



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Tesi di tirocinio di formazione e orientamento

(Convenzione stipulata tra ISPRA e l'Università di Sassari)

BILANCIO IDROLOGICO A SCALA NAZIONALE MEDIANTE STRUMENTI GIS

Dr. Alessandro Antonio Pirri

Tutor dell'Ente Promotore: prof. ing. Marcello Niedda
Tutor ISPRA: ing. Martina Bussettini e ing. Giovanni Braca

ANNO 2010

Data	Firma Tirocinante	Firma dei Tutor ISPRA	Firma Responsabile Servizio ISPRA
18.09.2010			
	Firma del Tutor Ente Promotore*		

* Il Tutor dell'Ente Promotore sarà citato solo in presenza della firma

ABSTRACT

Nel presente lavoro viene effettuato il bilancio idrologico mensile a scala nazionale mediante la valutazione dei termini dell'equazione di bilancio su una griglia quadrata (GRID) di lato 1 km utilizzando una procedura automatica in ambiente GIS implementata ad hoc.

In particolare, oltre alla valutazione dei campi spaziali di precipitazione, di temperatura e di radiazione solare, ottenuti mediante interpolazione spaziale dei dati rilevati da reti di monitoraggio idrologico, si è proceduto alla valutazione, per ogni cella del GRID, del termine di evapotraspirazione effettiva o reale attraverso un semplice modello di bilancio idrico dello strato superficiale del suolo. Ciò ha consentito di stimare, per un periodo di un anno solare (2005), il deficit e/o il surplus idrico mensile per l'intero territorio nazionale e per ciascuno dei principali bacini idrografici italiani individuati nella Carta dei Bacini Italiani in scala 1:250.000 elaborata dall'ISPRA e scaricabile dal sito web ISPRA SINANET: <http://www.mais.sinanet.isprambiente.it/ost/>.

PREFAZIONE

La conoscenza del bilancio idrologico costituisce elemento indispensabile per una corretta gestione delle risorse idriche.

L'I.S.P.R.A., ed in particolare il Dipartimento Tutela della Acque Interne e Marine, ha tra i suoi compiti istituzionali quelli di elaborare lo stato idrologico nazionale a partire dai dati idrologici regionali: *“...esercita le funzioni di rilievo nazionale in materia di idrologia, risorse idriche e mareografia in continuità con le attività del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.”*

Il presente studio, sviluppato nell'ambito della convenzione di tirocinio e formazione (Rep. 2, 2010 Prot. 243 del 14/04/2010) stipulata tra l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale e l'Università degli Studi di Sassari, costituisce la fase preliminare per la messa a punto di un sistema automatico, in ambiente GIS, per l'elaborazione e la caratterizzazione dello stato idrologico nazionale ed in particolare del bilancio idrologico.

I tutor

ing. Martina Bussetini

ing. Giovanni Braca

INDICE

1. INTRODUZIONE	8
2. IL BILANCIO IDROLOGICO.....	9
3. METODOLOGIA	12
3.1 IL KRIGING	12
4. DATI UTILIZZATI	15
5. STRUMENTI GIS UTILIZZATI	17
5.1 UTILIZZO DEGLI ARCTOOLBOX PER L'INTERPOLAZIONE DEI DATI IDROLOGICI	17
6. ANALISI SPAZIALE DELLE GRANDEZZE IDROLOGICHE	19
7. VALUTAZIONE DELL'EVAPOTRASPIRAZIONE POTENZIALE	26
8. VALUTAZIONE DELL'EVAPOTRASPIRAZIONE REALE	28
8.1 MODELLO DI BILANCIO IDROLOGICO DEL SUOLO	28
8.2 L'EVAPOTRASPIRAZIONE REALE	29
9. BILANCIO IDROLOGICO PER BACINO	31
10. CONCLUSIONI.....	32
11. BIBLIOGRAFIA	33
12. APPENDICE 1: MAPPE DI EVAPOTRASPIRAZIONE POTENZIALE MENSILE (PET)	34
13. APPENDICE 2: MAPPE DI EVAPOTRASPIRAZIONE REALE MENSILE (AET)	36
14. APPENDICE 3: MAPPE DI DEFICIT IDRICO MENSILE.....	38
15. APPENDICE 4: TABELLA DELL'EVAPOTRASPIRAZIONE REALE MENSILE PER L'ANNO 2005 E PER SINGOLO BACINO.....	40

1. INTRODUZIONE

Obbiettivo del presente studio è la valutazione del bilancio idrologico sia a scala nazionale sia alla scala dei bacini idrografici principali italiani (circa 130) così come individuati nella “Carta dei Bacini Italiani” (Figura 15) in scala 1:250.000 elaborata dal Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale oggi confluito nell’ISPRA.

La carta dei bacini è scaricabile al sito web ISPRA SINANET <http://www.mais.sinanet.isprambiente.it/ost/>.

In particolare è stata effettuata la valutazione dei termini dell’afflusso meteorico e dell’evapotraspirazione reale o effettiva a scala mensile per i bacini del suddetto strato informativo.

Lo studio si è articolato principalmente nei seguenti step:

- ✓ Reperimento e organizzazione dei dati idrologici di base: precipitazione, temperatura e radiazione solare.
- ✓ Studio dei metodi di interpolazione spaziale delle grandezze idrologiche
- ✓ Analisi spaziale a scala nazionale delle precipitazioni mensili
- ✓ Analisi spaziale a scala nazionale della temperatura media mensile
- ✓ Analisi spaziale a scala nazionale della radiazione media mensile
- ✓ Valutazione dell’evapotraspirazione potenziale media mensile
- ✓ Valutazione dell’evapotraspirazione reale media mensile
- ✓ Valutazione del bilancio idrologico mensile a scala nazionale e a scala di bacino.

L’area di lavoro è pari all’ampiezza dell’Italia suddivisa in una griglia regolare avente maglia quadrata di lato 1 km.

Per la valutazione dell’evapotraspirazione reale è stato utilizzato il semplice modello idrologico del National Institute of Water and Atmospheric Research – New Zeland (NIWA).

Per tale studio è stato utilizzato il software ESRI ArcGis versione 9.3 in dotazione all’Istituto.

2. IL BILANCIO IDROLOGICO

Il decreto del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio del 28 luglio 2004, recante “*Linee guida per la predisposizione del bilancio idrico di bacino, comprensive dei criteri per il censimento delle utilizzazioni in atto e per la definizione del minimo deflusso vitale, di cui all'articolo 22, comma 4, del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152*” (pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 268 del 15/11/2004), propone la seguente definizione del bilancio idrologico:

Bilancio idrologico: comparazione, nel periodo di tempo considerato e con riferimento ad un determinato bacino o sottobacino, superficiale o sotterraneo, tra afflussi e deflussi naturali, ovvero deflussi che si avrebbero in assenza di pressione antropica;

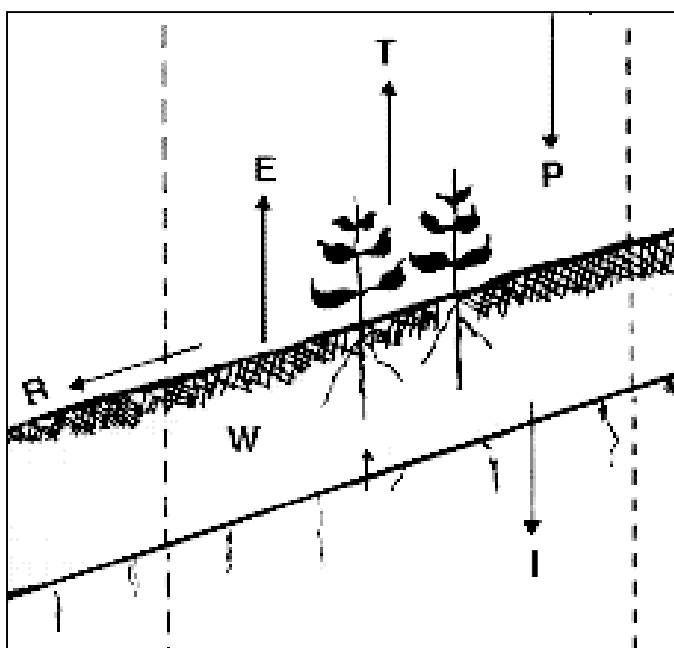


Figura 1: Schema del bilancio idrologico

Nella sua forma analitica più generale, con riferimento alla Figura 1 l'equazione del bilancio idrologico su un volume di controllo unitario, riferita ad un periodo di tempo fissato (es. mese, anno, ecc.) può essere scritta come:

$$P - ET = R + I + \Delta W \quad \text{eq. 1}$$

dove:

P = precipitazione

ET = evapotraspirazione effettiva (evaporazione dal suolo + traspirazione dalle piante)

R = ruscellamento superficiale

I = infiltrazione

ΔW = variazione nell'intervallo di tempo considerato del contenuto idrico nel volume di controllo unitario.

Tutte le grandezze sono espresse in *mm*.

L'equazione del bilancio idrologico (eq. 1) esprime, in altri termini, il principio di conservazione o di continuità dei volumi entranti, uscenti ed invasati nel volume di controllo.

L'eq. 1 viene applicata alla singola cella del GRID (considerata come volume di controllo) trascurando, tuttavia, gli scambi idrici tra celle adiacenti.

Nel presente studio viene valutato il primo membro della eq. 1 a partire dalle misure di precipitazione e attraverso la stima dell'evapotraspirazione reale o effettiva sulla base delle temperature e/o della radiazione solare anch'esse misurate. Risulta quindi noto il valore del secondo membro dell' eq. 1. Il termine $R+I$ rappresenta il "surplus" idrico che è maggiore di zero solo quando il contenuto d'acqua nel terreno supera un valore caratteristico detto capacità di campo (*field capacity*).

La capacità di campo rappresenta la quantità di acqua massima disponibile per le piante; la quantità di acqua al di sopra di tale valore è soggetta alla gravità e pertanto percola alimentando le falde profonde (termine I) ovvero produce il deflusso superficiale (termine R).

Quando il terreno presenta un contenuto d'acqua pari alla capacità di campo l'evapotraspirazione è quella massima o potenziale.

Il termine evapotraspirazione potenziale fu introdotto da Thornthwaite che la definì: "*l'altezza della lama d'acqua che evaporerebbe e traspirerebbe da un bacino se l'acqua disponibile nel terreno fosse sempre uguale alla capacità di campo*". L'evapotraspirazione potenziale rappresenta quindi il limite superiore della evapotraspirazione. Tenendo conto che spesso non vi è acqua sufficiente nel suolo per soddisfare l'evaporazione potenziale, il termine evapotraspirazione reale è usato per descrivere l'evapotraspirazione che realmente ha luogo. Essa dipende dalle caratteristiche del bacino, dalla temperatura, e dalla disponibilità di acqua e quindi dalle precipitazioni.

L'evapotraspirazione reale è valutata stimando la quantità massima di acqua immagazzinabile dal suolo per raggiungere la saturazione che varia (in dipendenza della

natura, composizione litologica e spessore del suolo, clima, profondità della falda, copertura vegetale, etc.) da 50 a 300 mm.

Nel presente studio, non disponendo di uno strato informativo sulle caratteristiche idrauliche del suolo, si assume per semplicità un valore della capacità di campo pari a 100 mm per tutto il territorio nazionale.

3. METODOLOGIA

L'analisi spaziale delle variabili idrologiche a partire da rilevazioni puntuali è stata effettuata mediante tecniche di interpolazione geostatistica di cui, per completezza di esposizione, si riportano nel seguito gli elementi principali.

La geostatistica è quella branca della statistica che si occupa dell'analisi di dati spaziali¹.

Il suo campo classico di applicazione sono le Scienze della Terra, in particolar modo nella Geologia, Geologia Ambientale, Ecologia, Meteorologia, Agronomia.

3.1 Il kriging

Il kriging è una procedura di interpolazione spaziale che permette di stimare l'andamento di una superficie a partire da osservazioni puntiformi di una variabile z .

Il kriging si basa sulla teoria della regionalizzazione delle variabili che assume che la variazione spaziale nel fenomeno rappresentato dai valori di z è omogeneo dal punto di vista statistico su tutta la superficie; il che significa che lo stesso andamento di variazione può essere osservato su tutti i siti nella superficie.

Una variabile regionale $z(x_i)$ può essere immaginata come una realizzazione tra i punti di misura x_i di una determinata funzione aleatoria $Z(x)$.

Il kriging tiene conto della somma pesata dei punti all'interno di una determinata zona di influenza secondo la seguente equazione:

$$\hat{Z}_0 = \sum_{i=1}^n w_i z_i$$

In questo metodo i pesi sono costretti alla somma pari a 1, evitando di dover normalizzare il peso dividendo per la loro somma. I pesi sono calcolati da un insieme di $(n + 1)$ equazioni lineari simultanee, dove n è il numero di punti usati per la determinazione del punto stimato in ogni specifico sito al centro della griglia. In forma matriciale le equazioni dei pesi sono:

$$C * w = d$$

Ovvero:

¹ Raspa, 1995.

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \cdot & C_{1n} & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ C_{n1} & C_{n2} & \cdot & C_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & \cdot & 1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} w_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{10} \\ \cdot \\ \cdot \\ C_{n0} \\ 1 \end{bmatrix}$$

Oppure riscrivendo il rapporto matriciale in modo espanso:

$$C^{-1} * C * w = C^{-1} * d$$

Dove i termini **C** sono i valori delle covarianze spaziali fra coppie di punti campione e i termini **d** sono anche essi delle covarianze spaziali, ma questa volta tra i punti campioni e i punti stimati. La covarianza spaziale non è altro che una misura di correlazione spaziale. Punti che sono geometricamente vicini tendono ad essere fortemente correlati, mentre una debole correlazione è imputabile ad una eccessiva distanza tra punti campione. La correlazione spaziale di una variabile con se stessa, è comunemente conosciuta come autocorrelazione e può essere caratterizzata usando funzioni di autocorrelazione stimata dai dati, mentre il termine μ è un parametro conosciuto come moltiplicatore di Lagrange, e viene utilizzato per forzare i pesi ad una somma che sia uguale ad uno.

Oltre a questi termini vi è anche l'effetto C^{-1} , il quale ingloba la distanza statisticamente inversa, e le distanze sono calcolate solo fra coppie di punti campioni, laddove il punto stimato non viene considerato. L'effetto di questo termine è quello di essere un pre-moltiplicatore che aggiusta i pesi per raggruppare i punti.

In breve, il kriging considera tre fattori importanti nel modellare le superfici planari: la distanza, il raggruppamento e la correlazione spaziale espressa come covarianza spaziale.

La covarianza C fra x e y è calcolata prendendo la media del prodotto delle deviazioni di ciascuna variabile dalla loro rispettiva media.

$$C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(x_i - \bar{x} \right) \bullet \left(y_i - \bar{y} \right)$$

La covarianza misura il grado con il quale x co-varia con y . Se C viene normalizzato, dividendolo per il prodotto della deviazione standard di x e y , chiamate σ_x e σ_y , la covarianza è convertita nel coefficiente di correlazione r . Il coefficiente di correlazione ha

un intervallo fra un massimo di +1, il quale indica una correlazione perfetta delle due variabili, a -1 che invece indica una perfetta correlazione inversa. Un valore pari a 0 indica che non c'è correlazione alcuna.

Ora se immaginiamo che la variabile x sia sostituita con z_t e che la y sia sostituita da z_{t+h} , dove z è una variabile regionalizzata osservata sia al sito t che in un altro sito $t+h$, e h sia una distanza di separazione chiamata “lag”, cambiando la distanza di separazione “lag”, si possono generare una serie di diagrammi variabili, i quali mostrano come la variabile z è correlata con se stessa in funzione della distanza “lag”. La funzione di “lag” viene definita come diagramma di autocovarianza e il momento di inerzia della funzione di “lag” è definito Variogramma. La sua espressione completa è data dalla relazione:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\}$$

che è quella di una funzione aleatoria intrinseca.

Le due funzioni stimate dai valori dei campioni, mostrano l'autocorrelazione presente nei dati stessi. La distribuzione casuale dei punti su un diagramma viene definito variogramma sperimentale, il quale deve essere distinto dal variogramma modello. I più comuni variogramma modello sono quelli lineari, sferici, esponenziali e gaussiani. Il variogramma sperimentale calcolato sui dati a disposizione sintetizza la struttura spaziale della variabile regionalizzata e quindi, in base alla precedenti ipotesi, del processo stocastico.

La metodologia del kriging è estremamente interessante poiché non solo ci consente di stimare il valore assunto dal parametro studiato, ma anche di verificare la precisione (varianza di stima) in siti dove non si sono effettuate misure sperimentali.

4. DATI UTILIZZATI

Ai fini di questo studio sono stati utilizzati i dati della Banca Dati Agrometeorologica Nazionale del CMA - Unita' di Ricerca per la Climatologia e la Meteorologia Applicate all'agricoltura (ex Ufficio Centrale di Ecologia Agraria, UCEA) riguardanti le precipitazioni, le temperature e la radiazione solare relativi all'anno 2005.

La Rete Agrometeorologica Nazionale è costituita da stazioni elettroniche che acquisiscono i dati automaticamente e li trasferiscono per via telematica alla Banca Dati Agrometeorologica Nazionale².

I dati di pioggia, temperatura e radiazione solare si basano sui rilevamenti delle stazioni dell'Aeronautica Militare e delle stazioni della Rete Agrometeorologica Nazionale, le quali sono sufficientemente distribuite su tutto il territorio nazionale (Figura 2):

- 88 stazioni per la rilevazione delle piogge;
- 88 stazioni per la rilevazione delle temperature;
- 43 stazioni per la rilevazione della radiazione solare.

L'analisi che è stata fatta ha permesso di stimare i valori delle precipitazioni mensili, delle temperature medie mensili e della radiazione solare media mensile, tenendo conto delle coordinate (latitudine, longitudine) delle stazioni.

Quest'ultimo aspetto è di fondamentale importanza in quanto il trasferimento sul GIS di tutti i dati raccolti può avvenire solo creando un database di informazioni per ogni stazione, nel quale verranno inserite anche le coordinate. Questo permette di poter simbolicamente visualizzare e localizzare la posizione delle stazioni meteo su un grid rappresentante l'Italia.

² http://www.politicheagricole.it/ucea/Osservatorio/miekfyi01_index_ran.htm

Stazioni meteo UCEA

- Piogge 2005



- Radiazione solare 2005



- Temp media 2005



Figura 2: Distribuzione delle stazioni di misura delle grandezze idrologiche utilizzate

5. STRUMENTI GIS UTILIZZATI

Il **GIS** (*Geographic Information Systems*) è considerato da molti come uno degli strumenti più potenti tra tutte le tecnologie dell'informazione, perché permette di integrare la conoscenza da sorgenti multiple e di creare una sintesi spaziale di informazioni visiva e quantitativa.

Inoltre i GIS sono strumenti che uniscono a un potente ambiente di visualizzazione la struttura analitica e di modellazione che ha le proprie radici nelle scienze della geografia³.

5.1 *Utilizzo degli ArcToolbox per l'interpolazione dei dati idrologici*

Le mappe di precipitazione e di temperatura e radiazione solare sono state generate in ambiente ArcGIS utilizzando il programma kriging implementato nell'**ArcToolbox Spatial Analyst** (Figura 3).

All'interno della colonna degli ArcToolbox sono presenti una varietà di strumenti che permettono di lavorare sul geoprocessing, la conversione dei dati, la gestione e la proiezione di mappe, la progettazione, la simulazione e l'analisi di modelli matematici con i quali si è in grado di organizzare complessi flussi di lavoro in maniera semplice e veloce.

Considerato l'elevato numero di mappe da produrre (12 per ciascuna grandezza idrologica) è stato messo a punto una semplice procedura automatica (Macro) che utilizzasse automaticamente il citato toolbox, a partire dai dati puntuali, mediante il cosiddetto "geoprocessor"

Ciò sarebbe stato possibile anche attraverso lo strumento implementato nell'ambiente ArcGIS del Model Builder, uno strumento grafico per la costruzione di procedure automatiche (Figura 4).

³ <http://www.esriitalia.it>

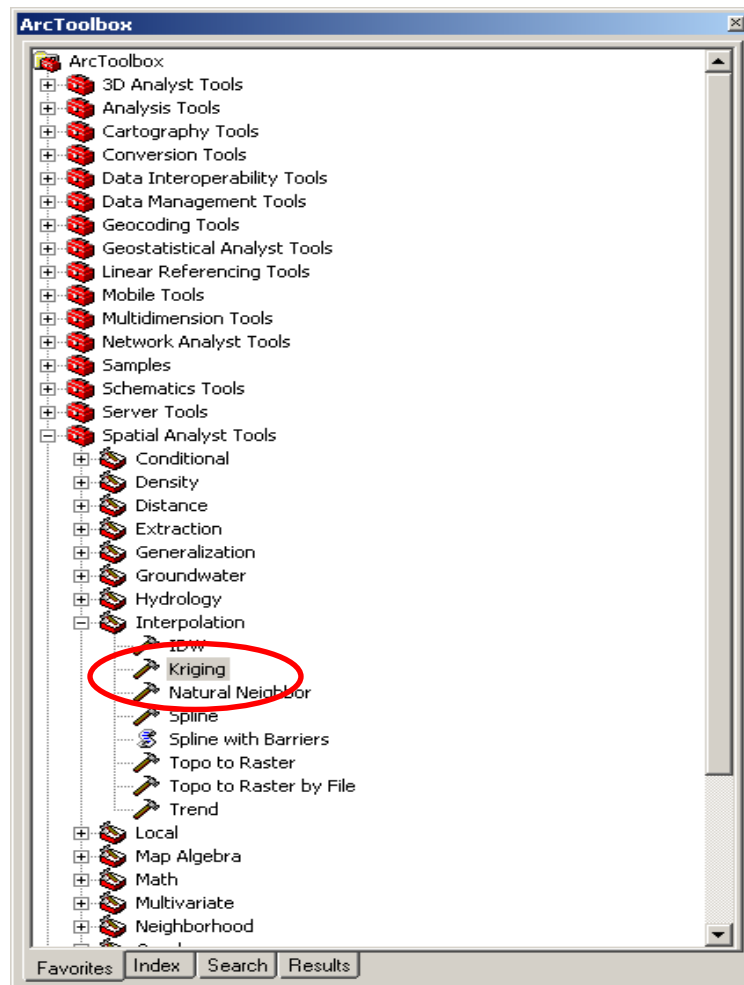


Figura 3 ArcToolbox utilizzato per l'interpolazione spaziale dei dati idrologici

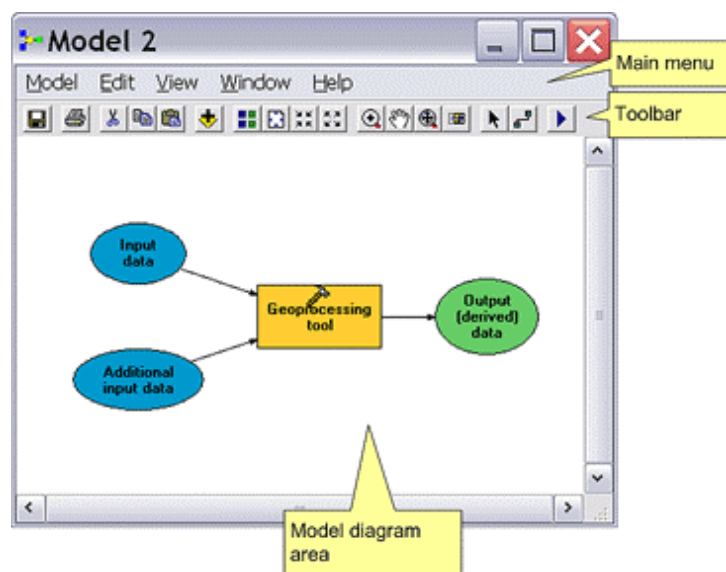


Figura 4 Esempio di Model Builder

6. ANALISI SPAZIALE DELLE GRANDEZZE IDROLOGICHE

L'applicazione del metodo di interpolazione del kriging, descritto al paragrafo precedente, ha permesso di elaborare le seguenti mappe delle grandezze idrologiche:

1. Mappe di precipitazione media mensile (Figura 5, Figura 6)
2. Mappe di temperatura media mensile (Figura 7, Figura 8)
3. Mappe della radiazione media mensile (Figura 9, Figura 10)

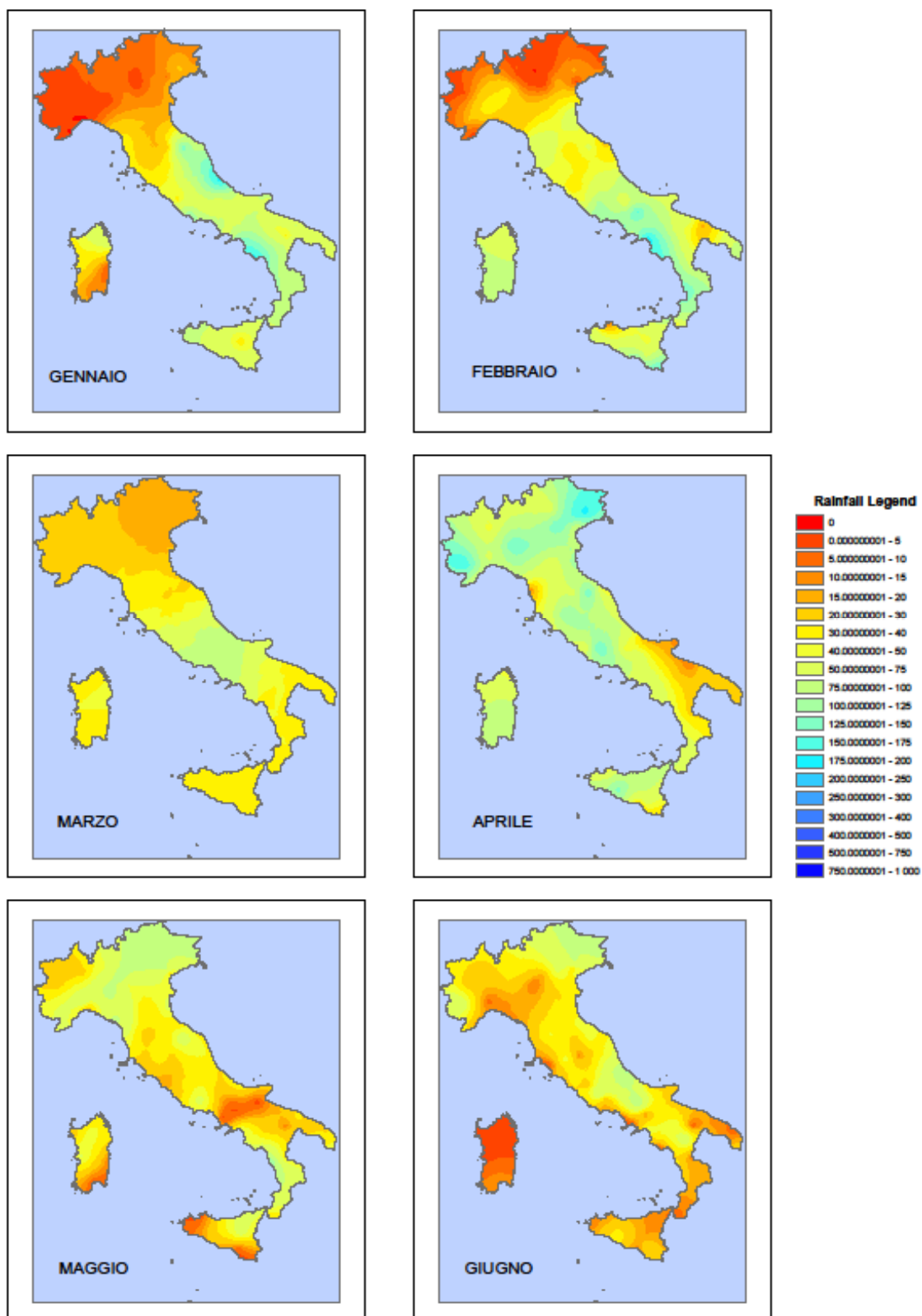


Figura 5 Mappe piogge (mm) primo semestre 2005

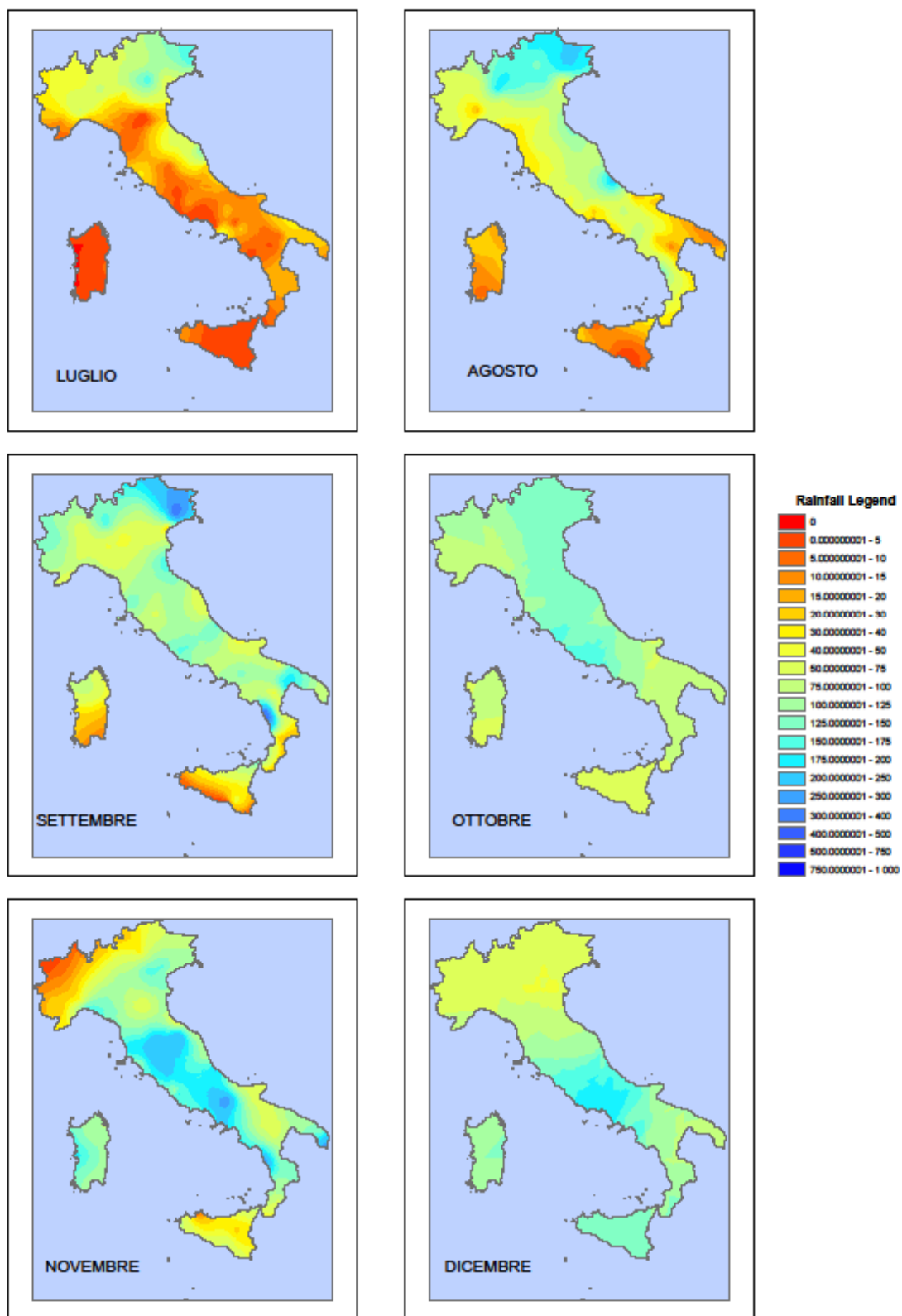


Figura 6 Mappe piogge (mm) secondo semestre 2005

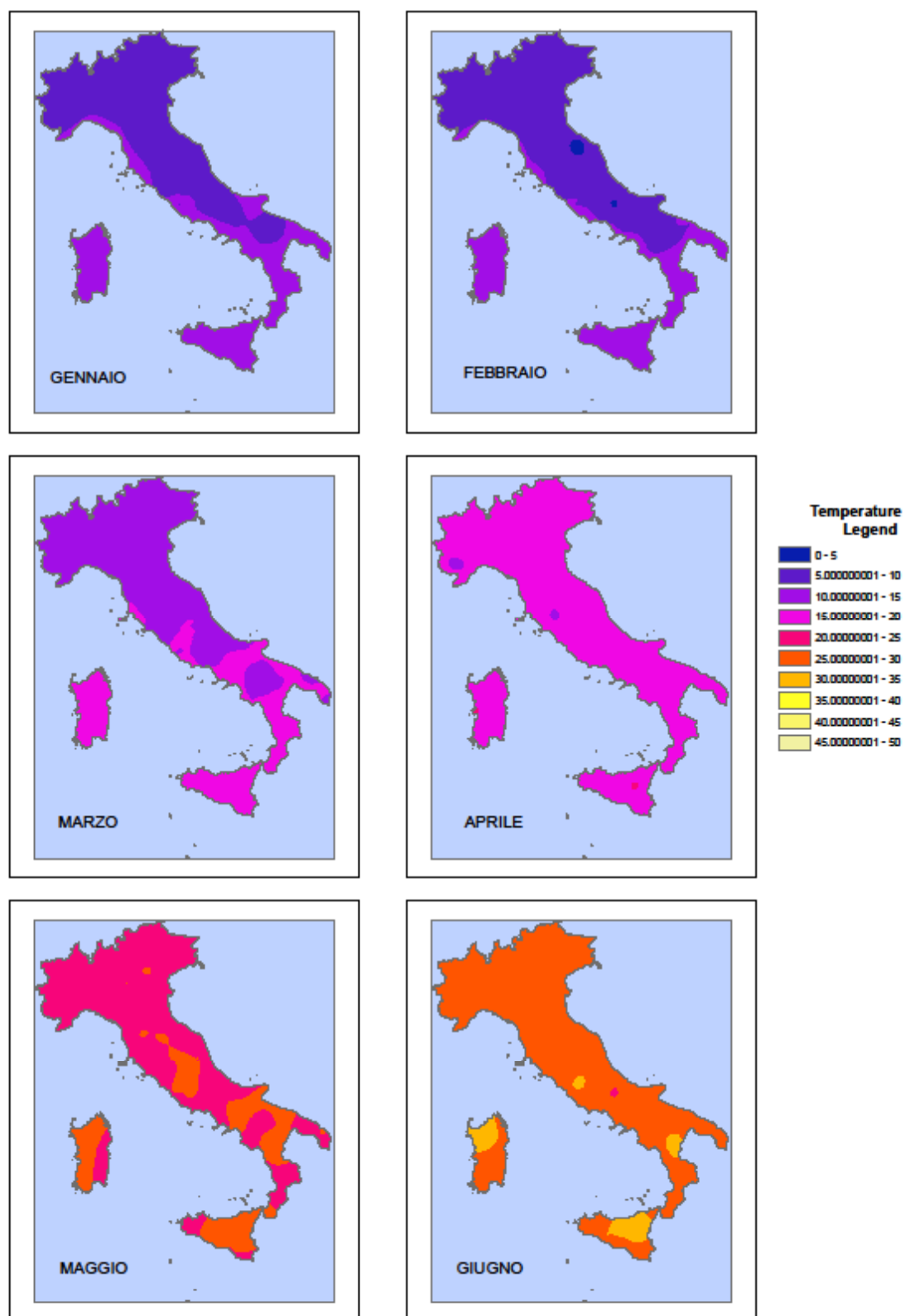


Figura 7 Mappe temperature medie mensili (°C) primo semestre 2005

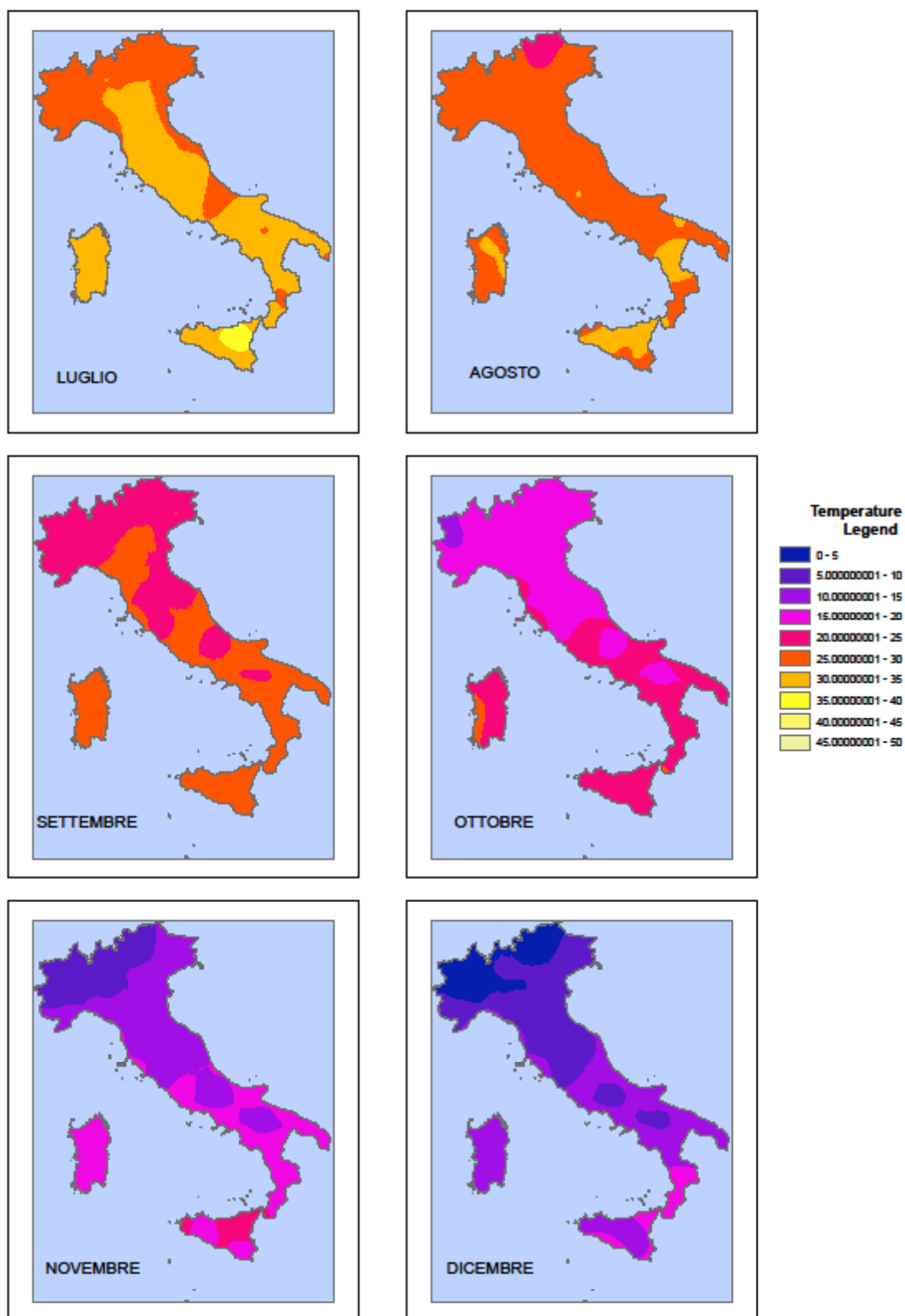


Figura 8 Mappe temperature medie mensili (°C) secondo semestre 2005

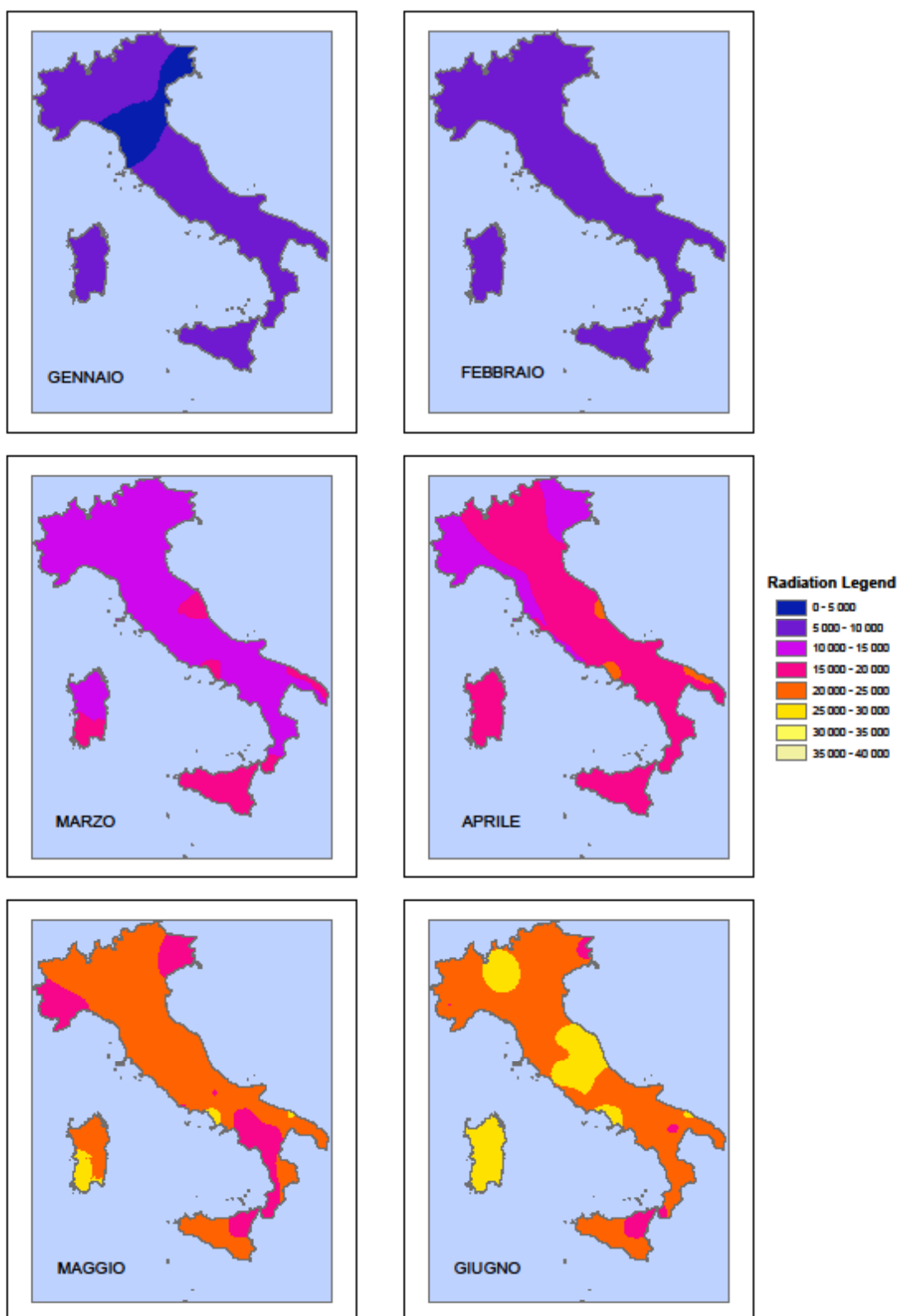


Figura 9 Mappe radiazione solare (kJ/m²) primo semestre 2005

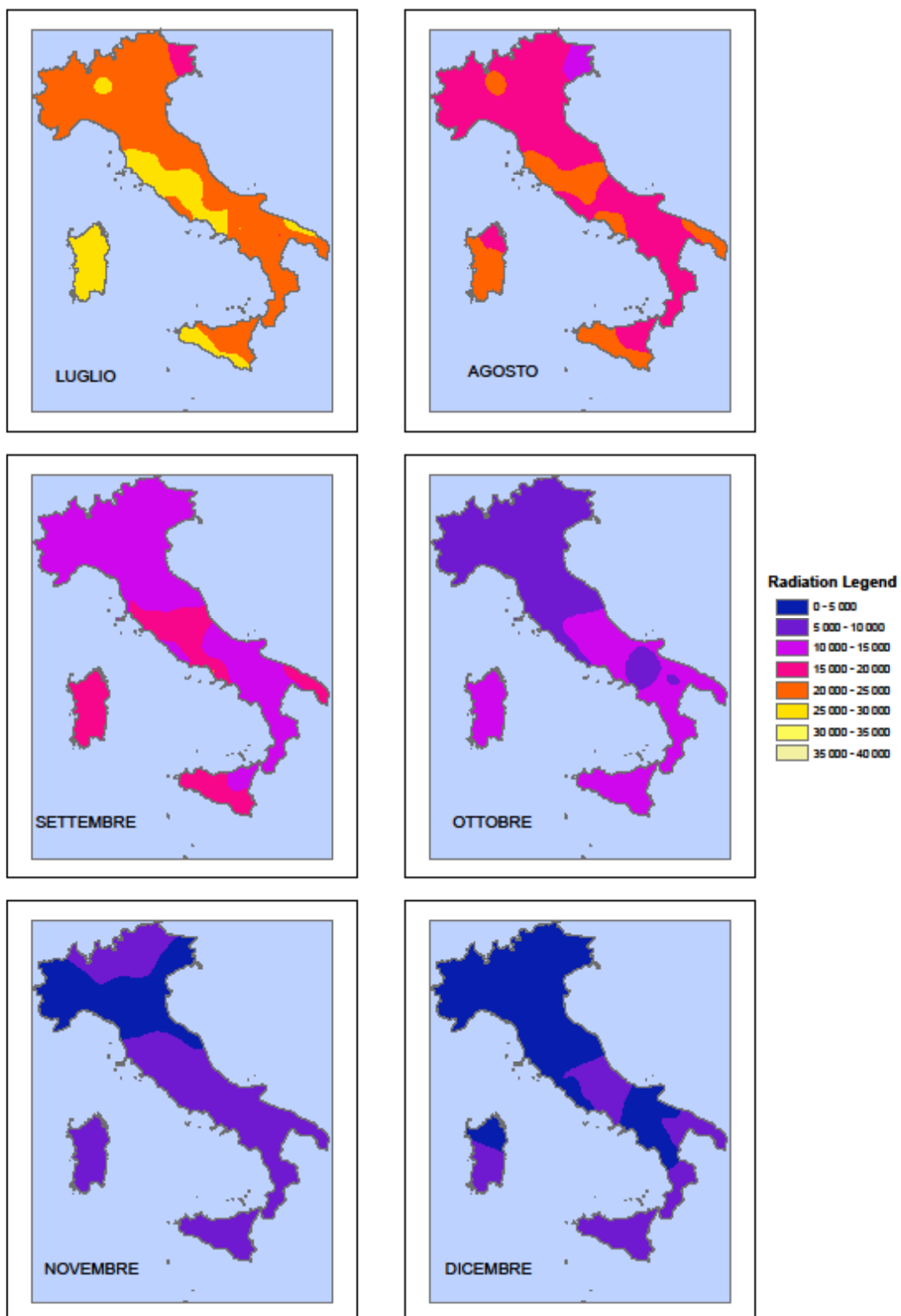


Figura 10 Mappe radiazione solare (kJ/m²) secondo semestre 2005

7. VALUTAZIONE DELL'EVAPOTRASPIRAZIONE POTENZIALE

Il passo successivo nella definizione del bilancio idrologico è stato quello della valutazione dell'evapotraspirazione potenziale

Per la valutazione dell'evapotraspirazione potenziale è stata presa in considerazione sia la formula di Thornthwaite⁴ sia quella di Turc.

Secondo Thornthwaite l'evapotraspirazione potenziale mensile è esprimibile dalla formula (l'evapotraspirazione potenziale sarà indicata di qui in avanti con il simbolo PET Potential EvapoTranspiration):

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

dove:

- ✓ PET , evapotraspirazione potenziale media mensile in mm*mese⁻¹;
- ✓ $K = \frac{N}{12} \cdot \frac{d}{30}$, coefficiente di irraggiamento del mese dove N è il numero max di ore di sole al giorno in funzione della latitudine; d è il giorni del mese.;
- ✓ \bar{T} , temperatura media giornaliera del mese in °C;
- ✓ $I = \sum i = \sum \left(\frac{\bar{T}}{5} \right)^{1,514}$, indice di calore annuo; somma degli indici di calore mensile i ;
- ✓ $a = 675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3 - 771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 + 1972 \cdot 10^{-5} \cdot I + 0,49239$

Secondo Turc invece l'evapotraspirazione potenziale è fatta dipendere oltre che dalla temperatura anche dalla radiazione solare seconda la formula:

⁴ Si basa sulla relazione esponenziale esistente tra l'evapotraspirazione potenziale e la temperatura media mensile dell'aria.

$$ETP=0,0013 g \cdot \left(\frac{t}{(t+15)} \right) \cdot (IG+50)$$

dove:

- ✓ g = numero giorni periodo considerato;
- ✓ t = temperatura media dell'aria, espressa in °C;
- ✓ IG = valore medio giornaliero della radiazione solare globale, espresso in cal/cm².

Il calcolo delle formule precedenti è stato effettuato per ciascun elemento del GRID attraverso l'implementazione di una procedura automatica.

8. VALUTAZIONE DELL'EVAPOTRASPIRAZIONE REALE

Per la valutazione dell'evapotraspirazione reale o effettiva, indicata con il simbolo AET (Actual EvapoTraspiration), è stato utilizzato il modello idrologico del NIWA (National Institute of Water & Atmospheric research – New Zeland) e riportato in Kandel et al. (2005).

8.1 *Modello di bilancio idrologico del suolo*

Lo schema concettuale del modello idrologico del NIWA (**Figura 11**) risulta essere tra i più semplici da usare in quanto presenta, per la caratterizzazione idraulica del suolo, il solo parametro della capacità di campo indicata nella letteratura anglosassone come *Soil Store Capacity*. Tale parametro sarà indicato nel seguito con S_{\max} .

Le precipitazioni che filtrano nel terreno vanno a compensare le perdite dovute all'evapotraspirazione. Oltre a ciò, questo modello registra periodicamente l'immagazzinamento della piogge nel terreno. Quando il sottosuolo è “pieno d'acqua” si va incontro a saturazione a cui ne consegue una perdita per ruscellamento superficiale, quest'ultimo dovuto dal quantitativo d'acqua che precipita al suolo e che non viene immagazzinata nel terreno. Secondo il modello NIWA si avrà un evapotraspirazione di tipo potenziale fino al livello medio della capacità di campo. Da qui si avrà una diminuzione lineare dell'evapotraspirazione fino a quando la riserva idrica nel terreno tenderà a zero.

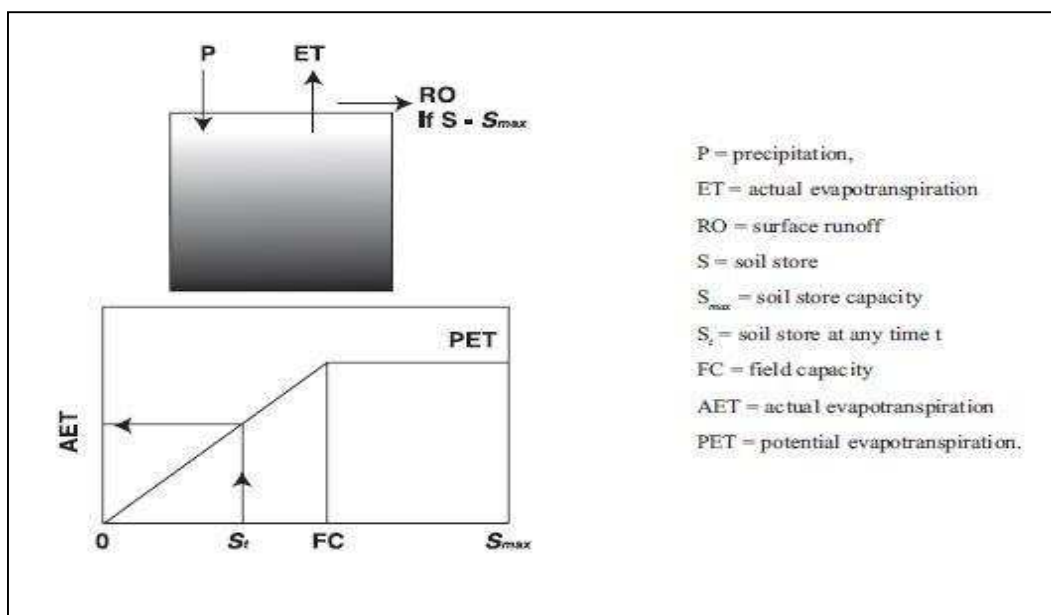


Figura 11. Schema del modello NIWA (da Kandel et al. 2005)

8.2 L'evapotraspirazione reale

In questo caso studio, l'applicazione del modello idrologico del NIWA ha permesso di ottenere per ogni mese dell'anno 2005 i valori dell'evapotraspirazione reale come aliquota dell'evapotraspirazione potenziale in funzione del contenuto d'acqua nel terreno disponibile accumulato nel mese precedente. I dati in possesso sono stati in seguito elaborati con i diversi strumenti GIS, creando così delle rappresentazioni grafiche inerenti alle variazioni dell'evapotraspirazione che, mese per mese, sono state registrate nell'arco di tutto l'anno.

Come si può vedere dalle figure in Appendice 2, che rappresentano l'evapotraspirazione reale, è facile notare il graduale aumento dei valori dell'AET (*Actual EvapoTraspiration*) tra gennaio e maggio dove i valori sono compresi tra 0 e 150 mm. Questi mesi risultano anche tra i più piovosi e con temperature non elevate, fattori questi che influenzano molto i valori dell'evapotraspirazione reale AET.

Da giugno ad agosto, mesi estivi e soprattutto i mesi più caldi, si verificano bassi valori di AET rispetto ai mesi precedenti. Questo si verifica in quanto le precipitazioni nei

⁵ http://www.politicheagricole.it/ucea/Osservatorio/miekfyi01_index_ran.htm

⁶ Si basa sulla relazione esponenziale esistente tra l'evapotraspirazione potenziale e la temperatura media mensile dell'aria.

mesi estivi sono meno frequenti e di minore entità, determinando così un minor quantitativo d'acqua presente nel sottosuolo e, di conseguenza, valori di AET che tendono allo zero nella maggior parte dell'Italia.

Soltanto nel mese di luglio si sono verificati aumenti significativi dell'AET con picchi intorno ai 300 mm in alcune parti del centro e del sud Italia.

Da settembre a dicembre, complice la graduale diminuzione delle temperature e l'aumento delle piogge, si verifica la tendenza a ritornare a livelli di AET medio – basse.

Nello studio effettuato si è voluto anche mettere a confronto l'evapotraspirazione potenziale PET (*Potential EvapoTraspiration*) con l'evapotraspirazione reale AET. Mettendo a confronto le rappresentazioni grafiche dell'AET e della PET (*figure in Appendice 1 e Appendice 2*) è subito visibile come i valori dell'AET siano pressoché gli stessi della PET nei mesi tra gennaio e maggio.

Da giugno a settembre i valori potenziali risultano essere nettamente superiori a quelli che poi si sono verificati nella realtà, mentre a ottobre i valori della PET si differenziano dai valori dell'AET solo in parte, specialmente al sud e sulle isole maggiori. A novembre e dicembre si ha un ritorno dei valori di PET e AET tendenzialmente uguali.

In *Appendice 3* è riportata la mappa del valore del Deficit Idrico Mensile definito come la differenza tra l'Evapotraspirazione Potenziale (PET) e quella effettiva (AET).

E' stato infine calcolato, ma non viene riportato, anche il Surplus Idrico e cioè il termine $R+I$ del secondo membro della eq. 1 che rappresenta la somma di tutti quei volumi che direttamente e/o indirettamente confluiscono nel deflusso superficiale e sotterraneo in uscita dal bacino.

9. BILANCIO IDROLOGICO PER BACINO

Il passo finale è stato quello di valutare i valori delle grandezze idrologiche ragguagliati a ciascun bacino della seguente Carta dei bacini. In *Appendice 4* è riportata a titolo di esempio, la valutazione dell'evapotraspirazione reale media mensile sui bacini della stessa carta.

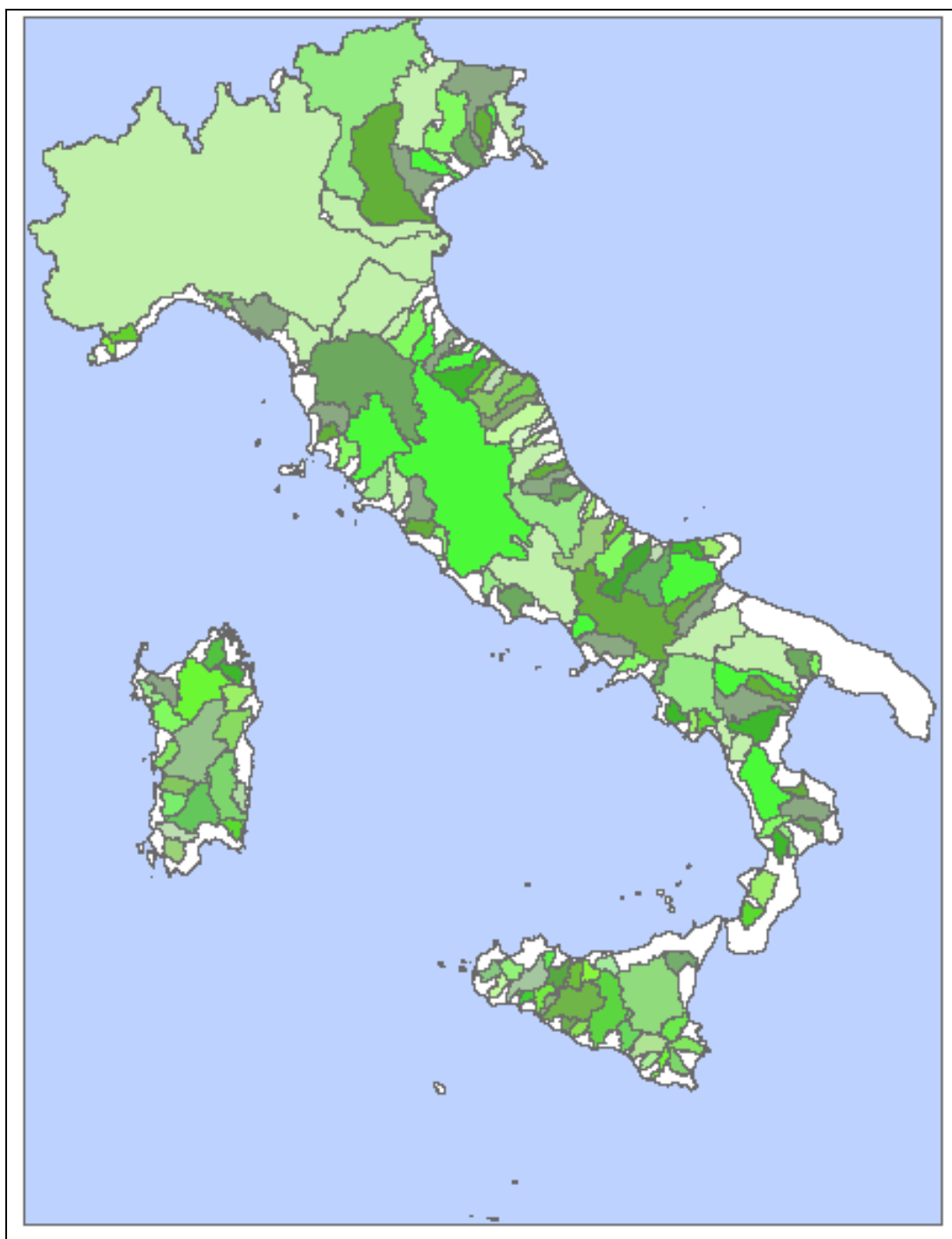


Figura 15 Bacini idrografici sui quali è stato effettuato il bilancio idrologico.

10.CONCLUSIONI

Questo studio ha permesso di approfondire le tematiche inerenti alla valutazione di un bacino idrologico associate all'utilizzo del GIS.

Soprattutto è stato possibile studiare, su grande scala, il comportamento idrologico nel territorio italiano, focalizzando il lavoro su un anno specifico, ottenendo così uno strumento di base utile sia per le future applicazioni di questo metodo di studio sia per la creazione di serie storiche.

In futuro, l'incremento di nuovi dati e l'aggiornamento di quelli già in possesso, andranno a delineare con più precisione l'andamento idrologico dell'Italia, che, a sua volta, sarà utile come strumento da affiancare agli studi sui fenomeni alluvionali che si verificano sempre più di frequente nel territorio italiano, causando ingenti danni.

11.BIBLIOGRAFIA

European soils Bureau Network (2005) “Soil Atlas of Europe”.

Gregory J., McCabe and Steven L. Markstrom (2007) “A monthly Water-Balance model driven by a graphic user interface”.

Kandel D., Chiew F. and Grayson R. (2005) “A tool for mapping and forecasting soil moisture deficit over Australia”.

Montroni A., Canu S., Bianco G., Loj G. - S.A.R. (Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna) “Carte delle aree sensibili alla desertificazione”.

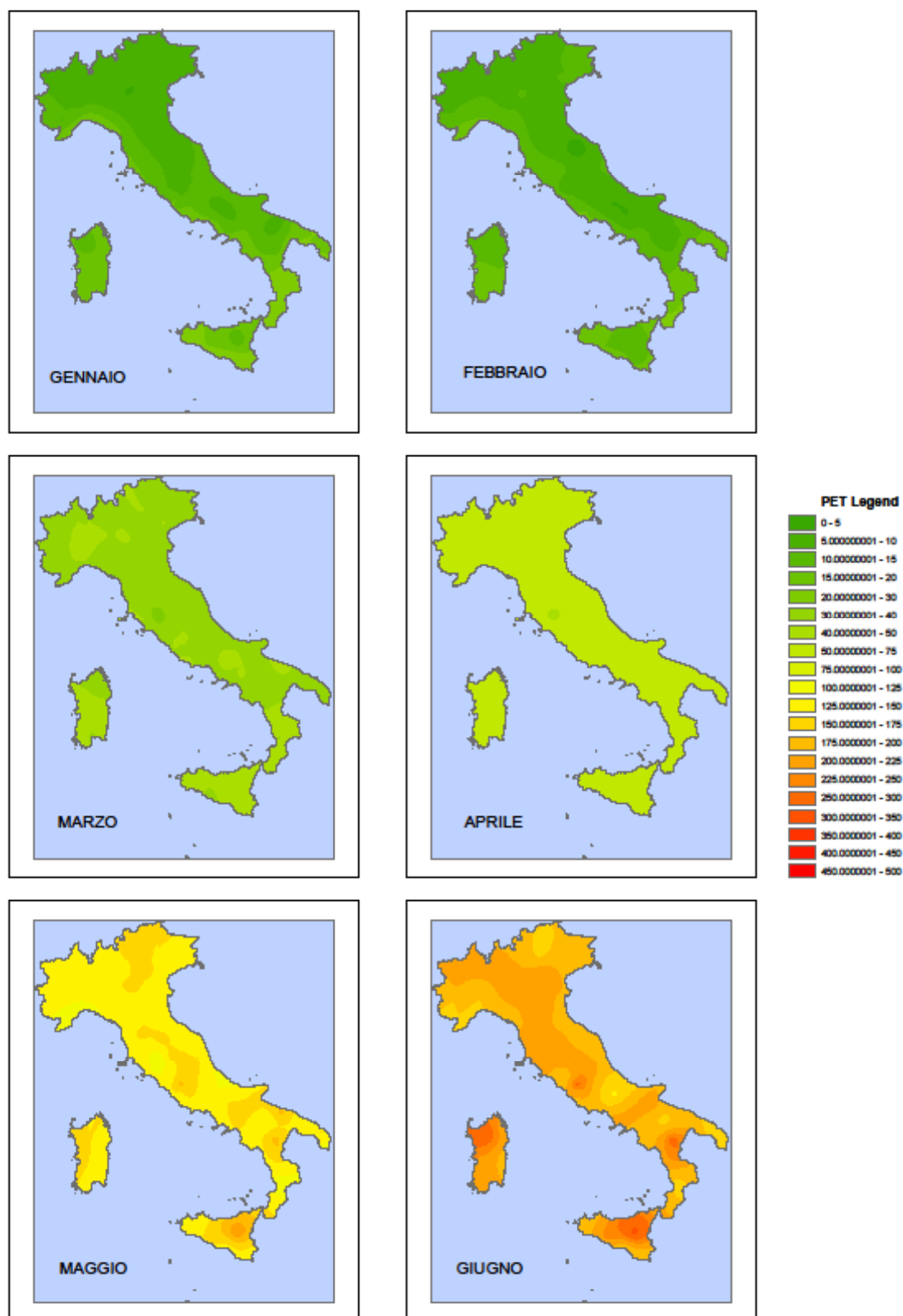
Petrarca S., Cogliani E., Spinelli F. – ENEA (1999) “Radiazione solare globale al suolo in Italia”.

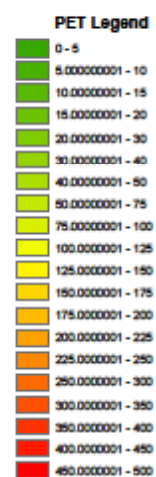
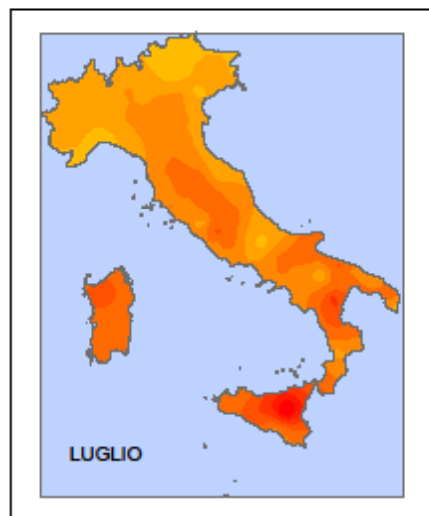
Rodriguez-Iturbe I., Porporato A., Ridolfi L., Isham V. and Cox D.R. (1999) “Probabilistic modelling of water balance at a point: the role of climate, soil and vegetation”.

Ventura F. – DiSTA (2005) “Metodi di stima e di misura della evapotraspirazione”.

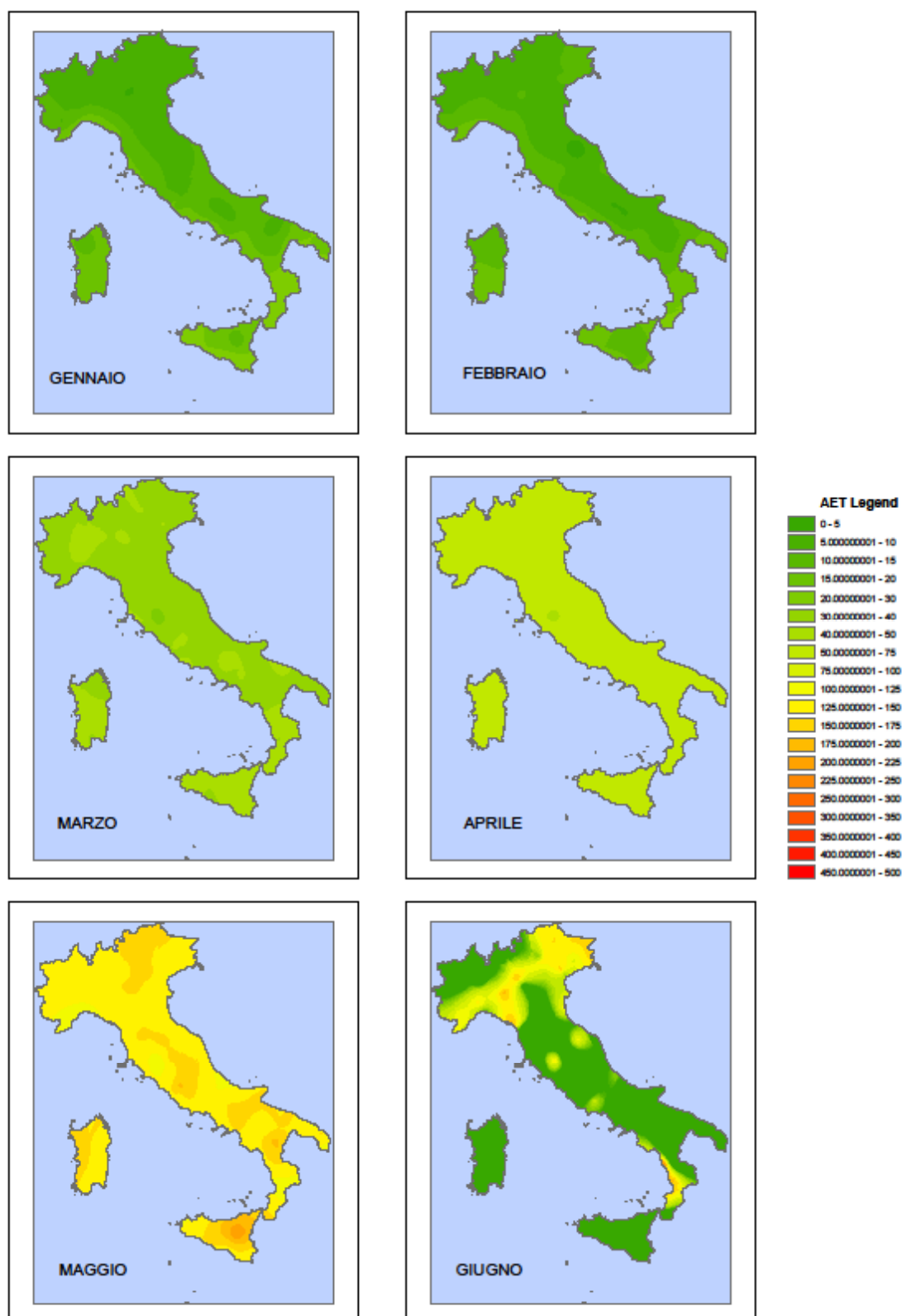
Wheater H.S. and Sherratt D.J. (1983) “Field validation of soil moisture model for water balance estimation”.

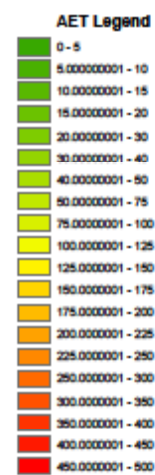
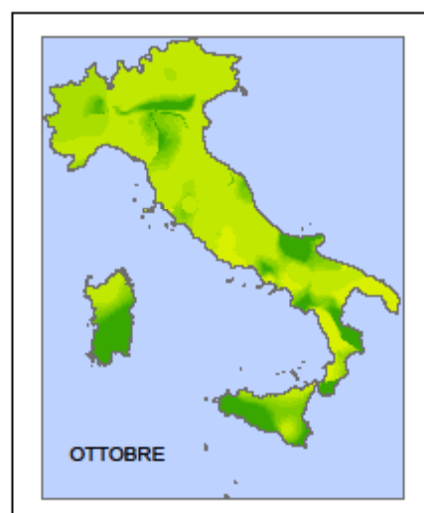
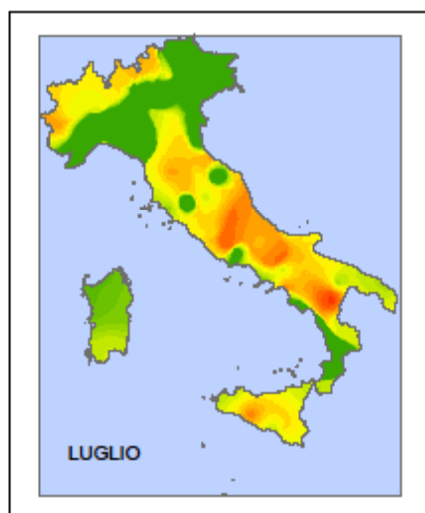
12.APPENDICE 1: MAPPE DI EVAPOTRASPIRAZIONE POTENZIALE MENSILE (PET)



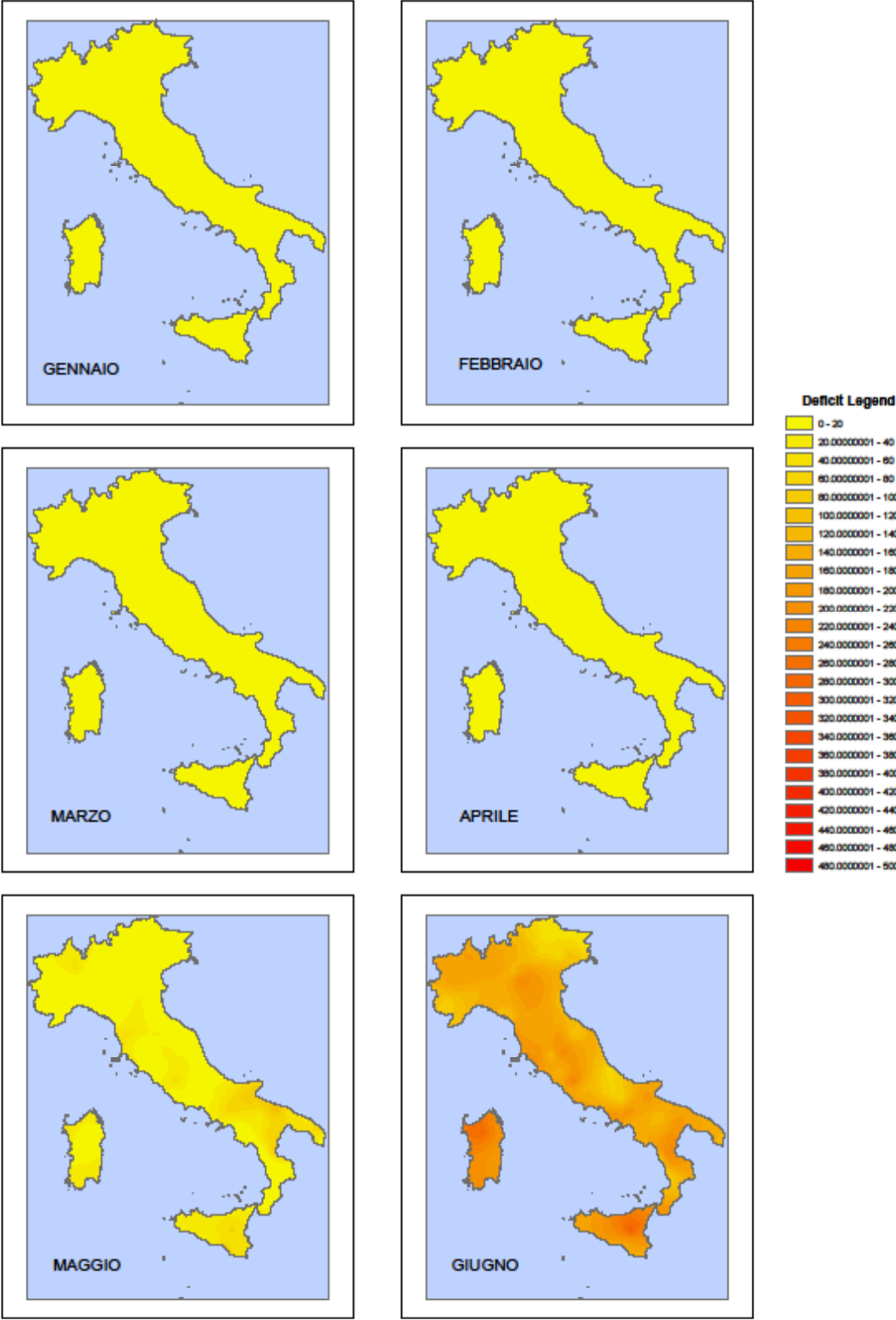


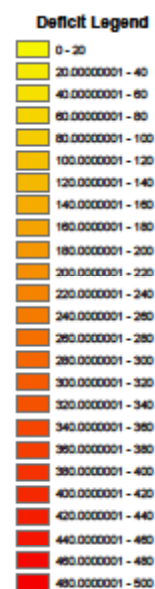
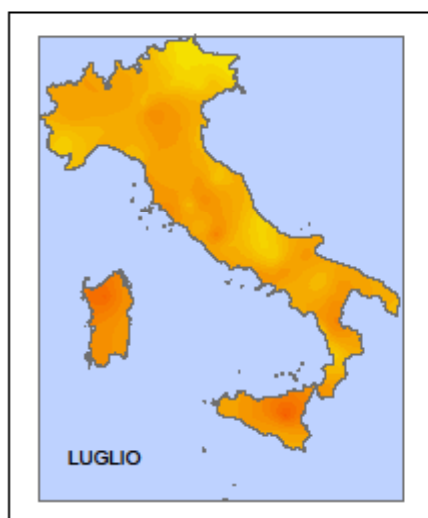
13.APPENDICE 2: MAPPE DI EVAPOTRASPIRAZIONE REALE MENSILE (AET)





14.APPENDICE 3: MAPPE DI DEFICIT IDRICO MENSILE





15.APPENDICE 4: TABELLA DELL'EVAPOTRASPIRAZIONE REALE MENSILE PER L'ANNO 2005 E PER SINGOLO BACINO

Di seguito si riporta la tabella nella quale sono calcolati con il modello NIWA i valori della evapotraspirazione media mensile per l'anno 2005 e per ciascun bacino della carta dei bacini idrografici.

NOME_BACINO	AREA	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	[km ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
ACATE	745,0	23,0	12,1	41,9	58,2	156,9	0,0	136,2	0,0	9,5	56,7	39,0	20,0
ADIGE	12053,0	8,1	8,9	39,0	63,1	152,2	98,5	35,7	119,1	105,5	48,2	17,0	3,3
AGRI	1685,0	13,1	9,8	34,5	55,6	162,2	0,0	292,4	0,0	79,1	39,3	34,5	16,5
ALBEGNA	748,0	14,3	13,0	34,0	55,8	127,2	6,3	81,9	5,8	104,6	33,3	29,6	14,1
ALCANTARA	561,0	16,6	15,2	44,8	63,2	186,3	0,0	95,1	0,0	79,3	41,7	49,2	19,9
ALENTO	421,0	17,6	12,9	37,1	61,6	137,3	43,5	8,5	19,4	132,5	6,9	41,0	20,4
AMATO	448,0	22,9	18,5	40,2	58,8	116,7	151,5	0,0	64,8	12,1	49,6	51,6	34,3
ANAPO	457,0	22,1	15,2	43,2	57,9	151,4	0,0	126,5	0,0	24,4	12,6	52,8	23,6
ARENA	310,0	22,4	17,4	43,1	55,3	129,7	0,0	90,5	0,0	65,4	0,0	55,8	25,6
ARGENTINA	209,0	17,4	17,1	35,5	54,7	118,7	106,6	0,0	28,6	65,7	46,9	30,0	14,3
ARNO	8507,0	9,6	8,7	35,9	64,3	147,7	0,9	170,6	0,3	115,0	56,3	23,0	8,4
ARRONE	310,0	12,7	10,6	38,0	64,3	145,0	0,0	149,2	0,0	129,4	67,3	30,9	12,6
ASO	280,0	11,3	9,3	36,9	66,9	147,3	0,0	222,6	0,0	131,9	41,8	28,9	14,2
ATERNO-PESCARA	3181,0	11,2	7,6	35,8	60,5	137,5	3,3	226,7	0,0	123,0	70,5	30,8	15,7
BACINO SCOLANTE LAGUNA VENETA	1467,0	8,4	9,7	37,2	64,1	137,7	105,9	0,6	155,6	63,5	48,6	20,4	7,4
BARCA	357,0	14,9	12,6	41,0	68,5	152,6	0,0	12,6	0,0	72,4	63,3	30,6	14,7
BASENTO	1524,0	12,3	9,1	34,9	55,5	148,1	0,0	217,8	0,0	70,2	69,1	31,5	15,7
BELICE	956,0	20,9	16,9	42,6	55,3	138,6	0,0	127,7	0,0	43,6	3,4	53,3	23,1
BIFERNO	1320,0	10,3	6,3	40,4	65,1	138,3	0,0	223,1	0,0	119,8	26,7	31,7	15,8
BIRGI	331,0	22,4	17,6	43,9	56,1	126,3	0,0	67,3	0,0	70,5	0,0	57,1	25,6
BRADANO	3024,0	10,7	8,5	36,6	56,0	145,3	0,0	138,5	0,0	83,8	67,0	29,7	15,4
BRENTA	6133,0	7,7	8,7	37,1	65,7	147,8	91,3	5,5	159,4	92,3	40,3	18,5	5,7
BRUNA	566,0	14,8	13,0	39,1	61,4	143,2	0,0	69,6	0,1	97,4	66,4	30,7	13,2
BUSSENTO	351,0	16,1	11,6	36,8	58,4	141,0	16,0	93,0	3,0	144,4	16,1	38,0	18,6
CANALE BIANCO	2865,0	6,2	8,4	36,6	67,0	144,1	31,0	42,3	112,9	77,7	32,1	18,5	6,4
CANDELARO	2267,0	13,3	8,3	38,3	64,2	151,9	0,0	173,3	0,0	110,6	2,8	33,6	16,3
CARAPELLE	983,0	12,8	8,2	38,8	61,9	153,7	0,0	166,0	0,0	122,9	34,3	30,2	13,2
CARBOJ	208,0	21,4	16,7	41,7	54,1	139,7	0,0	145,3	0,0	51,6	0,0	52,5	25,0
CAVONE	660,0	12,7	9,8	34,4	56,4	160,8	0,0	264,2	0,0	58,6	75,0	33,2	17,2
CECINA	903,0	14,1	12,4	38,9	64,4	146,2	0,0	114,3	0,0	86,6	66,0	26,5	10,8
CEDRINO	1084,0	17,4	13,8	40,5	60,9	142,0	0,0	22,3	0,0	63,1	5,6	39,2	18,1
CENTA	434,0	17,5	17,5	35,8	54,8	117,4	102,5	0,0	37,7	50,2	53,8	30,2	14,5
CERVARO	766,0	12,8	8,0	39,1	63,7	156,3	0,0	172,5	0,0	127,8	24,1	30,9	13,5
CESANO	411,0	8,1	4,1	31,2	59,9	131,3	76,0	8,9	140,2	36,9	53,8	22,0	10,1
CHIENTI	1315,0	9,9	7,9	35,3	65,5	144,8	0,3	181,9	0,0	127,9	44,7	26,9	12,7
CIXERRI	574,0	19,2	15,6	41,1	63,0	148,3	0,0	63,9	0,0	31,6	0,0	48,4	21,7
COGHINAS	2482,0	14,5	11,5	38,9	65,2	150,5	0,0	16,8	0,0	70,5	59,0	36,8	14,6
CONCA	164,0	7,6	6,1	31,6	60,5	135,2	4,5	180,5	0,0	115,9	59,1	23,0	9,3
CORACE	297,0	22,9	18,4	40,6	59,5	118,5	115,8	0,0	67,0	2,7	58,3	50,6	33,3
CORMOR	228,0	9,3	10,7	35,0	65,4	141,7	140,8	0,0	154,4	117,8	60,6	23,2	8,0
CORNIA	356,0	15,1	13,2	39,6	64,1	146,0	0,0	84,9	0,0	83,9	69,2	28,8	11,9
CRATI	2475,0	20,4	15,4	42,8	63,1	145,1	48,9	68,1	35,0	133,7	74,2	43,2	24,5
DELLE ACQUE ALTE	459,0	16,6	13,8	39,6	57,5	143,5	1,1	187,4	0,0	133,4	79,4	36,9	16,1
DURCI	377,0	19,6	15,5	41,6	57,6	136,1	0,0	42,1	0,0	54,4	0,0	42,0	21,2
E POSADA	695,0	16,9	13,1	37,9	61,8	145,2	0,0	21,5	0,0	58,3	27,1	39,9	17,8

NOME_BACINO	AREA	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	[km ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
ELEUTERIO	203,0	19,8	16,8	43,2	57,0	142,4	0,0	118,8	0,0	32,4	30,3	53,5	11,5
ENTELLA	369,0	17,6	14,0	34,6	59,3	124,5	78,4	0,0	75,0	2,5	67,2	27,8	13,9
ESINO	1230,0	8,6	5,6	32,6	62,2	136,5	39,3	52,6	87,4	59,2	53,6	23,4	11,2
FIORA	824,0	13,0	12,2	30,7	53,4	119,9	25,1	68,1	19,7	82,3	45,4	26,4	13,2
FIUMI UNITI	1240,0	6,8	6,7	34,4	64,2	141,4	7,5	149,5	5,5	122,1	60,8	22,5	7,3
FLUMENDOSA	1862,0	19,1	15,3	41,9	59,7	139,8	0,0	39,0	0,0	52,1	0,0	42,3	20,6
FOGLIA	705,0	7,4	5,3	31,9	60,5	136,0	19,6	124,8	6,3	113,2	58,3	22,6	9,0
FORO	239,0	12,8	8,3	34,2	61,6	122,3	23,0	209,7	0,0	119,2	71,2	33,5	20,6
FORTORE	1622,0	11,4	7,0	39,9	66,5	146,5	0,0	225,4	0,0	124,0	8,8	32,5	15,6
GARIGLIANO	5036,0	12,6	8,8	36,5	59,3	140,6	10,0	161,6	0,9	111,6	66,2	31,0	13,2
GELA	573,0	21,8	13,4	41,6	61,4	160,8	0,0	110,4	0,0	9,5	34,2	51,3	22,0
IMERA MERIDIONALE	2027,0	18,7	14,0	41,8	60,5	171,9	0,0	144,4	0,0	27,4	12,8	55,3	20,4
IMERA SETTENTRIONALE	345,0	17,4	14,4	42,4	58,4	169,1	0,0	161,3	0,0	42,4	24,0	53,3	15,2
IPPARI	259,0	24,8	13,6	41,5	57,6	144,0	0,0	120,3	0,0	8,1	42,0	46,5	23,4
IRMINIO	254,0	24,1	14,3	42,0	57,2	143,8	0,0	125,0	0,0	13,2	30,5	50,4	23,7
ISONZO	1079,0	9,4	10,3	33,5	63,9	139,6	156,0	0,0	153,2	116,0	60,3	24,0	8,2
LAGO DI LESINA	490,0	14,5	9,6	36,9	65,9	142,3	0,0	148,7	0,0	87,9	0,0	36,0	19,4
LAGO DI VARANO	404,0	14,3	9,9	37,4	65,3	147,8	0,0	146,1	0,0	89,4	5,0	36,2	19,1
LAMONE	526,0	6,7	6,7	35,6	65,2	143,2	1,7	164,7	0,6	123,5	60,2	22,1	6,8
LAO	602,0	17,2	12,7	39,3	60,2	154,4	22,6	142,2	13,8	162,4	82,3	39,3	20,0
LATO	639,0	15,0	12,1	38,0	63,2	149,7	0,0	74,0	0,0	64,0	74,6	34,7	20,1
LEMENE	886,0	9,0	11,0	36,3	66,2	138,8	104,2	0,0	158,9	123,2	61,7	23,0	8,8
LENNE	239,0	17,7	13,7	37,9	65,6	145,6	0,0	84,4	0,0	57,3	77,8	37,5	21,2
LENTINI	562,0	19,6	13,0	43,6	59,6	171,3	0,0	139,5	0,0	25,8	30,6	50,9	15,9
LISCIA	563,0	15,8	12,3	36,4	64,4	150,8	0,0	15,5	0,0	57,1	58,1	40,1	16,5
LIVENZA	2166,0	8,5	10,7	37,2	65,8	144,4	127,6	0,0	156,2	119,8	60,3	21,0	7,2
MAGAZZOLO	227,0	20,2	15,6	40,3	53,0	152,5	0,0	207,3	0,0	48,8	0,0	49,4	24,1
MAGRA	1691,0	15,9	12,7	31,9	60,4	131,8	149,4	0,0	54,3	5,8	67,0	26,6	11,5
MANNU	2312,0	19,1	15,7	41,9	63,1	147,1	0,0	51,3	0,0	37,5	0,0	46,2	21,1
MANNU DI PORTO TORRES	666,0	14,3	11,9	40,4	67,6	151,8	0,0	13,6	0,0	75,1	66,1	32,5	14,1
MARECCHIA	610,0	7,1	6,3	32,8	61,9	140,0	0,0	182,6	0,0	118,7	60,8	22,9	8,3
MARTA	1081,0	11,2	9,9	31,9	59,9	126,6	2,9	137,2	0,0	113,7	59,4	26,2	11,5
MESIMA	824,0	22,4	19,5	41,6	59,6	129,4	106,8	0,0	45,2	40,1	78,3	42,8	33,9
METAURO	1390,0	7,0	4,0	32,3	60,1	136,8	46,0	48,6	91,1	65,9	56,5	21,7	8,4
MIGNONE	493,0	12,4	10,3	34,9	63,6	133,2	0,0	138,7	0,0	121,6	64,7	29,2	12,3
MINGARDO	233,0	16,9	12,1	37,1	59,2	136,4	46,0	10,2	9,6	140,1	2,7	39,5	19,6
MISA	385,0	8,9	5,4	31,4	61,4	132,3	58,4	12,9	135,3	31,9	54,0	23,1	11,4
MOGORO	588,0	18,9	16,2	43,7	67,0	152,4	0,0	34,4	0,0	39,5	0,9	45,7	20,2
MUSONE	651,0	10,2	8,0	32,4	64,4	136,4	10,1	138,1	10,6	122,3	39,7	26,3	13,9
NARO	260,0	21,5	15,5	39,9	56,6	153,6	0,0	164,6	0,0	30,6	0,0	52,7	25,0
NETO	1089,0	22,4	17,4	42,0	62,5	128,3	8,7	71,9	12,7	108,8	14,8	46,5	28,7
NOCE	380,0	16,0	11,7	37,4	58,2	149,5	7,7	156,0	2,5	154,6	71,6	38,2	18,8
OFANTO	2775,0	11,9	8,4	37,9	59,0	144,9	0,0	169,1	0,0	117,2	52,4	28,9	12,3
OMBRONE	3544,0	12,6	11,7	33,5	56,0	131,8	17,0	98,8	13,1	84,9	52,3	25,3	11,8
PADROGIANO	454,0	17,0	13,0	35,8	62,8	148,2	0,0	18,7	0,0	49,7	40,0	41,0	18,2

NOME_BACINO	AREA	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	[km ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
PALMAS	473,0	19,2	15,6	40,6	62,3	147,8	0,0	68,9	0,0	31,6	0,0	49,0	22,0
PETRACE	426,0	22,0	20,2	43,1	61,1	143,1	30,2	13,0	23,1	71,3	57,6	39,6	32,6
PIAVE	4097,0	8,3	9,9	37,7	64,1	147,6	141,3	0,0	151,0	112,8	56,9	19,4	5,4
PLATANI	1783,0	19,2	14,7	40,6	55,5	163,6	0,0	201,7	0,0	40,7	1,4	50,9	23,0
PO	69910,0	9,0	9,5	38,5	61,2	140,0	47,1	71,0	61,9	78,4	45,2	15,8	4,7
POLLINA	394,0	16,2	13,9	43,2	60,4	178,7	0,0	144,8	0,0	48,5	37,1	52,0	13,3
PORTATORE	794,0	17,2	13,6	38,6	59,0	139,3	29,8	16,6	7,9	73,4	78,2	35,7	15,8
POTENZA	771,0	9,3	7,1	34,2	64,3	142,0	5,7	150,5	0,0	123,0	50,0	25,6	12,1
REGI LAGNI	1126,0	14,7	11,0	38,9	66,3	143,5	0,0	82,9	1,9	120,3	46,3	39,0	17,3
RENO	4916,0	6,5	7,4	36,6	65,8	142,7	7,8	132,8	6,0	123,5	44,2	21,3	6,2
RIO DI MARE FOGHE	427,0	18,0	15,8	44,8	70,7	157,4	0,0	18,5	0,0	46,2	15,8	44,5	18,5
ROJA	67,0	17,2	16,4	35,4	54,6	120,3	98,5	0,0	24,7	72,1	50,1	29,6	13,9
S.BARTOLOMEO	425,0	21,8	17,7	43,6	56,1	129,9	0,0	88,4	0,0	47,8	0,1	55,4	25,3
S.LEONARDO	508,0	19,2	15,7	42,0	55,7	152,6	0,0	163,4	0,0	39,8	9,4	51,7	19,5
S.LEONE	205,0	20,9	15,4	39,6	54,5	154,9	0,0	198,0	0,0	39,5	0,0	50,5	24,6
SA PICOCCA	394,0	19,8	15,5	40,8	58,1	137,9	0,0	58,9	0,0	43,7	0,0	45,5	22,1
SACCIONE	224,0	14,0	8,9	37,0	66,7	133,9	0,0	170,1	0,0	81,7	1,6	35,2	19,3
SALINE	617,0	12,7	8,9	35,3	63,0	133,6	3,2	224,2	0,0	125,9	71,2	32,8	18,8
SANGRO	1751,0	10,2	6,4	36,2	58,4	125,7	1,3	201,7	0,0	111,1	67,7	29,0	14,8
SARNO	432,0	15,8	12,1	38,4	68,8	150,1	0,0	135,1	0,0	145,4	66,5	40,2	18,6
SAVIO	650,0	6,8	6,4	33,7	63,2	141,7	1,3	173,3	0,2	120,7	61,1	22,6	7,7
SAVONE	498,0	15,5	10,8	38,7	63,7	139,5	0,0	113,1	0,0	123,1	13,9	36,6	15,8
SAVUTO	415,0	22,4	17,7	41,0	60,1	122,5	141,9	0,0	70,5	35,1	90,0	49,5	31,8
SELE	3288,0	15,2	10,9	36,6	60,4	143,4	2,3	182,5	0,1	128,3	39,7	34,7	16,2
SERCHIO	1434,0	12,4	11,0	34,4	63,6	142,2	40,8	68,9	15,2	71,6	47,5	26,0	9,8
SILE	847,0	8,4	10,4	37,6	63,4	134,8	125,4	0,0	154,9	76,4	57,8	21,0	8,0
SIMETO	4210,0	15,5	12,3	44,3	63,0	198,6	0,0	140,1	0,0	39,6	32,9	54,1	12,1
SINELLO	317,0	12,2	7,8	35,9	62,5	123,4	0,0	209,2	0,0	119,0	70,1	32,8	18,8
SINNI	1310,0	15,1	11,3	36,8	58,9	169,4	0,0	293,5	0,0	112,7	24,5	37,0	18,1
STELLA	655,0	9,2	10,9	35,9	66,1	142,4	129,5	0,0	156,1	119,8	60,8	22,9	8,1
TACINA	431,0	22,8	18,0	41,3	61,1	122,9	31,8	10,1	51,6	31,0	42,0	48,1	30,6
TAGLIAMENTO	2711,0	9,0	10,6	36,3	65,4	146,3	148,8	0,0	151,9	114,9	59,0	21,7	6,6
TELLARO	390,0	24,0	15,9	42,4	56,7	139,2	0,0	122,0	0,0	18,7	12,9	53,0	26,4
TEMO	837,0	15,3	13,0	42,3	68,5	153,9	0,0	15,3	0,0	66,9	47,0	40,2	15,3
TENNA	489,0	10,7	8,7	36,2	66,4	146,3	0,0	205,2	0,0	130,7	42,4	28,1	13,5
TEVERE	17227,0	9,2	8,3	36,5	61,5	151,3	4,4	163,0	2,9	124,3	65,8	26,6	10,6
TIRSO	3505,0	17,2	14,4	42,5	65,4	149,3	0,0	22,1	0,0	56,6	12,8	41,6	17,8
TORDINO	449,0	12,3	9,6	37,4	65,8	144,6	0,0	235,4	0,0	131,3	69,6	31,3	16,4
TORTO	421,0	18,4	15,0	42,0	56,7	161,5	0,0	171,3	0,0	40,9	13,4	52,1	18,1
TRIGNO	1219,0	10,4	6,4	38,2	62,0	129,3	0,0	212,6	0,0	118,4	50,2	30,7	15,9
TRIONTO	292,0	21,8	16,7	43,2	64,6	139,5	0,0	93,8	0,0	139,0	0,5	44,0	25,9
TRONTO	1197,0	11,5	9,3	37,8	66,6	150,3	0,0	239,5	0,0	132,9	59,4	29,7	14,4
TUSCIANO	266,0	17,4	12,9	37,8	67,8	149,7	0,9	207,1	0,0	139,3	78,5	38,4	18,1
VERDURA	436,0	20,4	15,9	41,0	53,7	148,3	0,0	181,7	0,0	47,3	0,0	50,6	24,3
VOLTURNO	5669,0	11,3	7,6	40,4	65,8	148,6	0,0	183,6	0,0	130,8	48,8	31,4	13,0
VOMANO	793,0	12,0	9,0	37,1	64,1	144,2	0,0	238,1	0,0	131,2	70,7	31,6	16,5