



# MINISTERO DELL'ISTRUZIONE, DELL'UNIVERSITA' E DELLA RICERCA

## Programmi di ricerca cofinanziati - Modello E Relazione scientifica conclusiva sui risultati di ricerca ottenuti - ANNO 2008

prot.: 2008KXN4K8

<b>1. Area Scientifico Disciplinare principale</b>	08: Ingegneria civile ed Architettura
<b>2. Coordinatore Scientifico del programma di ricerca</b>	MONTANARI Alberto
- <b>Università</b>	Università degli Studi di BOLOGNA
- <b>Facoltà</b>	Facoltà di INGEGNERIA
- <b>Dipartimento/Istituto</b>	Dip. INGEGNERIA DELLE STRUTTURE, TRASPORTI, ACQUE, RILEVAMENTO DEL TERRITORIO
<b>3. Titolo del programma di ricerca</b>	Analisi dell'incertezza di osservazioni di precipitazione e deflusso fluviale ed effetti sulla gestione delle emergenze idriche
<b>4. Settore principale del Programma di Ricerca:</b>	ICAR/02
<b>5. Costo originale del Programma:</b>	95.500 €

### 6. Obiettivo della ricerca eseguita

Il Progetto di Ricerca si è posto l'obiettivo di analizzare l'incertezza di variabili idrologiche osservate e gli effetti da essa indotti nella parametrizzazione di modelli idrologici, nelle simulazioni da questi prodotte e quindi nella stima di variabili idrologiche di progetto.

Nel dettaglio, gli obiettivi specifici sono stati i seguenti: (1) la quantificazione dell'incertezza di osservazioni idrologiche ed in particolare misure di precipitazione da radar, misure di precipitazione nevosa e misure di portata fluviale; (2) la stima dell'incertezza derivante dall'interpolazione spaziale di osservazioni idrologiche; (3) l'analisi degli effetti dell'incertezza di dati osservati sull'analisi di frequenza delle piene, sulla parametrizzazione di modelli idrologici e sulla stima delle variabili idrologiche di progetto; (4) l'analisi di problemi relativi alla calibrazione e validazione di modelli idrologici con particolare riferimento a bacini non strumentati e (5) la messa a punto di uno schema teorico per incorporare l'incertezza di variabili osservate nella stima della distribuzione di probabilità di simulazioni prodotte da modelli idrologici. Gli obiettivi del progetto si possono sintetizzare nello schema di Figura 1, che è stato ottenuto modificando lo schema analogo che a suo tempo fu allegato alla proposta di finanziamento del progetto. Rispetto allo schema originale, la riduzione del finanziamento ha consigliato di non approfondire gli obiettivi legati alla stima dell'errore nelle misure di precipitazione ottenute da pluviometro e satellite.

Le tecniche elaborate per la stima dell'incertezza, che sono state pubblicate su riviste a diffusione internazionale, hanno carattere generale. Si tratta di modelli o protocolli di stima sufficientemente parametrizzati da permettere l'applicazione in condizioni di larga generalità, fornendo indicazioni quantitative per i progettisti. Gli obiettivi di cui sopra integrano ed in parte completano quanto recentemente proposto dalla letteratura scientifica internazionale in merito alla stima dell'incertezza in idrologia. Infatti, la letteratura ha focalizzato la propria attenzione principalmente sulla stima dell'incertezza parametrica e strutturale dei modelli idrologici. Tuttavia, risultati recentemente ottenuti hanno dimostrato come l'incertezza nelle variabili osservate possa esercitare un effetto significativo sull'attendibilità dei risultati delle elaborazioni idrologiche e quindi sulle variabili di progetto. Ancora oggi la letteratura lascia aperti interrogativi notevoli in tal senso. Il Progetto ha in parte colmato questa carenza, integrando e completando i risultati ottenuti nell'ambito di un Progetto di ricerca PRIN 2006 che ha visto coinvolte le medesime Unità Operative.

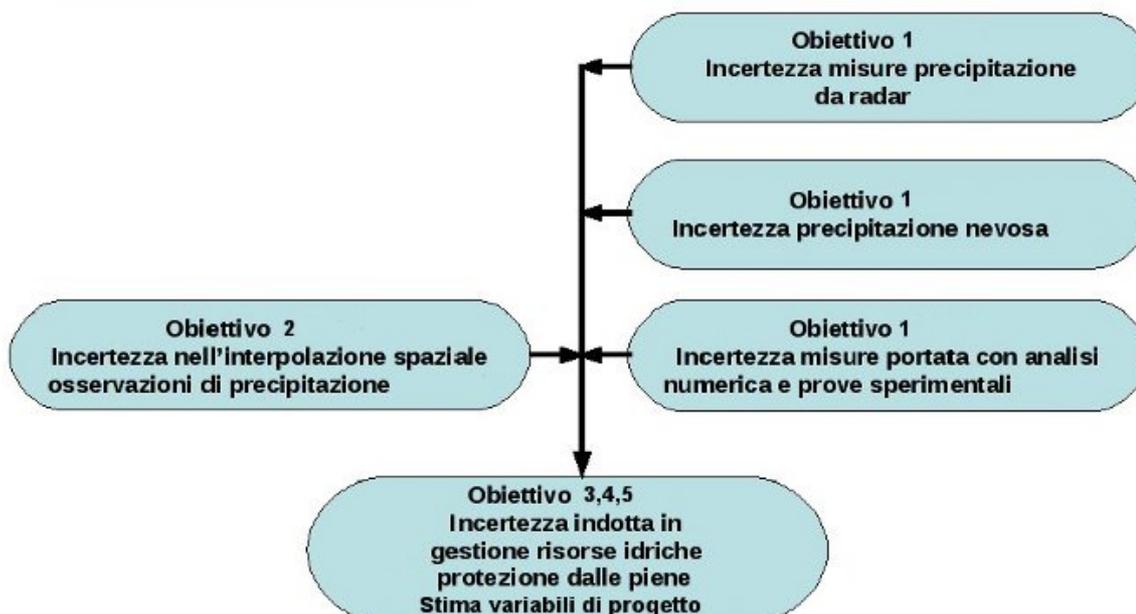


Figura 1. Gli obiettivi del Progetto (figura tratta dalla richiesta di finanziamento e successivamente modificata sulla base del finanziamento assegnato)

## 7. Descrizione della Ricerca eseguita e dei risultati ottenuti

Il Progetto di Ricerca si è concentrato sull'analisi di incertezza di variabili idrologiche osservate ed in particolare sull'analisi degli effetti da essa indotti nella parametrizzazione di modelli idrologici, nelle simulazioni da questi prodotte e quindi nella stima di variabili idrologiche di progetto.

Nel dettaglio, i temi sui quali si è estrinsecata l'attività sono i seguenti: (1) la quantificazione dell'incertezza di osservazioni idrologiche ed in particolare misure di precipitazione da radar, misure di precipitazione nevosa e misure di portata fluviale; (2) la stima dell'incertezza derivante dall'interpolazione spaziale di osservazioni idrologiche; (3) l'analisi degli effetti dell'incertezza di dati osservati sull'analisi di frequenza delle piene, sulla parametrizzazione di modelli idrologici e sulla stima delle variabili idrologiche di progetto; (4) l'analisi di problemi relativi alla calibrazione e validazione di modelli idrologici con particolare riferimento a bacini non strumentati e (5) la messa a punto di uno schema teorico che consenta di incorporare efficacemente l'incertezza di variabili osservate nella stima della distribuzione di probabilità di simulazioni prodotte da modelli idrologici. Quest'ultima parte rappresenta un contributo scientifico di larga generalità ottenuto dall'attività del Progetto, che è destinato ad essere oggetto di ampia discussione nella letteratura scientifica internazionale (Montanari e Koutsoyiannis, 2012).

In merito al punto (1), ovvero la quantificazione dell'incertezza di osservazioni idrologiche, si è fatto in primo luogo riferimento alle misure di precipitazione ottenute mediante radar meteorologico. In particolare, l'attività ha consentito di definire procedure per quantificare l'incertezza associata alla trasformazione di campi spaziali di riflettività forniti da radar meteorologico in campi spaziali di precipitazione, mediante accoppiamento con misure di altezza di pioggia fornite dalla rete pluviometrica. La relazione tra precipitazione e riflettività è stata espressa in forma regressiva di tipo esponenziale monomia, i cui coefficienti sono stati tarati alla scala del singolo evento o per categorie meteorologiche (ad esempio, eventi convettivi e stratiformi). L'incertezza di stima è stata quindi valutata attraverso l'uso di metodi statistici basati sulla modellazione dei residui delle relazioni regressive innanzi menzionate. Si sono ottenute quantificazioni dell'incertezza di stima, nella forma di stime della deviazione standard della pioggia prevista da radar, che hanno consentito di trarre la conclusione generale che le stime di precipitazione da radar risultano affette da errori la cui deviazione standard è dell'ordine del 30-60% del valore stimato (Alfieri et al., 2010; Allamano e Barbero, 2012). Si fa notare che, per quanto tale incertezza sia indubbiamente elevata, essa corrisponde ad una applicazione, quella agli eventi estremi, in cui la misura da radar è nota per le sue difficoltà applicative.

Per quanto concerne l'incertezza associata a misure di precipitazione nevosa, ci si è ovviamente concentrati su bacini montani, con particolare riferimento all'errore di misura della precipitazione nevosa che si commette al pluviometro in presenza di vento. Il fenomeno è stato valutato in alcune stazioni di riferimento confrontando il peso e lo spessore del manto nevoso, misurati rispettivamente da uno snow pillow e da un nivometro, con le misure al pluviometro. I risultati sono stati generalizzati per mezzo di relazioni tra la densità della neve fresca e le condizioni meteorologiche esistenti durante la nevicata. Le ricadute di questa attività hanno riguardato in particolare le regioni di alta quota, dove emerge, operando valutazioni di bilancio idrico, una considerevole sottostima della precipitazione areale (Bartolini et al., 2011). Nell'ambito del presente progetto l'entità di tale sottostima è risultata pari a circa il 30-70% nei giorni in cui la temperatura è inferiore agli zero gradi, ossia in cui la precipitazione accade verosimilmente in forma solida (Cugerone et al., 2012).

Per quanto riguarda le osservazioni di portata, facendo seguito a ricerche in precedenza condotte è stata applicata a tutte le sezioni piemontesi e valdostane una metodologia per la stima di scale di deflusso di piena, nella quale si considereranno dati di altezza idrica e di portata relativi al colmo dell'evento (Claps et al., 2010). Sono stati calibrati, con opportuni metodi regressivi, i coefficienti della relazione analitica che lega le portate ai livelli di massima piena, e si è caratterizzato statisticamente il termine di errore legato a tale analisi regressiva tramite tecniche statistiche standard basate sulla modellazione dei residui di analisi multiregressive. Il risultato ultimo è dato da una rappresentazione delle osservazioni di portata massima annua come variabili casuali invece che deterministiche; infatti, all'osservazione di portata massima corrispondente all'anno *i*-esimo è stato associato un termine di errore, variabile di anno in anno, e caratterizzato in termini di distribuzione di probabilità.

In merito al punto (2), ovvero la stima dell'incertezza derivante dall'interpolazione di osservazioni idrologiche, sono stati applicati strumenti di geostatistica lineare e non lineare per la stima delle precipitazioni e di altre grandezze idrologiche, considerando l'effetto dell'incertezza dovuta ad errori di misura sul dato e alla frequenza di campionamento. A questo scopo, attraverso dati sintetici e dati sperimentali si è valutato il ruolo della frequenza di misura, nello spazio e nel tempo, del dato idrologico mediante un'analisi d'insieme dei variogrammi ottenuti con set diversi di dati. A partire dall'intero campione di dati disponibili, sono stati creati dei set di dati che si differenziano per numerosità nello spazio e nel tempo; ad esempio si è considerata l'assenza di una stazione pluviometrica, o l'interruzione delle registrazioni per un certo numero di mesi, oppure una registrazione dei dati con intervallo temporale maggiore di quello effettivamente utilizzato. Per ogni anno nel periodo dal 1930 al 2010 sono state prodotte mappe della variabilità spaziale delle precipitazioni intense sul Piemonte (si veda Claps et al., 2012, e riferimenti ivi citati); la conoscenza della varianza di stima puntuale delle precipitazioni intense è stata successivamente sfruttata per combinare i dati relativi ad anni diversi, e quindi per ottenere stime affidabili delle precipitazioni attese per prefissato tempo di ritorno, nonché della incertezza associata alle summenzionate stime.

In merito al punto (3), l'attività si è articolata su tre filoni principali. Per quanto riguarda la stima delle portate di piena, si sono approntati strumenti statistici per l'analisi di frequenza delle piene in presenza di dati incerti. Gli ambiti di indagine hanno riguardato in particolare lo sviluppo di un metodo di analisi regionale delle portate al colmo di piena che tenga esplicitamente conto dell'incertezza dei dati idrometrici (Laio et al., 2011; Biondi et al., 2012b). In particolare, il metodo consente di quantificare l'incertezza associata alle stime locali (at-site) dei primi *L*-momenti campionari e di propagare informazione relativa a tale incertezza fino agli stimatori delle portate di progetto. Un'estensione del metodo (Ganora et al., 2012) ha dimostrato come la quantificazione dell'incertezza di stima delle piene di progetto consenta, tra le altre cose, di propagare l'informazione relativa alle piene di progetto lungo il reticolo idrografico da siti donors, in cui sono disponibili dati idrometrici, a siti target. Si ottengono in questo modo stime delle piene di progetto complessivamente più accurate di quelle regionali.

Per quanto concerne la calibrazione di modelli idrologici in presenza di dati incerti, facendo seguito a precedenti ricerche innanzi menzionate e finalizzate alla stima d'incertezza in osservazioni di portata fluviale, ci si è concentrati sull'identificazione della complessità ottimale di modelli idrologici in presenza di errori nei dati di calibrazione del modello stesso (Montanari e Di Baldassarre, 2012). I risultati hanno dimostrato che gli errori di misura nei dati hanno un impatto che risulta spesso trascurabile rispetto agli errori, generalmente maggiormente significativi, che sono generati dall'incertezza strutturale del modello. Inoltre, l'impatto di detti errori sulle variabili idrologiche di progetto sembra essere più significativo per modelli di ridotta complessità, che risultano meno flessibili e quindi più sensibili a perturbazioni dei dati in ingresso. Infine, è stata valutata l'opportunità di utilizzare procedure di calibrazione selettive per isolare l'effetto indotto da errori in singole osservazioni. In particolare, i risultati hanno mostrato come l'utilizzo della calibrazione spettrale, che consente di ottimizzare i parametri del modello facendo prevalente riferimento alle caratteristiche di lungo periodo dei deflussi fluviali, consenta di limitare il disturbo arrecato da errori nella misurazione di singoli dati o singoli eventi. Le risultanze innanzi descritte hanno originato un dibattito significativo in ambito internazionale, in merito all'opportunità di rimuovere dati caratterizzati da maggiore incertezza durante il processo di calibrazione. È interessante osservare come analogo contraddittorio si determina nell'ambito dell'analisi di frequenza delle piene, nel momento in cui ci si interroga sulla necessità di considerare o meno gli outliers idrologici per la stima delle portate di progetto (Laio et al., 2010). Il dibattito, ed i risultati stessi che sono stati ottenuti dalla ricerca svolta nell'ambito del Progetto, hanno messo in evidenza l'importanza fondamentale dell'identificazione del modello idrologico e della scelta di una struttura del modello con adeguata complessità. Per questa ragione, ci si è successivamente concentrati, nell'ambito del punto (4), sulla procedura di calibrazione e validazione dei modelli al fine di ridurre l'incertezza (Lombardi et al., 2012). Anche nell'ambito dell'analisi di frequenza degli eventi estremi ci si è occupati di indagare strutture modellistiche che siano caratterizzate da un'ottimale bilancio tra maggiore capacità di adattamento ai dati (modelli più parametrizzati) e maggiore robustezza (modelli minimalisti), con l'usuale fine ultimo di ridurre quando possibile l'incertezza di stima. In particolare, si è analizzato il ruolo della stagionalità degli eventi estremi nella scelta della distribuzione di probabilità (Allamano et al., 2011), riscontrando come, in tale caso specifico, l'accresciuto numero di parametri necessario per modellare processi stagionali produca una riduzione della distorsione di stima, accompagnata però da un ancor più rilevante aumento della varianza di stima.

Tornando ai modelli afflussi-deflussi, è stata proposta una procedura innovativa per la calibrazione dei parametri in riferimento a bacini non strumentati. L'idea è quella di incorporare l'informazione recata da procedure di regionalizzazione di assegnate statistiche dei deflussi fluviali nella procedura di calibrazione del modello idrologico. Nel dettaglio, in assenza di dati osservati si è verificata l'opportunità di calibrare il modello ottimizzando le statistiche di cui sopra, incorporandole nella funzione obiettivo. Le statistiche che sono state considerate sono la media, lo scarto quadratico medio ed il coefficiente di correlazione a ritardo unitario dei dati di deflusso fluviale medio giornaliero, nonché il deflusso con durata pari a 355 giorni quale indicatore del regime di magra. La procedura è stata applicata ad una selezione di bacini fluviali localizzati nelle regioni Marche ed Abruzzo ed ha fornito risultati che confermano il valore recato dalla informazione desunta dalla procedura di regionalizzazione. Infatti, l'index of agreement dei modelli, in validazione, ha assunto valori variabili da 0.73 a 0.79, confermando così i benefici che possono essere tratti dall'incorporazione di diversi tipi di informazione nella stima delle variabili idrologiche di progetto.

Al fine di stimare efficientemente la portata di durata pari a 355 giorni, ovvero una delle statistiche innanzi menzionate che sono state utilizzate per la calibrazione del modello, è stata sviluppata una procedura di regionalizzazione di indici di magra. Nel dettaglio, è stata messa a punto una tecnica di interpolazione geostatistica nell'ambito di un'assegnata rete idrografica. I risultati, pubblicati in un articolo a diffusione internazionale (Castiglioni et al., 2011) sono risultati estremamente interessanti per l'affinamento delle procedure di regionalizzazione.

Nel complesso, i risultati ottenuti sembrano confermare il valore recato da informazione non tradizionale, la cosiddetta "soft information", nella calibrazione dei modelli idrologici, indicando così opportunità di ricerca futura. Questo concetto è stato espresso nell'ambito di un articolo di opinione pubblicato su una prestigiosa rivista internazionale (Wagener e Montanari, 2011).

Inoltre, la ricerca si è concentrata sulla validazione dei modelli idrologici, argomento che sta suscitando rinnovato interesse nel panorama scientifico internazionale al fine di trarre maggiori informazioni circa l'incertezza globale del modello. L'attività condotta ha consistito, innanzi tutto, nella messa a punto di linee guida per la validazione che sono state presentate in un articolo a diffusione internazionale, pubblicato nell'ambito di uno special issue dedicato alla stima d'incertezza in idrologia (Biondi et al., 2012a; Freni et al., 2012) del quale è stato Guest Editor il Coordinatore del Progetto. Inoltre, è attualmente in corso di messa a punto una metodologia avanzata per la calibrazione di modelli idrologici in presenza di incertezza, mediante l'utilizzo di funzioni di utilità dei risultati ottenuti. Questa procedura pare essere interessante al fine di attribuire peso diverso, durante la calibrazione e validazione dei modelli, alle incertezze corrispondenti a diversi regimi fluviali. I risultati di detta attività, in corso di svolgimento, saranno presentati in ambito internazionale nell'anno 2013.

Nell'ambito del punto (5), l'attività è stata finalizzata alla messa a punto di uno schema teorico per la stima d'incertezza delle simulazioni prodotte da modelli idrologici, che consenta di incorporare esplicitamente l'informazione relativa all'incertezza dei dati in ingresso. Lo schema si basa sull'integrazione numerica, mediante

un operatore stocastico, delle diverse fonti di incertezza prese in considerazione. Nel dettaglio, la procedura ammette che l'incertezza in simulazioni prodotte da modelli idrologici sia originata da tre contributi principali, ovvero: incertezza nei dati in ingresso (la variabile di interesse nel presente progetto), incertezza parametrica ed incertezza strutturale del modello, che funge quale aggregante di tutte le fonti di incertezza che non sono state esplicitamente considerate in precedenza. L'incertezza nei dati e l'incertezza parametrica sono definite stimando le distribuzioni di probabilità di dati in ingresso e parametri, che vengono quindi trattati quali variabili casuali piuttosto che deterministiche. L'incertezza strutturale viene invece stimata analizzando l'errore del modello nella simulazione di dati osservati, nell'ipotesi che detto errore sia indipendente dall'incertezza nei dati e dall'incertezza parametrica. L'integrazione delle tre fonti di incertezza di cui sopra è effettuata mediante una procedura di simulazione che ha fornito risultati molto soddisfacenti, conducendo ad una stima statisticamente consistente della distribuzione di probabilità delle variabili simulate. Nel dettaglio, ogni singola simulazione è generata estraendo un vettore di dati in ingresso ed un vettore di parametri dalle relative distribuzioni di probabilità, che consentono di produrre una simulazione idrologica alla quale viene addizionata una realizzazione dell'errore del modello, estratta anche in questo caso dalla relativa distribuzione, ad esempio applicando tecniche di ricampionamento, che sono oggetto di un contributo in corso di valutazione presso una rivista internazionale (Sikorska et al., 2012). Riproducendo la simulazione per un numero elevato di cicli si ottiene un campione rappresentativo della distribuzione di probabilità della variabile simulata. Lo schema di simulazione è riportato nella Figura 2. Il nuovo approccio teorico innanzi descritto è stato presentato in un articolo recentemente pubblicato (Montanari and Koutsoyiannis, 2012). L'attività di ricerca relativa è tuttora in corso.

#### Referenze citate (articoli pubblicati nell'ambito del progetto)

- Alfieri L., P. Claps, F. Laio, Time-dependent Z-R relationships for estimating rainfall fields from radar measurements. *Natural Hazards And Earth System Sciences*. ISSN: 1561-8633. 10, 149-158, 2010.
- Allamano P. e Barbero S., Stima di campi di precipitazione da radar in aree ad orografia complessa: il caso della Regione Piemonte, Atti del XXXIII convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, p. 148, Bios Editore, 2012.
- Allamano P., F.Laio, P.Claps, Effects of disregarding seasonality on the distribution of hydrological extremes, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 3207-3215, doi:10.5194/hess-15-3207-2011, 2011.
- Bartolini, E., P. Allamano, F. Laio, P. Claps. Runoff regime estimation at high-elevation sites: a parsimonious water balance approach, *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 1661-1673, 2011.
- Biondi, D., Freni, G., Iacobellis, V., Mascaro, G., Montanari, A., Validation of hydrological models: Conceptual basis, methodological approaches and a proposal for a code of practice, *Physics and Chemistry of the Earth*, 42-44, 70-76, 2012a.
- Biondi D., Claps P., Cruscomagno F., De Luca D.L., Fiorentino M., Ganora D., Gioia A., Iacobellis V., Laio F., Manfreda S., Versace P. Dopo il VAPI: La valutazione delle massime portate al colmo di piena nell'esperienza del POR Calabria, Atti del XXXIII convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, p. 137, Bios Editore, 2012b.
- Castiglioni, S., Castellarin, A., Montanari, A., Sköien, J. O., Laaha, G., Blöschl, G., Smooth regional estimation of low-flow indices: physiographical space based interpolation and top-kriging, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 715-727, doi:10.5194/hess-15-715-2011, 2011.
- Claps P., D. Ganora, F. Laio, R. Radice, Riesame ed integrazione di serie di portate al colmo mediante scale di deflusso di piena, XXXII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Palermo, 14-17 settembre 2010.
- Claps P., Laio F., Allamano P., Gli Estremi degli Estremi: Eventi eccezionali e piogge di progetto, Atti del Convegno "Cosa non funziona nella difesa dal rischio idro-geologico nel nostro paese? Analisi e rimedi" ,Accademia dei Lincei, Roma, 23 marzo 2012, in press.
- Cugerone K., Allamano P., Barbero S. e Salandin A., Stima della precipitazione in siti di alta quota. Utilizzo dei dati sperimentali manuali e automatici di densità di neve fresca per la definizione di relazioni empiriche, *Neve e valanghe*, 77, 2012.
- Di Baldassarre, G., Laio, F., Montanari, A., Effect of observation errors on the uncertainty of design floods, *Physics and Chemistry of the Earth*, 42-44, 85-90, 2012.
- Freni, G., Mannina, G., Montanari, A., Uncertainty in environmental and hydrological mathematical modelling - Introduction to Special Issue "Estimating and representing uncertainty in applied hydrology, hydraulics and water quality studies", *Physics and Chemistry of the Earth*, 42-44, 1-2, 2012.
- Ganora D., F.Laio, P. Claps, An approach to propagate streamflow statistics along the river network, *Hydrological Sciences Journal*, 58 (1), 1-13, 2012.
- Laio F., D. Ganora, P. Claps, G. Galeati, Spatially smooth regional estimation of the flood frequency curve (with uncertainty), *Journal of Hydrology*, Elsevier, pp. 11, 2011, Vol. 408, ISSN: 0022-1694, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2011.07.022, 2011.
- Laio F., Allamano, P., and Claps, P.: Exploiting the information content of hydrological "outliers" for goodness-of-fit testing, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 1909-1917, doi:10.5194/hess-14-1909-2010, 2010.
- Lombardi, L., Toth, E., Castellarin, A., Montanari, A., Brath, A., Calibration of a rainfall-runoff model at regional scale by optimising river discharge statistics: Performance analysis for the average/low flow regime, *Physics and Chemistry of the Earth*, 42-44, 77-84, 2012.
- Montanari, A., e Koutsoyiannis, D., A blueprint for process-based modeling of uncertain hydrological systems, *Water Resources Research*, 48, doi:10.1029/2011WR011412.
- Sikorska, A., Montanari, A., e Koutsoyiannis, D., Estimating the uncertainty of hydrological predictions through data-driven resampling techniques, submitted to *ASCE Journal of Hydrologic Engineering*, 2012.
- Wagener, T., Montanari, A., Convergence of approaches toward reducing uncertainty in predictions in ungauged basins, *Water Resources Research*, 47, doi:10.1029/2010WR009469, 2011.

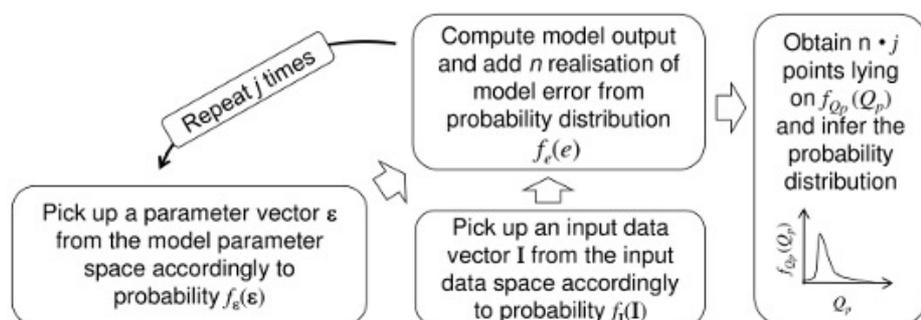


Figura 2. Schema della procedura di simulazione proposta nell'ambito delle ricerche di cui al punto 5

## 8. Problemi riscontrati nel corso della ricerca

Non sono stati riscontrati problemi particolari. Si sono rese necessarie operazioni di riorganizzazione dell'attività di ricerca in seguito ad assegnazione di un finanziamento molto inferiore a quanto richiesto, ed in seguito alla cessazione del servizio del prof. Ezio Todini, in forza alla UO di Bologna, la cui attività è stata svolta dal prof. Montanari e dai collaboratori alla ricerca.

## 9. Risorse umane complessivamente ed effettivamente impegnate (da consuntivo)

	(mesi uomo)
<b>TOTALE</b>	
da personale universitario	24
altro personale	27
<b>Personale a contratto a carico del PRIN 2008 (escluse le borse di dottorato)</b>	<b>3</b>

## 10. Modalità di svolgimento (dati complessivi)

### Partecipazioni a convegni:

	Già svolti (numero)	Da svolgere (numero)	Descrizione
<b>in Italia</b>	8	0	La partecipazione a convegni italiani ha riguardato il Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche (edizione del 2010 a Palermo ed edizione del 2012 a Brescia). In particolare, durante il convegno di Palermo il Coordinatore del Progetto ha presentato una relazione ad invito su temi attinenti la stima d'incertezza, ha organizzato una sessione dedicata all'incertezza in idrologia ed ha ricoperto il ruolo di Guest Editor di uno special issue di una rivista scientifica a diffusione internazionale dedicata agli stessi temi. Inoltre, si è partecipato ad un convegno che ha avuto luogo a Sondrio nel giugno 2011, alle Giornate dell'Idrologia che hanno avuto luogo a Bologna nel 2011, ad un workshop che ha avuto luogo a Reggio Emilia nel 2011, alla Giornata Mondiale dell'Acqua organizzata dall'Accademia dei Lincei nel 2012 ed alla Leonardo Conference che ha avuto luogo a Torino nel 2012.
<b>all'estero</b>	13	0	Si è partecipato ai meetings dell'EGU negli anni 2010, 2011 e 2012, ai meeting dell'AGU negli anni 2010, 2011 e 2012, alle edizioni della Leonardo Conference Series degli anni 2010, 2011 e 2012, nonché a meeting dell'International Association of Hydrological Sciences che hanno avuto luogo a Nanchino nel 2012, a Tunisi nel 2012 ed a Delft pure nel 2012.
<b>TOTALE</b>	<b>21</b>	<b>0</b>	

Per ogni campo di testo max 8.000 caratteri spazi inclusi

### Articoli pertinenti pubblicati:

	Numero	Descrizione
<b>su riviste italiane con referee</b>	1	E' stato pubblicato un articolo sulla rivista Neve e Valanghe.
<b>su riviste straniere con referee</b>	13	Sono stati pubblicati articoli sulle riviste scientifiche Water Resources Research, Hydrology and Earth System Sciences, Hydrological Processes, Advances in Water Resources, Physics and Chemistry of the Earth.
<b>su altre riviste italiane</b>	0	
<b>su altre riviste straniere</b>	0	
<b>comunicazioni a convegni/congressi internazionali</b>	7	Le comunicazioni a congressi internazionali sono state presentate a congressi dell'International Association of Hydrological Sciences, dell'EGU e dell'AGU.
<b>comunicazioni a convegni/congressi nazionali</b>	9	Le comunicazioni sono state presentate al Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, edizioni del 2010 a Palermo e del 2012 a Brescia.
<b>brevetti depositati</b>	0	
<b>TOTALE</b>	<b>30</b>	

Per ogni campo di testo max 8.000 caratteri spazi inclusi

Data 20/12/2012 17:15

Firma .....

Si autorizza alla elaborazione e diffusione delle informazioni riguardanti i programmi di ricerca presentati ai sensi del D. Lgs. n. 196/2003 del 30.6.2003 sulla "Tutela dei dati personali". La copia debitamente firmata deve essere depositata presso l'Ufficio competente dell'Ateneo.