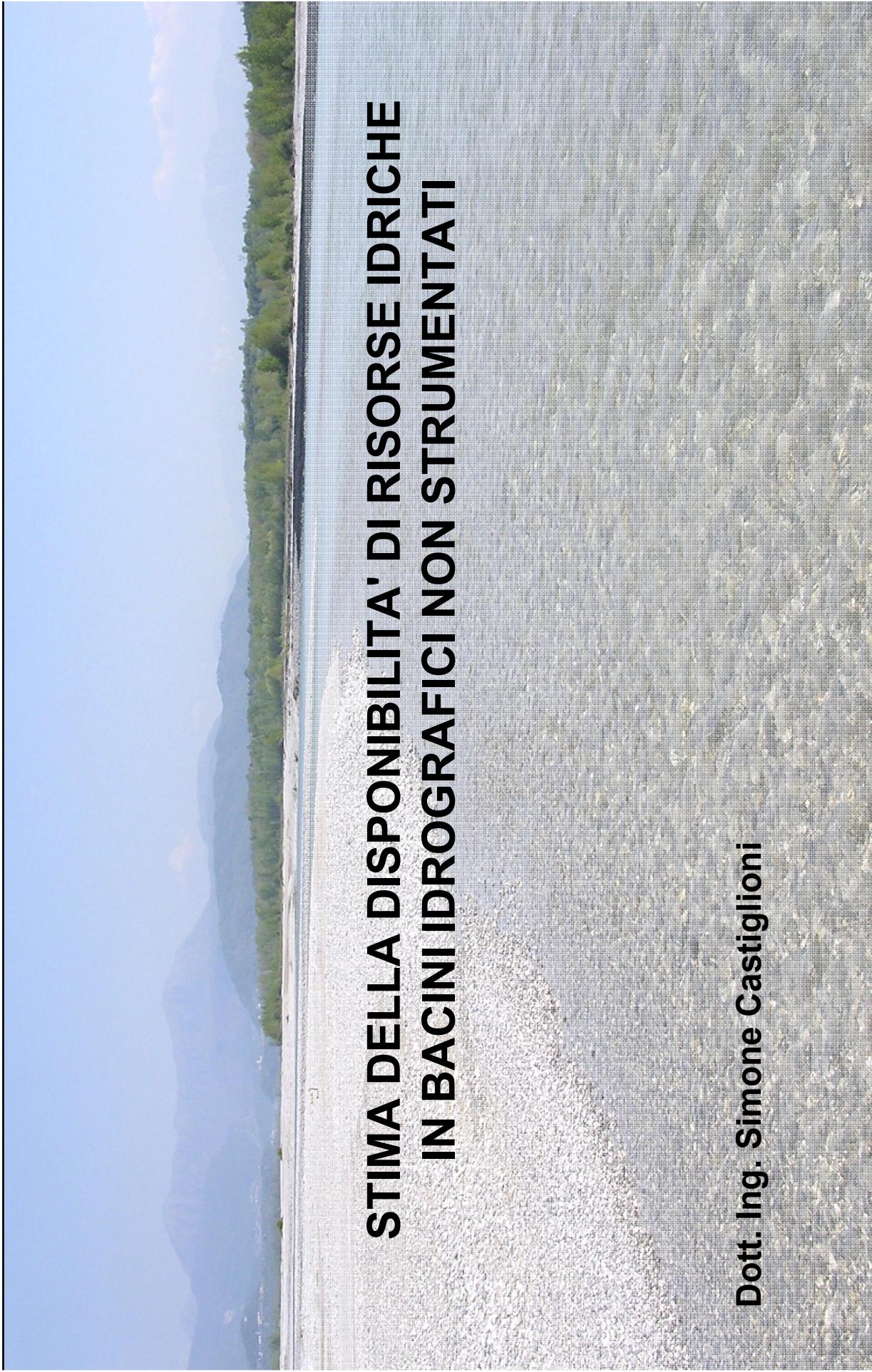


FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e dei Materiali
Bologna, 20 Ottobre 2010



**STIMA DELLA DISPONIBILITÀ DI RISORSE IDRICHE
IN BACINI IDROGRAFICI NON STRUMENTATI**

Dott. Ing. Simone Castiglioni

Struttura presentazione

- Inquadramento del problema della stima della disponibilità di risorse idriche;

Stima delle grandizze caratteristiche dei fiumi
nel bacino idrografico non strumentato con
beni conoscenze e solo dati storici.



“Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati”

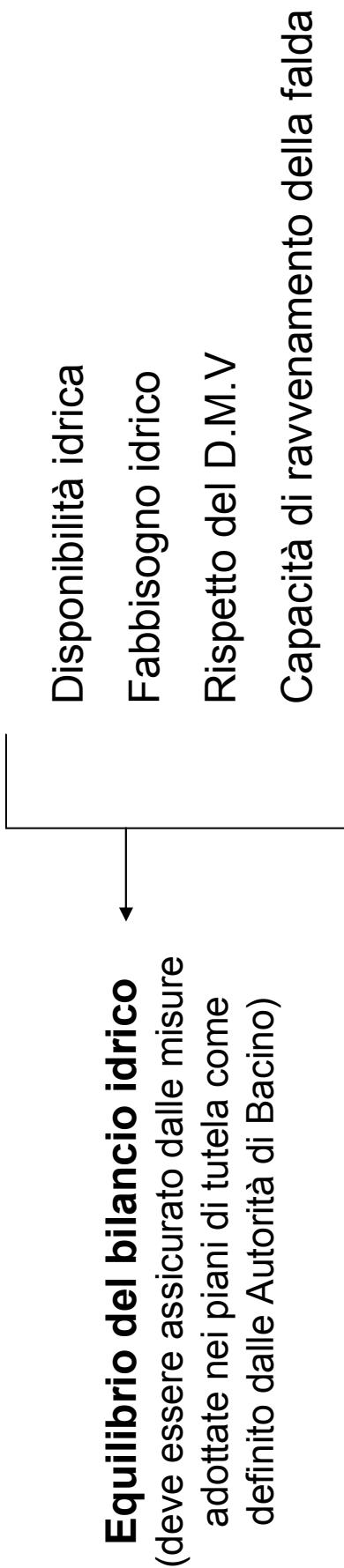
DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)



Bilancio Idrico

I provvedimenti idrici legislativi che disciplinano la pianificazione e gestione delle acque in Italia individuano nella stessa del **bilancio idrico** un elemento fondamentale per l'utilizzazione razionale delle risorse idriche nel rispetto dei vincoli ambientali.

“La tutela quantitativa della risorsa concorre al raggiungimento degli obiettivi di qualità attraverso una pianificazione delle utilizzazioni delle acque volta ad evitare ripercussioni sulla qualità delle stesse e a consentire un consumo idrico sostenibile.”
(D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 . Norme in materia ambientale).

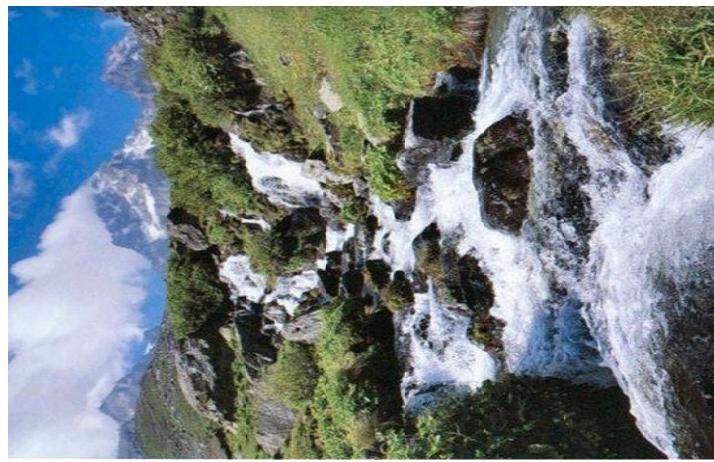


Disponibilità idrica

Risorse Idriche

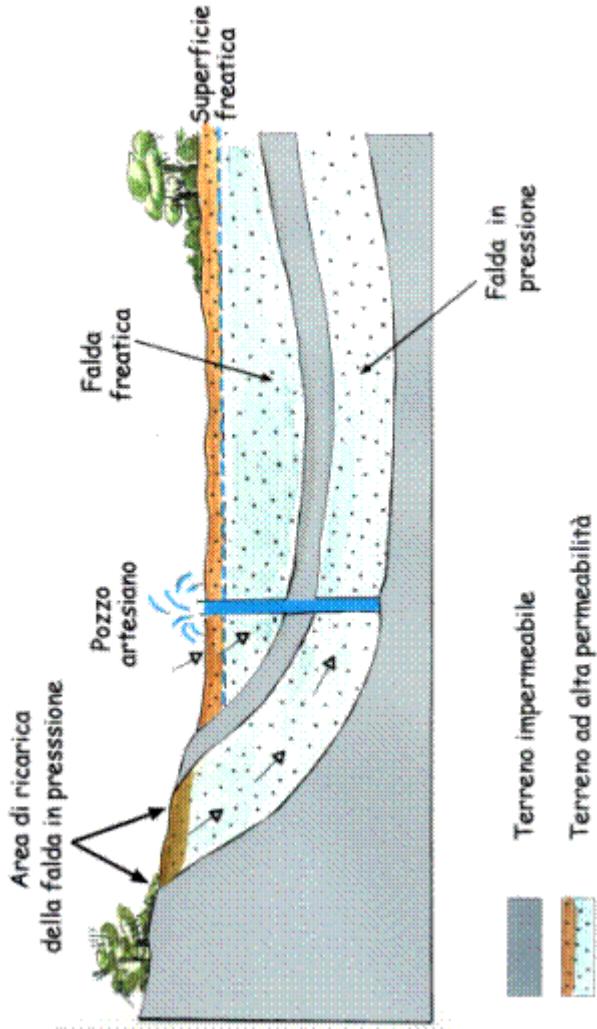
Superficiali

Corsi d'acqua - Laghi



Sotterranee

Falde Freatiche - Falde Artesiane



“Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati”

DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)



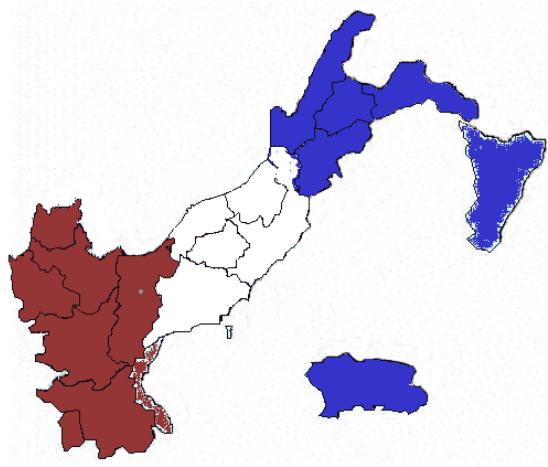
Disponibilità idrica

296 Mld di m³ (precipitazioni)



40 Mld di m³ (acque superficiali regolamentate)

12 Mld di m³ (acque sotterranee)



**52 Mld di m³ risorse rinnovabili utilizzabili
(980 m³/ab anno)**

Area geografica	Disponibilità Mld di m ³	Prelievi rispetto alle disponibilità %
Nord	34	78
Centro	8	52
Sud - Isole	10	96
Italia	52	78

Fonte: Ministero dell'Ambiente –
DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)



"Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati"

DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)



FabbiSogni

Prelievi di acque dolci pro capite medi italiani per settore [m³/ab anno]



Civile 140

Irriguo 355

Industriale 141



Energetico 79

Total 715

Fonte: Ministero dell'Ambiente – Relazione sullo stato dell'ambiente 2001



“Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati”

DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)



Rispetto del Deflusso Minimo Vitale (D.M.V.)

“Quantità minima di acqua che deve essere assicurata per la sopravvivenza delle biocenosi acquisite, la salvaguardia del corpo idrico e in generale per gli usi plurimi a cui il fiume è destinato (balneazione, navigazione, ricreazione e scopi ricreativi ed estetici)”

Concetto introdotto con la L. 183/89, e con il D.Lgs. 275/93 è stato introdotto l’obbligo del rilascio, contestualmente ai nuovi provvedimenti di concessione a derivare. Tuttavia nel PTA della Regione Emilia Romagna: *“Entro il 31 dicembre 2008 tutte le derivazioni esistenti dovranno essere adeguate in modo da garantire, a valle delle captazioni, la componente idrologica del DMV”* (Fonte PTA Regione Emilia Romagna, Dicembre 2005);



Fiume Ticino: la diga del Pamperduto a Somma Lombardo.

Il protocollo d’intesa fra le regioni Lombardia e Piemonte, in attesa di attuazione, ha fissato 10% della portata media storica del fiume in questo tratto.

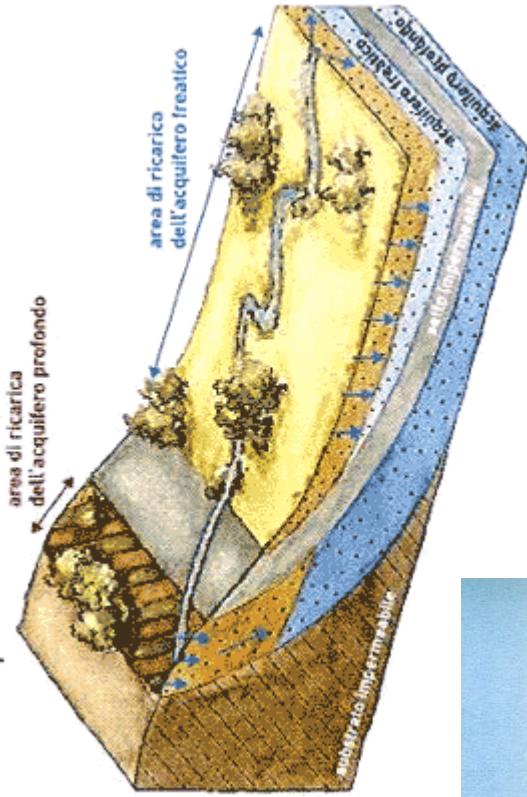


“Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati”
DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)

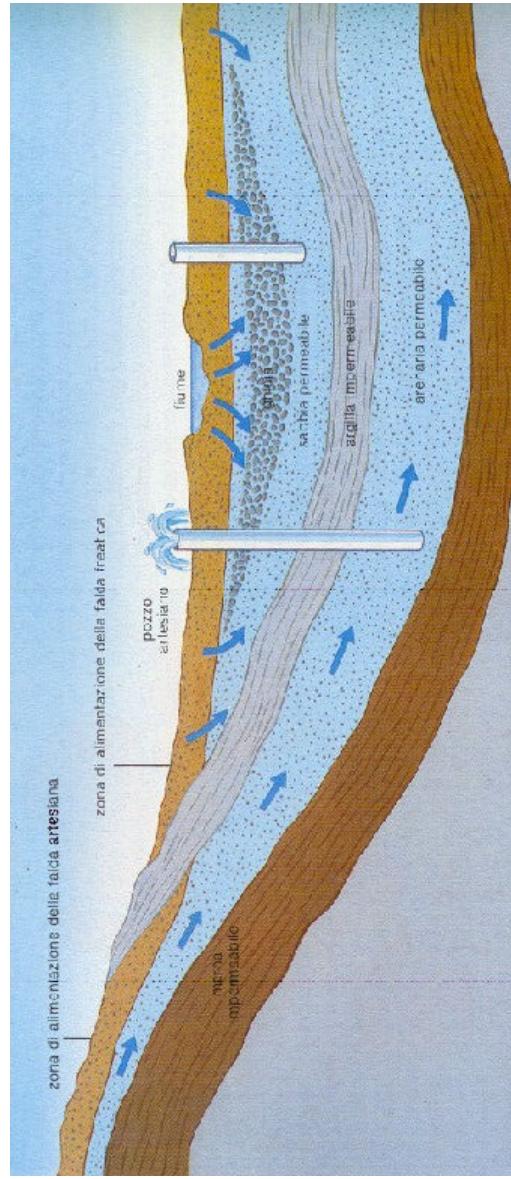


Capacità di rinnovamento della falda

Capacità di ricarica della falda che dipende dalle caratteristiche geologiche dell'acquifero, dal regime pluviometrico, dall'infiltrazione in subvalico delle acque di scorrimento superficiale di un corso d'acqua.



Il processo può avvenire artificialmente l'addove è necessario un aumento localizzato del livello della falda.



"Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati"
DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)

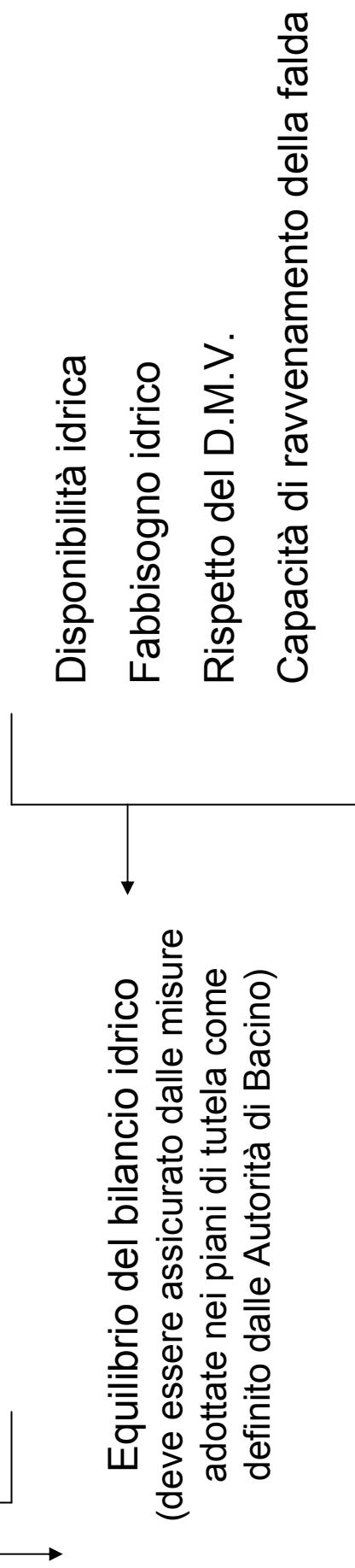


Altri fattori che influenzano il bilancio idrico

prelievi abusivi (ad es. prelievi dai pozzi o da fiume non autorizzati, allacciamenti illegali) di difficile individuazione e quantificazione;

perdite delle reti acquedottistiche (media Italia 38-45%, media Emilia Romagna 20%; fonte CONVIRI 2005);

perdite delle reti di bonifica;



Per il rispetto del bilancio idrico occorre tener conto di molteplici fattori ma prima di tutto della naturale disponibilità della risorsa!



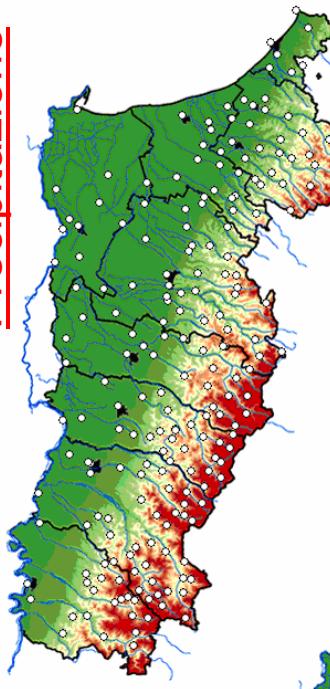
Reti di monitoraggio

Servizio Idrografico Nazionale (1917-1998)

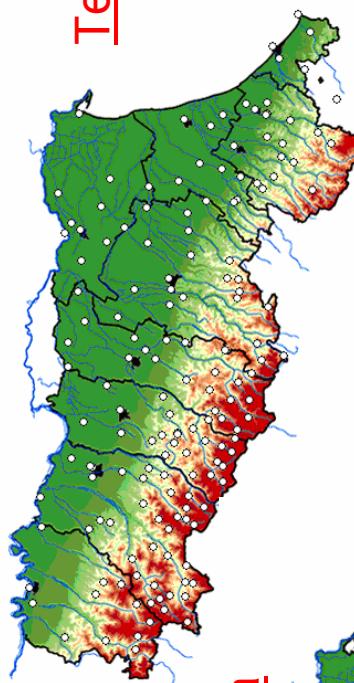


Enti regionali
(agenzie Arpa, servizi tecnici regionali,...)

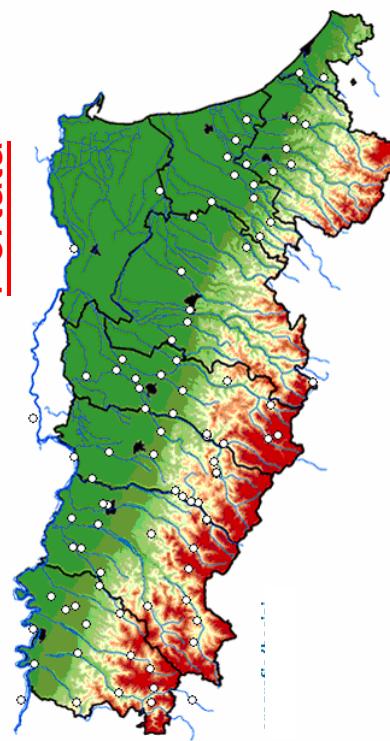
Precipitazione



Temperatura



Portata



Fonte: ARPA Emilia Romagna

La conoscenza dei dati idrometrici consente di effettuare una stima della disponibilità delle risorse idriche nelle sezioni strumentate.



"Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati"

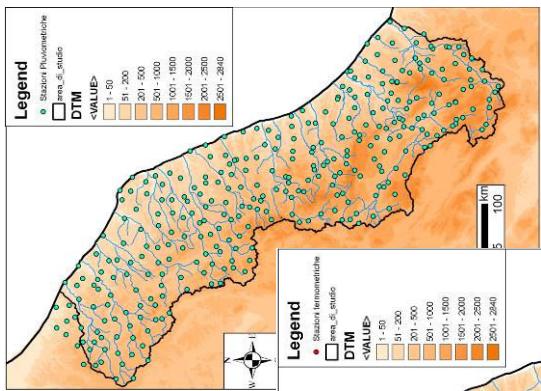
DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)



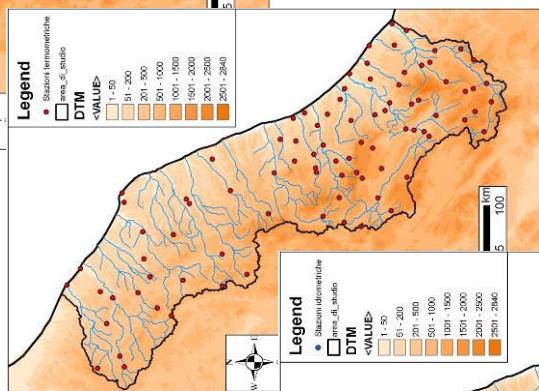
Problema dei dati idrometrici

Generalmente le reti di monitoraggio delle precipitazioni e delle temperature sono molto più diffuse nel territorio rispetto alle stazioni idrometriche, perciò i dati di precipitazione e temperatura a scala di bacino sono comunemente stimati e noti. Al contrario nelle applicazioni pratiche, i dati di portata sono spesso incompleti o assenti.

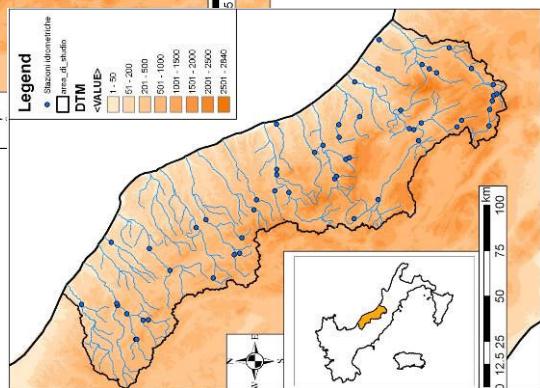
Precipitazione



Temperatura



Portata



Esempio delle regioni Marche ed Abruzzo

“*Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati*”

DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)



Regionalizzazione dell'informazione idrometrica

Tecniche comunemente utilizzate per la stima della grandezza idrometriche di interesse in bacini idrografici non strumentati:

- Stima delle grandezze caratteristiche dei deflussi fluviali (ad es. media, varianza, indici caratteristici di piena o di magra,...);
- Stima indiretta delle curve di durata delle portate;
- Modellazione afflussi – deflussi per la stima delle risorse idriche superficiali in bacini idrografici non strumentati.



"Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati"

DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)



Struttura presentazione

- Introduzione al problema della sorgente della
scarsità idrica e sua origine

- Stima delle grandezze caratteristiche dei deflussi
fluviali in bacini idrografici non strumentati con
particolare riferimento alle portate di magra.



“Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati”

DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)



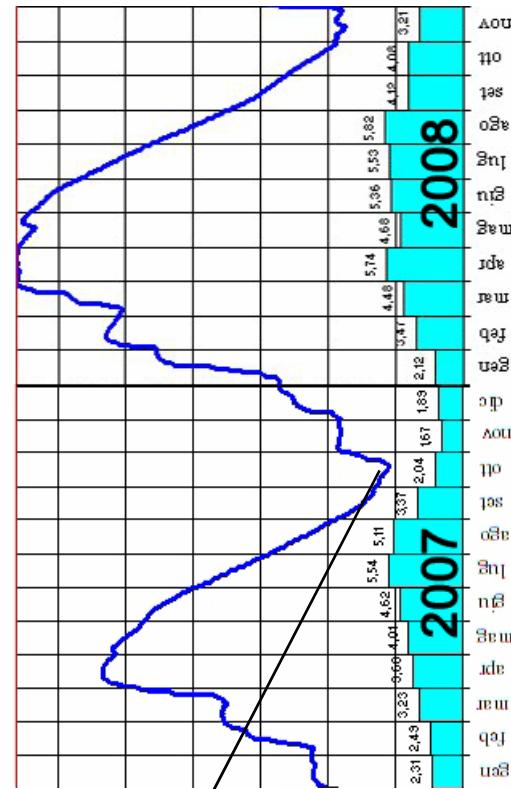
Introduzione

La disponibilità delle risorse idriche risulta fondamentale nella gestione e regolazione degli approvvigionamenti idrici necessari per i principali settori che costituiscono la nostra società (civile, agricolo, industriale ed energetico).

Per un uso sostenibile della risorsa, è necessario che il suo sfruttamento sia efficiente nel rispetto dello stato ecologico del corso d'acqua in ogni periodo dell'anno, soprattutto in periodi di magra.



In taluni casi l'assenza o l'inadeguatezza di dati idrometrici a supporto dell'analisi può rendere necessario il ricorso a metodi indiretti di stima.



"Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati"
DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)

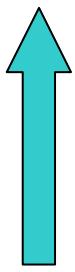


PSBI: introduzione

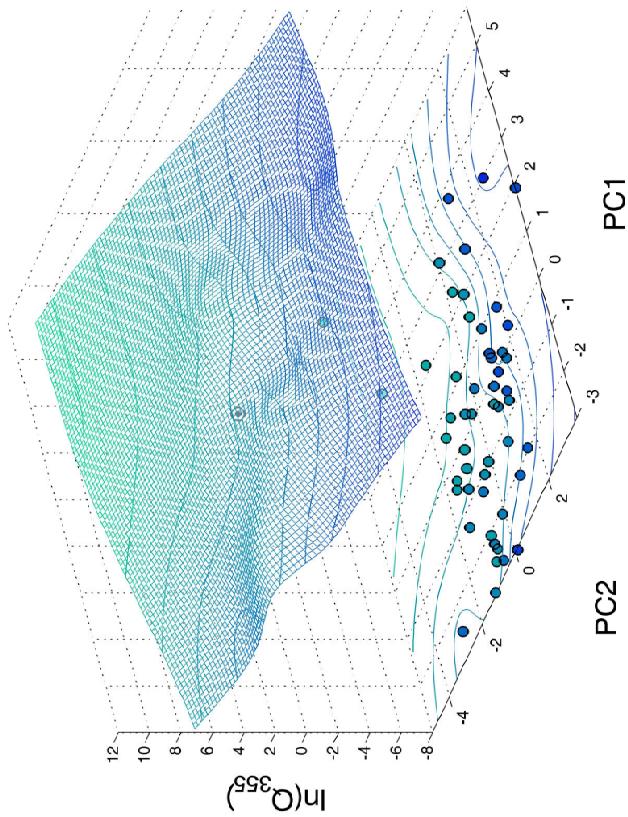
K. Chokmani, T.B.M.J. Ouarda (2004) “*Physiographical space-based kriging for regional flood frequency estimation at ungauged sites*”, WRR.

S. Castiglioni, A., Castellarin, A., Montanari (2008) “*Stima delle portate di magra in siti non strumentati mediante tecniche di interpolazione spaziale*”, IDRA08 -31° Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche.

SPAZIO DEI DESCRITTORI
IDROLOGICI



(x_i, y_i) = coord. geomorfoclimatiche



Applicazione di tecniche di interpolazione spaziale per la stima delle portate di piena con differente tempo di ritorno (Chokmani & Ouarda, 2004) e degli indici di magra (Castiglioni et al., 2008).



“*Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati*”
DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)



PSB: introduzione

L'interpolazione sullo spazio dei descrittori così costituito può essere effettuata mediante tecniche di interpolazione spaziali, sia deterministiche che geostatistiche:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

Polygonazione di Thiessen

$$\lambda_i = \begin{cases} 1 & \text{se } x_0 \in V_i \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

Distanza Inversa

$$\lambda_i = \frac{1/d_i^p}{\sum_{j=1}^n 1/d_j^p}$$

Tecniche geostatistiche

$$\lambda_i \text{ in funzione del variogramma sperimentale: } 2\gamma(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$



“*Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati*”
DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)



Tecniche Geostatistiche

Anche in questo caso, l'interpolazione della variabile nella posizione generica del dominio in esame si ottiene combinando linearmente le osservazioni del campione statistico a disposizione, mediante una opportuna n -pla di pesi, in accordo alla:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

La stima dei coefficienti λ_i viene effettuata sulla base del variogramma sperimentale, una grandezza descrittiva della continuità spaziale, che rappresenta l'informazione portante sulla quale poggiano per intero gli sviluppi della disciplina del kriging. Con l'utilizzo dei variogrammi sperimentali, ovvero funzioni che esprimono la covarianza tra i punti del campione in accordo ad una distanza fissata che li separa, è possibile, infatti, identificare e misurare la struttura di correlazione spaziale del campione di dati idrologici a disposizione (v. ad es. Journel e Huijbregts, 1978; Bruno e Raspa, 1994).

Si può valutare perciò la dissimilità dei dati puntuali e considerare, oltre che la distanza euclidea tra gli stessi, anche direzione e verso delle congiungenti i punti campionari. Questi elementi caratterizzano le tecniche di interpolazione geostatistiche e non sono contemplati dalle tecniche deterministiche.



PSBI: Tecniche Geostatistiche

Kriging Ordinario:

$$\begin{cases} \frac{\partial \ell}{\partial \lambda_1} = 2 \cdot \gamma(x_0, x_1) - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_1, x_i) = 0 \\ \dots \\ \frac{\partial \ell}{\partial \lambda_n} = 2 \cdot \gamma(x_0, x_n) + 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_n, x_i) = 0 \\ \frac{\partial \ell}{\partial \mu} = \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1 \right) = 0 \end{cases}$$

La risoluzione del problema porta alla conoscenza dei pesi λ_i ottimali e dei moltiplicatore lagrangiano μ .

Kriging Universale:

presuppone che la media del campo stocastico $m(x_0)$ sia, oltre che incognita, funzione delle coordinate spaziali (solitamente funzione di tipo polinomiale):

$$\begin{cases} \frac{\partial \ell}{\partial \lambda_i} = 2\gamma_\varepsilon(x_0, x_i) - 2 \sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma_j(x_i, x_j) - 2\mu_0 - 2 \sum_{l=1}^k \mu_l f_l(x_i) = 0 & , i = 1, 2, \dots, n \\ \frac{\partial \ell}{\partial \mu_0} = 2 \left(\sum_{i=1}^k \lambda_i - 1 \right) = 0 \\ \frac{\partial \ell}{\partial \mu_l} = 2 \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i f_i(x_i) - f_l(x_0) \right) = 0 & , l = 1, 2, \dots, k. \end{cases}$$



"Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati"
DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)



Struttura dell'analisi

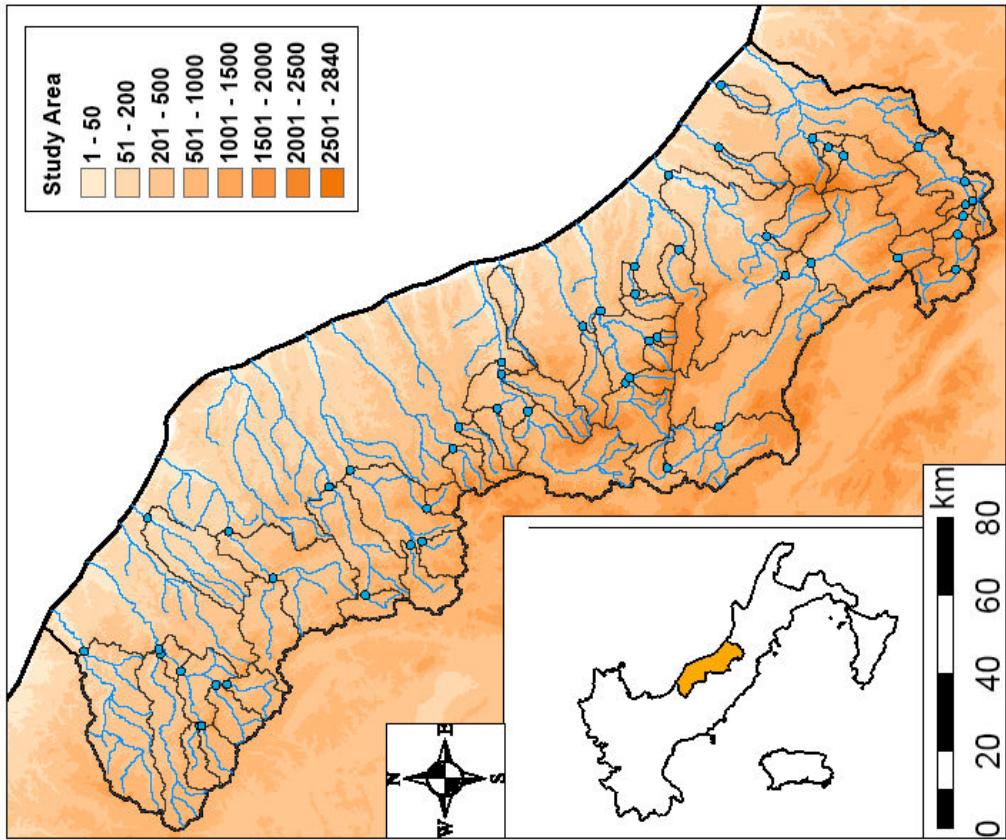
- Verificare l'applicabilità del metodo proposto da Chokmani e Ouarda (2004), al problema della stima di indici di magra in bacini non strumentati.
- Confrontare le prestazioni di tecniche di interpolazione di tipo geostatistico (v. ad es. kriging ordinario e universale, *Journel e Huijbregts*, 1978; *Bruno e Raspa*, 1994), con quelle di tipo deterministico (v. ad es. metodo dei poligoni di Thiessen, metodo della distanza inversa).



“*Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati*”
DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)



Area di Studio



- 51 bacini collocati nelle regioni Marche e Abruzzo, per i quali sono disponibili almeno 5 anni di dati idrometrici;
- area complessiva: 18257 Km²;
- alvei prevalentemente torrentizi;
- regime fluviale caratterizzato da forti magre durante il periodo estivo.

"Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati"
DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)



Raccolta e determinazione della base dati:

Identificazione delle caratteristiche geomorfologiche e idrologiche per ogni singolo bacino.

Fonti dati:

- Materiale raccolto in occasione di studi precedenti;
- Collaborazione con la Protezione Civile della Regione Marche;

Rielaborazione preliminare dei dati:

- Determinazione del **MAP** (Precipitazione Media Annuia) della **TAM** (Temperatura media annua) a scala di bacino relativi agli anni idrologici corrispondenti alle misurazioni delle portate per ogni bacino;



“Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati”
DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)



Parametri geomorfologici e climatici

Parametro	Denominazione	Max	Medio	Min
A [km ²]	<u>Area drenante</u>	3082	350	14.4
L [km]	<u>Lunghezza dell'asta principale</u>	160	36	5.3
P [%]	<u>Percentuale di area permeabile</u>	99	49	0.1
H_{max} [m s.l.m.]	<u>Quota massima</u>	2914	2086	279
H_{med} [m s.l.m.]	<u>Quota media</u>	1950	959	178
H_{min} [m s.l.m.]	<u>Quota minima</u>	1103	364	3
ΔH [m]	<u>Quota media del bacino rispetto allo zero idrometrico</u>	1543	595	150
T_c [ore]	<u>Tempo di corriavione del bacino (Giandotti)</u>	18.9	6.4	0.9
MAP [mm/anno]	<u>Precipitazione media annuale</u>	1530	1099	820
TAM [C°]	<u>Temperatura media annuale</u>	14.7	11.7	8.3



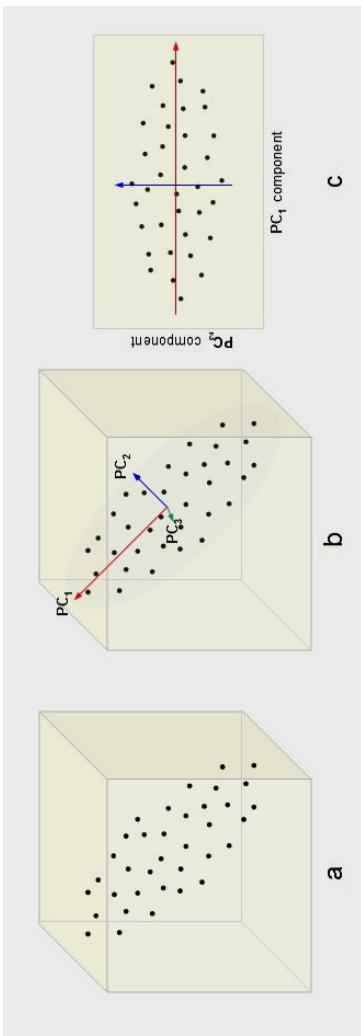
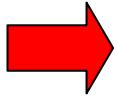
"Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati"

DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)

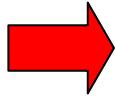


Definizione del nuovo spazio dei descrittori

Dieci parametri descrittori: $A, L, P, H_{max}, H_{med}, H_{min}, \Delta H, T_c, MAP, TAM$.



Applicazione del metodo delle componenti principali
(*Principal Component Analysis, PCA*, Basilevsky, 1994).



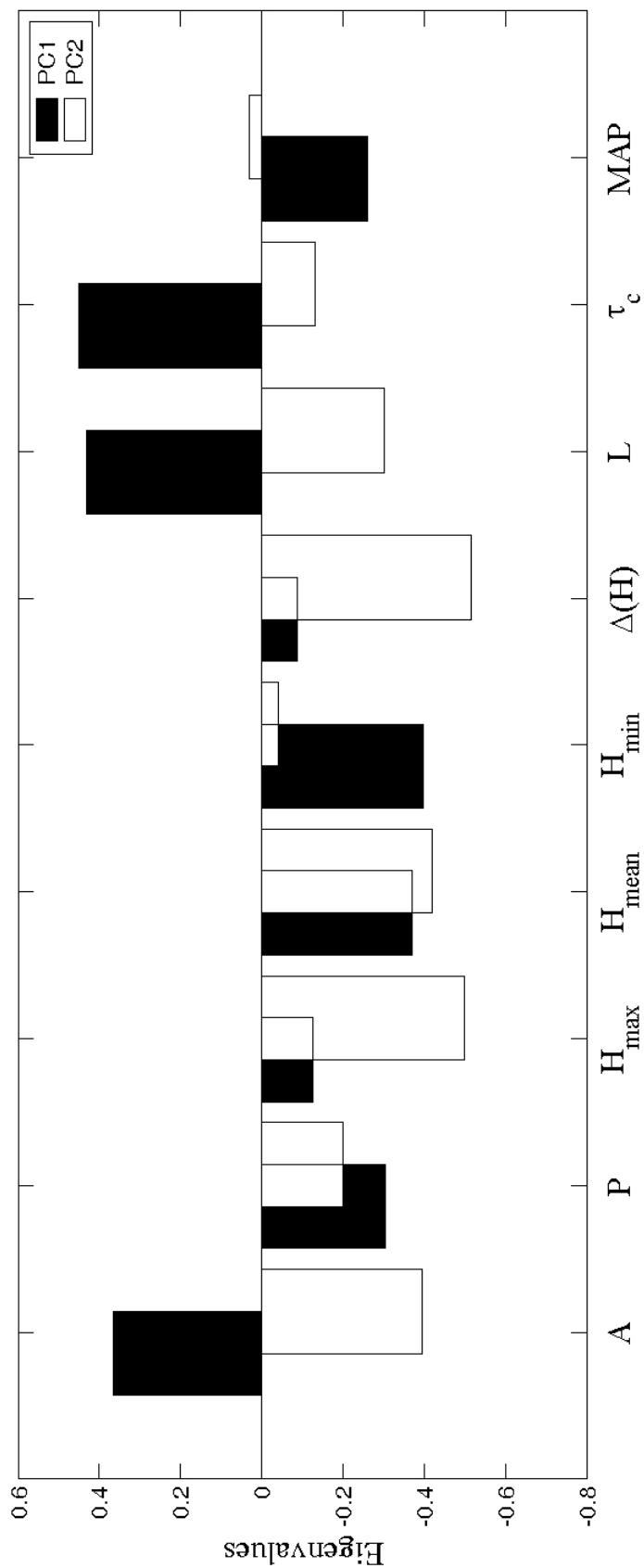
Definizione di un nuovo spazio ortogonale cartesiano:

$$(x_i, y_i) = f(A, L, P, H_{max}, H_{med}, H_{min}, \Delta H, T_c, MAP)$$

70% della varianza delle caratteristiche geomorfoclimatiche originarie.



Autovectori determinati per il caso di studio:



Indici di magra:

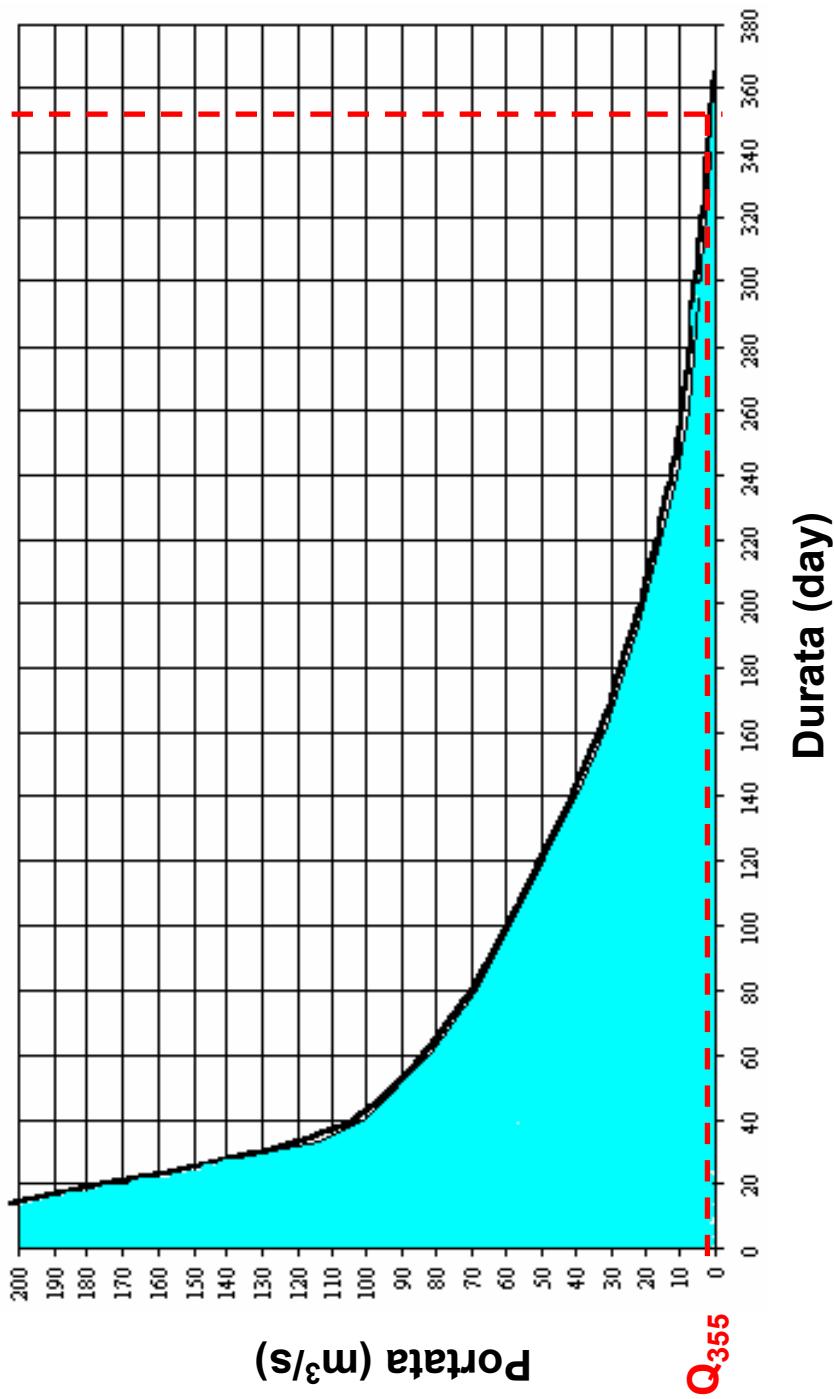
Sono stati inizialmente presi a riferimento tre indici fra quelli più comunemente utilizzati per lo studio di portate di magra (*Bavera e Ranzi, 2006; Smakhtin, 2001*):

- Q_{355} (l/s), portata media giornaliera con frequenza di superamento di 355 giorni su base annuale;
- $Q_{95\%}$ (l/s), portata giornaliera superata per il 95% dei giorni considerati;
- $7Q10$ (l/s), portata di magra media su sette giorni consecutivi con tempo di ritorno di 10 anni.



Indici di magra:

- Q_{355} (l/s), portata media giornaliera con frequenza di superamento di 355 giorni su base annuale;



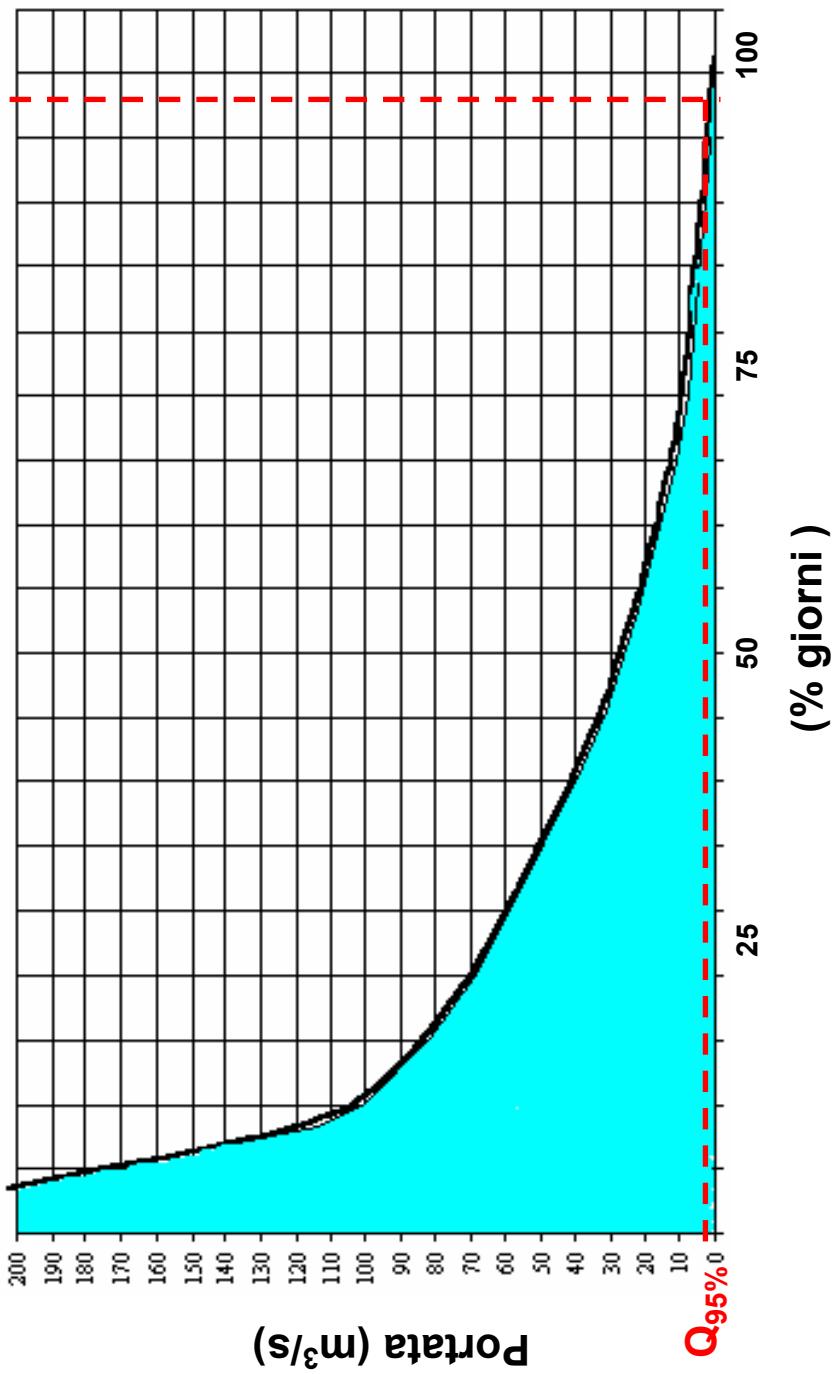
"Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati"

DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)



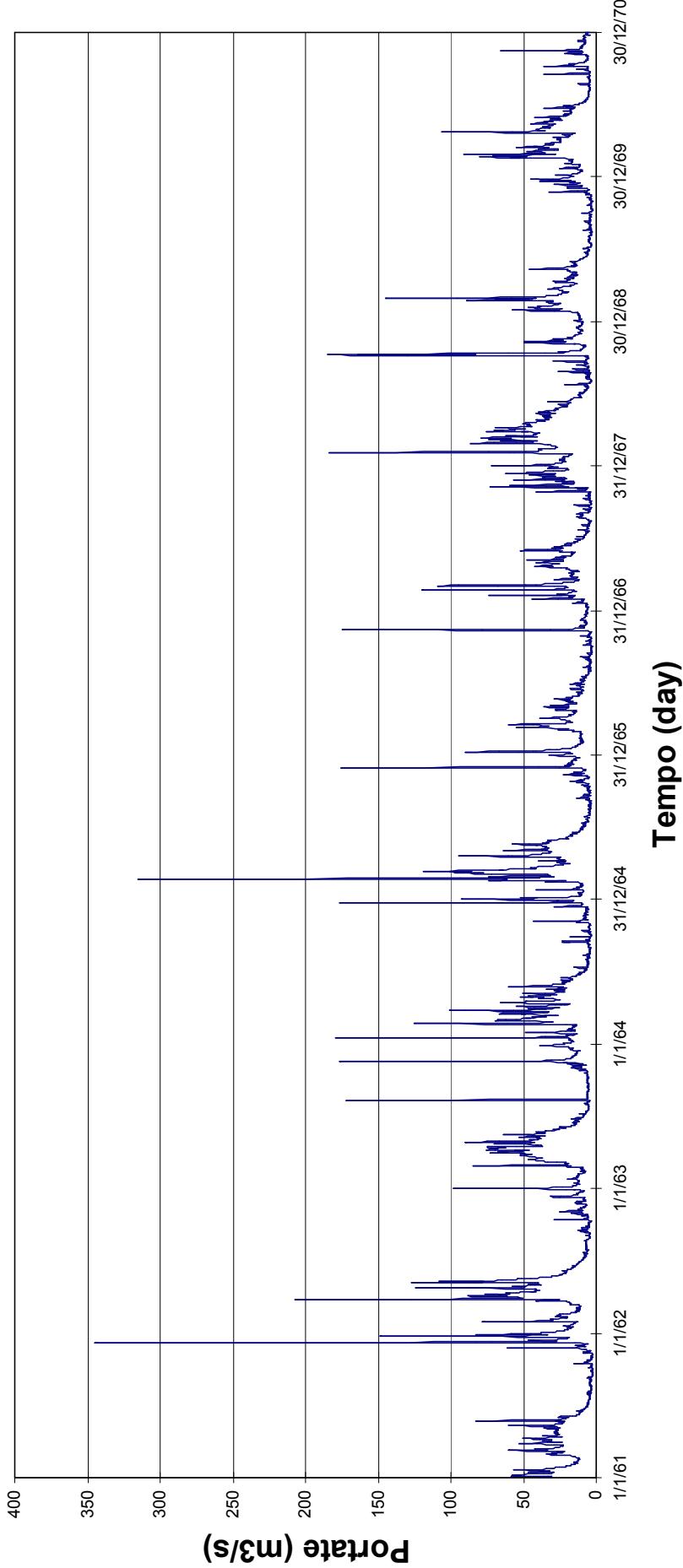
Indici di magra:

- $Q_{95\%}$ (l/s), portata giornaliera superata per il 95% dei giorni considerati;



Indici di magra:

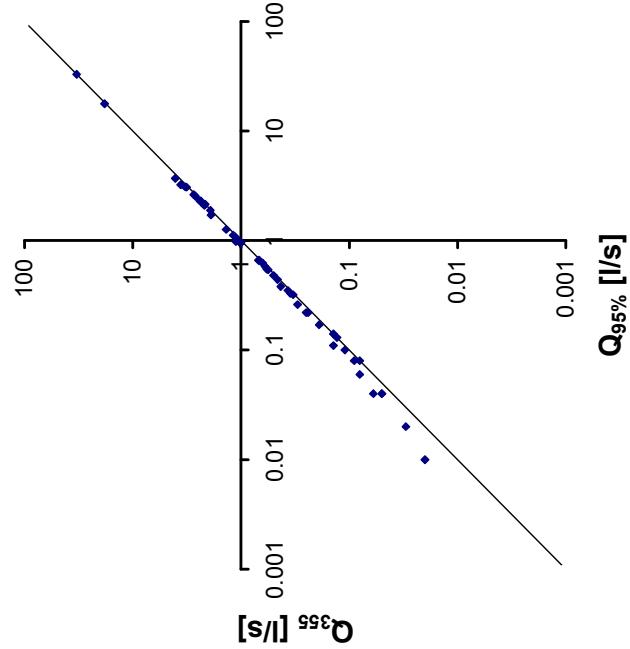
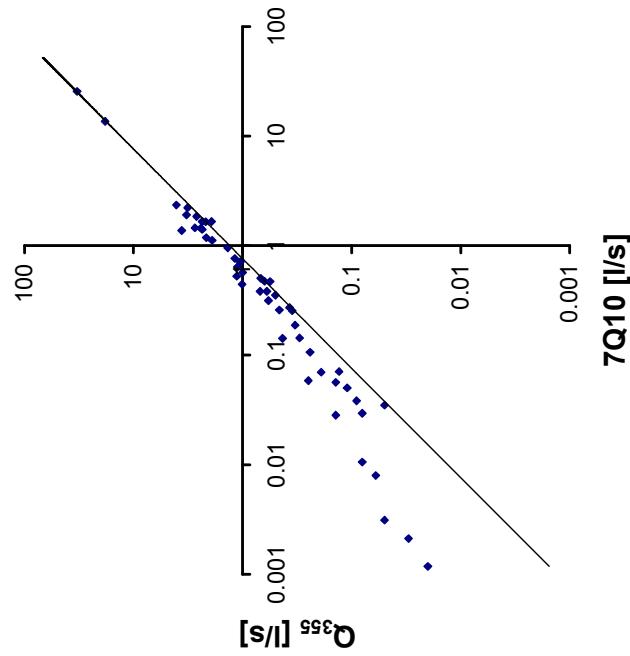
- **7Q10** (l/s), portata di magra media su sette giorni consecutivi con tempo di ritorno di 10 anni;



"Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati"
DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)

Indici di magra:

Com'era prevedibile, un'analisi preliminare ha messo in luce una marcata correlazione tra gli indici stessi.

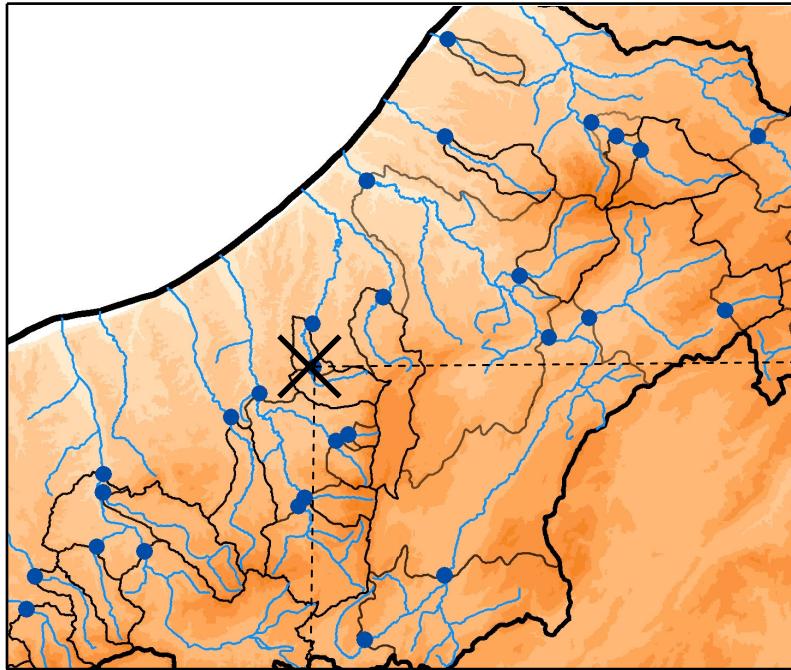


Per tale ragione si sono condotte le analisi successive solo con riferimento alla Q_{355} . La scelta è motivata dal fatto che le stime empiriche della Q_{355} per i diversi bacini considerati mostrano una correlazione superiore con le caratteristiche geomorfologiche e climatiche di bacino disponibili rispetto a $Q_{95\%}$ e $7Q10$.



Procedura di cross-validation

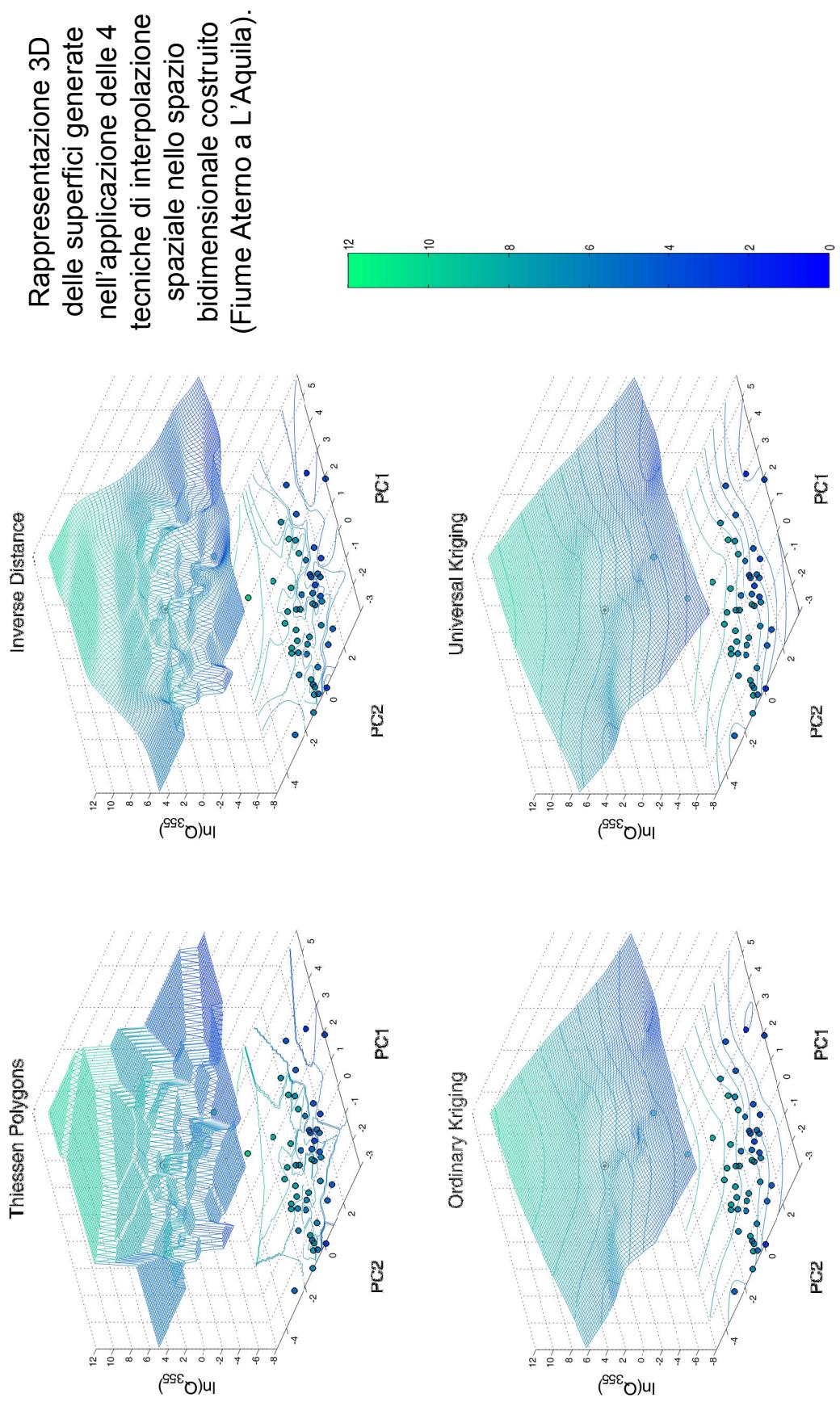
L'accuratezza di stima, è stata valutata mediante l'utilizzo della procedura di ricampionamento *jack-knife* (Shao e Tu, 1995; Brath et al., 2003) e minimizzando la somma dei quadrati dei residui.



1. Si rimuove dall'insieme degli N bacini strumentati, la stazione i -esima, ipotizzando che essa sia non strumentata.
2. Si esegue la stima utilizzando gli $N - 1$ bacini rimanenti e si ottiene una stima indiretta della variabile di interesse in corrispondenza del punto rappresentativo del bacino i -esimo nello spazio dei descrittori geomorfoclimatici.
3. I due passi precedenti sono ripetuti per tutti bacini esaminati.



Applicazione delle tecniche in validazione jack-knife



"Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati"
DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)



Indici di prestazione:

Per la quantificazione dell'accuratezza di stima caratteristica di ciascuna tecnica si sono utilizzati tre diversi indici di prestazione:

- **efficienza di Nash-Sutcliffe (Nash e Sutcliffe, 1970)**

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (z_i - \hat{z}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (z_i - z_i^*)^2}$$

- **errore medio relativo in modulo**

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{(z_i - \hat{z}_i)}{z_i} \right|$$

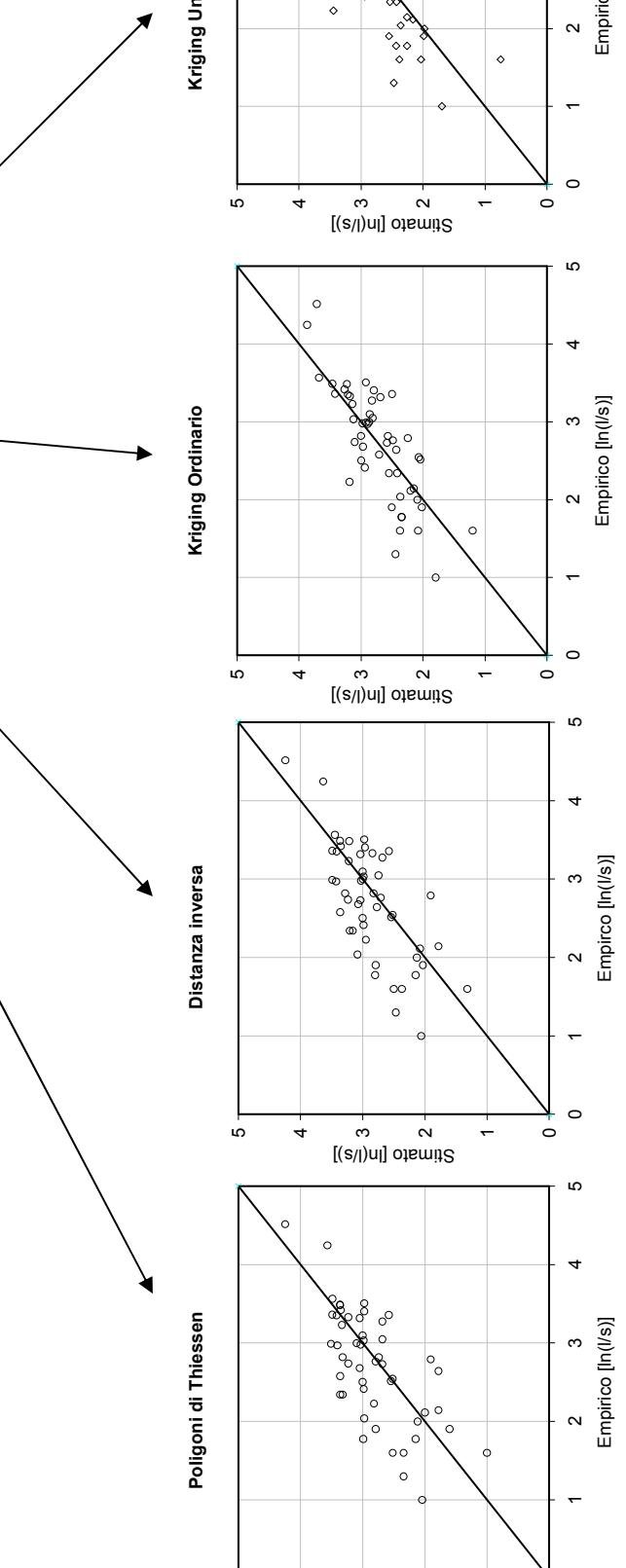
- **errore quadratico medio relativo**

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{z_i - \hat{z}_i}{z_i} \right)^2}$$



Risultati: validazione jack-knife

Indici Statistici	Poligoni di Thiessen	Distanza Inversa	Kriging Ordinario	Kriging Universale
E	0.64	0.65	0.31	0.83
MRE	2.26	2.18	1.26	1.41
RRMSE	4.07	3.85	2.54	3.20

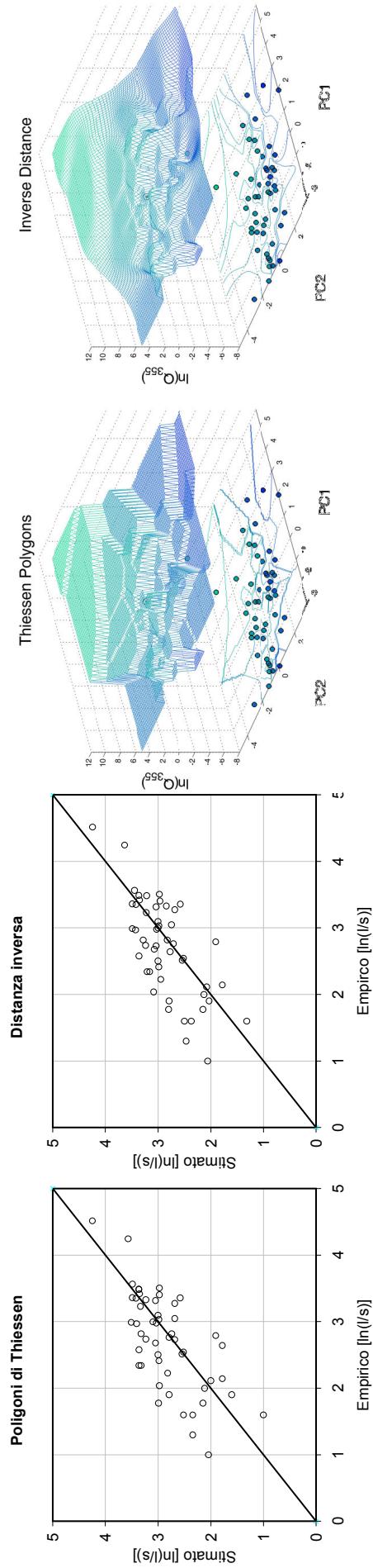


“Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati”
 DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)



Risultati: validazione jack-knife

Indici Statistici	Poligoni di Thiessen	Distanza Inversa	Kriging Ordinario	Kriging Universale
E	0.64	0.65	0.31	0.83
MRE	2.26	2.18	1.26	1.41
RRMSE	4.07	3.85	2.54	3.20



“Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati”
DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)



Risultati: validazione jack-knife

Confronto con modello multiregressivo:

$$Q_{355} = a_0 \ x_1^{a_1} \ x_2^{a_2} \ \dots \ x_n^{a_n}$$

Tale modello, di uso consolidato nei problemi di regionalizzazione dell'informazione idrometrica (v. ad es. Smakhtin, 2001) sfrutta tutte le caratteristiche geomorfoclimatiche precedentemente descritte quali variabili esplicative.

Indici Statistici	Poligoni di Thiessen	Distanza Inversa	Kriging Ordinario	Kriging Universale	Modelo Multiregressivo
E	0.64	0.65	0.31	0.83	0.72
MRE	2.26	2.18	1.26	1.41	1.48
RRMSE	4.07	3.85	2.54	3.20	3.87

Kriging universale è risultato essere più efficiente rispetto al modello multiregressivo



Conclusioni

- le tecniche di interpolazione spaziale sono utilizzabili per conseguire stime accurate del regime di frequenza dei deflussi idrici superficiali, sia in condizioni di piena (v. ad es. Chokmani e Ouarda, 2004) che in condizioni di magra;
- le tecniche geostatistiche permettono di ottenere stime degli indici di magra migliori rispetto alle tecniche deterministiche;
- attraverso l'applicazione degli interpolatori geostatistici sono state ottenute stime dell'indice di magra considerato sensibilmente più accurate rispetto a quelle valutate attraverso un modello multiregressivo.



“*Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati*”
DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)





Grazie per l'attenzione!



"Stima della disponibilità di risorse idriche in bacini idrografici non strumentati"

DICAM, Bologna, 20 Ottobre 2010 (simone.castiglioni@mail.ing.unibo.it)

