

Descrizione della Ricerca eseguita e dei risultati ottenuti

Il progetto prosegue ed integra alcune linee di attività del programma CUBIST (Characterisation of Ungauged Basins by Integrated use of hydrological Techniques, www.cubist.polito.it), attivato da un finanziamento PRIN 2005 e finalizzato a rilanciare la cooperazione scientifica idrologica con obiettivi a carattere nazionale. Filo conduttore del programma e del progetto è il supporto alla valutazione delle portate caratteristiche in siti non strumentati, attraverso la costituzione di strumenti operativi (base dati e web-gis del sistema nazionale di bacini idrografici rappresentativi - www.cubist.polito.it/webgis) ed il miglioramento delle conoscenze sulla variabilità dei processi idrologici nello spazio. Ci si riferisce qui a diversi contesti territoriali, ed a scale di versante, di bacino e regionale. Per molti versi il progetto si pone su una linea di continuità con precedenti attività di ricerca idrologica a carattere nazionale (ad es. il Progetto VAPI del GNDCI-CNR, www.idrologia.polito.it/gndci/Vapi.htm). Le specificità del presente progetto sono relative ad un rilancio dell'analisi geomorfo-pedologica a scala di bacino, basata su un elevato investimento a carattere sperimentale, ad un consistente miglioramento dei metodi di identificazione e stima dei caratteri dominanti sulla formazione delle piene in ambienti temperati e montani, e alla prosecuzione di attività finalizzate alla definizione di strumenti per la caratterizzazione dei bacini italiani, tra cui i caratteri della vegetazione desunti da immagini satellitari.

I risultati specifici conseguiti nelle macroattività, metodologiche, riassunti nel seguito, sono stati presentati nelle sessioni scientifiche internazionali organizzate con specifico riferimento al progetto (si veda www.cubist.polito.it/events/). I lavori già pubblicati sono elencati in www.cubist.polito.it/publications/ e quelli non ancora pubblicati verranno sottoposti a peer-review nella Special Issue appositamente organizzata sulla rivista internazionale HESS (Hydrology and Earth System Sciences) dal titolo "Catchment Classification and PUB" (www.cubist.polito.it/2010/12/hess-special-issue/). Il numero speciale di HESS, ambito di discussione aperto ed internazionale, rappresenta il contributo scientifico conclusivo del progetto.

Con riferimento agli obiettivi specifici del progetto si riportano sinteticamente i risultati conseguiti nelle diverse linee di attività.

I) Ricontro statistico e su base geomorfoclimatica delle relazioni tra portate caratteristiche e descrittori dei bacini idrografici.

Tale macroattività, che ha visto impegnate quasi tutte le UURR del progetto, è cruciale per l'obiettivo finale della stima di portate caratteristiche in bacini non strumentati. Prevede diverse linee di indagine ed è stata integrata con quella relativa alla definizione di metodi di classificazione non supervisionata dei bacini idrografici.

Un primo ed importante ambito di indagine è consistito nella definizione di metodi per la determinazione oggettiva di legami tra indicatori statistici delle piene e parametri geomorfologici e climatici. In questo senso, parte del lavoro è stato svolto su bacini alpini (Nord Ovest Italiano) su cui la variabilità spaziale delle piene è stata valutata attraverso alcuni indicatori statistici robusti, gli L-momenti. Questi sono calcolati sulle serie storiche disponibili e permettono di ricostruire la curva di frequenza delle piene. Elemento fondamentale dell'analisi risultata essere la metodologia per il trasferimento delle informazioni tra siti strumentati e non (potenzialmente ogni punto del reticolo idrografico) che si basa, per ogni L-momento, su una o più relazioni di regressione multipla (Laio et al., 2010). In queste relazioni le variabili indipendenti sono caratteristiche (descrittori) geomorfologiche e climatiche dei bacini, determinabili attraverso le procedure sviluppate nella macroattività 2 del progetto. Una seconda applicazione è stata basata su tecniche di interpolazione geostatistiche, che a loro volta prescindono dalla necessità di identificare preventivamente una suddivisione dell'area di studio in regioni idrologicamente omogenee (v. ad es. Castiglioni et al., J.HYDROL, 2009). Le metodologie di Chokmani e Ouara (WRR, 2004), ed il Top-kriging di Skøien et al. (HESS, 2006) sono state applicate per la stima degli indici di magra in 51 bacini idrografici dell'Italia centrale (Marche ed Abruzzo). Dopo aver verificato che le tecniche indicate possono conseguire prestazioni uguali o superiori a tecniche già proposte in letteratura (es. Castiglioni et al., J.HYDROL., 2010) si sono messe a confronto PSBI e Top-kriging per la stima della portata media giornaliera Q355 con frequenza di superamento di 355 giorni su base annuale. L'applicazione, basata anche su alcuni descrittori morfoclimatici, sembra indicare una maggior accuratezza delle stime derivanti dall'applicazione della tecnica PSBI, con indizi sulla complementarità delle prestazioni dei due modelli. Infatti, la tecnica PSBI mostra una maggiore accuratezza di stima per i bacini di testata, mentre il Top-kriging sembra essere più efficiente per la stima degli indici di interesse nelle sezioni vallive o di piumura.

Il secondo ambito ha riguardato le rappresentazioni geomorfoclimatiche delle distribuzioni delle piene in diversi ambienti climatici: a) Meccanismi a soglia per l'attivazione di eventi estremi in bacini temperati. Il modello di derivazione di frequenza delle piene proposto da Iacobellis e Fiorentino nel 2000 (modello IF) e basato sull'effetto dell'area contribuyente parziale sul picco di piena è stato generalizzato (modello TCIF, v. Gioia et al., 2008) fornendo una nuova formulazione di distribuzione derivata delle piene, in cui si sono considerate esplicitamente due componenti di ruscellamento associate rispettivamente agli eventi ordinari e straordinari. In Gioia et al., 2008, il modello è stato testato su un gruppo di 10 bacini del sud Italia caratterizzati da elevato valore del coefficiente di asimmetria dei massimi annuali dei colmi di piena, ed in Fiorentino et al., 2010 e Iacobellis et al., 2010b a 33 bacini idrografici appartenenti alle regioni di Puglia, Basilicata e Calabria, caratterizzati da differenti caratteristiche climatiche, geomorfologiche, di permeabilità e di uso del suolo.

b) Influenza della variabilità altimetrica sulle piene dei bacini montani Per studiare gli effetti della variabilità altimetrica sulla curva di frequenza delle piene è stato definito un semplice modello geomorfoclimatico completamente analitico [Allamano et al., 2009] basato su un meccanismo sottrattivo capace di ridurre la porzione di bacino attiva nella formazione della piena all'aumentare della quota. Il modello è stato testato su 57 bacini situati nelle Alpi italiane nord occidentali. Su questi bacini il modello è stato in grado di spiegare la relazione esistente tra il valore della piena media e la quota in assenza di calibrazione.

Applicazioni di questo modello sono anche state fatte in modo estensivo sul territorio svizzero, per valutare i possibili effetti di un innalzamento delle temperature e di incremento della precipitazione sul rischio di piena.

L'ultimo ambito di indagine è consistito in un approccio alla classificazione dei bacini idrografici mediante uso delle reti neurali non supervisionate (le Self Organising Maps, SOM, Toth, HESS, 2009). Le reti SOM organizzano i dati attraverso tecniche non lineari che dipendono dall'intrinseca similarità dei dati stessi. Lo studio ha considerato l'insieme dei circa 300 bacini idrografici del database del progetto, considerando diverse classificazioni SOM. Una prima classificazione è stata identificata usando come input alla rete neurale esclusivamente indici del regime dei deflussi (variabili Y): il deflusso medio annuo (mm) e i momenti-L campionari di ordine 1, 2, 3 e 4 delle serie dei massimi annuali al colmo. Anche se la classificazione SOM così ottenuta (SOMY) non risulta utilizzabile ai fini pratici per bacini non strumentati, è stata scelta come classificazione di riferimento o ottimale. Le classificazioni alternative, derivabili per bacini non strumentati (variabili X), sono state: Una classificazione SOMX, che adotta direttamente le variabili X come input alla rete SOM., ed altre tre identificate applicando la tecnica SOM a due serie di variabili derivate dalle X di partenza mediante analisi multivariata: la Principal Component Analysis (PCA) e la Canonical Correlation Analysis (CCA). Il confronto tra gli indici prestazionali ottenuti per il caso NOCLASS e per tutte le classificazioni alternative (SOMX, SOMPC3, SOMU, SOMU4) mostra come l'assenza di una classificazione porti a stime meno accurate per tutti gli indici considerati, a riprova dell'utilità dell'impiego delle reti SOM. I risultati mostrano poi come l'impiego della PCA (SOMPC3), ma soprattutto della CCA (SOMU e SOMU4), possa utilmente migliorare l'accuratezza di stima dei modelli regionali rispetto alla classificazione basata direttamente sulle variabili X (SOMX).

II) Sviluppo del sistema dei bacini idrografici italiani e dei loro descrittori

Il sistema di bacini CUBIST (www.cubist.polito.it) rappresenta il primo esempio di una raccolta coordinata ed omogenea di dati fisiografici ed idrologici relativi a bacini idrografici italiani. La fruizione pubblica delle informazioni raccolte ed elaborate nel corso dei due consecutivi progetti PRIN è stata prevista tramite pubblicazione dei dati via web-gis. La U.R. di Torino ha ulteriormente sviluppato il database prodotto nel corso del progetto PRIN 2005 "CUBIST" per consentire la gestione dei nuovi parametri climatici e geografici dei bacini già caratterizzati con dati idrologici e morfologici. Per la definizione dei nuovi parametri sono state sviluppate procedure di calcolo automatico in ambiente GRASS GIS. È stato inoltre eseguito l'upgrade dei sistemi informatici: il database in PostgreSQL è stato aggiornato alla versione 8.3; il sito www.cubist.polito.it è stato trasferito dalla piattaforma CMS EZPublish a quella Wordpress.

Il nuovo sito è stato integrato con un WebGIS, configurando il framework PMapper. Il WebGIS CUBIST, pubblicato all'indirizzo www.cubist.polito.it/webgis, consente la visualizzazione e l'interrogazione puntuale dei dati idrologici utilizzati nel

2 progetto, nonché dei dati vettoriali dei limiti di bacino e dei circa 160 parametri morfologici, climatici e geografici derivati per ognuno degli oltre 300 bacini idrografici considerati. Sono inoltre rappresentati come dati vettoriali la distribuzione della rete pluviometrica SIMN, il reticolo idrografico e la carta geologica pubblicati da ISPRA. A questi dati si aggiungono circa 40 coperture raster a livello nazionale: DEM STRM elaborato, NDMI medio annuo e mensile, temperatura media annua e mensile, parametri a ed n delle curve IDF delle precipitazioni, Corine Land Cover 2000 raster riclassificato e mappa del Curve Number derivato dal Corine.

III) Metodi per l'up-scaling delle informazioni idro-pedologiche.

Per studiare l'influenza dei caratteri di assorbimento del suolo nell'ambito dei metodi di riproduzione dei fenomeni di piena si è affrontata un'ampia analisi sperimentale e di campo sulle caratteristiche idrauliche dei suoli, partendo dalla scala del pedon, al fine di determinarne le caratteristiche essenziali e poi estenderle a scale superiori, di parcella e poi di bacino. Particolare attenzione è stata posta: -all'upscaling dell'eterogeneità di alcune proprietà dei suoli in unità omogenee di suolo mediante pedofunzioni di trasferimento (PTF) fisicamente basate; -all'individuazione di parametri efficaci che sintetizzino la variabilità spaziale dei parametri e, -alla classificazione idrologica dei suoli nelle diverse unità pedologiche del bacino; Per il raggiungimento di questo

obiettivo sono state svolte le seguenti attività: 1. Rilevamento geomorfo-pedologico e analisi chimiche per classificazione suoli; 2. Caratterizzazione idrologica dei suoli in campo e campionamento per analisi di laboratorio; 3. Caratterizzazione idrologica dei suoli e parametrizzazioni; 4. Calibrazione di Pedofunzioni (PTF)

L'attività è stata svolta con riferimento al bacino del Torrente Sangone, in provincia di Torino. Alla luce delle prime elaborazioni, l'areale di studio è stato suddiviso in 3 ambienti fisiografici con caratteristiche morfometriche molto diverse. Inoltre si è rivelato utile l'esame della dinamica vegetazionale, tramite l'elaborazione di NDVI ottenuti da immagini satellitari Landsat (28 m di risoluzione) e Modis (232 m) di cui è stato realizzato uno stack multitemporale, con passo di 16 gg. per il 2005.

Nella fase di rilevamento l'ubicazione dei punti per l'apertura dei profili è stata pianificata tramite la classificazione del territorio ottenuta dalle elaborazioni del DEM e delle immagini da satellite. In totale sono stati descritti e campionati circa 50 profili pedologici e circa 50 minipit per la variabilità spaziale dei suoli. Sono stati prelevati circa 220 campioni di terreno per le analisi chimiche e fisiche di routine, descritte in dettaglio nella relazione della UR CNR-NA. In alcuni dei siti, ritenuti altamente rappresentativi dei principali sistemi di paesaggio, è stato utilizzato un infiltrometro a tensione per descrivere il comportamento idraulico dei suoli direttamente con misure di campo.

Inoltre, nella maggior parte dei profili analizzati sono stati campionati, per la determinazione in laboratorio della funzione di ritenzione idrica e di conducibilità idraulica, gli orizzonti funzionali più importanti. In totale sono stati campionati 81 orizzonti con cilindri di dimensioni diverse (800 cc e 100 cc) in funzione del suolo e della metodologia di analisi prevista. Calibrazione di Pedofunzioni (PTF) Essendo la misura delle proprietà idrauliche lunga e complessa, si ricorre spesso alla loro stima mediante relazioni semplificate (PTF, Peto Transfer Function). In questo progetto è stata calibrata una PTF su base fisica (modello A&P di Arya e Paris, 1981). Il modello di A&P è stato applicato ad un subset di campioni per i quali si disponeva delle curve di ritenzione, delle densità apparenti e delle distribuzioni dei diametri delle particelle, fornendo eccellenti risultati. In definitiva, per l'ambiente in questione, è stato messo a punto un sistema di equazioni calibrate e validate che, partendo dai valori di granulometria e di sostanza organica, permettono di ottenere la curva di ritenzione idrica, indispensabile per la modellistica idrologica di versante.

Cartografia idro-pedologica Come risultato finale, sono stati riconosciuti 19 pedo-paesaggi ognuno dei quali è caratterizzato da un profilo rappresentativo, producendo una carta geomorfo-pedologica del bacino del torrente Sangone. La carta dei suoli, pur rappresentando uno strumento essenziale di lavoro, non risolve il problema della definizione dei parametri idrologici da assegnare ad ogni unità di suolo. In particolare, la notevole variabilità pedologica non sempre si traduce in una variabilità di comportamento idrologico. Per identificare un criterio di classificazione dei suoli parsimonioso, ma adeguato per una corretta rappresentazione dei principali processi idrologici che presiedono alla formazione del deflusso superficiale si è operato attraverso opportuni modelli di trasformazione afflussi-deflussi. Mediante l'uso congiunto del modello distribuito fisicamente basato TOPKAPI (v. ad es. Liu e Todini, HESS, 2002) e di un modello numerico puntuale basato sulla risoluzione dell'equazione di Richards (sviluppato da CNR_NA) si è pervenuti ad una classificazione pedologica dei suoli di pratica applicabilità.

Nel caso studio preso, bacino del Sangone chiuso a Trana, le dimensioni del bacino (150 km²) sono sufficienti a coinvolgere le principali componenti idromorfologiche (ad. es. crinale, versante, fondovalle), ma contenute da permettere di discriminare gli effetti delle diverse unità di suolo sul processo integrato (portata). Le indagini svolte hanno permesso di validare gli schemi di aggregazione analizzati sulla base della corretta riproduzione del deflusso in alveo e del grado di saturazione del suolo in alcuni punti particolarmente rappresentativi. Hanno pertanto permesso di razionalizzare la classificazione dei suoli del bacino mediante l'identificazione di aree con un comportamento idrologico uniforme, pervenendo ad una suddivisione in 7 classi.

IV) Metodologie di indagine di componenti del ciclo idrologico basate sull'uso di sensori remoti

In questo macro ambito sono riunite tutte le componenti relative all'elaborazione di grandezze provenienti da sensori remoti (radar e satelliti), finalizzata ad arricchire le valutazioni idrologiche di bilancio (a breve e lungo termine) a scala di bacino. In alcuni casi si è operato all'interno di modelli aventi parametri direttamente legati a variabili telerilevate, per lo più riferite alla vegetazione. Carattere comune a molti degli approcci è quello relativo alla coesistenza di osservazioni a diverso grado di risoluzione spaziale e temporale.

a) Variabilità spaziale delle precipitazioni estreme Il principale risultato di questa attività è stata la definizione di una procedura efficiente per la trasformazione di campi spaziali di riflettività (Z), forniti da radar meteorologico, in campi di precipitazione areale. Ciò è avvenuto mediante accoppiamento con misure di altezza di pioggia fornite dalla rete pluviometrica [Alfieri et al., 2010]. L'area analizzata è stata una porzione di territorio piemontese prossima al radar di Bric della Croce, gestito da ARPA Piemonte. L'area include il bacino del Sangone, precedentemente richiamato. Si sono considerati i dati raccolti dai pluviometri localizzati nell'area interessata, che misurano l'intensità di pioggia (R) con la medesima risoluzione temporale del radar (10 minuti). La metodologia proposta consiste nello stimare relazioni di potenza del tipo $Z = a R^b$ su finestre temporali mobili di diversa ampiezza, e di valutare l'accuratezza di stima in funzione della durata della finestra di calibrazione. L'analisi ha riguardato 19 eventi di precipitazione intensa occorsi nella regione di studio tra il 2003 e il 2006. I risultati sono stati confrontati con quelli derivanti da metodi comunemente usati quali (1) la relazione attualmente adottata presso ARPA Piemonte, $Z = 300 R^{1.5}$, (2) una relazione ottenuta minimizzando la somma quadratica dei residui di stima, ottenuti considerando tutte le coppie di valori Z-R, e (3) un metodo analogo a (2) che stima una relazione per ciascun evento di pioggia. La qualità della rappresentazione raggiunta, sia finalizzata a ricostruzione di eventi passati sia per obiettivi di impiego in tempo reale, è di livello tale da consentirne un agevole impiego in ricostruzione di piogge spazialmente distribuite.

b) Relazioni tra descrittori dedotti da dati satellitari e caratteri idrologici a diverse scale spaziali

Una prima linea di indagine si è valutata l'idoneità di dati satellitari ad alta risoluzione temporale e bassa risoluzione geometrica (immagini MODIS) alla riproduzione delle caratteristiche fenologiche della vegetazione. Un primo confronto è stato condotto tra indici di vegetazione (NDVI) calcolati alla stessa data (per cinque date diverse) a partire da dati MODIS (prodotto MOD09: Surface Reflectance Daily L2G Global 250 m) e dati Landsat 7 ETM + opportunamente calibrati. Le differenze di valore di indice, analizzate per classi di copertura dei suoli così come dichiarate sulla carta IPLA 1:10.000 sembrano evidenziare una soddisfacente analogia nella stagione fenologica di maggiore attività ed un progressivo allontanamento nelle stagioni iniziali e finali.

Per aumentare il grado di dettaglio spaziale si è usata una procedura di ricampionamento (Boccardo et al., 2005) guidata dalla carta di uso del suolo IPLA. In condizioni operative, la procedura di ricampionamento si applica ai prodotti MOD13 (MVC 15 gg). Utilizzando un'unica immagine MOD13 ricampionata, si sono ricercate le eventuali correlazioni esistenti tra NDVI MOD13 e parametri morfometrici del territorio (PLAN curvature, ASPECT e WETNESS INDEX). I confronti sono stati condotti per classi di copertura dei suoli. Le correlazioni non sembrano forti, ma sono meritevoli di approfondimenti.

La valutazione delle potenzialità dell'AMSU, montato a bordo del satellite NOAA 18 per la mappatura dell'umidità del suolo su larga scala (linea 2) è stata preceduta da una campagna di misure idrologiche, applicata ad un'area ristretta (di circa 0.6 km²) del bacino sperimentale Fiumarella di Corleto (PZ) (32 km²), consistente nel rilievo di dati di umidità del suolo lungo un transetto, collocato in un'area a totale copertura vegetale. Si è osservato che la variabilità spaziale dell'umidità del suolo cresce con il suo valore medio fino a raggiungere un massimo in corrispondenza di 0.35 [cm³/cm³], molto prossimo al valore sperimentale della capacità di campo. Le misure di umidità, eseguite attraverso l'apparato TDR100, sono state confrontate con misure gravimetriche e geoelettriche, realizzate lungo il transetto, dimostrando l'affidabilità delle ultime (Onorati et al., EGU 2008). Queste presentano però elevata incertezza in per valori bassi del contenuto idrico dei suoli. La campagna di misure puntuali quasi contemporanee ai passaggi del satellite NOAA 18 ha prodotto due indici: il Surface Wetness Index (SWI) ed il Soil Wetness Variation Index (SWVI).

La comparazione con i dati AMSU ha mostrato la necessità di filtrare tale dato, per avere indicazioni rappresentative anche degli strati più profondi di suolo [Wagner et al., 1999]. Si è poi visto che l'indice SWI mostra performance nettamente superiori rispetto al SWVI (Manfreda et al., 2010). Definizione di parametri a supporto del modello Dream Nello studio condotto da Gigante et al. (2009) è stato utilizzato il LAI (Leaf Area Index), derivato dai dati del satellite NOAA-AVHRR e da MERIS, come descrittore fisiologico dello stato vegetativo necessario alla stima dell'evapotraspirazione potenziale (con Penman-Monteith, Thornthwaite e Hargreaves). Da tali analisi si osserva che un ruolo fondamentale è svolto dalle relazioni empiriche usate per ottenere il LAI dall'NDVI.

Le mappe del LAI sono state derivate a partire dall'NDVI per mezzo dei modelli di Caraux-Garson et al (1998) o di Beer (Lacaze et al., 1996). Usando immagini MERIS, con risoluzione di 300 metri e relative ai mesi di Aprile, Maggio e Giugno 2007 si è evidenziata una buona correlazione tra la legge non lineare di Beer e l'algoritmo TOA-VEG, con questi ultimi confrontabili con quelli calcolati su campi di grano non irrigati della Spagna (Aparicio et al., 2000).

Tale legge sembra essere la più adatta per rappresentare la variazione spaziale della copertura vegetale nella zona oggetto di studio. Il modello DREAM (Manfreda et al. 2005) valorizza fortemente l'informazione contenuta nelle mappe del LAI ed è stato applicato alla scala giornaliera in diversi bacini di medie dimensioni. Qui l'area di studio è quella del bacino del Candelaro, in Puglia (1980 km²) e una quota media di 300 mslm, il cui regime idrologico è mediterraneo semiarido con forte stagionalità, intermittenza e occorrenza periodica di magre e piene improvvise. L'applicazione del modello DREAM ha mostrato che le sue prestazioni dipendono fortemente dalla legge scelta per la valutazione dell'evapotraspirazione potenziale, e dipendono meno dalle differenti funzioni di pedotrasferimento.