



**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale

**Tavolo Nazionale per i Servizi di Idrologia Operativa**

**WORKSHOP NAZIONALE SULL'IDROLOGIA OPERATIVA – BILANCIO IDROLOGICO E IDRICO**

# **Bilancio Idrologico “GIS BAsed” a scala Nazionale su Griglia regolare (BIGBANG)**

**Nationwide GIS based gridded hydrologic water budget**

**Braca Giovanni**, Bussetini M., Lastoria B., Mariani S. e Percopo S.

ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Via Vitaliano Brancati 48, 00144 Roma

Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine - Servizio Monitoraggio e Idrologia Acque Interne

Settore Idrologia

[giovanni.braca@isprambiente.it](mailto:giovanni.braca@isprambiente.it)

**Sala del Consiglio Federale, sede centrale di ISPRA, Via Vitaliano Brancati 48**

**ROMA, 9 DICEMBRE 2015**

# Presupposti normativi e istituzionali del BIGBANG

## ISPRA ha competenza per la definizione del bilancio idrologico-idrico nazionale dal combinato disposto:

### DLgs 112/98 Art. 88 Compiti di rilievo nazionale

Ai sensi dell'articolo 1, comma 4, lettera c), della legge 15 marzo 1997, n. 59, hanno rilievo nazionale i compiti relativi:

... omissis

e) alla formazione del bilancio idrico nazionale sulla scorta di quelli di bacino;

... omissis

### DLgs 152/2006 Art. 55. Attività conoscitiva

1. Nell'attività conoscitiva, svolta per le finalità di cui all'articolo 53 e riferita all'intero territorio nazionale, si intendono comprese le azioni di:

a) raccolta, elaborazione, archiviazione e diffusione dei dati;

b) accertamento, sperimentazione, ricerca e studio degli elementi dell'ambiente fisico e delle condizioni generali di rischio;

... omissis

### DLgs 152/2006 Art. 60. Competenze dell'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale - APAT

1. Ferme restando le competenze e le attività istituzionali proprie del Servizio nazionale di protezione civile, l'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale (APAT) esercita, mediante il Servizio geologico d'Italia-Dipartimento difesa del suolo, le seguenti funzioni:

a) svolgere l'attività conoscitiva, qual'è definita all'articolo 55;

b) realizzare il sistema informativo unico e la rete nazionale integrati di rilevamento e sorveglianza;

## Fornire informazioni sul bilancio idrologico-idrico ad organismi europei:

- ✓ Eurostat/OECD con il Joint Questionnaire on Inland Waters
- ✓ European Environment Agency (EEA) con il SEEA-W (System of Environmental-Economic Accounts for Water)

INLAND WATERS		TABLE 1: Fresh water resources (a)		
Territory: _____		Contact: _____		
	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Definition	Decision tree	Best practices
		DCM page	DCM page	DCM page
Precipitation (1)		30	34	35
Actual evapotranspiration (2)		30	34	35
Internal Flow (b) (3)		30	34	35
Actual external inflow (4)		30	34	35
Total actual outflow (5)		31	34	35
of which: into the sea (6)		31	34	35
of which: into neighbouring territories (7)		31	34	35
<b>TOTAL FRESH WATER RESOURCES (8) [(3)+(4)]</b>		31	34	35
Recharge into the Aquifer (9)		31	34	36
Groundwater available for annual abstraction (c) (10)		32	34	37
Fresh water resources 95 per cent time (11)		32	34	37

## Criteria informativi del BIGBANG

- ✓ Procedura **automatica** in ambiente **GIS** per sfruttarne le potenzialità grafiche e di analisi (preferibilmente Open Source)
- ✓ Valutazione **distribuita** dei termini del bilancio idrologico a **scala temporale mensile**
- ✓ Implementazione di **schemi semplici e consolidati** nella letteratura tecnico-scientifica
- ✓ **Aggiornamento continuo** in funzione della disponibilità di nuovi dati (e.g. satellitari) o di dati aggiornati e del miglioramento delle tecniche di stima, ecc.. Ciò comporta l'indicazione della versione e la definizione di un metadato associato
- ✓ Utilizzo di dati che risultino **disponibili e facilmente reperibili**, anche tramite il WEB
- ✓ Possibilità di "**ritagliare**" su qualunque ambito territoriale di riferimento o "unità di bilancio" e "**aggregare**" a qualunque scala temporale multipla del mese (trimestrale, stagionale, semestrale, annuale, LTAA)



Produzione delle **serie storiche dei termini di bilancio e di grandezze idrologiche aggregate** su intervalli temporali (plurimensili) e su ambiti spaziali (precipitazioni areali, temperature medie su zone, ecc.) per effettuare statistiche idrologiche e analisi di trend

Procedura articolata in due fasi:



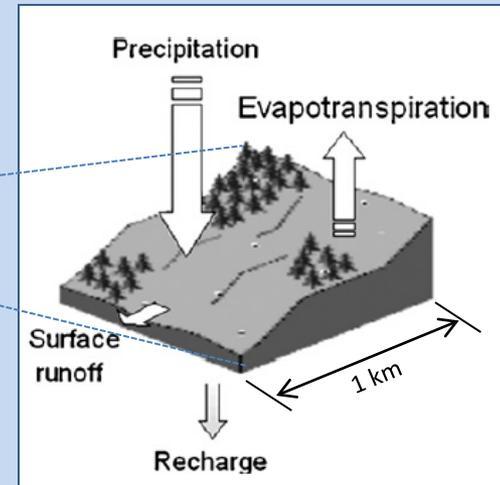
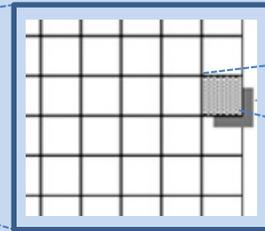
1<sup>a</sup> fase: calcolo componenti “fisiche” → bilancio idrologico



2<sup>a</sup> fase: calcolo componenti “antropiche” → bilancio idrico

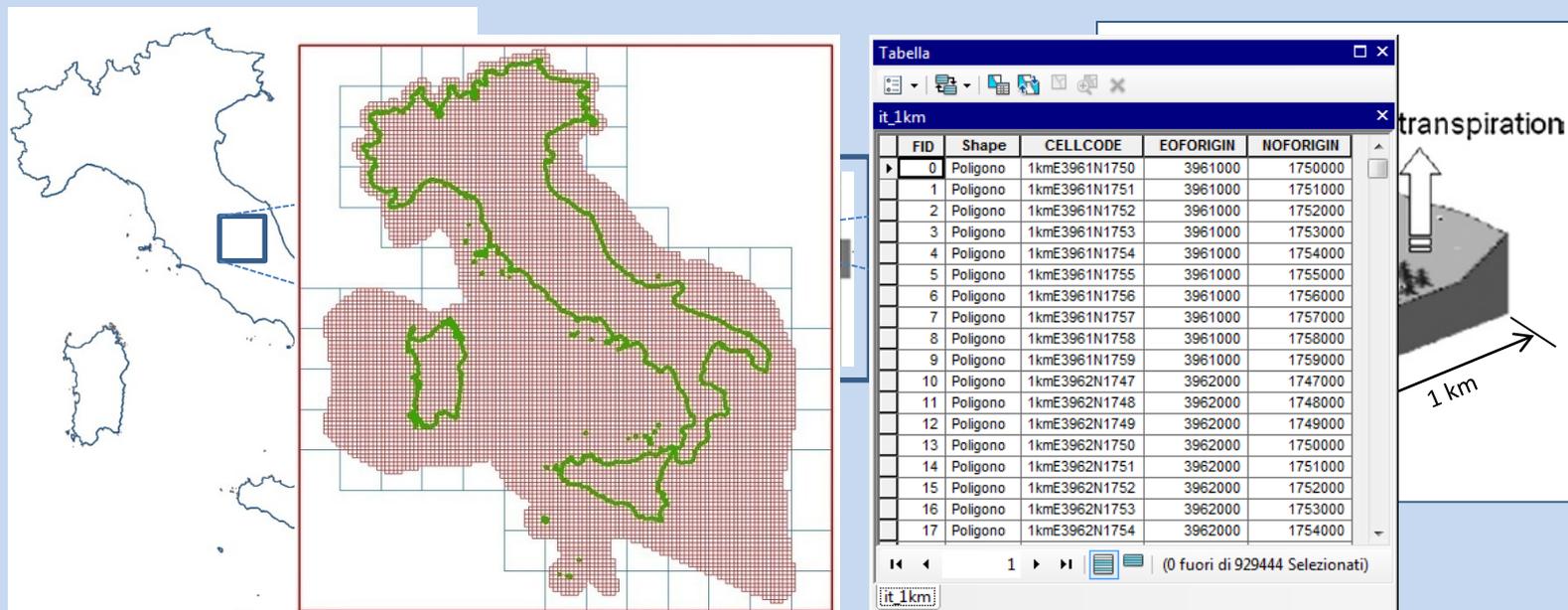


$$[\text{AFFLUSSO} - \text{EVAPOTRASPIRAZIONE} = \text{DEFLUSSO} + \text{RICARICA}]_{\text{mese}}$$



- ✓ Il bilancio idrologico è valutato per ciascun mese su una griglia regolare di lato 1 km (European Reference Grid (INSPIRE) – Proiezione ETRS – LAEA)

$$\left[ \text{AFFLUSSO} - \text{EVAPOTRASPIRAZIONE} = \text{DEFLUSSO} + \text{RICARICA} \right]_{\text{mese}}$$



- ✓ Il bilancio idrologico è valutato per ciascun mese su una griglia regolare di lato 1 km (European Reference Grid (INSPIRE) – Proiezione ETRS – LAEA)
- ✓ I calcoli sono effettuati separatamente per ciascuna delle oltre 300000 celle della griglia
- ✓ Aggregando nello spazio e nel tempo si ottiene il bilancio idrologico per un qualunque territorio di riferimento e relativo a un qualunque intervallo temporale plurimensile (stagionale, annuale, LTAA)

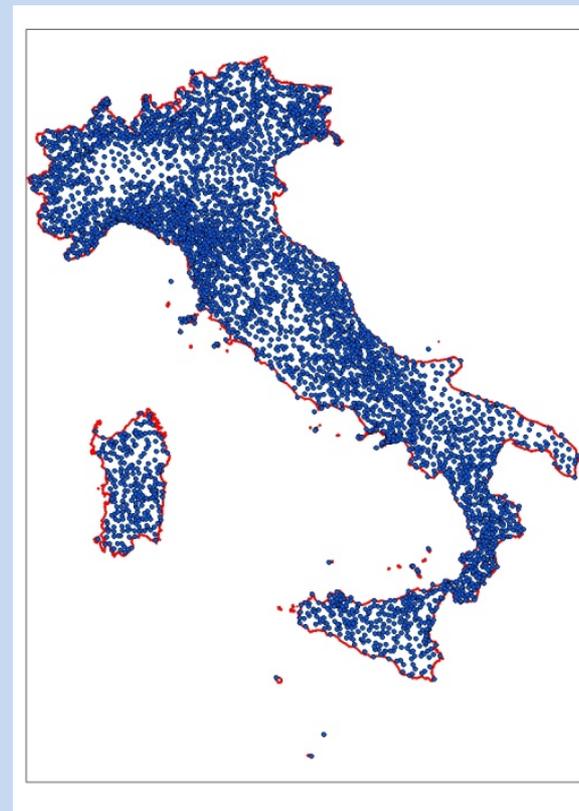
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eea-reference-grids-2>

$$[\text{AFFLUSSO} = \text{PIOGGIA} + \text{SCIOGLIMENTO NIVALE}]_{\text{mese}}$$

$$[\text{PIOGGIA} = \text{PRECIPITAZIONE TOTALE} - \text{NEVE (SWE)}]_{\text{mese}}$$

- La precipitazione totale (liquida + solida) comprende anche l'aliquota che precipita come neve (Snow Water Equivalent, SWE)
- L'afflusso invece comprende la precipitazione liquida e lo scioglimento nivale

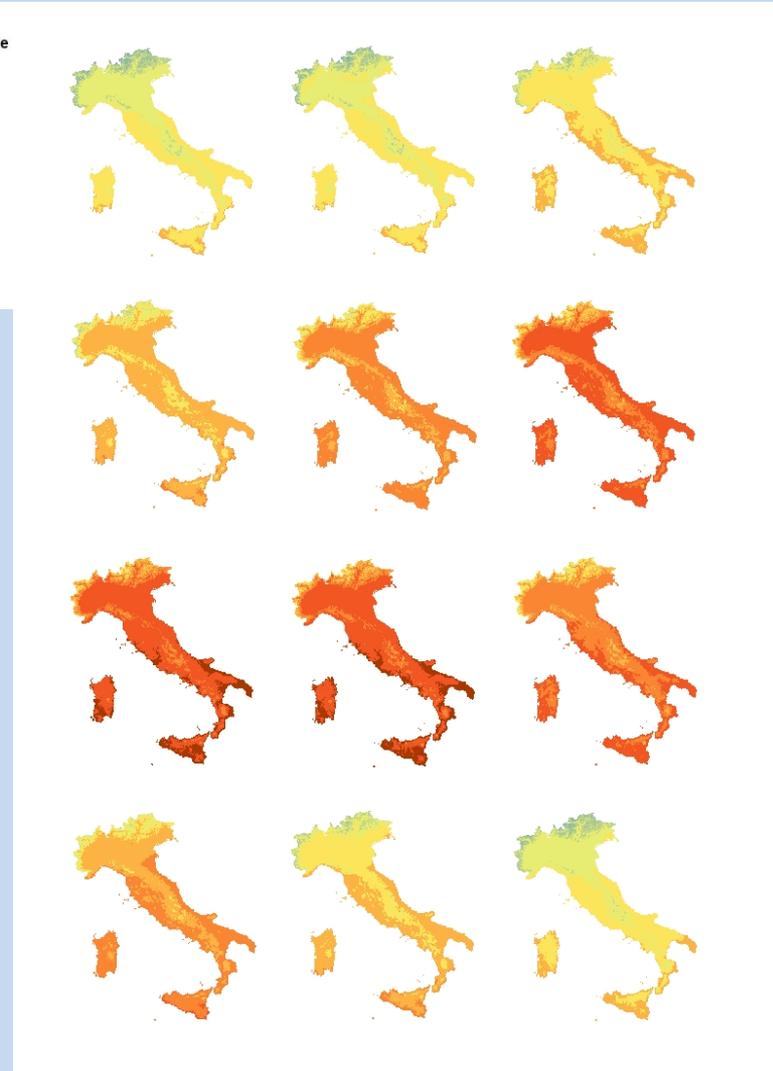
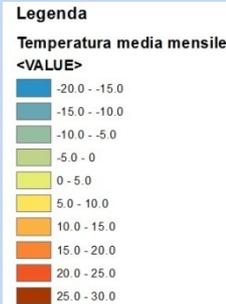
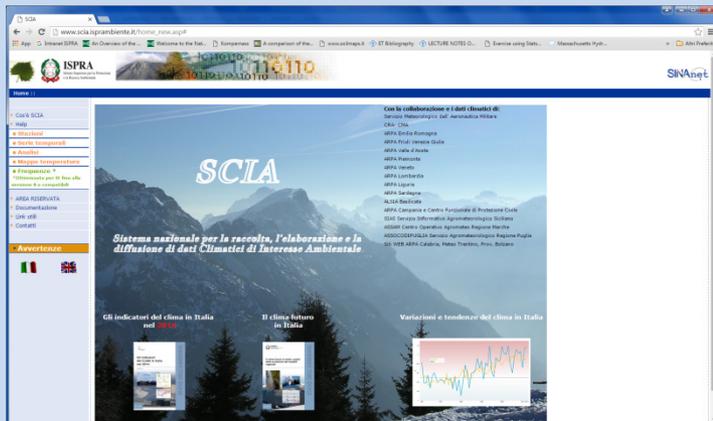
Il grid della precipitazione totale è calcolato mediante interpolazione spaziale dei dati puntuali di precipitazione mensile principalmente della rete dei Centri Funzionali (ex SIMN) anche attraverso il sistema SCIA di ISPRA



Stazioni pluviometriche

# Grid della temperatura media

Per la distribuzione spaziale della temperatura media mensile  $T_{med}$  sono utilizzate le mappe elaborate da ISPRA nell'ambito del sistema SCIA (Fioravanti et al. 2010a, 2010b) opportunamente proiettate nel sistema di riferimento ETRS89-LAEA ed elaborate



Fioravanti, G., Toreti, A., Fraschetti, P., Perconti, W., e Desiato, F., 2010a: Gridded monthly temperatures over Italy. EMS Annual Meeting Abstracts Vol. 7, EMS2010-306, ECAC Conference, Zurich, 13–17 September 2010.

Fioravanti, G., Fraschetti, P., Perconti, W., Toreti, A., e Desiato, F., 2010b: Temperature in Italy dal 1961 al 2008, un data set su grigliato regolare. Convegno Nazionale di Settore: Environment Including Global Change (Palermo, 5–9 ottobre, 2009).

# Componente nevosa: precipitazione, altezza e scioglimento nivale

Precipitazione nevosa mese i-esimo  
(Snow Water Equivalent, SWE)

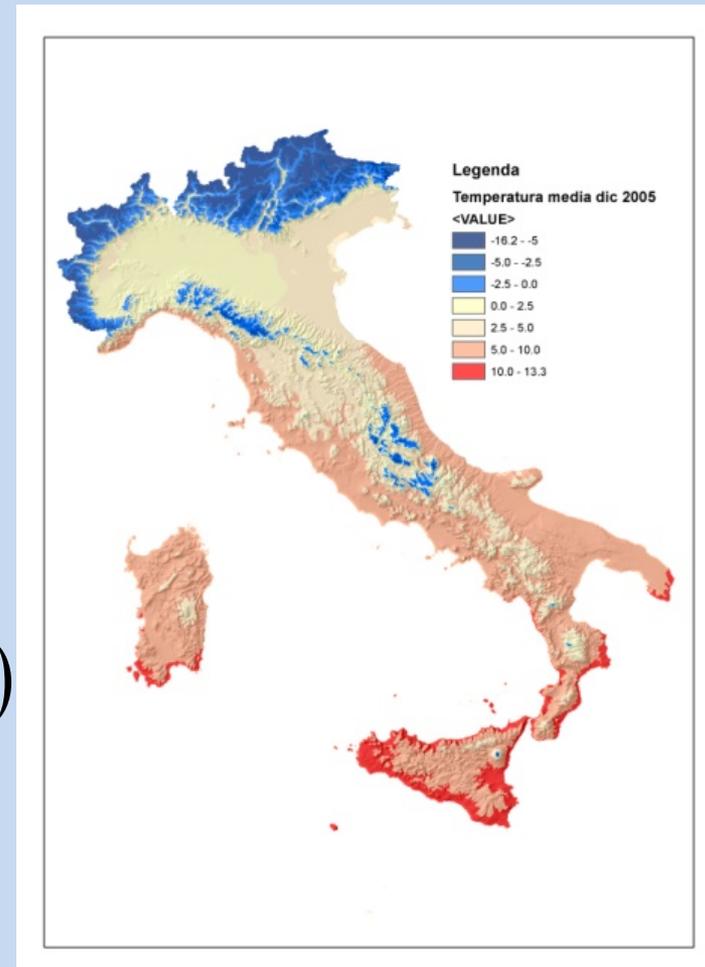
$$SNOW_i = P_i \times \frac{T_{rain} - T_i}{T_{rain} - T_{snow}}$$

$$T_{snow} = \begin{cases} T_{snow,sup} & se \quad Z > Z_{snow} \\ T_{snow,inf} & se \quad Z \leq Z_{snow} \end{cases}$$

Scioglimento nivale

$$SNOWMELT_i = C \times (T_i - T_{snowmelt})$$

Schema gradi-giorno : relazione empirica tra la temperatura dell'aria e la velocità di scioglimento del manto nevoso



Altezza neve mese i-esimo

$$SNOWDEPTH_i = SNOWDEPTH_{i-1} + SNOW_i - SNOWMELT_i$$

# Componente nevosa: precipitazione, altezza e scioglimento nivale

Precipitazione nevosa mese i-esimo  
(Snow Water Equivalent, SWE)

$$SNOW_i = P_i \times \frac{T_{rain} - T_i}{T_{rain} - T_{snow}}$$

$$T_{snow} = \begin{cases} T_{snow,sup} & se \quad Z > Z_{snow} \\ T_{snow,inf} & se \quad Z \leq Z_{snow} \end{cases}$$

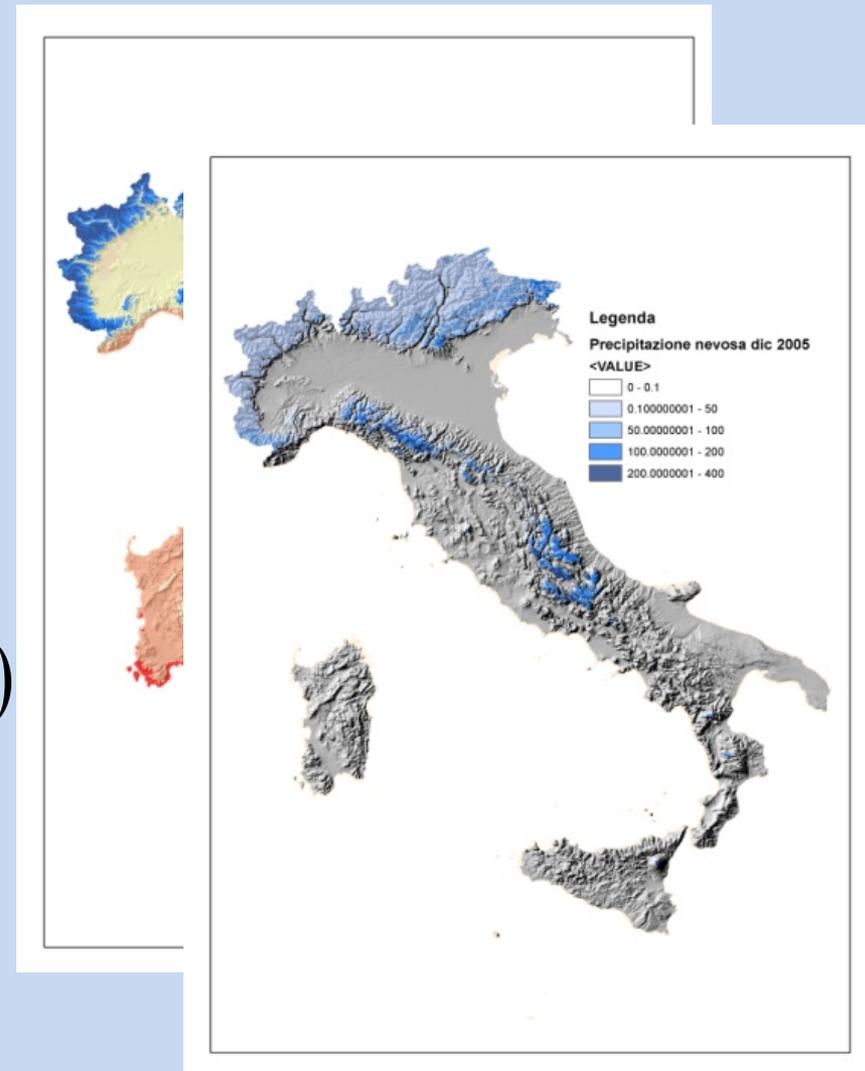
Scioglimento nivale

$$SNOWMELT_i = C \times (T_i - T_{snowmelt})$$

Schema gradi-giorno : relazione empirica tra la temperatura dell'aria e la velocità di scioglimento del manto nevoso

Altezza neve mese i-esimo

$$SNOWDEPTH_i = SNOWDEPTH_{i-1} + SNOW_i - SNOWMELT_i$$

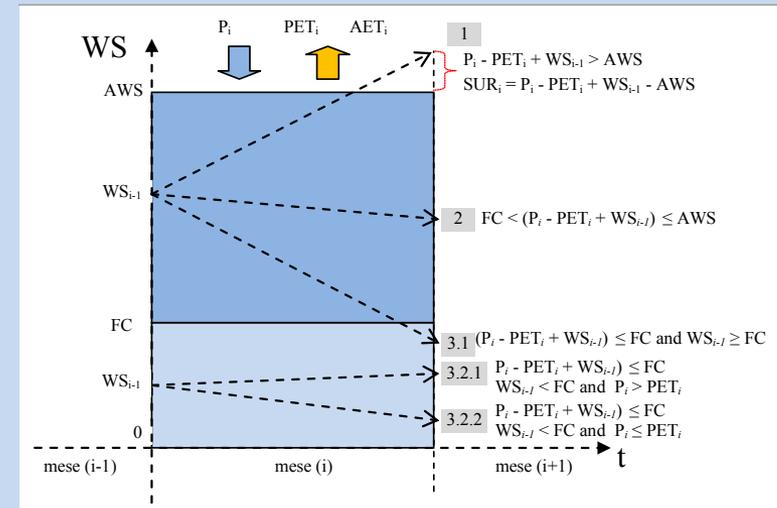
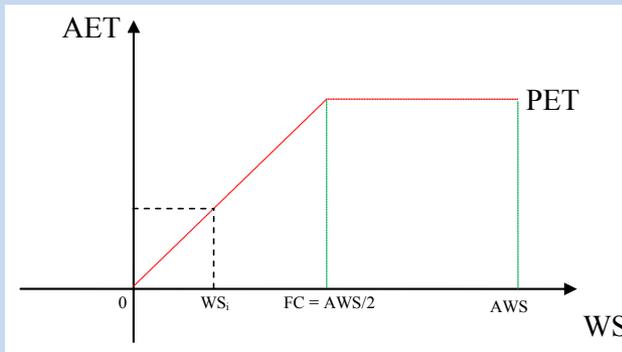


# Stima dell'EVAPOTRASPIRAZIONE reale (AET)

## THORNTHWAITE & MATHER

Bilancio idrico nel primo metro di suolo (root zone) a partire dai valori di evapotraspirazione potenziale mediante un modello "bucket"

- Il "Bucket Model" è rappresentato da una colonna di suolo di profondità 1 m e una superficie di 1 m<sup>2</sup>
- E' riempito dall'Afflusso e svuotato dall' Evapotraspirazione .
- Non c'è scambio con il suolo circostante
- Le caratteristiche del suolo sono costanti lungo la verticale



- 2 Parametri: AWS o AWC (Available Water Storage o Available Water Content o Capacity) e FC (Field Capacity) - FC è posto pari al 50 % di AWS
- AET lineare con WS fino al valore PET in corrispondenza di FC; AET costante da FC a fino a AWS con valore PET

Volume idrico immagazzinato nel primo metro di terreno nel mese i-esimo

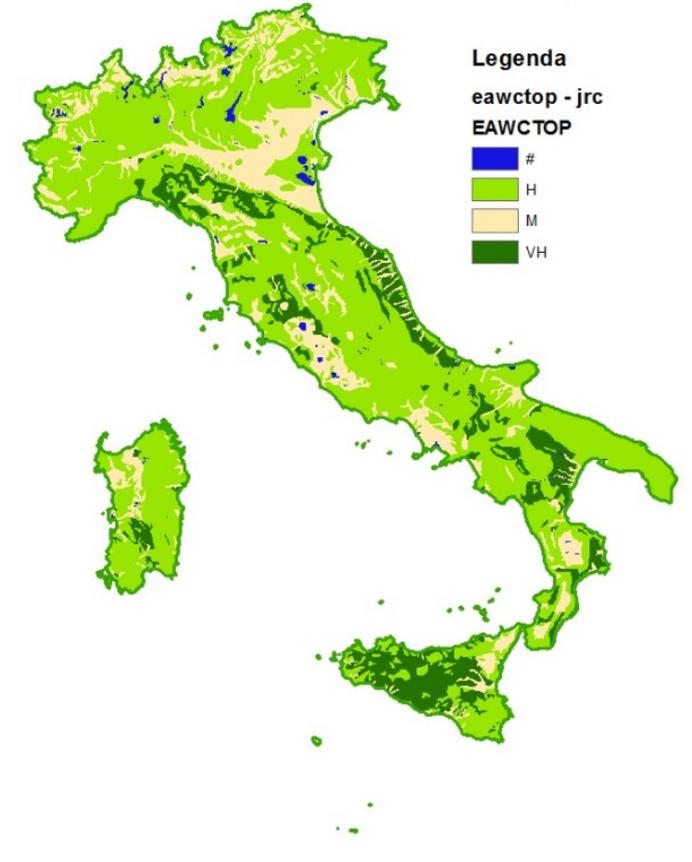
$$WS_i = WS_{i-1} + P_i - AET_i$$

# Caratterizzazione idraulica dei suoli

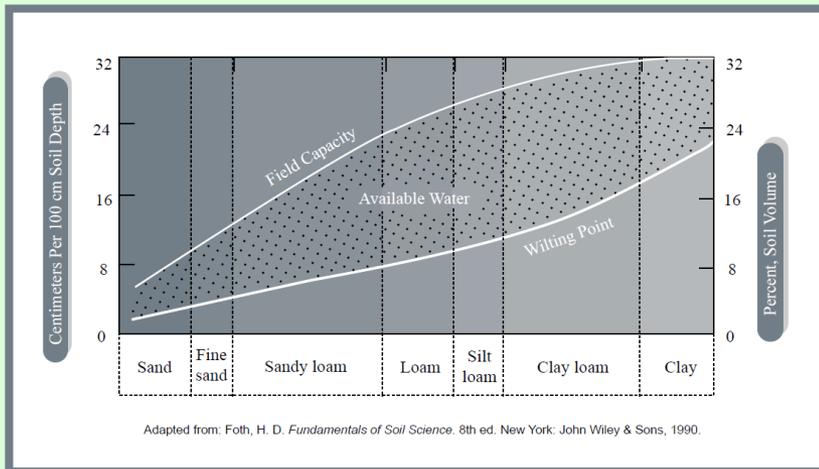
## Water Retention Properties (m) for Agricultural Soils (ASCE 1990)

Texture Class	Field Capacity	Wilting Point	Available Capacity
Sand	0.12	0.04	0.08
Loamy Sand	0.14	0.06	0.08
Sandy Loam	0.23	0.10	0.13
Loam	0.26	0.12	0.15
Silt Loam	0.30	0.15	0.15
Silt	0.32	0.15	0.17
Silty Clay Loam	0.34	0.19	0.15
Silty Clay	0.36	0.21	0.15
Clay	0.36	0.21	0.15

## EAWC TOP - easily available water content topsoil



ESDB v2.0 1km – European Soil DataBase (JRC) - EAWC\_TOP



ASCE, *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements*, Jensen, M.E., R.D. Burman, and R.G. Allen (editors), ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 70, 1990

## TURC semplificata

$$(PET_{Turc\ semplificata})_{mese=j} = Ng_j \times 0.0133 \times \frac{(Tm_{med})_j}{(Tm_{med})_j + 15} \times [0.0239 \times (Rg_{med})_j + 50] [mm / mese]$$

Turc, L., 1961, Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: A simple climatic formula evolved up to date, Journal of Ann. Agron. 12, 13-14

## THORNTHWAITE

$$(PET_{Thornthwaite})_{mese=j} = 16 \times b_j \times \left[ 10 \times \frac{(Tm_{med})_j}{I} \right]^a [mm / mese]$$

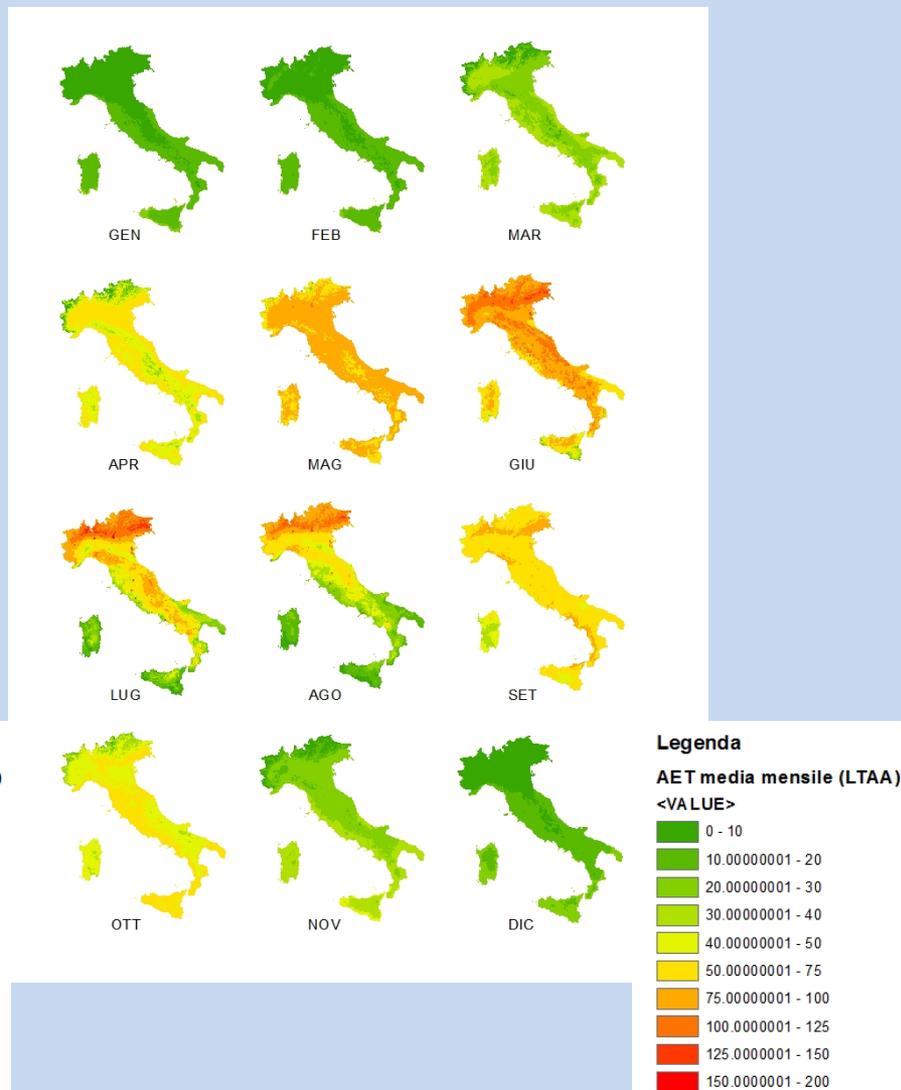
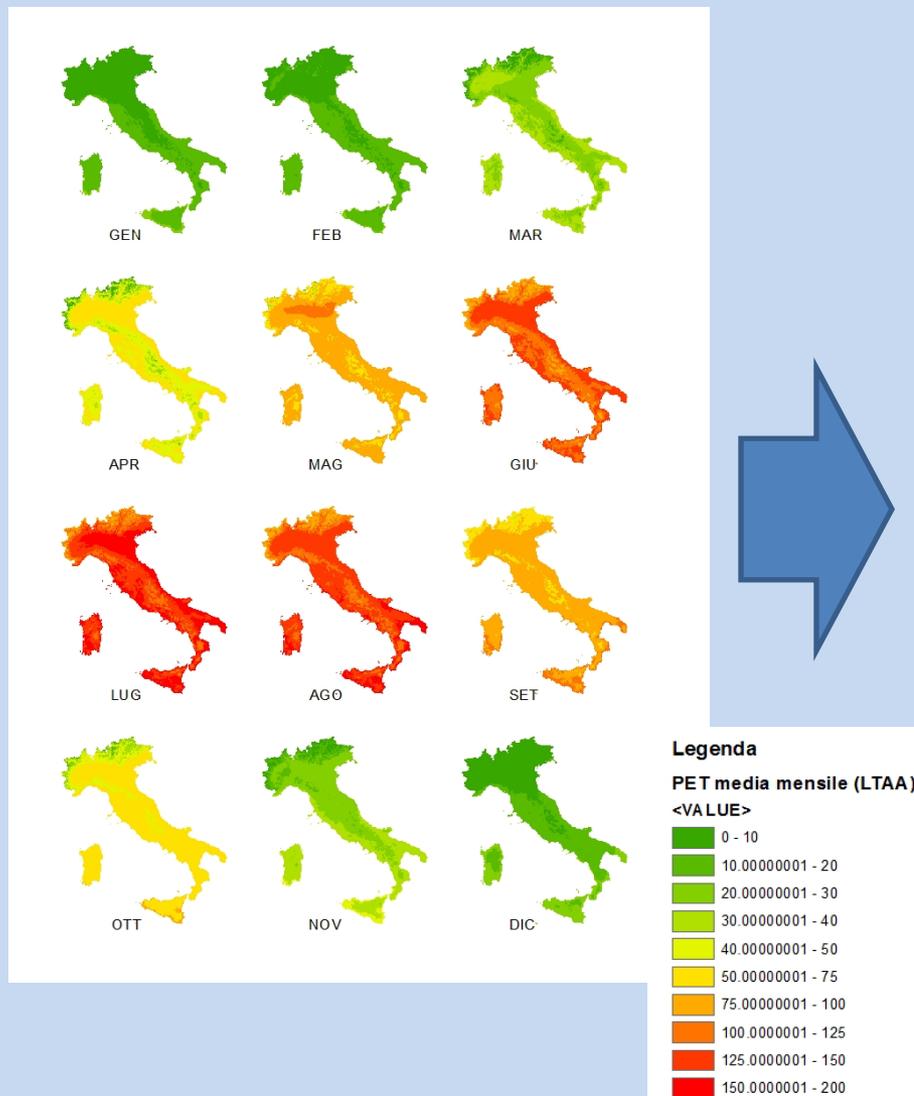
Thornthwaite, C. W., 1948, An approach towards a rational classification of climate. Geogr. Rev., 38, 55-89

## HARGRAVES e SAMANI

$$(PET_{Hargreaves\ \&\ Samani})_{mese=j} = 30 \times 0.0023 \times [(Tm_{med})_j + 17.8] [(Tm_{max})_j - (Tm_{min})_j]^{0.5} \times Ra_j [mm / mese]$$

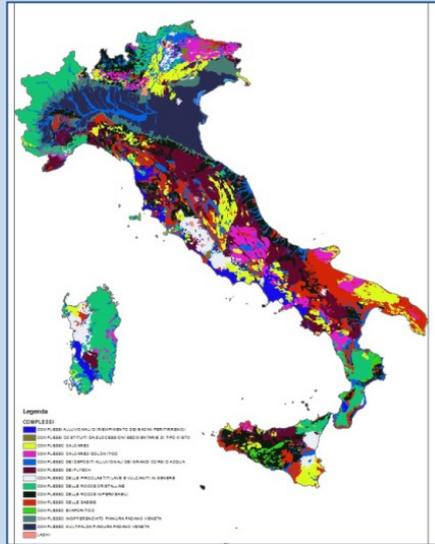
Hargreaves, G.H. e Samani, Z.A., 1982, Estimating potential evapotranspiration. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 108, 223-230

# Evapotraspirazione potenziale (Thorthwaite) e reale mensile media su lungo periodo (LTAA)



# Stima della RICARICA (RECHARGE) e del DEFLUSSO (RUNOFF)

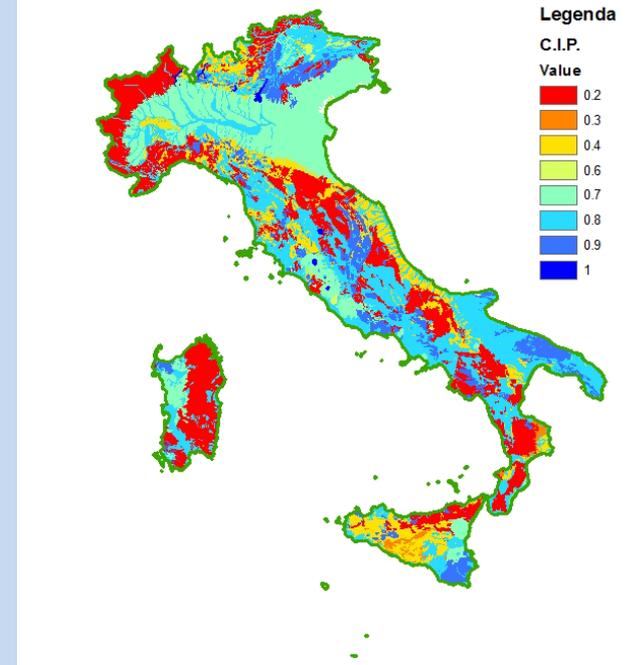
Celico P., 1988, Prospezioni idrogeologiche, Liguori, Napoli



complessi idrogeologici	c.i.p. % D <sub>p</sub>	complessi idrogeologici	c.i.p. % D <sub>p</sub>
calcari	90 ÷ 100	lave	90 ÷ 100
calcari dolomiti	70 ÷ 90	depositi piroclastici	50 ÷ 70
dolomie	50 ÷ 70	piroclastiti e lave	70 ÷ 90
calcari marnosi	30 ÷ 50	rocce intrusive	15 ÷ 35
detriti grossolani	80 ÷ 90	rocce metamorfiche	5 ÷ 20
depositi alluvionali	80 ÷ 100	sabbie	80 ÷ 90
depositi argilloso-marnoso-arenacei	5 ÷ 25	sabbie argillose	30 ÷ 50



Coefficiente di infiltrazione potenziale (Celico, 1988) dei complessi idrogeologici



Carta dei Complessi idrogeologici (ISPRA)

Carta dell'uso del suolo – CLC (ISPRA)

DEM (carta delle pendenze)

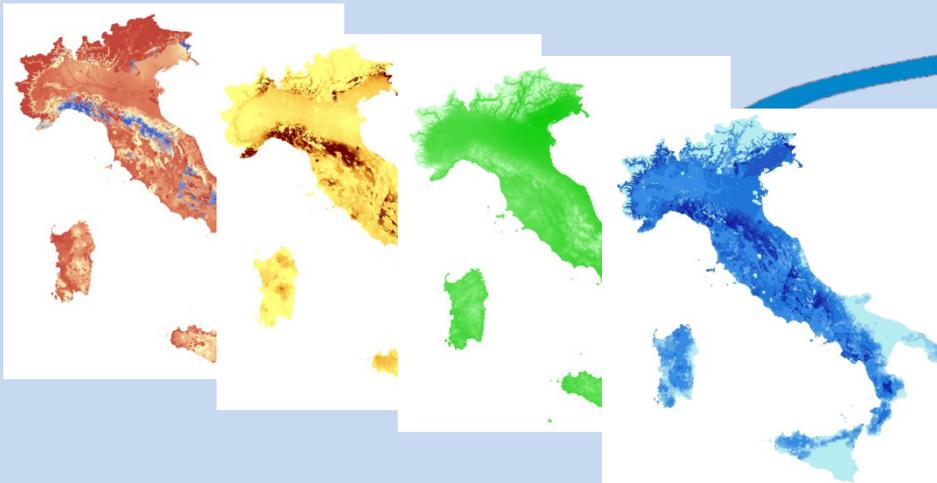
**RICARICA = CIP x SURPLUS**

**DEFLUSSO = (1 - CIP) x SURPLUS**

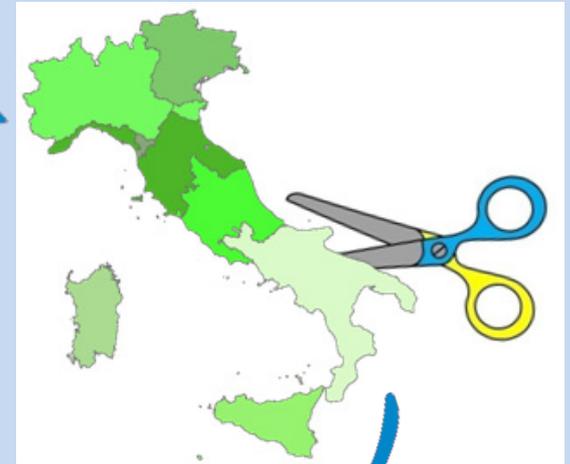
SURPLUS: volume idrico che eccede la capacità di immagazzinamento del suolo

# Schema esemplificativo del BIGBANG

GRID dei termini del bilancio aggregati ad un assegnato intervallo temporale



Shape file dei territori di riferimento

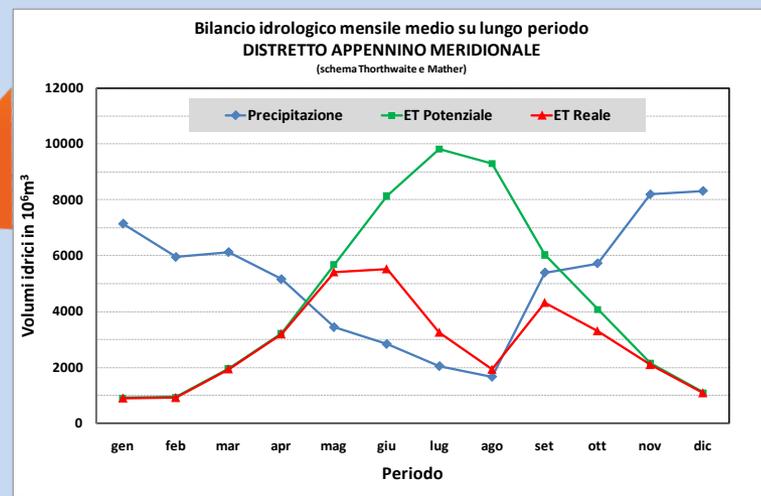
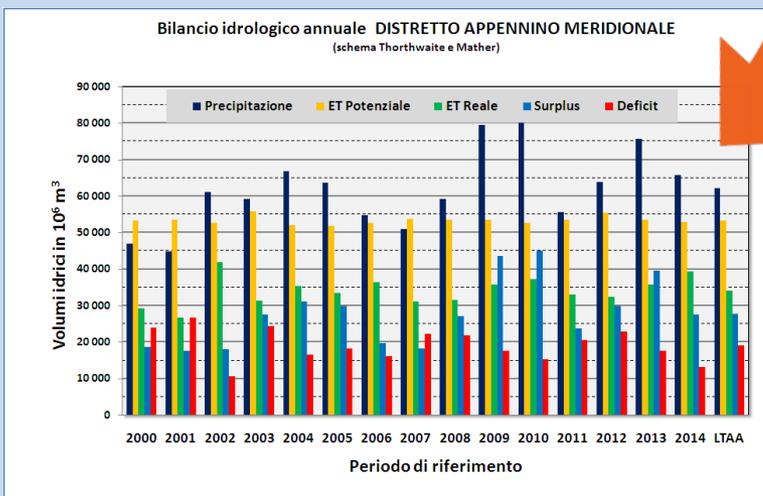
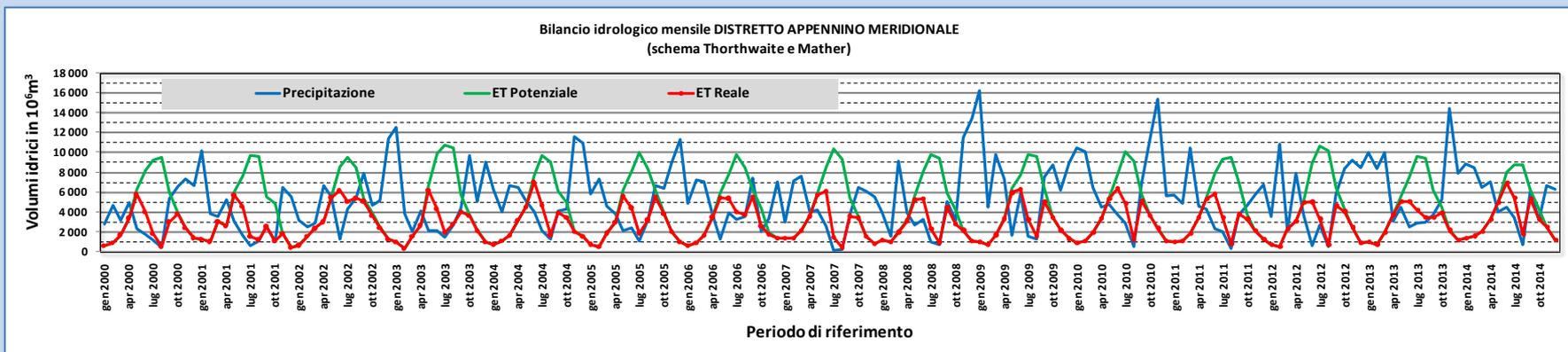


A	D	F	G	H	AF	AG	AJ	AK			
1	PERIODO	PT	UM_PT	INT_PT	UM_AF	INT_PE	AE	UM_AE			
430	DISTRETTO APPENNINO MERIDIONALE	2000	46987.8	10 <sup>6</sup> m3	yy	53276.1	10 <sup>6</sup> m3	yy	33951.8	10 <sup>6</sup> m3	2
443	DISTRETTO APPENNINO MERIDIONALE	2001	44807.5	10 <sup>6</sup> m3	yy	53276.1	10 <sup>6</sup> m3	yy	29133.8	10 <sup>6</sup> m3	1
456	DISTRETTO APPENNINO MERIDIONALE	2002	60979.0	10 <sup>6</sup> m3	yy	53276.1	10 <sup>6</sup> m3	yy	26686.1	10 <sup>6</sup> m3	1
469	DISTRETTO APPENNINO MERIDIONALE	2003	59107.7	10 <sup>6</sup> m3	yy	53276.1	10 <sup>6</sup> m3	yy	41924.9	10 <sup>6</sup> m3	1
482	DISTRETTO APPENNINO MERIDIONALE	2004	66800.7	10 <sup>6</sup> m3	yy	53276.1	10 <sup>6</sup> m3	yy	31235.6	10 <sup>6</sup> m3	2
495	DISTRETTO APPENNINO MERIDIONALE	2005	63668.7	10 <sup>6</sup> m3	yy	53276.1	10 <sup>6</sup> m3	yy	35271.6	10 <sup>6</sup> m3	3
508	DISTRETTO APPENNINO MERIDIONALE	2006	54798.7	10 <sup>6</sup> m3	yy	53276.1	10 <sup>6</sup> m3	yy	3271.6	10 <sup>6</sup> m3	3
521	DISTRETTO APPENNINO MERIDIONALE	2007	50857.2	10 <sup>6</sup> m3	yy	53276.1	10 <sup>6</sup> m3	yy	33295.8	10 <sup>6</sup> m3	2
534	DISTRETTO APPENNINO MERIDIONALE	2008	59190.0	10 <sup>6</sup> m3	yy	53276.1	10 <sup>6</sup> m3	yy	36345.3	10 <sup>6</sup> m3	1
547	DISTRETTO APPENNINO MERIDIONALE	2009	79506.7	10 <sup>6</sup> m3	yy	53276.1	10 <sup>6</sup> m3	yy	31419.5	10 <sup>6</sup> m3	2
560	DISTRETTO APPENNINO MERIDIONALE	2010	82733.0	10 <sup>6</sup> m3	yy	53276.1	10 <sup>6</sup> m3	yy	35600.3	10 <sup>6</sup> m3	4
573	DISTRETTO APPENNINO MERIDIONALE	2011	55583.9	10 <sup>6</sup> m3	yy	53276.1	10 <sup>6</sup> m3	yy	37151.4	10 <sup>6</sup> m3	4
586	DISTRETTO APPENNINO MERIDIONALE	2012	63727.3	10 <sup>6</sup> m3	yy	53276.1	10 <sup>6</sup> m3	yy	32897.8	10 <sup>6</sup> m3	2
599	DISTRETTO APPENNINO MERIDIONALE	2013	75680.0	10 <sup>6</sup> m3	yy	53276.1	10 <sup>6</sup> m3	yy	32380.9	10 <sup>6</sup> m3	3
612	DISTRETTO APPENNINO MERIDIONALE	2014	65684.0	10 <sup>6</sup> m3	yy	53276.1	10 <sup>6</sup> m3	yy	35756.1	10 <sup>6</sup> m3	3
625	DISTRETTO APPENNINO MERIDIONALE	LTAA	62007.5	10 <sup>6</sup> m3	yy	53276.1	10 <sup>6</sup> m3	yy	39319.3	10 <sup>6</sup> m3	2

TABLE dei termini di bilancio aggregato ad un assegnato intervallo temporale e su un assegnato territorio di riferimento

GRID dei termini di bilancio aggregati ad un assegnato intervallo temporale e su un assegnato territorio di riferimento

# Esempio di risultati e prodotti



- ❖ ancora in fase di sviluppo e calibrazione, per cui i valori di alcuni parametri sono stati dedotti dalla letteratura tecnico-scientifica
- ❖ i database delle precipitazione, temperatura, radiazione solare, ecc. mensili non sono ancora completamente popolati

# Riepilogo dei passi della procedura BIGBANG

- Procedura implementata nell'ambiente ESRI arcGIS 10.1 nel linguaggio Python



- Sviluppata con il software freeware e open source PyScripter 2.5

- Interpolazione spaziale delle serie mensili dei dati puntuali delle grandezze idrologiche (P, Tmax, Tmin, Tmed, R, ecc .) sul “reference grid”.
- Produzione della serie dei grid della precipitazione nevosa, accumulo e dello scioglimento nivale per ciascun mese della serie.
- Produzione della serie dei grid dell'evapotraspirazione potenziale (PET) mensile con diverse formulazioni.
- Produzione della serie dei grid dell'evapotraspirazione reale (AET) a partire dal valore della PET.
- Produzione della serie dei grid degli altri termini del bilancio idrologico.
- Aggregazione nel tempo dei grid dei termini del bilancio alla scala temporale assegnata (trimestrale, stagionale, annuale, long term annual average, ecc.).
- Clipping dei grid dei termini del bilancio su ambiti territoriali assegnati.
- Calcolo delle statistiche zonali relative agli ambiti territoriali assegnati mediante i tool del package Spatial Analyst di ArcGIS 10.1.
- Creazione della tabella dei valori dei termini del bilancio idrologico mediante query sulle tabelle delle statistiche zonali.





- Immagazzinamento nei grandi invasi naturali e artificiali
- Valutazione scambi con i territori limitrofi
- Bilancio idrico - Introduzione delle pressioni (prelievi, fabbisogni, usi dell'acqua)
- ...



- Immagazzinamento nei grandi invasi naturali e artificiali
- Valutazione scambi con i territori limitrofi
- Bilancio idrico - introduzione delle pressioni (prelievi, fabbisogni, usi dell'acqua)

**BIGBANG**  
procedura automatica sviluppata  
**esclusivamente con risorse interne all'ISPRA!**

*Grazie per l'attenzione!*

[giovanni.braca@isprambiente.it](mailto:giovanni.braca@isprambiente.it)