



ISTITUTO NAZIONALE DI ECONOMIA AGRARIA
Via Barberini, 36 - 00187 Roma telef. 06/4870793 - fax 06/4741984

COSTITUZIONE DELLA BANCA DATI
AGROMETEOROLOGICA
NELL'AMBITO DEL SIGRIA:
RISORSE, PROBLEMATICHE E METODI

a cura di Filippo Thiery

(Ufficio Centrale di Ecologia Agraria)

dicembre 2001

INDICE

INTRODUZIONE	pag. 3
1. Costruzione della banca dati agrometeorologica	pag. 4
2. Calcolo dell'evapotraspirazione di riferimento	pag. 5
3. Analisi e spazializzazione dei dati	pag. 6
3.1 Analisi e spazializzazione del dato termometrico	pag. 6
3.2 Analisi e spazializzazione del dato pluviometrico e di ET ₀	pag. 7
Appendice 1	
Ricognizione e acquisizione risorse meteorologiche locali	pag. 8
1) Linee generali	pag. 8
2) Dettagli sulle singole regioni	pag. 9
Appendice 2	
Elenco ed anagrafica delle stazioni	pag. 16
Appendice 3	
Metodi e formule utilizzate per il calcolo dell'ET₀	pag. 23
BIBLIOGRAFIA	pag. 29

INTRODUZIONE

La Commissione Europea, il Ministero dei Lavori Pubblici e il Ministero delle Politiche Agricole e Forestali hanno affidato all'Istituto Nazionale di Economia Agraria (INEA) un'indagine sull'uso irriguo della risorsa idrica nel Mezzogiorno, per avere informazioni utili ai fini della programmazione degli interventi nel settore.

Tale esigenza si è concretizzata nel Programma Operativo Multiregionale (POM) "Ampliamento e adeguamento della disponibilità e dei sistemi di adduzione e di distribuzione delle risorse idriche nelle Regioni dell'Obiettivo 1" (QCS 1994/99 - Reg. CEE 2081/93), dove agli interventi strutturali è stata affiancata una specifica iniziativa (Sottoprogramma III, Misura 3) di monitoraggio e di analisi, denominata "Studio sull'uso irriguo della risorsa idrica, sulle produzioni agricole irrigate e sulla loro redditività".

Il programma di attività previsto per la realizzazione della misura in questione prevedeva una azione specifica riguardante la stima dei fabbisogni idrici per uso irriguo, finalizzata alla attuazione di una analisi critica dei consumi idrici stagionali delle colture.

L'obiettivo era la definizione di un Sistema di Supporto alle Decisioni in grado di individuare zone omogenee per i valori dell'evapotraspirazione di riferimento (ET₀) e di fornire quindi le basi di input per calcolare il bilancio idrico nell'ambito delle otto regioni oggetto dello studio. Lo schema metodologico scelto per il conseguimento di questo risultato prevedeva la costituzione di tre banche dati (agrometeorologica, pedologica e culturale) che nel loro insieme costituissero tale input.

Nell'ambito di questa azione l'INEA ha chiesto il contributo dell'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria sia per la costituzione della banca dati agrometeorologica, sia per la scelta, l'applicazione e la validazione del metodo di calcolo dell'ET₀. Il presente lavoro illustra le metodologie utilizzate e i risultati ottenuti.

1. COSTRUZIONE DELLA BANCA DATI AGROMETEOROLOGICA

Tra le attività dell'Azione 1b - "Studio della stima dei fabbisogni idrici per uso irriguo", si è collocato il contributo dell'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria, finalizzato alla costituzione di una banca dati agrometeorologica a copertura delle otto regioni Obiettivo 1.

A questo proposito le risorse dell'Aeronautica Militare (AM), del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) e dell'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria (UCEA), già integrate tra loro a formare la Banca Dati Agrometeorologica Nazionale, sono state completate con una ricognizione delle risorse presenti a livello locale e regionale e non ancora integrate nel patrimonio nazionale (centri agrometeorologici regionali e consorzi di bonifica).

All'interno di questo variegato insieme di risorse, le stazioni che sono state considerate di interesse ai fini del progetto sono state tutte quelle in cui fossero presenti almeno dieci anni con rilevazione affidabile dei valori estremi di temperatura (minima e massima) e precipitazione giornaliera, in modo da permettere la ricostruzione di un dato medio sufficientemente rappresentativo della climatologia dei siti in esame.

Rispetto alla definizione del trentennio come finestra temporale standard per caratterizzare le condizioni climatiche di un sito, il criterio qui scelto è evidentemente un compromesso con l'esigenza di avere a disposizione un numero di punti di rilevamento sufficiente per una spazializzazione del dato a scala locale. La banca dati complessivamente costruita (cfr. tabella) è parte integrante del Sistema Informativo per la Gestione delle Risorse Idriche in Agricoltura e comprende i dati climatici, relativi a 367 stazioni distribuite sulle otto regioni in esame e calcolati su base giornaliera, di temperatura minima, temperatura massima, precipitazione ed evapotraspirazione di riferimento (ET_0). Per 27 stazioni sono disponibili anche dati di eliofania (o radiazione solare), velocità del vento e umidità relativa.

Nell'**appendice 1** sono riassunti per ognuna delle otto regioni i risultati del lavoro di ricognizione delle risorse locali presenti sul territorio quanto a dati meteorologici, mentre l'**appendice 2** presenta l'elenco delle 367 stazioni con la relativa anagrafica. Le mappe delle appendici 4 e 5 (cfr. paragrafi seguenti) mostrano, in sovrapposizione ai temi cartografici peculiari di ogni mappa, la dislocazione delle stazioni meteo.

	Solo temperatura e precipitazione	Tutti i parametri	Totale
Stazioni locali	8	10	18
UCEA	22	5	27
A.M.	48	12	60
SIMN	262	0	262
TOTALE	340	27	367

2. CALCOLO DELL'EVAPOTRASPIRAZIONE DI RIFERIMENTO

L'approccio metodologico scelto per il calcolo dell' ET_0 è stato quello di utilizzare la formula empirica di Hargreaves a tutte le stazioni termopluviometriche presenti in banca dati, e parallelamente della formula di Penman-Monteith (così come recepita in ambito FAO) alle già citate 27 stazioni in cui i dati aggiuntivi rilevati permettevano l'applicazione di tale metodo combinato. Il confronto tra i risultati ottenuti dalle due formule, effettuato ovviamente nei punti stazione dove sia stato possibile applicarle entrambe, ha permesso una semplice calibrazione del coefficiente empirico utilizzato nella formula di Hargreaves che è stata poi applicata a tutte le altre stazioni.

Le stazioni che, pur avendo un limitato numero di anni di rilevazioni, permettevano l'applicazione delle formule di Penman-Monteith, sono state comunque utilizzate ai fini della calibrazione del coefficiente empirico di Hargreaves. L'appendice 3 presenta nei dettagli le formule e i metodi utilizzati per il calcolo dell' ET_0 .

Tali risultati sono stati oggetto di un successivo livello di analisi, teso a spazializzare opportunamente il dato, sia per esigenze di rappresentazione cartografica sia per renderlo compatibile con gli altri strati informativi previsti dalle attività dell'azione 1b (banca dati pedologica e culturale). I prossimi due paragrafi presentano sinteticamente le linee metodologiche seguite in questa fase.

3. ANALISI E SPAZIALIZZAZIONE DEI DATI

3.1 Analisi e spazializzazione del dato termometrico

L'analisi sui dati mensili di temperatura minima e massima è stata condotta a livello regionale mediante l'utilizzo combinato di metodi fondati su regressioni statistiche e di metodi di interpolazione spaziale (kriging ordinario). Infatti si è rilevato come, considerando i dati di temperatura in funzione della quota, gli andamenti che ne derivano possano essere ragionevolmente interpolati con regressioni quadratiche.

Tale analisi è stata condotta ovviamente considerando separatamente i dati di temperatura minima e di temperatura massima, mese per mese e regione per regione. Ci si è in particolare soffermati in ogni regione sulla temperatura minima del mese di gennaio e sulla massima del mese di luglio. Nell'insieme di dati considerati per ogni singola regione sono state inserite anche stazioni situate nelle aree confinanti, per garantire la presenza di un campionamento significativo per la regressione (e per la successiva applicazione del kriging) anche nelle zone di bordo.

Una volta stabiliti i tre parametri della regressione per il mese e per la regione in esame, si è proceduto a definire una rete fittizia di punti costituita da una griglia di passo 5 Km, anche in questo caso a copertura non solo del territorio studiato ma anche delle aree confinanti. Ad ogni punto di questa griglia è stata associata la relativa quota, tramite utilizzo del modello numerico del terreno, ed è stata quindi applicata la formula quadratica, utilizzando i parametri stimati con la regressione applicata al campione costituito dalle stazioni reali.

Dopo aver così ottenuto una rete di "stazioni fittizie", ognuna con la sua quota e il suo dato associato di temperatura (minima o massima del mese in esame), si è proceduto ad unire questo strato con l'insieme di stazioni reali già utilizzate per calibrare i parametri della regressione.

A questo insieme complessivo di punti (comprendente quindi una griglia di stazioni fittizie e un certo numero di stazioni reali) è stata poi applicata la procedura di kriging ordinario, ottenendo così il dato di temperatura in esame su una griglia a passo 500 m.

E' evidente che la validità della metodologia qui descritta risiede in gran parte nella possibilità di interpretare l'andamento della temperatura in funzione della quota con una formula analitica (in questo caso quadratica).

Per elaborazioni finalizzate a uno studio di carattere prettamente locale, o comunque necessitando di una elevata accuratezza del dato, si porrebbe quantomeno la necessità di applicare questo tipo di analisi statistica ad una scala di maggior dettaglio (bacino idrico o comprensorio irriguo), andando però incontro al problema di condurre il calcolo dei parametri di regressione su un campione assai ristretto di stazioni, e possibilmente di immettere nel calcolo anche altre variabili rappresentative della topografia dei singoli siti (esposizione, distanza dalle coste) con tecniche di regressione multivariata. Tenendo presenti le finalità, la scala di lavoro e gli obiettivi di questo progetto però il risultato della procedura di regressione semplice in funzione della quota è stato ritenuto valido, al patto di calcolare i parametri della regressione su base regionale, scegliendo cioè un ragionevole compromesso tra l'esigenza di condurre l'analisi statistica su porzioni di territorio ristrette rispetto all'intero Obiettivo 1 (e quindi rappresentative della peculiarità delle varie aree e dei diversi versanti), e nel contempo di mantenere sufficientemente elevato il numero di stazioni da considerare come campione adatto a stimare i parametri della regressione.

Le mappe delle varie regioni riportate nell'*Atlante dell'Irrigazione nelle regioni meridionali* dell'INEA, illustrano, con un tematismo di scale di colori, il risultato della spazializzazione relativa a due particolari dati termometrici (rispettivamente la temperatura minima del mese più freddo e la massima del mese più caldo).

3.2 Analisi e spazializzazione del dato pluviometrico e di ET0

Il metodo seguito per la spazializzazione del dato termometrico non è risultato applicabile ai dati di precipitazione e di evapotraspirazione, in quanto questi ultimi non presentavano andamenti in funzione della quota tali da essere schematizzati con formule analitiche.

La procedura di kriging è stata allora applicata alla sola base dati costituita dalle stazioni reali. Solo in alcuni particolari casi si è proceduto a introdurre in tale insieme di stazioni qualche punto fittizio, in cui il dato di precipitazione e di ET0 è stato interpolato a partire dai dati delle stazioni circostanti e considerando su scala locale le differenze relative di quota.

Questo è stato necessario per ovviare al problema di avere un dato campionato solo fino a quote non troppo alte (raramente le stazioni meteorologiche sono situate in alta montagna), per cui alcune situazioni orografiche (ad esempio il Gran Sasso e la Sila) senza questa correzione sarebbero risultate affette da un palese errore dovuto appunto all'assenza di adeguato campionamento del dato.

Trattandosi comunque di aree situate in zone di scarso (se non nullo) interesse ai fini agricoli, l'introduzione di dati interpolati in questo caso ha avuto il solo fine di produrre elaborati cartografici significativi sull'intero territorio mostrato: si è trattato cioè più di una esigenza di carattere grafico che di un problema dovuto alla reale utilizzazione del dato. L'appendice 5 contiene le mappe delle varie regioni (più una carta di insieme) che a titolo di esempio presentano, con un tematismo di scale di colori, il risultato della spazializzazione relativa al dato di evapotraspirazione e di precipitazione annuale (cumulato da gennaio a dicembre).

APPENDICE 1

RICOGNIZIONE E ACQUISIZIONE

RISORSE METEOROLOGICHE LOCALI

1) Linee generali

Nell'ambito della costituzione della banca dati agrometeorologica, prevista dall'azione 1b, è stata pianificata una ricerca di dati raccolti a livello regionale e locale che potessero integrare ed arricchire le risorse già presenti nella Banca Dati Agrometeorologica Nazionale (costituita dalle reti dell'Aeronautica Militare, del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale e dell'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria). Tale ricerca aveva la finalità di infittire la maglia delle stazioni e degli osservatori meteorologici presenti sul territorio, e di conseguenza di ottenere una spazializzazione del dato più adeguata alla trattazione di problematiche agrarie su scala locale. A tale proposito è stato pianificato un censimento dei punti di osservazione appartenenti ai servizi meteorologici regionali e ai Consorzi di Bonifica, in base al seguente iter:

- ❑ Verifica delle fonti disponibili (quante e quali sono le stazioni, a quali enti fanno riferimento).
- ❑ Verifica qualità dei dati (conformità agli standard della World Meteorological Organization, procedure di validazione del dato, parametri misurati, esistenza di serie storiche sufficientemente lunghe, livello di manutenzione della stazione, rappresentatività del sito, garanzie sul proseguimento delle attività di rilevazione e sulla disponibilità a fornire i dati, ecc.)
- ❑ Acquisizione dei dati ritenuti utilizzabili (verifica del supporto su cui i dati sono disponibili e, in caso di supporto magnetico, riduzione nel formato appropriato).
- ❑ Aggiunta di tali stazioni (ove la qualità del dato e la presenza di serie storiche lo rendesse utile) a quelle già presenti in banca dati, per effettuare il calcolo dell' ET_0 su un numero di punti stazione il più possibile numeroso e meglio distribuito a coprire il territorio di interesse.

Le risorse trovate sul territorio sono in generale di due tipi, con differenti prospettive di utilizzo ai fini del progetto:

- a) diverse regioni hanno una propria rete automatica di stazioni (quindi con acquisizione del dato orario o giornaliero direttamente in formato digitale), ma molto raramente tali stazioni sono attive da un numero significativo di anni. Conseguentemente i dati relativi a tali stazioni non possono essere ritenuti utili ai fini della ricostruzione di un dato medio, mentre è da considerare che la loro acquisizione in tempo reale potrebbe in futuro fare da supporto ad applicazioni del modello di calcolo dei fabbisogni ai dati meteorologici, in chiave previsionale e a fini di monitoraggio. In quest'ottica è stato quindi compiuto lo sforzo di censire e raccogliere informazioni sulle reti installate di recente e di attivare comunque un contatto con gli enti di riferimento o di gestione. Nel caso in cui invece fossero disponibili serie almeno decennali di rilevazioni, si è proceduto alla loro acquisizione per inserire la relativa stazione a tutti gli effetti tra quelle su cui effettuare il calcolo dell' ET_0 .
- b) diversi uffici o servizi agrometeorologici regionali hanno acquisito dagli uffici del Genio Civile regionale i dati relativi alle stazioni del Servizio Idrografico Nazionale. Tali dati vengono tipicamente

utilizzati dai centri regionali per ricostruire i valori climatici con cui confrontare i dati di temperatura e precipitazione rilevati dalla propria rete di monitoraggio automatica (che, come detto, non ha serie storiche su cui calcolare dati medi rappresentativi della climatologia del luogo). Sono stazioni i cui dati sono già presenti nella Banca Dati Agrometeorologica Nazionale, relativamente al periodo 1951-1971 (in alcuni casi, come l'Abruzzo, tale periodo si estende fino al 1987). L'acquisizione dei dati che i servizi regionali hanno potuto fornire ha permesso quindi di aggiornare la serie storica già presente in banca dati con i dati relativi al periodo 1972-oggi. Ciò ha consentito tra l'altro di riferire il dato climatico, per quanto riguarda queste stazioni, al trentennio attualmente considerato come standard dalla World Meteorological Organization (1961-1990).

Per una futura attività di monitoraggio che necessiti di acquisizione di dati in tempo reale dalle reti meteorologiche locali, una delle soluzioni (in particolare per quanto riguarda le reti automatiche gestite dagli uffici regionali) potrebbe essere ricercata muovendosi nell'ambito del "progetto per l'interscambio di dati, informazioni e prodotti agrometeorologici tra Ministero delle Politiche Agricole e Regioni", realizzato nell'ambito della misura 3 del Programma Interregionale "Agricoltura e Qualità" (legge 8 novembre 1996 n.578 – delibera C.I.P.E. 18 dicembre 1996).

Tale progetto, approvato e finanziato con il D.M. 50566 del 31 dicembre 1997 e attualmente in via di completamento, è finalizzato tanto a rendere fruibile, da parte dei servizi regionali, il patrimonio di informazioni agrometeorologiche presenti nel Sistema Informativo Agricolo Nazionale (SIAN), quanto ad attivare l'acquisizione a livello centrale (con una postazione presso l'UCEA) dei dati raccolti nelle singole regioni.

2) Dettagli sulle singole regioni

Questo paragrafo contiene le informazioni rilevate nelle singole regioni, riguardo alle specifiche delle reti di rilevazione agrometeorologica gestite a livello regionale e locale, e riguardo alle stazioni del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale i cui dati siano stati resi disponibili dagli uffici regionali. Si è posta anche una particolare attenzione alla raccolta di informazioni circa le attività e le risorse presenti a livello locale, nell'ambito agrometeorologico, presso le singole regioni. Tra tutte le risorse censite, sono state specificate in particolare quelle rientranti nei criteri di utilità ai fini del progetto, e quindi acquisite ed utilizzate per la costituzione della banca dati agrometeorologica.

Abruzzo

a) La rete di monitoraggio del C.A.R.

Il Centro Agrometeorologico della Regione Abruzzo, situato a Scerni (CH), provvede alla raccolta dei dati meteorologici mediante una rete di rilevamento composta da 60 stazioni automatiche, installate presso i Consorzi di Bonifica o presso le Aziende Agricole, ed equipaggiate con un numero variabile di sensori fino ad un massimo di 8 (parametri rilevati: temperatura dell'aria, umidità relativa, precipitazione, bagnatura fogliare, velocità e direzione del vento, radiazione solare, pressione atmosferica). Tali stazioni sono collegate ad un calcolatore attraverso linee telefoniche commutate e vengono interrogate giornalmente via modem. I dati raccolti sono archiviati in una banca dati e rimangono disponibili per le successive elaborazioni. Di queste 60 stazioni 15 sono di recentissima attivazione (1998): si tratta di stazioni modello M.T.X. a 3 sensori (12 stazioni) o a 8 sensori (3 stazioni). Le altre 45 stazioni sono di tipo Mech-El/Siap, per la maggior parte a 4 o 5 sensori, e sono attive da due anni: sono cioè disponibili in archivio i dati relativi a tutto il biennio 1997-1998 (a parte sporadici "buchi"). I dati rilevati non sono sottoposti ad alcuna procedura di controllo o validazione, e sono archiviati in formato ASCII in un

database db2, interrogabile tramite appropriato software sviluppato in ambiente Windows per ottenere un file in formato testo contenente i valori di un singolo parametro misurato su tutte le stazioni, o viceversa di tutti i parametri misurati dalla singola stazione, relativamente alla finestra temporale specificata. La manutenzione delle stazioni è piuttosto sporadica a causa della scarsità del personale addetto, e della difficoltà di controllo sulle stazioni installate presso le singole aziende agricole, che rendono logisticamente non banale né rapido l'intervento di manutenzione o di risoluzione di eventuali problemi.

A queste 60 stazioni si aggiungono 15 stazioni meccaniche gestite dai Centri Difesa dell'Agenzia Regionale per lo Sviluppo dei Servizi Agricoli, provviste dei sensori di temperatura, precipitazione e umidità relativa, visitate settimanalmente dai tecnici addetti al fine di sostituire i diagrammi di scrittura e di controllare il funzionamento dei sensori. In seguito si provvede alla digitalizzazione dei dati registrati su supporto cartaceo. Tali dati vengono in particolare tenuti in considerazione per ricostruire eventuali dati mancanti della rete automatica.

Per quanto riguarda l'utilità di questi dati ai fini del progetto, essi, riferendosi essi al solo biennio 1997-98, non possono essere ritenuti appropriati ai fini della ricostruzione di un dato medio, mentre è da considerare che la loro acquisizione in tempo reale potrebbe in futuro fare da supporto ad applicazioni del modello di calcolo dei fabbisogni ai dati meteorologici, in chiave previsionale.

b) Le stazioni del Servizio Idrografico di Pescara

Il C.A.R. acquisisce dal Genio Civile di Pescara i dati rilevati dalle stazioni del Servizio Idrografico Nazionale. Si tratta di 22 stazioni dislocate prevalentemente sulla fascia costiera (8 di esse sono ad altitudine inferiore ai 300 m s.l.m.) e provviste dei sensori di temperatura e precipitazione, di cui sono disponibili serie storiche trentennali (1965-1994) archiviate in un foglio di calcolo Excel. Tali dati vengono normalmente utilizzati dal C.A.R. per ricostruire i valori climatici con cui confrontare i dati di temperatura e precipitazione rilevati dalla propria rete di monitoraggio automatica.

Sono stazioni i cui dati sono già presenti nella Banca Dati Agrometeorologica Nazionale, relativamente al periodo 1951-1987. L'acquisizione dei dati forniti dal C.A.R. ha quindi permesso di aggiornare la serie storica già presente in banca dati con i dati relativi al periodo 1988-1994. Ciò ha consentito, tra l'altro, di riferire il dato climatico, per quanto riguarda queste stazioni, al trentennio attualmente considerato come standard dalla World Meteorological Organization (1961-1990).

Molise

La rete agrometeorologica dell'ERSAM

Il gruppo agrometeo dell'ERSAM di Campobasso gestisce allo stato attuale sette capannine meccaniche e 5 stazioni automatiche attive dal 1996 in poi (alcune di esse erano operative anche in precedenza, ma con fini sperimentali e sotto altra gestione). E' prevista la definizione del contratto che regolerà l'attivazione di altre stazioni di rilevamento e la costituzione di una vera e propria rete agrometeorologica regionale. Inoltre il Co.Re.Di.Mo. (Consorzio Regionale di Difesa del Molise) gestisce diciotto stazioni meccaniche con rilevazione di precipitazione, temperatura e umidità relativa, attive a partire dal 1988, situate nella zona litoranea (provincia di Campobasso) e nell'area del Volturno (provincia di Isernia). I dati vengono archiviati su foglio di calcolo Excel e controllati alla chiusura di ogni anno per eliminare eventuali anomalie o errori di digitalizzazione. La manutenzione delle stazioni è annuale.

Basilicata

La rete automatica Agrobios

Presso la società consortile Metapontum Agrobios è attivo un centro di acquisizione dati collegato per via telematica con una rete di 39 stazioni di rilevamento, localizzate su tutto il territorio regionale. Si tratta di stazioni dotate di 6 sensori (tipo Micros 2^a classe, MTX , SIAP), 8 sensori (tipo SIAP), 10 sensori (tipo Micros 1^a classe). I parametri rilevati sono, nell'ordine, temperatura dell'aria, temperatura del suolo, umidità dell'aria, precipitazione, direzione del vento, velocità del vento, bagnatura fogliare, radiazione solare, pressione atmosferica, evaporazione. Tutte le stazioni sono collegate ad un calcolatore attraverso linee telefoniche commutate e vengono interrogate giornalmente via modem. I dati raccolti sono archiviati in una banca dati e rimangono disponibili per le successive elaborazioni. Si tratta di stazioni di recente attivazione: per una trentina di esse sono disponibili i dati a partire dall'agosto 1997, mentre le restanti stazioni sono di installazione (o di riposizionamento) ancora più recente (1998). L'unica eccezione a questa situazione è costituita dalla stazione di tipo Micros 1^a classe attiva in località Metaponto, per la quale sono disponibili (già su supporto magnetico in formato ASCII) 17 anni di dati. La manutenzione di queste stazioni viene effettuata con periodicità annuale, e i dati vengono sottoposti a procedure di controllo di tipo climatico (confronto con opportuni valori di soglia) e spaziale (confronto con dati di stazioni limitrofe). E' in fase di definizione il progetto che dovrebbe portare la società Agrobios ad acquisire i dati anche delle 10 stazioni situate nella zona di Melfi e gestite da Terra del Sud Telespazio di Scanzano (Palermo). Anche in questo caso si tratta di stazioni attivate da pochi anni (4-5 al massimo).

Ai fini della zonizzazione dell'evapotraspirazione di riferimento sono stati acquisiti i dati della serie quasi ventennale della stazione di Metaponto (1981-1997, mancante l'intero anno 1989). I parametri disponibili hanno permesso di applicare le formule di Hargreaves e di Penman-Monteith per il calcolo dell'ET₀. Per quanto riguarda i dati di tutte le altre stazioni della rete automatica, come nel caso dell'Abruzzo non sono disponibili serie storiche ma meno di due anni di dati, e quindi la loro acquisizione potrebbe risultare utile ai fini del progetto solo qualora il calcolo dei fabbisogni venisse in futuro ad assumere carattere previsionale. Rimane comunque la disponibilità della società Agrobios a fornire anche questi dati a seguito di richieste formali da parte del nostro ufficio.

Sardegna

a) Le stazioni del servizio idrografico regionale

Il Servizio Agrometeorologico Regionale (SAR) della Sardegna, situato a Sassari, acquisisce dall'ufficio Idrografico Regionale i dati rilevati dalle stazioni facenti capo a quest'ultimo. Tale scambio di dati è regolato da una convenzione stipulata tra i rispettivi assessorati regionali (rispettivamente all'Agricoltura e ai Lavori Pubblici), in base alla quale il SAR acquisisce i dati delle stazioni del Servizio Idrografico e li sottopone a procedure di digitalizzazione e di controllo, restituendoli in definitiva all'ufficio Idrografico su supporto magnetico, completi dei relativi flag di validazione e delle opportune elaborazioni. Tale procedura coinvolge circa 260 stazioni pluviometriche e 60 termopluviometriche dislocate sull'intero territorio regionale, di cui sono attualmente disponibili in formato digitale serie storiche trentennali (1951-1984), con l'aggiunta del periodo 1991-1996. Per alcune stazioni si posseggono serie storiche complete a partire dagli anni venti. Il gap 1985-1990 riguarda anni i cui dati sono al momento disponibili su supporto cartaceo o su nastro magnetico; il lavoro di riversamento di tali dati mancanti nel formato digitale è programmato per il prossimo futuro.

Queste stazioni sono già presenti nella Banca Dati Agrometeorologica Nazionale, ma con aggiornamento dei dati fermo al 1971. L'acquisizione di questi dati nell'ambito del progetto avrebbe quindi permesso di aggiornare le serie storiche presenti in banca dati almeno fino al 1984, e di calcolare quindi dati medi riferiti al periodo 1951-1984, statisticamente più significativo dell'arco temporale 1951-1971 presente come detto nella banca dati del Servizio Informativo Agricolo Nazionale. Questa possibilità è rimasta però preclusa, dal momento che il lavoro di digitalizzazione dei dati grezzi rimane un patrimonio del SAR, che l'ufficio Idrografico non è autorizzato a cedere a terzi.

b) La rete automatica del SAR

Il SAR gestisce direttamente una propria rete di stazioni ad acquisizione automatica del dato, collegate tramite linee telefoniche commutate ad un elaboratore centrale e da questo interrogate giornalmente. La rete è formata da una cinquantina di stazioni di recente attivazione (1995), a cui si prevede di aggiungere nel prossimo futuro una ventina di stazioni reperite presso le comunità montane. Si tratta di stazioni con rilevazione di tutti i parametri necessari all'applicazione delle formula di Penman-Monteith per il calcolo dell'evapotraspirazione. Il livello di manutenzione delle stazioni è alto e le operazioni di controllo vengono effettuate con una frequenza minima di 45 giorni. Trattandosi di stazioni attivate dopo il 1995, non possono essere ritenuti utili ai fini della ricostruzione di un dato medio. Avere alcuni anni di dati meteorologici che permettano l'applicazione della formula di Penman-Monteith potrebbe essere significativo per la calibrazione della formula di Hargreaves, ma tale lavoro per la Sardegna è già stato effettuato (e pubblicato nel volumetto "Agrometeorologia per la Sardegna") proprio dal SAR; i risultati da loro ottenuti per la migliore stima del coefficiente empirico C sono consistenti con i test effettuati nell'ambito dello studio sul calcolo dell'ET₀ portato avanti in questo progetto. Si è ritenuto pertanto inutile procedere all'acquisizione di questi dati, dando per buono il valore del coefficiente C riportato nel citato lavoro.

Sicilia

In Sicilia il Servizio Meteorologico Regionale è di recentissima costituzione ed attivazione. Presso l'Assessorato Agricoltura e Foreste della Regione Sicilia è attivo il gruppo dei Servizi allo Sviluppo con una unità di Agrometeorologia in cui operano quattro divulgatori agricoli. Tale gruppo ha recentemente pubblicato (dicembre 1998) una "Climatologia della Sicilia" in quattro volumi, utilizzando dati mensili di temperatura e precipitazione (valori medi ed estremi) relativi a serie storiche trentennali (1965-1994) e rilevati in 182 punti di osservazione meteorologica appartenenti alla rete del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (55 stazioni termopluviometriche e 127 pluviometriche) distribuiti su tutto il territorio regionale. Si tratta del primo lavoro dettagliato e globale di caratterizzazione climatologica della Sicilia che risulti disponibile. Le elaborazioni dei dati sono divise per provincia e presentate in 500 tabelle e 300 grafici. I dati giornalieri relativi a queste stazioni erano però disponibili solo in formato cartaceo, tramite gli annali pubblicati per ogni regione dal Servizio Idrografico, e la loro utilizzazione è quindi subordinata alla digitalizzazione su supporto magnetico. Anche in questo caso si tratta di stazioni già presenti nella banca dati UCEA con aggiornamento fermo al 1971.

Campania

La rete di rilevamento del C.A.R.

La Regione Campania con la L.R. 7/85 ha istituito, fra l'altro, i Servizi tecnici di supporto tra i quali figura il Centro Agrometeorologico Regionale (C.A.R.), struttura del Se.S.I.R.C.A. - Assessorato

agricoltura, a cui fa capo la Rete Agrometeorologica Regionale (R.A.R.). Quest'ultima conta, allo stato attuale, 57 stazioni meteorologiche classificabili in due tipologie principali: meccaniche e automatiche.

Le stazioni meccaniche, 20 in tutto distribuite su tutte e cinque le province, sono in funzione sin dal 1978. Esse, nella generalità dei casi, sono equipaggiate con un pluviografo e un termoigrografo. I dati rilevati da queste stazioni vengono utilizzati principalmente dalle strutture periferiche dell'Assessorato e trasmessi periodicamente (in formato cartaceo con cadenza mensile, in formato digitale con cadenza semestrale) al CAR che provvede ad implementare la banca dati. Il livello di manutenzione delle stazioni è stato in passato molto scadente e sporadico, e ciò rende i dati presenti in archivio poco affidabili e non utilizzabili ai fini della ricostruzione del dato climatico. In tempi recenti è stata avviata una opera di manutenzione tale da migliorare la qualità dei dati rilevati.

Le stazioni automatiche sono gestite direttamente dal Centro Agrometeorologico Regionale. Esse coprono al momento le province di Caserta, Napoli, Salerno e Benevento e sono distinguibili in: principali, secondarie e stazioni afferenti alle microreti UOT Valle Telesina e Area Flegrea. Le principali sono dotate di una sensoristica così costituita: temperatura e umidità aria, precipitazione, bagnatura fogliare, temperatura suolo, evaporazione, radiazione globale, radiazione netta, flusso di calore suolo, velocità e direzione vento a 10 m, pressione atmosferica. Le stazioni secondarie, del tutto identiche alle principali, sono sprovviste dei sensori di flusso di calore, pressione atmosferica, radiazione netta e bagnatura foglia. Le stazioni delle microreti UOT sono tutte automatiche e corredate da un parco sensori meno esteso rispetto alle altre, comprendente i sensori relativi alle misure di temperatura aria, precipitazione, umidità aria, bagnatura fogliare e in qualche caso velocità e direzione del vento.

Tutte le stazioni automatiche, siano esse afferenti alle microreti che alla rete più propriamente del CAR, sono interrogabili da remoto attraverso la centrale di acquisizione ubicata presso la sede del CAR. Si tratta, in tutti i casi, di stazioni di recente o recentissima installazione, che quindi non possono attualmente dare supporto utile alla ricostruzione di un significativo dato medio.

Per quanto detto circa la scarsa affidabilità dei dati rilevati in passato dalle stazioni meccaniche e la recente attivazione delle stazioni automatiche, ai fini del progetto gli unici dati che sono risultati di interesse riguardano 8 stazioni meccaniche situate nelle province di Avellino e Benevento. Per queste stazioni infatti il SeSIRCA, pur mantenendo una certa cautela circa la reale attendibilità dei dati, ha compiuto una serie di controlli almeno a livello qualitativo, segnalando con opportuni flag i dati sospetti ed eliminando quelli fuori scala o sicuramente errati. I dati in questione coprono, a seconda delle stazioni, i periodi 1978-1996 e 1982-1996. Trattandosi di serie storiche superiori ai 15 anni, i dati medi che ne derivano possono essere considerati significativi ai fini della rappresentatività del sito in esame, e sono stati quindi acquisiti ed utilizzati.

Calabria

La rete agrometeorologica dell'ARSSA: risorse disponibili e prospettive di utilizzo nel progetto Presso l'Agenzia Regionale per lo Sviluppo dei Servizi Agricoli (ARSSA) è attivo un gruppo di agrometeorologia di recente costituzione. L'installazione della rete di rilevamento regionale è iniziata nel mese di aprile 1999 con l'attivazione di 14 stazioni automatiche, nella zona tra Lamezia e Crotona, collegate ad un elaboratore centrale (e da questo interrogabili) tramite ponte radio. A queste si aggiungeranno nel prossimo futuro altre quattro stazioni nella zona di Sibari, ed è previsto un successivo ampliamento della rete a partire dalle province di Reggio e Cosenza.

L'obiettivo è quindi di costituire e rendere operativa nel giro di qualche anno una rete agrometeorologica regionale a copertura piuttosto completa del territorio. Inoltre sono già attive due

stazioni gestite da Centri Sperimentali, una a Locri (modello MTX, 3 anni di dati) e una a Gioia Tauro (2 anni di dati, non continuativi).

La totale assenza di esperienze precedenti a livello agrometeorologico nella regione Calabria, se da un lato implica la necessità di iniziare la costituzione e la gestione di una rete di rilevamento ex novo, dall'altro facilita e snellisce il lavoro, nell'evitare lunghe operazioni di correzione e riqualificazione del preesistente. Il personale del gruppo in questione è particolarmente interessato a collaborazioni con l'UCEA e allo scambio di dati, e la prossima attivazione del "progetto interscambio" tra il Ministero delle Politiche Agricole e le singole Regioni potrà costituire un valido supporto in questo senso. Data la giovane età della rete in questione, tale risorsa potrà essere utilizzata ai fini del progetto solo in una eventuale futura chiave di monitoraggio, mentre per quanto riguarda la ricostruzione dei dati climatici l'ARSSA fa riferimento alla banca dati UCEA, e non ha quindi risorse aggiuntive che possano integrare quanto già presente in quest'ultima.

Puglia

a) La rete agrometeorologica dei Consorzi di Difesa

La Puglia è l'unico caso in Italia di rete di un servizio agrometeorologico regionale i cui dati siano già presenti nella Banca Dati Agrometeorologica Nazionale, a seguito di un accordo tra il servizio stesso e la Finsiel, società che gestisce la BDAN per conto dell'UCEA. La rete in questione è gestita dal Consorzio di Difesa delle Produzioni Intensive di Foggia, facente capo all'Associazione Regionale dei Consorzi di Difesa, con sede a Bari. La rete conta dodici stazioni automatiche attive a partire dal mese di febbraio 1996, con rilevazione di pressione al suolo, eliofania, precipitazione, temperatura dell'aria e del suolo, umidità relativa, velocità del vento a 10 m, radiazione solare.

E' prevista nel prossimo futuro l'attivazione di altre tre stazioni dello stesso tipo (è attualmente allo studio la scelta dei siti appropriati). A queste si aggiungeranno venti stazioni gestite a livello provinciale (quattro per provincia), alcune delle quali sono già in test e saranno quindi presto operative. I dati relativi a tali stazioni di nuova installazione confluiranno nella Banca Dati Agrometeorologica Nazionale, al pari di quanto già avviene per le dodici stazioni di cui si è detto. Il Consorzio di Difesa delle Produzioni Intensive di Foggia gestisce anche due stazioni automatiche, situate rispettivamente nell'agro di Chieuti e di Foggia, attive dal 1989, i cui dati non sono stati però inseriti nella convenzione con la società Finsiel, e non sono quindi presenti nella Banca Dati Agrometeorologica Nazionale.

Trattandosi di stazioni di recente attivazione, esse non consentono allo stato attuale di costruire un dato medio significativo, e potranno quindi risultare utili ai fini del progetto solo in una futura eventuale chiave di monitoraggio del territorio agricolo. Data la completezza dei parametri meteorologici rilevati, i due anni di dati già disponibili sono stati nel frattempo utilizzati per verificare la taratura della formula di Hargreaves e il calcolo dei coefficienti regressivi che permettono di stimare la radiazione solare a partire dai dati di eliofania.

b) La rete agrometeorologica del Consorzio di Bonifica della Capitanata

Il Consorzio di Bonifica della Capitanata, con sede a Foggia, gestisce una propria rete di rilevamento agrometeorologico che conta undici stazioni automatiche dislocate a coprire l'intero territorio del Consorzio e dotate di una sensoristica completa per quanto riguarda i parametri necessari all'applicazione della formula di Penman-Monteith per il calcolo dell'evapotraspirazione. Tutte le stazioni sono inoltre dotate di una vasca evaporimetrica di classe A. Otto di queste undici stazioni sono state attivate tra il 1984 e il 1987, e permettono quindi di disporre di oltre dieci anni di dati. Le altre tre stazioni sono state installate tra il 1992 e il 1993. Alcune delle stazioni di più antica installazione erano

originariamente dotate di sensoristica di tipo meccanico, sostituita a partire dal 1991 con strumentazione ad acquisizione automatica del dato. La continuità delle rilevazioni tra le due fasi permette comunque di disporre di serie storiche prive di interruzioni. Attualmente l'intera rete è quindi automatizzata, e le varie stazioni vengono interrogate ogni due giorni via modem da un elaboratore centrale situato presso la sede del Consorzio. I valori rilevati sono archiviati in una banca dati e rimangono disponibili per le successive elaborazioni. La manutenzione delle stazioni è di elevato livello: quella ordinaria viene effettuata bimestralmente, quella straordinaria viene attivata in tempi brevi quando si registrino malfunzionamenti. Il fatto di avere affidato tale impegno ad una ditta locale ha costituito in questo senso una scelta vincente, in quanto permette di ottimizzare e di contenere sia i costi che i tempi di intervento. E' prevista la prossima installazione di altre due stazioni dotate di strumentazione più moderna delle undici stazioni già attive, e la graduale sostituzione dei sensori di queste ultime con tale strumentazione di nuovo tipo.

I dati della rete gestita dal Consorzio di Bonifica della Capitanata costituiscono una risorsa importante ai fini del progetto: la completezza della sensoristica utilizzata nel rilevamento, la disponibilità di serie storiche decennali, la distribuzione razionale dei punti di osservazione sul territorio e l'ottimo grado di manutenzione riscontrato nel visitare le stazioni comprendono tutti i presupposti per trattare questi dati come base affidabile per il calcolo dell'evapotraspirazione di riferimento. A questo si aggiunga il fatto che si tratta di un territorio di sicuro interesse per lo studio ma finora piuttosto scoperto dai dati presenti nella banca dati UCEA. La disponibilità di serie storiche anche di affidabili dati evaporimetrici costituisce un elemento di interesse in più, permettendo un raffronto tra il dato calcolato con il metodo combinato di Penman-Monteith e il dato misurato, tarato ovviamente tramite un appropriato valore del coefficiente di vasca.

In base a queste considerazioni è stata acquisita ed utilizzata l'intera banca dati in possesso del Consorzio in esame.

APPENDICE 2 - ELENCO ED ANAGRAFICA DELLE STAZIONI

Legenda reti: SIMN=Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale AM=Aeronautica militare UCEA=Ufficio Centrale di Ecologia Agraria RR=Reti regionali

Denominazione	Prov	Rete	Altitudine s.l.m.	Lat.Nord		Long.Est		inizio	fine
ASSERGI	AQ	SIMN	1040	42	25	13	30	1958	1987
AVEZZANO	AQ	SIMN	697	42	2	13	26	1953	1982
BARISCIANO	AQ	SIMN	810	42	19	13	35	1958	1987
BARREA	AQ	SIMN	1000	41	45	13	59	1972	1987
CAPISTRELLO	AQ	SIMN	659	41	58	13	23	1972	1984
CARSOLI	AQ	SIMN	640	42	6	13	5	1954	1983
CASTEL DEL MONTE	AQ	SIMN	1300	42	22	13	43	1958	1987
CASTEL DI SANGRO	AQ	SIMN	805	41	47	14	6	1957	1986
CHIETI	CH	SIMN	320	42	21	14	10	1958	1987
GINEPRI	TE	SIMN	820	42	39	13	35	1957	1986
GORIANO SICOLI	AQ	SIMN	705	42	5	13	47	1958	1987
GUARDIAGRELE	CH	SIMN	577	42	12	14	13	1958	1987
ISOLA DEL G. SASSO	TE	SIMN	419	42	30	13	40	1958	1987
L'AQUILA	AQ	SIMN	735	42	21	13	24	1958	1987
MONTAZZOLI	CH	SIMN	800	41	57	14	26	1958	1987
PALENA	CH	SIMN	767	41	59	14	8	1958	1987
PALMOLI	CH	SIMN	711	41	56	14	35	1958	1987
PASSO CAPANNELLE	AQ	SIMN	1300	42	27	13	20	1954	1971
PENNE	PE	SIMN	438	42	28	13	55	1958	1987
PESCASSEROLI	AQ	SIMN	1150	41	48	13	47	1958	1987
PIETRACAMELA	TE	SIMN	1000	42	31	13	33	1958	1987
ROCCA DI MEZZO	AQ	SIMN	1329	42	12	13	31	1957	1986
ROCCACARAMANICO	PE	SIMN	1050	42	6	14	1	1951	1963
ROCCARASO	AQ	SIMN	1245	41	50	14	4	1972	1986
S.EUFEMIA A MAIELLA	PE	SIMN	870	42	7	14	1	1972	1987
SCANNO	AQ	SIMN	1030	41	54	13	53	1958	1987
SULMONA	AQ	SIMN	420	42	3	13	55	1958	1987
TAGLIACOZZO	AQ	SIMN	775	42	4	13	14	1972	1986
TERMINE	AQ	SIMN	1050	42	26	13	12	1958	1987
VILLAVALLELONGA	AQ	SIMN	1005	41	52	13	37	1972	1984
TERAMO	TE	UCEA	402	42	39	13	44	1961	1980
ALANNO	PE	SIMN	295	42	18	13	58	1958	1987
GIULIANOVA	TE	SIMN	2	42	45	13	57	1958	1987
LANCIANO	CH	SIMN	283	42	14	14	23	1958	1987
NERETO	TE	SIMN	163	42	49	13	49	1958	1987
ORTONA	CH	SIMN	68	42	21	14	24	1958	1987
PESCARA	PE	SIMN	2	42	28	14	13	1958	1987
POPOLI	PE	SIMN	260	42	10	13	50	1958	1987
PUNTA PENNA	CH	SIMN	24	42	10	14	42	1951	1971
SCERNI	CH	SIMN	287	42	7	14	34	1958	1987
TERAMO	TE	SIMN	300	42	40	13	42	1958	1987
VASTO	CH	SIMN	144	42	7	14	42	1958	1987
AVEZZANO	AQ	SIMN	295	42	2	13	26	1955	1971
PESCARA	PE	AM	10	42	26	14	12	1958	1987
AGNONE	IS	SIMN	806	41	48	14	22	1958	1987
CAMPOBASSO	CB	SIMN	686	41	34	14	39	1951	1971
CAMPOLIETO	CB	SIMN	700	41	38	14	46	1952	1971
CAPRACOTTA	IS	SIMN	1004	41	50	14	16	1958	1987
CHIAUCI	IS	SIMN	879	41	41	14	23	1958	1987
GAMBATESA	CB	SIMN	468	41	31	14	55	1951	1971
GUARDIAREGIA	CB	SIMN	733	41	26	14	32	1951	1971

Legenda reti: SIMN=Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale AM=Aeronautica militare UCEA=Ufficio Centrale di Ecologia Agraria RR=Reti regionali

Denominazione	Prov	Rete	Altitudine s.l.m.	Lat.Nord		Long.Est		inizio	fine
ISERNIA	IS	SIMN	402	41	36	14	13	1951	1970
LARINO	CB	SIMN	400	41	48	14	55	1958	1987
PALATA	CB	SIMN	521	41	53	14	47	1958	1987
ROCCAMANDOLFI	IS	SIMN	810	41	30	14	21	1951	1971
S.ELIA A PIANISI	CB	SIMN	650	41	37	14	51	1951	1971
TRIVENTO	CB	SIMN	550	41	47	14	33	1958	1987
VENAFRO	IS	SIMN	224	41	27	14	3	1951	1970
TERMOLI	CB	AM	16	42	0	15	0	1961	1990
CAMPOBASSO	CB	AM	793	41	34	14	39	1961	1990
ARIANO IRPINO	AV	SIMN	794	41	9	15	5	1951	1970
AVELLINO	AV	SIMN	370	40	55	14	48	1952	1970
CAPACCIO	SA	SIMN	450	40	25	15	5	1952	1970
ERCOLANO (OSS. VESUVIO)	NA	SIMN	608	40	49	14	24	1952	1970
MATERDOMINI	AV	SIMN	585	40	49	15	14	1952	1969
MONTECALVO IRPINO	AV	SIMN	585	41	12	15	2	1951	1961
MORIGERATI	SA	SIMN	310	40	8	15	33	1952	1970
RAVELLO	SA	SIMN	315	40	39	14	37	1952	1961
ROCCAMONFINA	CE	SIMN	815	41	17	13	59	1952	1969
S.CROCE DEL SANNIO	BN	SIMN	724	41	23	14	44	1951	1970
SALA CONSILINA	SA	SIMN	500	40	23	15	36	1952	1970
TREVICO	AV	AM	1089	41	3	15	14	1961	1990
VESUVIO RESINA	NA	UCEA	605	40	50	14	22	1964	1972
APICE	BN	SIMN	250	41	7	14	56	1951	1970
BENEVENTO	BN	SIMN	170	41	8	14	46	1951	1970
CASALVELINO	SA	SIMN	225	40	11	15	7	1952	1970
CASAMICCIOLA	NA	SIMN	120	40	45	13	55	1953	1970
CASERTA	CE	SIMN	90	41	4	14	20	1952	1970
CASTELLAM. STABIA	NA	SIMN	18	40	42	14	29	1952	1970
CONTURSI	SA	SIMN	200	40	39	15	14	1952	1969
NOCERA INFERIORE	SA	SIMN	61	40	45	14	38	1952	1970
P.SORRENTO (IST. NAUTICO)	NA	SIMN	128	40	37	14	25	1956	1967
PRATELLA	CE	SIMN	212	41	24	14	10	1955	1970
S.AGATA DEI GOTI	BN	SIMN	150	41	5	14	31	1952	1966
SALERNO	SA	SIMN	40	40	41	14	46	1952	1970
SCAFATI	SA	SIMN	9	40	45	14	31	1952	1970
SESSA AURUNCA	CE	SIMN	204	41	14	13	56	1952	1969
TEANO	CE	SIMN	202	41	15	14	4	1952	1966
BATTIPAGLIA	SA	UCEA	72	40	36	14	59	1961	1990
CAPRI	NA	AM	264	40	33	14	15	1961	1990
CASTEL VOLTURNO	CE	UCEA	3	41	2	13	56	1986	1997
GRAZZANISE	CE	AM	9	41	3	14	4	1964	1993
PIANO DI SORRENTO	NA	UCEA	128	40	38	14	52	1955	1974
PONTECAGNANO	SA	AM	29	40	38	14	52	1951	1978
ARIANO I.	AV	RR	600	41	12.3	15	7.3	1978	1996
MIRABELLA ECLANO	AV	RR	340	41	4.8	14	56.58	1978	1996
MONTELLA	AV	RR	670	40	50.8	15	2.05	1982	1996
CALITRI	AV	RR	689	40	55.6	15	24.22	1978	1996
BASELICE	BN	RR	584	41	24	14	58.57	1978	1996
MORCONE	BN	RR	547	41	20.2	14	38.82	1981	1996
SOLOPACA	BN	RR	133	41	11.7	14	32.22	1978	1996
GUARDIA SANFRAMONDI	BN	RR	200	41	14.6	14	35	1978	1996
CAPO PALINURO	SA	AM	184	40	01	15	16	1958	1987
NAPOLI CAPODICHINO	NA	AM	88	40	51	14	18	1961	1990

Legenda reti: SIMN=Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale AM=Aeronautica militare UCEA=Ufficio Centrale di Ecologia Agraria RR=Reti regionali

Denominazione	Prov	Rete	Altitudine s.l.m.	Lat.Nord		Long.Est		inizio	fine
ALTAMURA	BA	SIMN	461	40	50	16	33	1951	1975
ASCOLI SATTIANO	FG	SIMN	410	41	12	15	34	1951	1975
BOSCO UMBRA	FG	SIMN	750	41	49	16	2	1951	1975
CASSANO MURGE	BA	SIMN	410	40	53	16	46	1952	1975
CASTEL DEL MONTE	BA	SIMN	525	41	5	16	16	1960	1975
FAETO (S.VITO)	FG	SIMN	905	41	18	15	10	1958	1975
GIOIA DEL COLLE	BA	SIMN	360	40	48	16	55	1951	1975
GRAVINA DI PUGLIA	BA	SIMN	380	40	49	16	25	1951	1970
LOCOROTONDO	BA	SIMN	420	40	45	17	20	1951	1975
MERCADANTE	BA	SIMN	397	40	53	16	42	1951	1975
MINERVINO MURGE	BA	SIMN	445	41	5	16	5	1961	1975
MONTE S.ANGELO	FG	AM	838	41	42	15	57	1951	1975
MONTELEONE DI PUGLIA	FG	SIMN	847	41	10	15	15	1951	1975
PIETRA MONTECORVINO	FG	SIMN	456	41	33	15	7	1951	1975
ROSETO VALFORTORE	FG	SIMN	650	41	22	15	6	1951	1971
S.GIOVANNI ROTONDO	FG	SIMN	557	41	42	15	44	1953	1975
SPINAZZOLA	BA	SIMN	438	40	58	16	5	1951	1975
GIOIA DEL COLLE	BA	AM	345	40	46	16	56	1961	1990
MONTE SANT'ANGELO	FG	AM	838	41	42	15	57	1961	1990
ANDRIA	BA	SIMN	151	41	13	16	18	1951	1975
AVETRANA	TA	SIMN	62	40	21	17	43	1967	1975
BARLETTA	BA	SIMN	20	41	19	16	17	1951	1975
CAGNANO VARANO	FG	SIMN	150	41	49	15	47	1951	1975
CANOSA DI PUGLIA	BA	SIMN	154	41	13	16	4	1953	1975
CASAMASSIMA	BA	SIMN	223	40	57	16	55	1960	1975
CASTELLANA GROTTA	BA	SIMN	290	40	53	17	10	1958	1975
CASTELLANETA	TA	SIMN	245	40	38	16	56	1952	1975
CERIGNOLA	FG	SIMN	124	41	16	15	54	1951	1975
CRISPIANO	TA	SIMN	265	40	36	17	14	1952	1975
FASANO	BR	SIMN	111	40	50	17	22	1965	1975
FOGGIA (OSS.)	FG	SIMN	74	41	28	15	32	1951	1975
GALLIPOLI	LE	SIMN	31	40	3	18	0	1951	1975
GINOSA MARINA	TA	SIMN	5	40	26	16	53	1952	1974
GROTTAGLIE	TA	SIMN	133	40	32	17	26	1951	1975
GRUMO APPULA	BA	SIMN	180	41	1	16	42	1963	1975
LATIANO	BR	SIMN	98	40	33	17	43	1951	1975
LESINA	FG	SIMN	5	41	52	15	21	1951	1975
LIZZANO	TA	SIMN	67	40	23	17	27	1951	1975
LUCERA	FG	SIMN	251	41	31	15	20	1951	1974
MAGLIE	LE	SIMN	77	40	7	18	18	1951	1975
MANDURIA	TA	SIMN	79	40	24	17	38	1951	1975
MANFREDONIA	FG	SIMN	2	41	35	15	53	1952	1975
MASSAFRA	TA	SIMN	116	40	35	17	7	1958	1975
MINERVINO DI LECCE	LE	SIMN	98	40	5	18	25	1951	1975
NARDO'	LE	SIMN	43	40	11	18	2	1951	1975
OSTUNI	BR	SIMN	237	40	44	17	35	1959	1975
OTRANTO	LE	SIMN	52	40	9	18	28	1952	1975
POLIGNANO A MARE	BA	SIMN	24	41	0	17	13	1951	1975
PRESICCE	LE	SIMN	114	39	54	18	16	1951	1975
RUVO DI PUGLIA	BA	SIMN	260	41	7	16	29	1951	1975
S.CATALDO	LE	SIMN	3	40	25	18	15	1956	1975
S.PIETRO VERNOTICO	BR	SIMN	36	40	29	18	0	1951	1975
SAN SEVERO	FG	SIMN	87	41	41	15	23	1951	1975

Legenda reti: SIMN=Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale AM=Aeronautica militare UCEA=Ufficio Centrale di Ecologia Agraria RR=Reti regionali

Denominazione	Prov	Rete	Altitudine s.l.m.	Lat.Nord		Long.Est		inizio	fine
SERRACAPRIOLA	FG	SIMN	270	41	48	15	9	1951	1971
TARANTO (OSS.)	TA	SIMN	15	40	27	17	16	1951	1975
TAVIANO	LE	SIMN	61	39	59	18	5	1951	1975
TURI	BA	SIMN	250	40	55	17	1	1951	1975
VIGNECASTRISI	LE	SIMN	94	40	1	18	24	1951	1975
BARI PALESE	BA	AM	34	41	8	16	47	1961	1990
GROTTAGLIE	TA	AM	64	40	31	17	24	1961	1990
LECCE	LE	AM	48	40	21	18	10	1961	1990
LIZZANO	TA	UCEA	67	40	23	17	26	1961	1989
MARINA DI GINOSA	TA	AM	2	40	26	16	53	1968	1997
PALASCIA	LE	AM	89	40	7	18	30	1961	1990
S.MARIA DI LEUCA	LE	AM	104	39	49	18	21	1961	1990
VIESTE	FG	AM	50	41	53	16	11	1951	1977
BRINDISI	BR	AM	15	40	39	17	57	1958	1987
LUCUGNANO	LE	UCEA	131	39	56	18	19	1956	1972
TARANTO	TA	UCEA	22	40	27	17	18	1961	1990
FINOCCHIO	FG	RR	17	41	19.2	16	7.267	1989	1998
BROCCHI	FG	RR	201	41	17.9	15	46	1989	1998
CANESTRELLO	FG	RR	207	41	6.47	15	37.42	1989	1998
DI GIOVINE	FG	RR	102	41	32.9	15	19.95	1989	1998
MODICA	FG	RR	55	41	46	15	22.3	1989	1998
PEDICONE	FG	RR	13	41	52.3	15	15.28	1989	1998
POLLUCE	FG	RR	21	41	35.5	15	36.8	1989	1998
TORRICELLI	FG	RR	126	41	15.7	15	49.85	1989	1998
TROTTA	FG	RR	177	41	36.6	15	10.3	1989	1998
CASTEL LAGOPESOLE	PZ	SIMN	829	40	49	15	37.02	1951	1974
FORENZA	PZ	SIMN	836	40	52	15	51	1957	1974
LAVELLO	PZ	SIMN	313	41	3	15	48	1953	1970
MATERA	PZ	SIMN	401	40	41	16	37.02	1951	1970
MELFI	PZ	SIMN	531	41	0	15	39	1952	1975
MONTICCHIO BAGNI	PZ	SIMN	652	40	57	15	34.02	1951	1975
PALAZZO S.GERVASIO	PZ	SIMN	483	40	56	15	58.98	1951	1970
PESCOPAGANO	PZ	SIMN	954	40	50	15	24	1952	1975
STIGLIANO	MT	SIMN	909	40	24	16	13.02	1951	1970
TRICARICO	MT	SIMN	698	40	37	16	9	1951	1970
FERRANDINA	MT	AM	507	40	29	16	27	1953	1972
LATRONICO	PZ	AM	888	40	4.98	16	1.02	1961	1990
PICERNO	PZ	UCEA	582	40	38	15	37.98	1959	1987
POTENZA	PZ	AM	823	40	38	15	48	1961	1990
DIGA SUL RENDINA	PZ	SIMN	201	41	1.98	15	46.02	1960	1975
MARATEA	PZ	SIMN	300	39	59	15	43.02	1951	1970
MONTALBANO JONICO	MT	SIMN	292	40	17	16	34.02	1955	1970
NOVA SIRI SCALO	MT	SIMN	2	40	7.98	16	37.98	1951	1970
VALSINNI	MT	SIMN	250	40	10	16	25.98	1951	1970
METAPONTO	MT	RR	10	40	24	16	48	1981	1997
CASTROVILLARI	CS	SIMN	353	39	49	16	12	1951	1970
CATANZARO	CZ	UCEA	400	38	54	16	36	1961	1990
CECITA	CS	SIMN	1180	39	24	16	31.98	1955	1970
CHIARAVALLE CENTR.	CZ	SIMN	550	38	41	16	25.02	1951	1970
CITTANOVA	RC	SIMN	407	38	22	16	4.98	1951	1970
FAGNANO CASTELLO	CS	SIMN	516	39	34	16	3	1951	1970
FERDINANDEA	RC	SIMN	1050	38	30	16	22.98	1958	1970
GAMBARIE	RC	SIMN	1300	38	10	15	49.98	1951	1970

Legenda reti: SIMN=Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale AM=Aeronautica militare UCEA=Ufficio Centrale di Ecologia Agraria RR=Reti regionali

Denominazione	Prov	Rete	Altitudine s.l.m.	Lat.Nord		Long.Est		inizio	fine
MILETO	VV	SIMN	368	38	36	16	4.02	1951	1970
MONACO (VIL.MANCUSO)	CZ	SIMN	1250	39	4.02	16	34.02	1951	1970
SERRA S.BRUNO	VV	SIMN	790	38	35	16	19.98	1951	1970
TREPIDO'	KR	SIMN	1295	39	12	16	40.02	1951	1970
BONIFATI	CS	AM	484	39	35	15	52.98	1961	1990
CARAFFA CATANZARO	CZ	AM	362	38	53	16	28.98	1952	1977
GRISOLIA	CS	UCEA	340	39	43	15	51	1979	1994
MONGIANA	VV	UCEA	920	38	30	16	19.98	1961	1990
VIBO VALENTIA	VV	AM	520	38	38	16	1.98	1952	1976
ARDORE SUPERIORE	RC	SIMN	250	38	12	16	10.02	1951	1970
BELVEDERE MARIT.SC.	CS	SIMN	10	39	37	15	51	1951	1970
BOTRICELLO	CZ	SIMN	18	38	56	16	52.02	1951	1970
BRANCALEONE MARINA	RC	SIMN	8	37	58	16	4.98	1951	1970
CAULONIA	RC	SIMN	275	38	23	16	25.02	1951	1970
CIRO' MARINA	KR	SIMN	6	39	22	17	7.98	1951	1969
COSENZA	CS	SIMN	250	39	17	16	15	1951	1970
CROTONE	KR	SIMN	6	39	4.98	17	7.98	1951	1970
FIUMEFREDDO BRUZIO	CS	SIMN	200	39	14	16	4.02	1951	1970
MELITO PORTO SALVO	RC	SIMN	7	37	55	15	46.98	1951	1970
NICASTRO	CZ	SIMN	200	38	58	16	19.02	1951	1970
PALMI	RC	SIMN	248	38	21	15	51	1951	1970
PIZZO CALABRO	VV	UCEA	107	38	44	16	10.02	1964	1979
ROSARNO	RC	SIMN	61	38	29	15	58.98	1951	1970
ROSSANO	CS	SIMN	300	39	34	16	37.98	1951	1970
S.EUFEMIA LAMEZIA	CZ	SIMN	25	38	55	16	15	1951	1970
SIDERNO MARINA	RC	SIMN	7	38	16	16	16.98	1951	1970
TORANO SCALO	CS	SIMN	97	39	30	16	13.02	1958	1970
TROPEA	VV	SIMN	51	38	41	15	54	1951	1970
VILLAPIANO SCALO	CS	SIMN	5	39	47	16	28.98	1951	1970
CALOPEZZATI	CS	AM	179	39	34	16	48	1952	1978
CAPO SPARTIVENTO	RC	AM	117	37	56	16	4.02	1951	1977
CROTONE	KR	SIMN	6	39	4.98	17	7.98	1961	1990
PAOLA	CS	AM	30	39	22	16	3	1951	1961
R.CALABRIA	RC	AM	11	38	4.02	15	39	1963	1992
MONTE SCURO	CS	AM	1710	39	20	16	24	1961	1990
LAMEZIA TERME	CZ	AM	216	38	58	16	19.02	1976	1998
R.CALABRIA	RC	UCEA	15	38	6	15	37.98	1961	1985
AGRIGENTO	AG	SIMN	313	37	19	13	34	1951	1974
BIVONA	AG	SIMN	503	37	37	13	26	1951	1974
CALTAGIRONE	CT	SIMN	513	37	14	14	31	1951	1974
CALTANISSETTA	CL	SIMN	570	37	29	14	4	1953	1974
CIMINNA	PA	SIMN	500	37	54	13	33	1952	1974
CORLEONE	PA	SIMN	594	37	49	13	18	1951	1974
ENNA	EN	SIMN	950	37	34	14	17	1951	1974
FIGUZZA	PA	SIMN	681	37	53	13	22	1951	1974
FLORESTA	ME	SIMN	1250	37	59	14	55	1951	1974
GIOIA (FATTORIA)	PA	SIMN	560	37	43	13	45	1955	1974
LERCARA FRIDDI	PA	SIMN	658	37	44	13	36	1951	1974
LINGUAGLOSSA	CT	SIMN	560	37	50	15	9	1951	1974
MAZZARINO	CL	SIMN	560	37	18	14	12	1951	1974
MINEO	CT	SIMN	510	37	16	14	41	1952	1974
MONREALE	PA	SIMN	310	38	5	13	17	1951	1974
MONTEROSSO ALMO	RG	SIMN	691	37	5	14	46	1958	1974

Legenda reti: SIMN=Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale AM=Aeronautica militare UCEA=Ufficio Centrale di Ecologia Agraria RR=Reti regionali

Denominazione	Prov	Rete	Altitudine s.l.m.	Lat.Nord		Long.Est		inizio	fine
NICOLOSI	CT	SIMN	698	37	37	15	1	1954	1974
NICOSIA	EN	UCEA	800	37	45	14	24	1964	1980
PETRALIA SOTTANA	PA	SIMN	930	37	48	14	5	1951	1974
PIANO DEL LEONE	PA	SIMN	831	37	40	13	28	1951	1974
PIAZZA ARMERINA	EN	SIMN	721	37	23	14	22	1954	1974
RAGUSA	RG	SIMN	515	36	56	14	44	1951	1974
S.GIUSEPPE JATO	PA	SIMN	450	37	58	13	11	1951	1974
VIAGRANDE	CT	SIMN	405	37	37	15	6	1952	1974
ZAFFERANA ETNEA	CT	SIMN	590	37	42	15	6	1957	1974
ENNA	EN	AM	940	37	34	14	17	1961	1990
PRIZZI	PA	AM	1034	37	43	13	26	1961	1990
VIAGRANDE	CT	UCEA	405	37	37	15	6	1961	1990
CAPO SAN VITO	TP	SIMN	6	38	10	12	44	1956	1974
CASTELVETRANO	TP	SIMN	190	37	41	12	47	1962	1974
CATANIA (OSS.)	CT	SIMN	65	37	30	15	5	1951	1974
CEFALU'	PA	SIMN	30	38	2	14	1	1951	1974
GANZIRRI	ME	SIMN	12	38	15	15	36	1953	1974
ISOLA DELLE FEMMINE	PA	SIMN	4	38	12	13	15	1960	1974
LENTINI (CITTA')	SR	SIMN	43	37	17	15	0	1951	1973
LICATA	AG	SIMN	142	37	6	13	56	1951	1974
MARSALA	TP	SIMN	12	37	48	12	28	1951	1974
MAZARA DEL VALLO	TP	SIMN	8	37	39	12	35	1951	1974
PARTINICO	PA	SIMN	189	38	3	13	7	1951	1974
S.MARINA SALINA	ME	SIMN	5	38	34	14	52	1965	1974
SIRACUSA	SR	UCEA	23	37	4	15	18	1944	1973
TAORMINA	ME	SIMN	260	37	51	15	17	1951	1974
TINDARI	ME	SIMN	280	38	8	15	3	1951	1974
TRAPANI	TP	SIMN	2	38	1	12	31	1951	1974
VITTORIA	RG	SIMN	168	36	57	14	32	1951	1974
CATANIA FONTANAROS.	CT	AM	11	37	28	15	3	1961	1990
COZZO SPADARO	SR	AM	46	36	41	15	8	1961	1990
FINALE	PA	AM	35	38	1	14	10	1964	1977
PALERMO BOCCADIF.	PA	AM	105	38	7	13	19	1961	1990
PALERMO PUNTA RAISI	PA	AM	21	38	11	13	6	1961	1990
SCIACCA	AG	AM	113	37	31	13	5	1952	1979
ACIREALE	CT	UCEA	208	37	37	15	10	1961	1988
CATANIA	CT	UCEA	75	37	30	15	5	1961	1977
GELA	CL	AM	11	37	5	14	13	1965	1987
MESSINA	ME	AM	59	38	12	15	33	1958	1987
TRAPANI BIRGI	TP	AM	7	37	55	12	30	1962	1987
ALA' DEI SARDI	SS	UCEA	663	40	39	9	20	1961	1980
ARMUNGIA	CA	SIMN	366	39	31	9	23	1951	1971
ARZANA	NU	SIMN	674	39	55	9	32	1951	1971
CAMPUOMU (CASERMA)	CA	SIMN	380	39	19	9	23	1955	1971
COSSATZU	NU	SIMN	860	39	57	9	11	1955	1971
CUGLIERI	OR	SIMN	494	40	11	8	34	1952	1971
DESULO	NU	SIMN	920	40	1	9	14	1951	1971
FONNI	NU	SIMN	992	40	7	9	15	1953	1971
GENNA SILANA	NU	SIMN	1010	40	9	9	30	1961	1971
JERZU	NU	SIMN	550	39	47	9	31	1953	1971
LUOGOSANTO	SS	SIMN	315	41	3	9	13	1952	1971
MANDAS F.C.	CA	SIMN	491	39	39	9	8	1951	1971
NUORO	NU	SIMN	545	40	19	9	19	1951	1971

Legenda reti: SIMN=Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale AM=Aeronautica militare UCEA=Ufficio Centrale di Ecologia Agraria RR=Reti regionali

Denominazione	Prov	Rete	Altitudine s.l.m.	Lat.Nord		Long.Est		inizio	fine
NURRI F.C.	NU	SIMN	558	39	43	9	13	1952	1971
OZIERI	SS	UCEA	390	40	35	9	0	1966	1979
PLANUSANGUNI	CA	SIMN	651	39	30	9	14	1957	1971
SANTULUSSURGIU	OR	SIMN	557	40	8	8	39	1952	1971
SARCIDANO	NU	SIMN	669	39	49	9	9	1952	1971
TEMPIO PAUSANIA	SS	SIMN	558	40	54	9	6	1951	1971
VAL LICCIOLA	SS	SIMN	1000	40	51	9	9	1955	1971
VILLANOVA MONTELEONE	SS	SIMN	567	40	30	8	28	1951	1971
VOLLANOVATULO	NU	SIMN	373	39	47	9	13	1951	1971
ESCALAPANO	NU	UCEA	338	39	38	9	21	1961	1990
FONNI	NU	AM	1022	40	7	9	15	1961	1990
MACOMER	NU	AM	559	40	16	8	47	1952	1977
MONTE SERPEDDI'	CA	AM	1067	39	22	9	18	1951	1974
PERDASDEFOGU	NU	AM	640	39	40	9	26	1961	1990
TEMPIO PAUSANIA	SS	AM	556	40	54	9	6	1953	1974
ALGHERO	SS	SIMN	7	40	33	8	19	1951	1971
CAGLIARI	CA	UCEA	55	39	13	9	9	1942	1971
CALA GONONE	NU	SIMN	25	40	17	9	38	1955	1971
CARLOFORTE	CA	SIMN	18	39	9	8	18	1951	1971
CORONGIU (ACQUED.)	CA	SIMN	126	39	18	9	17	1951	1971
DONORI (S.MICHELE)	CA	SIMN	139	39	25	9	7	1952	1971
FERTILIA	SS	SIMN	39	40	38	8	17	1952	1969
IGLESIAS	CA	SIMN	193	39	18	8	32	1951	1971
LA MADDALENA	SS	SIMN	29	41	13	9	24	1953	1971
MOGORO	OR	SIMN	134	39	41	8	47	1951	1970
MORARERA	CA	SIMN	19	39	25	9	34	1955	1971
OLBIA	SS	SIMN	15	40	55	9	30	1951	1971
OROSEI	NU	SIMN	19	40	23	9	40	1951	1971
PALMAS	CA	SIMN	12	39	5	8	33	1957	1971
S.GIOVANNI COGHINAS	SS	SIMN	210	40	53	8	45	1951	1971
S.GIUSTA	OR	SIMN	10	39	52	8	37	1951	1971
SANLURI O.N.C.	CA	SIMN	68	39	33	8	53	1952	1971
SASSARI	SS	UCEA	224	40	44	8	37	1942	1971
SERRENTU	CA	SIMN	122	39	30	8	58	1951	1971
UTA	CA	SIMN	19	39	17	8	57	1951	1971
VILLACIDRO	CA	SIMN	213	39	28	8	44	1951	1971
ASINARA	SS	AM	115	41	7	8	19	1951	1976
BENATZU MANNU	CA	UCEA	110	39	24	9	7	1962	1984
CAPO BELLAVISTA	NU	AM	138	39	56	9	43	1961	1990
CAPO CARBONARA	CA	AM	116	39	6	9	31	1961	1990
CAPO FRASCA	CA	AM	91	39	45	8	28	1963	1992
CAPO SAN LORENZO	CA	AM	21	39	30	9	37	1961	1990
DECIMOMANNU	CA	AM	29	39	20	8	58	1962	1991
GUARDIAVECCHIA	SS	AM	158	41	13	9	24	1961	1990
OLBIA COSTA SMERALDA	SS	AM	11	40	54	9	31	1970	1998
ORISTANO	OR	AM	9	39	53	8	35	1951	1961
PIXINAMANNA	CA	UCEA	100	38	59	8	56	1972	1994
SINNAI SOPRA	CA	UCEA	130	39	18	9	12	1973	1993
ALGHERO	SS	AM	23	40	38	8	17	1959	1987
CAGLIARI ELMAS	CA	AM	4	39	15	9	3	1959	1987
CAPO CACCIA	SS	AM	202	40	34	8	10	1975	1998

APPENDICE 3

METODI E FORMULE UTILIZZATE PER IL CALCOLO DELL'ET₀

La formula ormai considerata come riferimento standard per il calcolo dell'ET₀ è senz'altro quella di Penman-Monteith (Monteith et al., 1990; Choisnel et al., 1992), così come recepita in ambito FAO (Jensen et al., 1990; Allen et al., 1998). Si tratta di un metodo di tipo "combinato", cioè che tiene conto sia di un termine radiativo che di uno aerodinamico, in modo da schematizzare i processi di trasferimento di massa ed energia fra la coltura e l'ambiente circostante. Nella sua formulazione più generale (relativa cioè al calcolo dell'evapotraspirazione potenziale di una generica coltura in date condizioni atmosferiche) l'equazione di Penman-Monteith può essere così espressa:

$$ET = \frac{1}{I} \cdot \frac{\Delta}{\Delta + g^*} \cdot (R_N - G) + \frac{r \cdot c_p}{I \cdot (\Delta + g^*)} \cdot \frac{(e_s - e_a) \cdot u_2}{r_a u_2} \cdot 8.64 \cdot 10^3 \quad (1)$$

dove il primo termine a secondo membro (componente radiativa) tiene conto dell'energia necessaria al passaggio di stato dell'acqua, mentre il secondo termine (componente aerodinamica) tiene conto dei meccanismi che consentono e controllano la perdita di vapore acqueo da parte della coltura. Nella formula (1) R_N e G sono rispettivamente la radiazione netta totale giornaliera e il flusso di calore nel suolo espressi in KJm^{-2} , e_s e e_a sono rispettivamente la tensione di vapore dell'aria alla saturazione e alle condizioni misurate, espresse in KPa , Δ è la pendenza della curva $e_s(T)$ in $\text{KPa}^\circ\text{C}^{-1}$, λ è il calore latente di evaporazione dell'acqua in KJkg^{-1} , ρ è la densità dell'aria in Kgm^{-3} , c_p è il calore specifico dell'aria a pressione costante in $\text{KJkg}^{-1}\text{C}^{-1}$, u_2 è la velocità del vento a 2 m in ms^{-1} ed infine $\gamma^* = \gamma (1 + r_c/r_a)$ ove γ è il coefficiente psicrometrico in $\text{KPa}^\circ\text{C}^{-1}$, mentre r_c e r_a sono rispettivamente la resistenza del manto vegetale e quella aerodinamica al flusso di vapore, espresse in sm^{-1} . Il primo membro della (1) è espresso in mm di acqua giornalieri.

Nel calcolo dei vari termini intervengono i parametri astronomici relativi al giorno dell'anno considerato, i parametri colturali (Leaf Area Index, altezza della coltura, albedo) e i parametri meteorologici misurati (valori estremi di temperatura dell'aria, umidità relativa dell'aria, velocità del vento, radiazione solare giornaliera).

La scelta attualmente raccomandata dagli esperti FAO è quella di lavorare nel two-step-approach, utilizzando cioè i valori dei parametri relativi alla coltura scelta come standard di riferimento per calcolare l'ET₀ (funzione a questo punto solo dalle variabili meteorologiche) ottenendo poi l'evapotraspirazione potenziale della specifica coltura (ET_c) tramite semplice moltiplicazione per un appropriato coefficiente colturale (K_c) dipendente essenzialmente dal tipo e dal grado di sviluppo del manto vegetale in esame (Doorenbos et al., 1977). Il presente lavoro è finalizzato alla completa definizione e determinazione del primo passo di questa metodologia a due gradini, per cui la formula (1) è stata utilizzata con i valori dei parametri colturali relativi al prato di riferimento.

La numerosità dei parametri richiesti, però, rende possibile l'applicazione della formula solo al ristretto numero di stazioni che rilevano tutti i dati necessari. Se poi, come nel nostro caso, si richiede anche una serie storica di almeno dieci anni, il numero di stazioni utili si restringe ulteriormente. Tra i metodi di stima dell'ET₀ che richiedono parametri di più diffusa rilevazione, la formula di Hargreaves-

Samani (Hargreaves et al., 1982, Choisnel et al., 1992) si segnala per la sua semplicità di applicazione e per la bontà dei suoi risultati a scala decadale o maggiore (Dal Monte et al., 1995). Si tratta di una formula di tipo "termometrico", basata cioè sulla correlazione empirica tra il volume d'acqua evaporato e la temperatura dell'aria secondo la seguente equazione:

$$ET_0 = C R_a (T + 17.8) \sqrt{\Delta T} \quad (2)$$

ove C è una costante empirica che in letteratura assume in genere un valore pari a 0.0023, R_a indica la radiazione extraterrestre in millimetri di acqua evaporata al giorno, mentre T e ΔT sono rispettivamente la temperatura media e la differenza fra temperatura minima e massima nel periodo di osservazione, espresse ovviamente in °C. Anche in questo caso il risultato del volume d'acqua evaporato è espresso in mm giornalieri.

Per utilizzare al meglio le risorse disponibili in ciascun sito di rilevamento, si è scelto di integrare i due metodi di calcolo, applicando il metodo di Hargreaves-Samani a tutte le stazioni presenti nella banca dati costituita, e parallelamente utilizzando la formula di Penman-Monteith dove fossero disponibili anche i dati aggiuntivi richiesti da questo metodo. La presenza su alcune stazioni dei dati di ET_0 calcolati con entrambi i metodi permette di calibrare il coefficiente empirico C della formula di Hargreaves-Samani sulla base del confronto regressivo con i dati ottenuti secondo Penman-Monteith.

Le figure seguenti mostrano, per una stazione scelta a titolo di esempio (l'osservatorio di Napoli dell'Aeronautica Militare, con dati 1961-1990) la semplice procedura scelta per effettuare tale calibrazione.

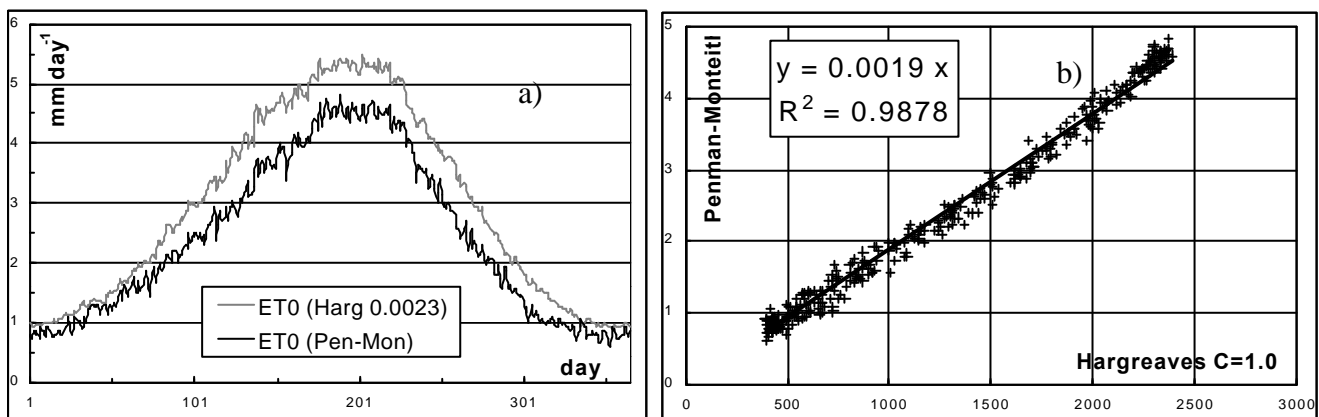


Figura 1. Calibrazione della formula di Hargreaves-Samani (vedi testo).

La figura 1a) evidenzia come il valore di C suggerito in letteratura porta ad una curva di evapotraspirazione giornaliera che si discosta sensibilmente dal risultato ottenuto applicando il metodo combinato di Penman-Monteith (nel caso specifico sovrastimandolo). Assumendo quest'ultimo come metodo più affidabile, in grado di simulare più realisticamente i processi fisici in atto nel sistema pianta-atmosfera, lo si può facilmente utilizzare come riferimento per tarare la procedura di Hargreaves-Samani.

La figura 1b) mostra la regressione esistente tra la ET_0 calcolata con la formula di Penman-Monteith ed il valore dell'espressione (2) in cui sia posto $C=1$. Il coefficiente angolare della retta che, in base al metodo dei minimi quadrati ed imponendo una intercetta nulla, meglio interpola la serie di dati fornisce quindi la migliore stima del coefficiente C da utilizzare nella formula di Hargreaves-Samani per ottenere una curva di ET_0 quanto più possibile sovrapposta a quella derivante dalla formula di Penman-Monteith. Il valore di C da utilizzare nel caso in esame è 0.0019.

I due grafici della figura 2 mostrano -rispettivamente su base giornaliera e mensile- il confronto tra i risultati delle due formule, avendo stavolta utilizzato per quella di Hargreaves-Samani il nuovo valore del coefficiente C . L'alto valore del coefficiente di correlazione (nel caso mostrato $R^2 = 0.988$) giustifica quantitativamente l'approccio seguito. Il coefficiente C così calibrato su una stazione viene poi utilizzato per ricalcolare l' ET_0 secondo Hargreaves-Samani in tutte le stazioni limitrofe.

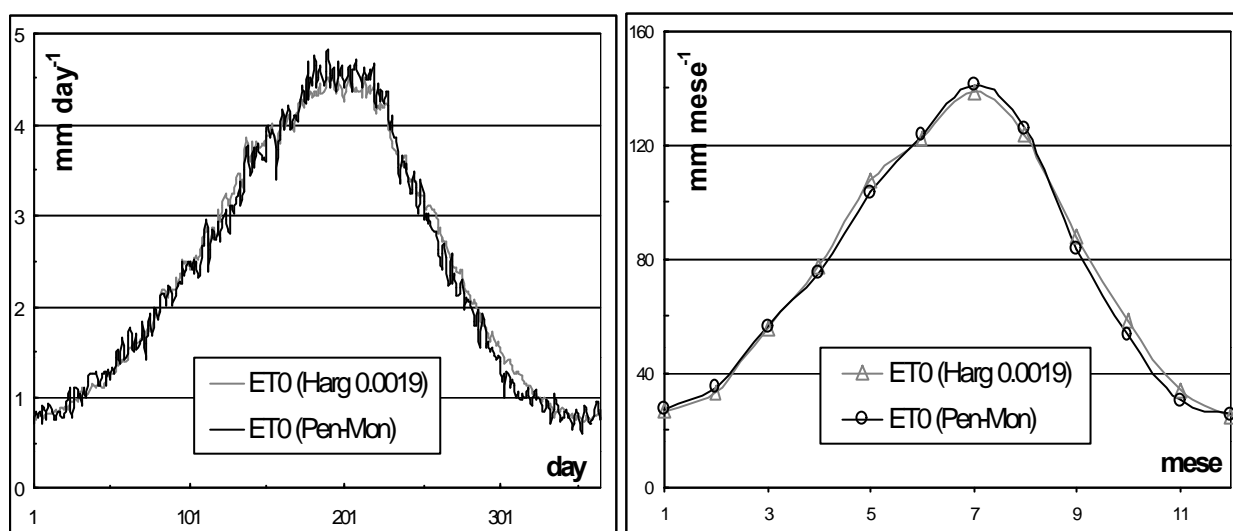


Figura 2. Calibrazione della formula di Hargreaves-Samani: ET_0 ricalcolata con il nuovo valore del coefficiente C (vedi testo).

Le due formule appena discusse sono state applicate ai dati meteorologici giornalieri, ottenendo quindi un valore dell'evapotraspirazione di riferimento per ogni giorno dell'anno. Sia in base agli scopi del progetto, sia in base alla scala di validità delle formule utilizzate (in particolare quella di Hargreaves-Samani), il passo temporale più appropriato per esprimere i totali di evaporato in mm di acqua è risultato essere la decade. Quindi per ogni stazione era necessario ottenere 36 valori medi (o "climatici") di evapotraspirazione, uno per ogni decade dell'anno, calcolati su tutta la serie storica disponibile. Per ridurre la mole di dati da trattare e i tempi di elaborazione si è voluto valutare, con una serie di test, l'errore che si commette calcolando l' ET_0 sui valori dei parametri meteorologici giornalieri già mediati sull'intera serie storica disponibile, piuttosto che effettuare il calcolo su ogni giorno della serie storica stessa e trarre il valore medio di ET_0 a posteriori (come sarebbe più rigoroso operare).

A titolo di esempio si riportano in figura 3 i grafici relativi al test effettuato sull'osservatorio di Pescara dell'Aeronautica Militare (dati 1977-1986), che autorizzano a ritenere valido il primo approccio senza commettere errori che risultino significativi nel contesto degli scopi del progetto. Tale risultato è piuttosto scontato per quanto riguarda la formula di Hargreaves-Samani, la cui forma funzionale presenta

solo una debole deviazione dalla linearità, mentre assume un significato meno banale per la più complessa formula di Penman-Monteith.

Poiché in diverse stazioni l'unico dato mancante per applicare la formula di Penman-Monteith è la radiazione solare, ma spesso sono disponibili i dati di eliofania, si pone la questione di stimare il primo parametro a partire dal secondo.

Lo schema che ci si è proposti di utilizzare è quello della formula di Angström, cioè una regressione lineare tra le due quantità opportunamente normalizzate (Choisnel et al., 1992). I valori consigliati in ambito FAO per l'intercetta e la pendenza sono rispettivamente $a=0.25$ e $b=0.50$ (Allen et al., 1998), ma come contributo originale da parte di questo progetto si è ritenuto interessante controllare ed eventualmente migliorare tali valori, adattandoli alla peculiarità delle regioni oggetto dello studio ed utilizzando ovviamente a tale proposito i dati delle stazioni in cui siano attivi sia il sensore di eliofania che quello di radiazione solare.

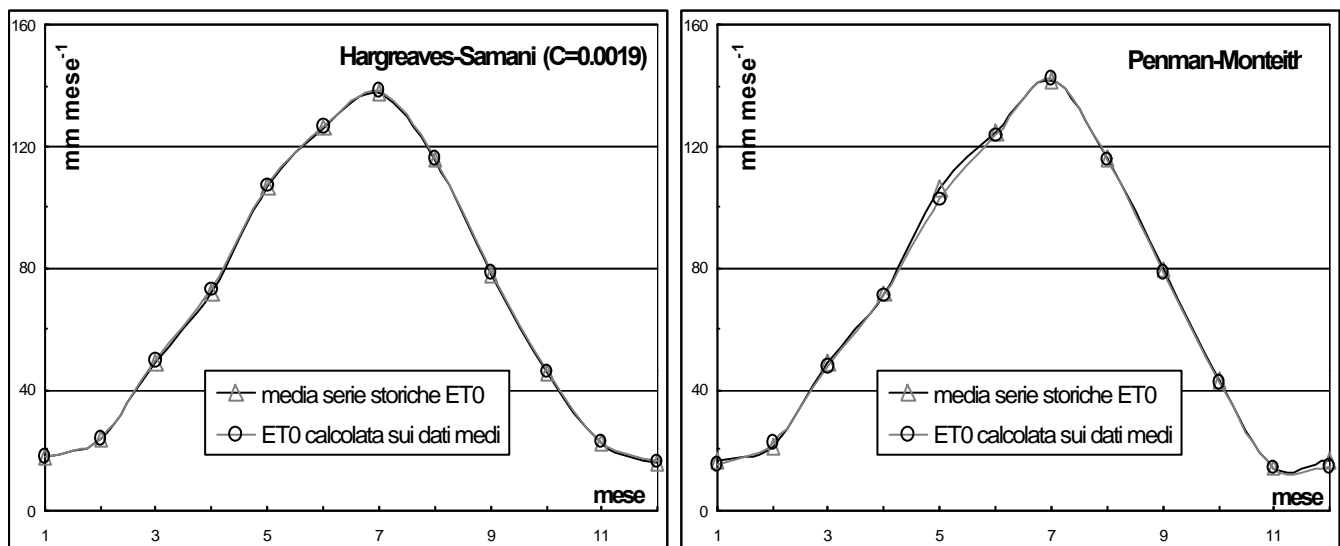


Figura 3. Confronto delle ET_0 calcolate nei due diversi approcci (media delle ET_0 calcolate sulla serie storica e ET_0 calcolata sui dati medi del decennio).

La figura 4 è relativa all'osservatorio di Messina dell'Aeronautica Militare (dati 1958-1987) e mostra nel primo grafico la regressione tra la radiazione solare giornaliera e l'eliofania, rispettivamente normalizzate al valore della radiazione extraterrestre giornaliera e alla durata del giorno.

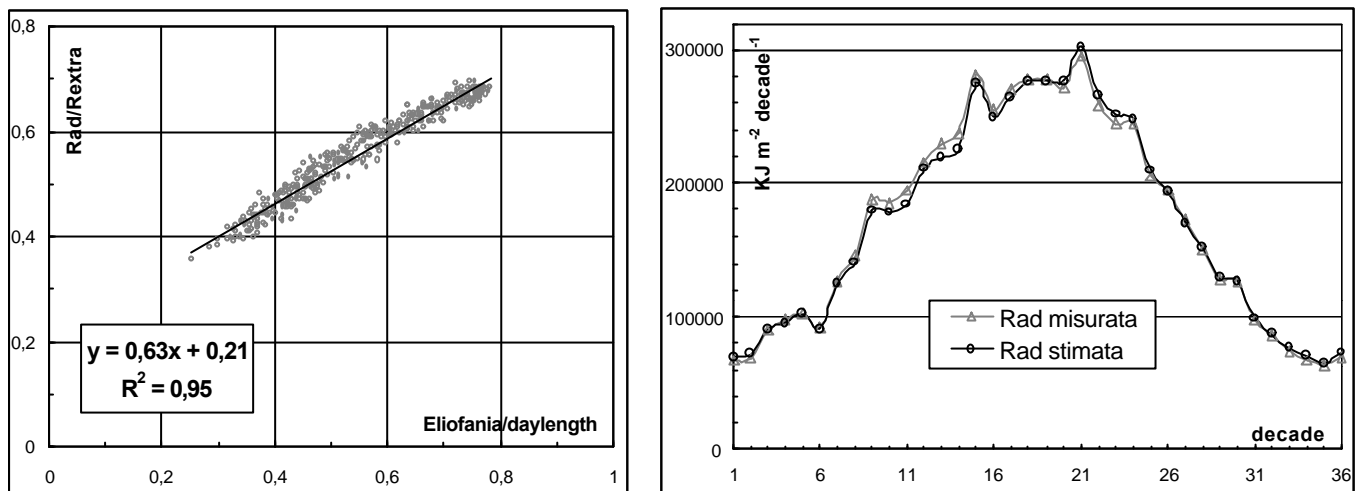


Figura 4. Stima della radiazione solare a partire dai dati di eliofania (vedi testo).

La retta di interpolazione ha un buon valore del coefficiente di correlazione ($R^2 = 0.95$) e permette di stimare i valori $a=0.21$ e $b=0.63$ per i coefficienti da utilizzare nella stima. Nel secondo grafico viene mostrato su base decadale il confronto tra la radiazione solare misurata e quella stimata con lo schema proposto, avendo utilizzato nel calcolo i valori dei parametri ottenuti dalla regressione. Come nel caso della calibrazione del coefficiente C della formula di Hargreaves-Samani, anche queste stime dei coefficienti a e b sono state estese alle stazioni limitrofe, dove l'assenza del sensore di radiazione solare è stata così colmata utilizzando i dati di eliofania giornaliera.

La banca dati complessivamente costruita comprende 367 stazioni, distribuite sulle otto regioni in esame, per le quali sono stati calcolati i dati giornalieri medi di temperatura (minima e massima) e precipitazione, sulla base delle serie storiche disponibili che, come detto, sono almeno decennali (ove possibile è stato utilizzato il trentennio 1961-1990, fissato come standard dalla World Meteorological Organization). In una trentina di stazioni sono disponibili anche i dati per il calcolo dell'evapotraspirazione di riferimento secondo il metodo combinato di Penman-Monteith.

I dati di precipitazione rimangono a disposizione per il calcolo del bilancio idrico (WMO, 1997), mentre i dati relativi agli altri parametri meteorologici sono stati utilizzati per il calcolo dell'evapotraspirazione di riferimento, coerentemente con le metodologie sopra esposte. Dal punto di vista operativo, tutti gli algoritmi e le formule necessarie sono stati codificati in FORTRAN, costruendo ed ottimizzando un programma che per ogni giorno dell'anno legge in input i valori dei parametri meteorologici e, a seconda dei valori impostati per la latitudine della stazione in esame e per i parametri colturali (di default impostati come detto ai valori della coltura di riferimento), calcola il corrispondente dato giornaliero dell'evapotraspirazione di Hargreaves-Samani e (se i dati di input lo consentono) di Penman-Monteith.

Il medesimo programma calcola le somme decadali e mensili, fornendo in output delle tabelle in formato ASCII. Oltre al dato evapotraspirativo, affiancato al dato medio di precipitazione, per ogni

stazione rimangono ovviamente disponibili i parametri meteorologici utilizzati come input nel calcolo dell'ET0. Segue a titolo di esempio un estratto della tabella relativa alle medie decadali dell'osservatorio UCEA di Taranto (dati 1961-1990):

Decade	Tmin (°C)	Tmax (°C)	UR (%)	u2 (m·s-1)	Radiazione (KJ·m-2·day-1)	Precipitazioni (mm·decade-1)	ET0 (mm·decade-1)
1	5.8	12.3	72.9	3.1	6166.5	10.1	11.4
2	5.7	12.1	74.3	3.3	6348.6	16.2	11.4
...
17	17.8	26.6	60.8	2.7	23359.9	6.0	49.5
18	19.3	28.5	57.9	2.8	24460.9	4.2	55.0
...
35	7.1	13.7	74.0	3.3	5908.4	17.3	11.8
36	6.6	13.2	74.5	3.1	5969.2	18.5	11.9

Le procedure di calibrazione dei vari coefficienti sono state invece automatizzate tramite opportuna impostazione di una serie di fogli di calcolo Excel tra loro collegati. E' stato in particolare possibile effettuare la calibrazione del coefficiente C in una trentina di stazioni, dislocate sul territorio a coprire tutte e otto le regioni, e i risultati di tale procedura sono stati estesi su base regionale a tutte le altre stazioni.

BIBLIOGRAFIA

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. - Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper n. 56 (1998), Roma.

Choisnel E., de Villele O., Lacroze F. - Une approche uniformisée du calcul de l'évapotranspiration potentielle pour l'ensemble des pays de la Communauté Européenne, Commission des Communautés Européennes, Luxembourg (1992).

Dal Monte G., Perini L., Brunetti A. - Indici Agroclimatici - Quantità attese di precipitazione ed evapotraspirazione potenziale, UCEA (1995), Roma.

Doorenbos J., Pruitt W.O. - Crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper n. 24, 2a ed. (1977), Roma.

Hargreaves G.H., Samani Z.A. - Estimating potential evapotranspiration, Tech. Note, J. Irrig. and Drain Eng. (1982), ASCE, 108 (3), 225-230.

Jensen M.E., Burman R.D., Allen R.G. - Evapotranspiration and irrigation water requirements, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 70 (1990), New York.

Monteith J.L., Unsworth M.H. - Principles of environmental physics, 2a ed. (1990), Edward Arnold, London.

World Meteorological Organization (WMO) - Estimation of areal evapotranspiration, Technical Reports in Hydrology and Water Resources No. 56 (1997), Geneva.