tutte le elaborazioni già pubblicate su supporto cartaceo presenti sui volumi "Climatologia della Sicilia", rappresentate dai numerosissimi dati di sintesi, sia in forma tabulare che grafica, per singola stazione di rilevamento e numerose nuove elaborazioni su base giornaliera, tra cui la già citata analisi degli eventi termici estremi.

Il programma informatico che sta alla base dell'Atlante su CD-ROM è totalmente interattivo e di semplice utilizzo per la consultazione dei dati e delle elaborazioni ottenute con l'applicazione di modelli di analisi geografica. Esso è utilizzabile direttamente da CD-ROM e non richiede alcun software specifico di base.

Secondo passaggi gradualmente, si potranno quindi conoscere sia i dati medi, più generici, sia i dati dello studio probabilistico, che consentono invece un maggiore dettaglio di analisi.

Un utile suggerimento potrebbe però essere di partire dalle rappresentazioni cartografiche che, attraverso la visualizzazione di dati continui nello spazio, permettono di scegliere, con un criterio di similitudine, la stazione che meglio riesce a rappresentare l'area di interesse dell'utente.

Infatti, dall'analisi delle carte delle temperature (sia annuali che mensili), delle precipitazioni (ai diversi livelli di probabilità di non superamento) e di quelle da esse derivate, si possono dedurre delle interessanti

vate, si possono dedurre delle interessanti informazioni, al di là del significato intrinseco dei dati in esse presenti, circa le differenze e le similitudini, più o meno marcate, esistenti fra l'area di studio e quelle in cui ricadono le stazioni.

Attraverso tale percorso interpretativo, si potranno pertanto ricavare delle indicazioni utili su quali potranno (o dovranno) essere le stazioni oggetto degli approfondimenti di analisi, dal momento che solo a livello di singolo sito di rilevamento sono disponibili tutte le informazioni statistiche approfondite, discendenti dallo studio probabilistico a livello giornaliero, mensile e annuale.

## Aspetti Applicativi

### CARTE DI TEMPERATURA

#### **Carta delle temperature medie annue.**

Tale carta, ancorché di tipo generale, fornisce già una buona idea sulla diversificazione climatica della nostra regione. La media annua infatti, pur essendo un indice sintetico, riesce a discriminare le diverse aree territoriali e trova alcune possibilità applicative anche in agricoltura, qualora siano disponibili, delle indicazioni sulle esigenze termiche generali delle diverse specie e varietà vegetali coltivate.

Tuttavia, a parte la possibilità di un uso diretto dei dati in essa presenti, per gli scopi che richiedono solo un livello minimo di approfondimento, essa, attraverso un criterio di similitudine, può soprattutto servire bene come base per la scelta delle stazioni meteorologiche che meglio rappresentano l'area di interesse di ciascun utente. Per esse sono infatti disponibili, a livello puntuale, tutte le elaborazioni statistiche di approfondimento, presentati in forma grafica e tabellare, consultabili nella sezione Elaborazioni per stazione.

#### **Carte delle temperature medie mensili.**

Oltre a quanto ora detto per le temperature medie annue, le carte mensili consentono un livello di analisi molto più dettagliato nel tempo e il confronto, a scansione mensile, con l'andamento meteorologico corrente, che può risultare di grande utilità per conoscere l'entità dello scostamento dai valori climatici e le eventuali conseguenze sulle attività agricole e umane in genere. Le possibilità applicative in agricoltura diventano inoltre maggiori, qualora si confrontino ad esempio con le esigenze termiche delle diverse colture, a livello mensile.

Si tratta ovviamente di informazioni a carattere generale anche in questo caso, come peraltro già detto per le medie annue. Tuttavia, la definizione del potenziale termico dei diversi ambienti riesce a fornire alcune indicazioni operative. In assenza di maggiori dettagli conoscitivi, possibili certamente attraverso lo studio sui dati giornalieri, lo studio su base mensile può comunque costituire una prima base applicativa di un certo interesse.

#### **Carte delle temperature medie delle massime nel mese più caldo e delle minime nel mese più freddo, carta delle escursioni termiche medie annue.**

In tal caso è già evidente un maggiore livello di approfondimento sulle differenze climatiche esistenti tra le diverse

aree territoriali, in relazione agli effetti che alcune caratteristiche geografiche e topografiche esercitano sull'estrinsecazione dei valori termici giornalieri (temperature massime e minime diurne).

Anche in tal caso, oltre all'uso diretto delle informazioni presenti nella carta, un'utilità maggiore può derivare dalla possibilità di applicare il criterio della similitudine già accennato.

#### **Carte delle sommatorie gradi giorno in base 10 °C.**

Tali elaborazioni possono risultare di grande utilità per molte applicazioni agroclimatologiche. La distinzione delle diverse aree territoriali regionali, sulla base del diverso accumulo di gradi di temperatura utili per lo sviluppo e la crescita delle colture, e delle piante in genere, può ad esempio trovare un'interessante applicazione nella discriminazione delle porzioni di territorio più vocate alla produzione agrumicola (arancio in particolare), anche attraverso un anticipo nel raggiungimento di determinati valori di sommatoria GG, rispetto ad altre zone.

Analogamente, tale esempio può essere applicato per evidenziare a livello territoriale le situazioni di diversa precocità di raggiungimento di prefissati e noti valori di gradi giorno cumulati, rispetto ad altre fasi di sviluppo e/o ad altre colture: epoca di raccolta di cereali a ciclo autunno-vernino o primaverile-estivo, epoca di raccolta di olivo, vite e fruttiferi, fasi di sviluppo di insetti fitofagi e/o utili, ecc.

E' comunque ancora una volta opportuno evidenziare che la scala di elaborazione è quella 1:250000, con tutte le considerazioni del caso, circa le diverse applicazioni possibili.

### CARTE DELLE PRECIPITAZIONI

#### **Carta delle precipitazioni medie annue.**

Per precipitazioni medie si intendono nel nostro caso i valori mediani (50° percentile) dei totali annui delle precipitazioni.

Per quanto si tratti di una carta di tipo generale, essa dà già la possibilità di una buona conoscenza delle caratteristiche pluviometriche delle diverse aree, soprattutto se a essa si affiancano i grafici che schematizzano la distribuzione mensile della stessa variabile.

La conoscenza di questi dati e la possibilità di confrontarli, ad esempio, con quelli dell'evapotraspirazione potenziale può consentire delle utili applicazioni nel campo della programmazione generale dell'irrigazione, in relazione alle esigenze idriche delle diverse colture.

Anche in tal caso peraltro, così come per le temperature, vale bene il criterio della similitudine già più volte richiamato. Pertanto, per le aree che presentano analoghe caratteristiche pluviometriche, risulta più agevole la scelta delle stazioni limitrofe più rappresentative rispetto alle esigenze dell'utente. Attraverso tale percorso, sarà quindi possibile accedere successivamente alle analisi probabilistiche realizzate a livello puntuale (di singolo sito di rilevazione). Ciò appare peraltro ancora più valido, qualora si consideri che la distribuzione mensile delle precipitazioni annue risulta in Sicilia raggruppabile in sole tre tipologie,

poco diverse tra loro e tutte comunque riconducibili al tipico clima mediterraneo.

#### **Carte di elaborazione probabilistica delle precipitazioni totali annue.**

Oltre alla carta ora detta, sono state effettuate delle elaborazioni cartografiche sulla base dello studio probabilistico delle precipitazioni totali annue. Si tratta in tal caso di un notevole arricchimento dell'informazione di tipo pluviometrico, che consente di conoscere l'entità delle precipitazioni annue a diversi livelli di non superamento, secondo il significato già visto prima, nella parte metodologica. In pratica, la conoscenza di tali dati ci permette di sapere con quale probabilità si possono verificare determinati valori pluviometrici a livello mensile e ci fornisce quindi un maggiore dettaglio nel confronto con le esigenze delle colture, definendone la percentuale di rischio sul mancato soddisfacimento.

#### **CARTE DI EVAPOTRASPIRAZIONE POTENZIALE**

L'applicazione dei risultati di questa elaborazione risulta utile per conoscere le potenziali perdite evapotraspirative che caratterizzano le diverse aree territoriali della nostra regione, sia a livello annuo che di singolo mese. Nel primo caso l'utilità principale consiste, ad esempio, nella possibilità di valutare i diversi ambienti, in relazione ai fabbisogni annui di acqua irrigua e consente quindi di definire le caratteristiche progettuali delle strutture di raccolta e degli impianti di distribuzione della stessa.

Le carte mensili, invece, oltre a consentire un maggiore dettaglio per gli stessi scopi ora detti, permette di definire più correttamente i parametri che caratterizzano la distribuzione dell'acqua nel corso della stagione irrigua, sia a livello aziendale che a livello consortile. In quest'ultimo caso i vantaggi appaiono peraltro ben superiori, se si pensi alle dimensioni del fenomeno, inquadrato, appunto, secondo un approccio di tipo comprensoriale, cioè in termini di interi bacini di utenza irrigua.

E' bene sottolineare ancora una volta che trattandosi di informazioni climatiche, e quindi medie, le carte ci danno la possibilità di conoscere la situazione che *normalmente* si verifica in una zona, e quindi trovano possibilità applicative nelle fasi di stima, pertanto a priori, dei fenomeni studiati.

Riguardo agli aspetti gestionali lungo la stagione corrente, l'utente, pur potendo trarre delle buone informazioni di massima dalle carte dell'ETP media annua, dovrà comunque valutare la situazione del presente (dato meteorologico), con altri strumenti operativi (modelli di bilancio idrico), che consentono un ulteriore affinamento della tecnica irrigua, anche attraverso eventuali confronti con il dato climatico presente nella carte stesse.

Per gli ulteriori eventuali approfondimenti di tipo probabilistico, si potranno tuttavia consultare le tabelle e i grafici realizzati per le singole stazioni di rilevazione, anch'essi presenti nell'Atlante. Il principio è sempre quello della similitudine, fra le caratteristiche medie delle stazioni di rilevamento più prossime alla nostra area di studio e quelle dell'area stessa, definite dai valori distribuiti sul territorio (carte tematiche).

#### **CARTE DEGLI INDICI CLIMATICI**

Le carte ottenute sono relative a cinque diverse classificazioni climatiche, proposte negli anni passati da diversi climatologi, geografi e botanici che si sono occupati dell'argomento: Indice pluviometrico di Lang, Indice di aridità di De Martonne, Quoziente pluviometrico di Emberger, Indice globale di umidità di Thornthwaite e Indice bioclimatico di Rivas-Martinez. Di tali classificazioni, i dati relativi prime quattro erano già stati pubblicati a livello puntuale (singola stazione) nei volumi "Climatologia della Sicilia", mentre nell'ultimo caso si tratta di una nuova elaborazione effettuata proprio per questo nuovo lavoro, anche in considerazione delle sempre più frequenti segnalazioni e richieste da parte di molti studiosi e tecnici, che affrontano lo studio sulle conoscenze del territorio in chiave bioclimatica, guardando quindi principalmente alle interazioni fra clima e biosfera, vegetali in particolare.

L'utilità di queste carte, come peraltro dei dati puntuali, consiste nella definizione sintetica delle specificità climatiche delle distinte zone dell'Isola, secondo diversi approcci metodologici messi a punto dai vari Autori nel tempo, che nel nostro caso sono caratterizzati da livelli di complessità crescente, nell'ordine di elencazione visto sopra.

Come già analizzato e descritto in "Climatologia della Sicilia", gli indici di classificazione che, anche sulla base delle nostre conoscenze sul territorio, sembrano interpretare meglio la situazione regionale, sono quelli proposti da De Martonne e da Thornthwaite. La classificazione di Lang appare infatti poco adatta a distinguere le diverse aree dell'Isola, tendendo a classificare verso i climi aridi, mentre all'opposto quella di Emberger tende ad ampliare eccessivamente le classi di clima umido, raggruppando situazioni mesoclimatiche caratterizzate da evidenti diversità.

Interessante appare infine la classificazione proposta da Rivas-Martinez, grazie anche alla ricchezza di informazioni presenti, che discende anche dall'articolazione in numerose classi e sottoclassi. Forse anche per tale ragione, l'Indice sembra rispondere bene circa la capacità di rappresentare la reale situazione locale.

Questa carta permette, grazie agli studi svolti dall'Autore, alcune potenziali applicazioni, in seguito alla possibilità di accostamento di tale classificazione con la distribuzione delle comunità vegetali, secondo i principi della fitosociologia.

#### **Bibliografia**

- AA.VV., 1996. *Linee guida del piano territoriale paesistico regionale. Regione Siciliana, Assessorato dei Beni Culturali, Ambientali e della Pubblica Istruzione, Palermo.*
- AA.VV., 1998. *Carta climatica del Piemonte. Regione Piemonte, Torino.*
- Benincasa F., Maracchi G., Rossi P., 1998. *Agrometeorologia. Patron, Bologna.*
- Blasi C., 1994. *Fitoclimatologia del Lazio. Regione Lazio, Assessorato Agricoltura, Roma.*
- Bonini Baraldi A., 1993. *Caratterizzazione climatologica del territorio veneto. Regione Veneto, Centro Sperimentale per l'Idrologia e la Meteorologia, Teolo (PD).*

- Cartabellotta D., Drago A., Lo Bianco B., Lombardo M., 1998. *Climatologia della Sicilia. Regione Siciliana, Assessorato Agricoltura e Foreste, Palermo.*
- Castrignanò A., Stelluti M. *Studio della variabilità spaziale mediante la geostatistica. Istituto Sperimentale agronomico, Bari.*
- Ciavatta C., Vianello G., 1989. *Bilancio idrico dei suoli: applicazioni tassonomiche, climatiche e cartografiche. CLUEB, Bologna.*
- Constantinidis C., 1981. *Bonifica ed irrigazione. Edagricole, Bologna.*
- Drago A., Cartabellotta D., Lo Bianco B., Lombardo M., 2000. *Atlante climatologico della Sicilia. Regione Siciliana, Assessorato Agricoltura e Foreste, Palermo.*
- Isaaks E.H., Srivastava R.M., 1989. *An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, New York.*
- Leti G., 1983. *Statistica descrittiva. Il Mulino, Bologna.*
- Maracchi G., Pieri M., 1994. *Manuale di spazializzazione dei dati agrometeorologici - Manuale Tecnico n.11. Ce.S.I.A.-Accademia dei Georgofili, Firenze.*

- McCoy J., Johnston K., 2001. *Using ArcGIS Spatial Analyst. ESRI, Redlands, CA.*
- Mennella C., 1973. *Il clima d'Italia. F.lli Conte Editori, Napoli.*
- Pignatti S., 1995. *Ecologia Vegetale. UTET, Torino.*
- Pinna M., 1978. *L'atmosfera e il clima. UTET, Torino.*
- Rosini E., 1988. *Introduzione all'agroclimatologia (Parte prima: Le basi della climatologia). E.R.S.A. - Servizio Meteorologico Regionale, Bologna.*
- Rosini E., 1988. *Introduzione all'agroclimatologia (Parte seconda: Richiami di statistica). E.R.S.A. - Servizio Meteorologico Regionale, Bologna.*
- Spiegel M.R., 1992. *Statistica (2a edizione). Collana SCHAUM - ETAS Libri, Milano*

## Appendice: tabelle, grafici, mappe.

**Tab.1** - Coefficienti di correlazione quota-temperatura e gradienti termici verticali stimati per i valori medi mensili.

**Tab. 1** - *Elevation-temperature correlation coefficients and estimated vertical thermal laps for monthly average values.*

	Coefficiente di correlazione	Gradiente verticale (°C/100 m quota)
Gennaio	-0,96	-0,7
Febbraio	-0,96	-0,7
Marzo	-0,95	-0,6
Aprile	-0,92	-0,5
Maggio	-0,85	-0,4
Giugno	-0,74	-0,3
Luglio	-0,68	-0,3
Agosto	-0,76	-0,3
Settembre	-0,88	-0,5
Ottobre	-0,92	-0,6
Novembre	-0,95	-0,6
Dicembre	-0,95	-0,7
Medie annua	-0,93	-0,5
Massime mese più caldo	-0,35	-0,2
Minime mese più freddo	-0,93	-0,7

**Tab. 2** - Coefficienti di correlazione quota-temperatura e gradienti termici verticali stimati per i valori massimi e minimi mensili.

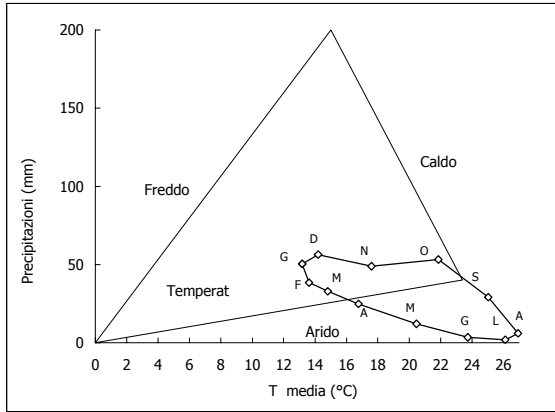
**Tab. 2** - *Elevation-temperature correlation coefficients and estimated vertical thermal laps for monthly maximum and minimum values.*

MESE	Tmax		Tmin	
	Coefficiente di correlazione	Gradiente verticale (°C/100 m quota)	Coefficiente di correlazione	Gradiente verticale (°C/100 m quota)
Gennaio	0,93	-0,72	0,92	-0,67
Febbraio	0,92	-0,69	0,93	-0,67
Marzo	0,88	-0,60	0,93	-0,62
Aprile	0,80	-0,50	0,92	-0,57
Maggio	0,61	-0,34	0,84	-0,47
Giugno	0,35	-0,19	0,80	-0,46
Luglio	0,31	-0,19	0,75	-0,42
Agosto	0,36	-0,20	0,76	-0,47
Settembre	0,64	-0,34	0,85	-0,56
Ottobre	0,82	-0,51	0,90	-0,63
Novembre	0,91	-0,64	0,90	-0,66
Dicembre	0,92	-0,70	0,91	-0,66

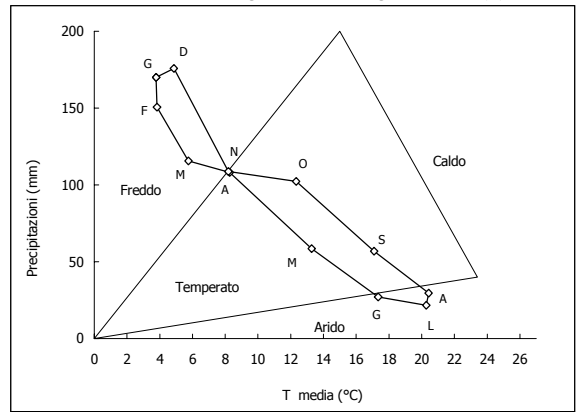
**Tab.3** - Coefficienti di correlazione quota-temperatura e gradienti termici verticali stimati per i valori medi decadici.

**Tab. 3** - *Elevation-temperature correlation coefficients and estimated vertical thermal laps for ten days average values.*

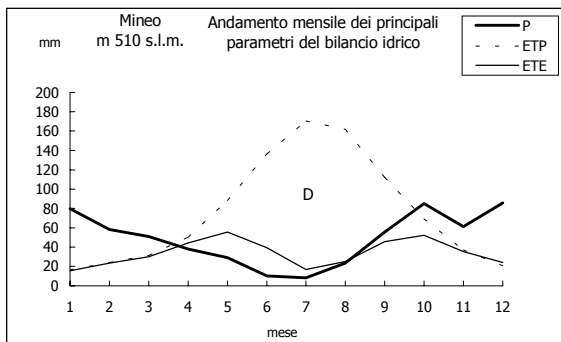
DECADE	Coefficiente di correlazione	Gradiente verticale (°C/100 m quota)
01-I	0,94	-0,69
01-II	0,95	-0,69
01-III	0,95	-0,70
02-I	0,95	-0,65
02-II	0,96	-0,73
02-III	0,99	-0,69
03-I	0,95	-0,65
03-II	0,93	-0,63
03-III	0,91	-0,57
04-I	0,91	-0,58
04-II	0,92	-0,60
04-III	0,88	-0,51
05-I	0,87	-0,47
05-II	0,82	-0,40
05-III	0,74	-0,33
06-I	0,75	-0,34
06-II	0,61	-0,28
06-III	0,64	-0,30
07-I	0,64	-0,29
07-II	0,63	-0,28
07-III	0,66	-0,30
08-I	0,56	-0,23
08-II	0,69	-0,34
08-III	0,81	-0,44
09-I	0,87	-0,47
09-II	0,85	-0,44
09-III	0,88	-0,51
10-I	0,92	-0,57
10-II	0,9	-0,60
10-III	0,94	-0,65
11-I	0,93	-0,64
11-II	0,93	-0,68
11-III	0,96	-0,68
12-I	0,95	-0,71
12-II	0,95	-0,71
12-III	0,95	-0,71



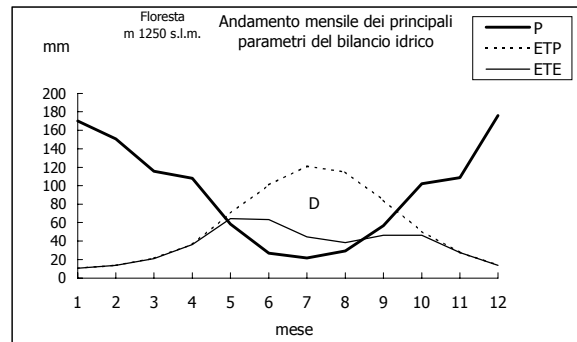
**Fig. 1** - Climogramma di Peguy per la stazione di Gela (m 45 s.l.m)  
**Fig. 1** - Peguy climatogram for Gela weather station (m 45 a.s.l.)



**Fig. 2** - Climogramma di Peguy per la stazione di Floresta (m 1250 s.l.m)  
**Fig. 2** - Peguy climatogram for Floresta weather station (m 1250 a.s.l.)



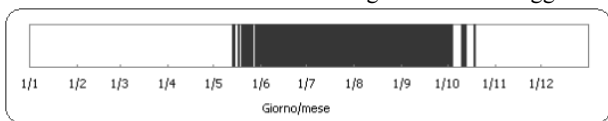
**Fig. 3** - Elaborazione del bilancio idrico per la stazione di Mineo (m 510 s.l.m)  
**Fig. 3** - Graphical representation of main Thornthwaite-Mather water balance parameters for Mineo weather station (m 510 a.s.l.)



**Fig. 4** - Elaborazione del bilancio idrico per la stazione di Floresta (m 1250 s.l.m)  
**Fig. 4** - Graphical representation of main Thornthwaite-Mather water balance parameters for Floresta weather station (m 1250 a.s.l.)

	MIN	10°	25°	50°	75°	90°	MAX
Gennaio	0	0	0	0	0	0	0
Febbraio	0	0	0	0	0	0	0
Marzo	0	0	0	0	0	0	0
Aprile	0	0	0	0	0	0	6
Maggio	0	0	0	0	2	10	16
Giugno	0	5	8	12	16	23	30
Luglio	11	16	18	25	29	31	31
Agosto	10	14	16	23	29	31	31
Settembre	0	1	2	7	12	22	26
Ottobre	0	0	0	0	1	6	12
Novembre	0	0	0	0	0	0	0
Dicembre	0	0	0	0	0	0	0
Anno	32	41	49	73	83	117	146

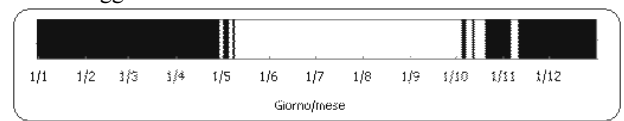
Giorni 204 con assenza di rischio al 90% di probabilità  
 Dal 19 ottobre al 31 dicembre e dal 1 gennaio al 12 maggio



**Fig. 5** - Elaborazione probabilistica (metodo dei percentili) del numero mensile di giorni con temperatura massima maggiore o uguale a 30 °C per la stazione di Mineo (m 510 s.l.m)  
**Fig. 5** - Probabilistic calculation (percentile method) of monthly number of days with maximum temperature equal or above 30 °C, for Mineo weather station (m 510 a.s.l.)

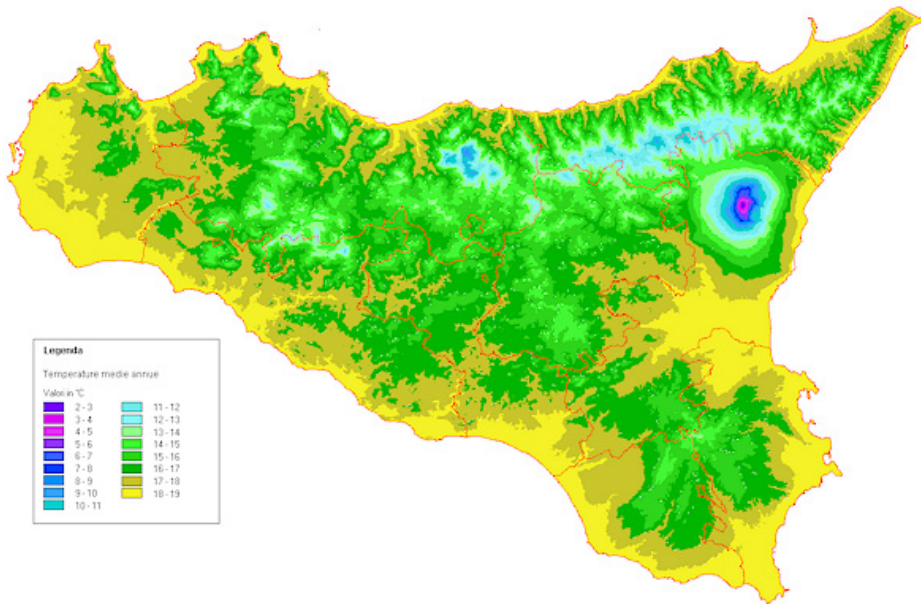
	MIN	10°	25°	50°	75°	90°	MAX
Gennaio	0	2	6	13	19	24	27
Febbraio	0	6	8	14	17	20	25
Marzo	0	0	3	8	13	19	22
Aprile	0	0	0	1	4	8	19
Maggio	0	0	0	0	0	0	3
Giugno	0	0	0	0	0	0	0
Luglio	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0	0	0
Ottobre	0	0	0	0	0	1	15
Novembre	0	0	0	1	3	5	20
Dicembre	0	0	1	5	10	17	31
Anno	0	23	33	45	56	80	120

Giorni 148 con assenza di rischio al 99% di probabilità  
 Dal 9 maggio a 4 ottobre

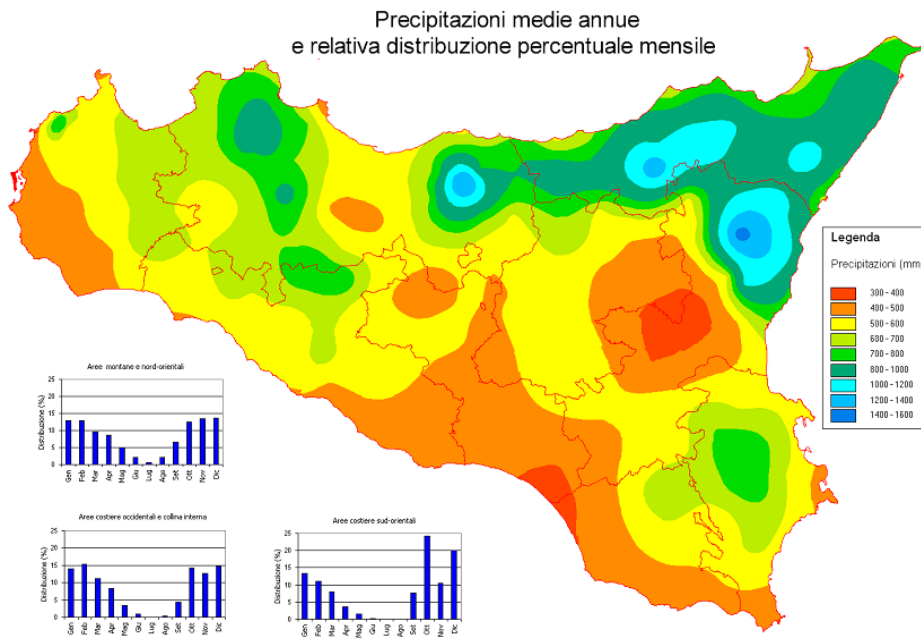


**Fig. 6** - Elaborazione probabilistica (metodo dei percentili) del numero mensile di giorni con temperatura minima minore o uguale a 0 °C per la stazione di Floresta (m 1250 s.l.m)  
**Fig. 6** - Probabilistic calculation (percentile method) of monthly number of days with minimum temperature equal or below 0 °C, for Floresta weather station (m 1250 a.s.l.)

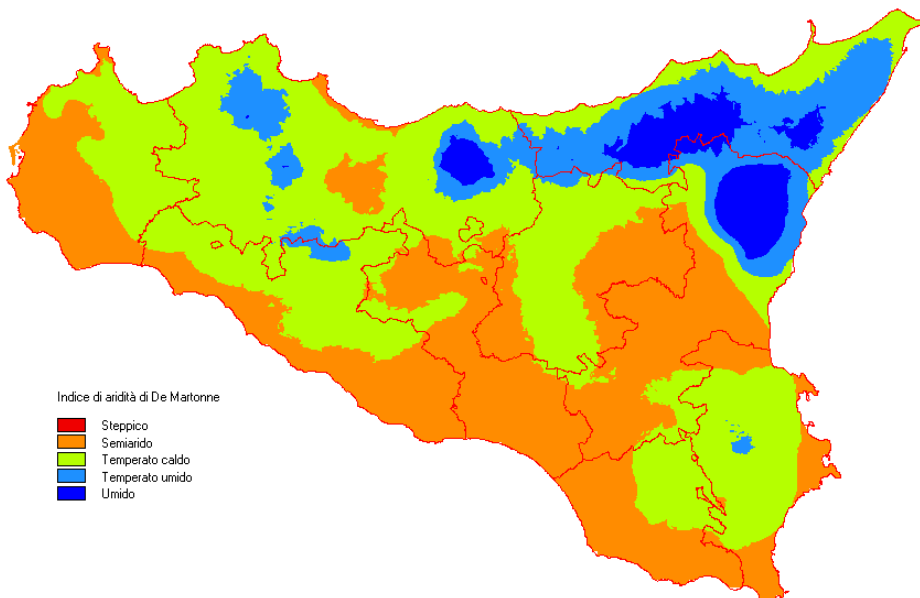




**Fig. 7** - Carta delle temperature medie annue  
*Fig. 7 -Yearly average temperature map*



**Fig. 8** - Carta delle precipitazioni medie annue  
*Fig. 8 - Yearly average (median) precipitation map*



**Fig. 9** - Carta dell'Indice di aridità di De Martonne  
*Fig. 9 - De Martonne aridity Index map.*