

RELAZIONI TRA TRASPORTO SOLIDO E VARIABILI IDROLOGICHE NEI CORSI D'ACQUA DELLA PUGLIA SETTENTRIONALE

Francesco Gentile, Tiziana Bisantino, Pamela Milella, Giuliana Trisorio Liuzzi

Dipartimento PROGESA Sezione di Sistemazioni Idraulico-Forestali
Università degli Studi di Bari - Via Amendola 165/A Bari

RIASSUNTO

In anni recenti un crescente numero di studi sui cambiamenti climatici ha analizzato le possibili alterazioni delle differenti componenti del ciclo idrologico. Tali componenti influenzano il trasporto solido nei corsi d'acqua sia direttamente, attraverso i processi erosivi e i deflussi liquidi, sia indirettamente, attraverso le variazioni di uso del suolo e di copertura vegetale. Un'analisi condotta per i corsi d'acqua della Puglia settentrionale, riguardo al legame esistente tra i deflussi torbidi e le principali variabili idrologiche, morfologiche e di uso del suolo, ha evidenziato che la maggior parte del sedimento in sospensione viene trasportato durante le piene. La carenza di osservazioni che spesso si osserva in molti bacini del Mediterraneo ha suggerito la verifica dell'adattabilità di alcune formule di previsione della capacità di trasporto (Ackers-White, Engelund-Hansen, Yang e van Rijn) ai dati sperimentali disponibili per un bacino rappresentativo dell'area di studio. L'analisi ha inteso verificare l'adattabilità delle formule al contesto locale, valutare l'influenza della scala temporale di applicazione e l'accuratezza nella stima del carico solido al variare della portata liquida. L'esigenza di riprendere le misure di trasporto solido nei corsi d'acqua della Puglia settentrionale ha suggerito la realizzazione di una stazione sperimentale di misura in continuo dei solidi sospesi lungo il torrente Carapelle. La stazione è stata attrezzata con un torbidimetro ottico ad immersione le cui funzionalità sono state verificate in laboratorio ed in campo.

1. INTRODUZIONE

Il trasporto solido nei corsi d'acqua rappresenta un efficace indicatore dei processi erosivi superficiali e profondi che interessano i versanti ed il reticolo idrografico nel suo complesso.

Dall'analisi dei legami che intercorrono tra i deflussi torbidi e le caratteristiche morfologiche e di uso del suolo dei bacini della Puglia settentrionale, è emerso che poco rilevante è il ruolo delle variabili morfometriche e delle caratteristiche vegetazionali che, seppur influenzano le portate di piena, non risultano direttamente correlate ai deflussi torbidi (Marchi *et al.*, 1986). Una buona correlazione è stata riscontrata, invece, tra i deflussi di piena ed i deflussi torbidi confermata da analoghi studi condotti in altri contesti (Walling *et al.*, 1992). Durante gli eventi di piena la relazione esistente tra la concentrazione dei solidi sospesi e la portata non è generalmente lineare ma presenta un'isteresi rappresentativa della non stazionarietà del flusso (De Sutter, 2001). Tale relazione può assumere andamento orario, antiorario o misto a seconda della localizzazione delle aree sorgenti di sedimento (Williams, 1989; Lenzi e Marchi, 2000).

D'altra parte l'intensità dei processi erosivi è controllata dalla temperatura ed umidità del suolo che influenzano direttamente la stabilità degli aggregati (Lavee *et al.*, 1998). Ne consegue che i cambiamenti climatici in atto, caratterizzati nelle aree del Mediterraneo da un incremento degli eventi meteorici estremi e delle temperature medie (IPCC, 2007),

potrebbero creare le condizioni per un corrispondente aumento di intensità dei fenomeni erosivi e di trasporto solido a scala di bacino con conseguenti alterazioni nella gestione della risorsa idrica.

Il trasporto solido in sospensione che interessa i bacini della Puglia settentrionale è stato lungamente monitorato presso le stazioni del Servizio Idrografico e Mareografico (1933-1989) localizzate sul torrente Candelaro, sul fiume Ofanto e sui rispettivi affluenti. La mancanza di dati a partire dal 1989 ha suggerito la verifica dell'adattabilità di alcune formule per il calcolo della capacità di trasporto solido con l'obiettivo di estendere i risultati ad altri bacini del Mediterraneo che spesso mostrano una carenza di osservazioni.

Le relazioni più idonee a rappresentare il fenomeno sono quelle di Ackers-White (1973), Engelund-Hansen (1967), Yang (1979) e van Rijn (1993). Tali formule determinano la portata solida in funzione dei deflussi liquidi e di alcuni parametri fisici dei sedimenti e dell'alveo (Armanini, 2005). Le prime tre stimano il carico totale, mentre l'ultima distingue le due forme di trasporto (in sospensione e di fondo) e dipende, oltre che dal deflusso e dalle caratteristiche dei sedimenti, anche dalle condizioni critiche di incipiente movimento della fase in sospensione. Le formule individuate sono state applicate al torrente Arcidiaconata, corso d'acqua che alimenta un importante invaso della regione Puglia, la diga di Abate Alonia. I risultati delle appli-



cazioni delle formule, alle diverse scale temporali, e l'analisi di sensitività condotta per la formula di van Rijn, variando i valori del parametro di mobilità critico, hanno consentito di valutarne l'adattabilità alle condizioni di trasporto dell'area in esame.

L'interruzione delle misure di trasporto solido nei bacini della Puglia settentrionale a partire dal 1989 ha evidenziato la necessità di sperimentare una metodologia di monitoraggio automatico e continuo del carico solido finalizzata all'acquisizione di misure accurate, specie durante gli eventi di piena (Lewis, 1996). A tal fine è stata realizzata sul torrente Carapelle una stazione sperimentale di misura del trasporto solido in continuo (Bisantino *et al.*, 2006). Lo strumento adottato, una sonda ottica ad immersione, ha un funzionamento in doppia modalità (torbidità/solidi sospesi) ed è stata testata in laboratorio ed in campo (Gentile *et al.*, 2007; Gentile *et al.*, 2008).

2. AREA DI STUDIO

L'area in esame ricade nel territorio della Puglia settentrionale nel quale si sviluppano i principali corsi d'acqua della regione (fig. 1; tab. 1): il Candelaro, il Cervaro, il Carapelle, l'Ofanto. Essi nascono dai rilievi del Sub-appennino Dauno e si estendono nel Tavoliere sino al Mar Adriatico con carattere prevalentemente torrentizio.

Il torrente Candelaro scorre ai piedi del Gargano con direzione NO-SE in corrispondenza di una faglia di distensione instauratasi durante l'emersione del promontorio; ha una lunghezza di 67 Km circa e

raccoglie le acque di un bacino di 1780 Km². Il versante sinistro risulta essere poco sviluppato, al contrario del versante destro che è attraversato da vari affluenti quali il canale S. Maria ed i torrenti Triolo, Casanova, Salsola, Vulgano e Celone.

Il fiume Ofanto ricade nel territorio pugliese, campano e lucano, e si sviluppa nell'ambiente geomorfologico dell'Appennino lucano attraversando la piana del Tavoliere al confine con l'altipiano delle Murge. Il corso d'acqua principale ha una lunghezza di 170 km e raccoglie le acque di un bacino idrografico di 2702.8 km². Il bacino che alimenta la diga di Abate Alonia e che intercetta le acque del torrente Rendina, principale affluente dell'Ofanto, è suddiviso in due bacini secondari, il Venosa e l'Arcidiaconata.

L'assetto geostrutturale del torrente Candelaro è caratterizzato da una parte orientale pianeggiante e poco incisa, caratterizzata dalla presenza di sedimenti argilloso-sabbiosi del plio-pleistocene, e una parte occidentale, che rientra nel sistema orografico dei Monti della Daunia, dove affluiscono facies flyscioide di età miocenica. La serie flyscioide (nota come Formazione della Daunia) poggia sul complesso delle argille varicolori caratterizzate da frequenti intrusioni di rocce lapidee.

Le formazioni ignee e sedimentarie che costituiscono i versanti del bacino che alimenta la diga di Abate Alonia si sono formate durante il periodo Terziario e Quaternario. Le rocce ignee interessano principalmente il torrente Arcidiaconata e sono costituite da un'alternanza continua di lave e di prodotti piroclastici che si sono depositati sui sedimenti terziari e plio-pleistocenici della zona del Vulture. Nel bacino del torrente Venosa, invece, le formazioni litologiche affioranti, sono costituite, procedendo dalle più recenti alle più antiche, da depositi limo-vulcanici di copertura, da ciottoli del Pleistocene, da breccie e calcari del flysch calcareo-argilloso del Paleogene di base (Cotecchia e Lonoce, 1963).

Le caratteristiche climatiche dell'area sono influenzate dal gradiente altimetrico esistente tra la pianura del Tavoliere e i Monti del Sub-Appennino Dauno: le precipitazioni medie annue sono comprese tra i 450 e gli 800 mm e le temperature medie annue oscillano tra 13,5 e 18 °C. Il mese più freddo è gennaio mentre la stagione calda è concentrata nei mesi di luglio e agosto.

La vegetazione è caratterizzata nelle zone a quote più elevate da boschi (querceti decidui e latifoglie eliofile) e pascoli, mentre nelle zone di bassa collina prevalgono gli usi agricoli (seminativo, vigneti ed oliveti).

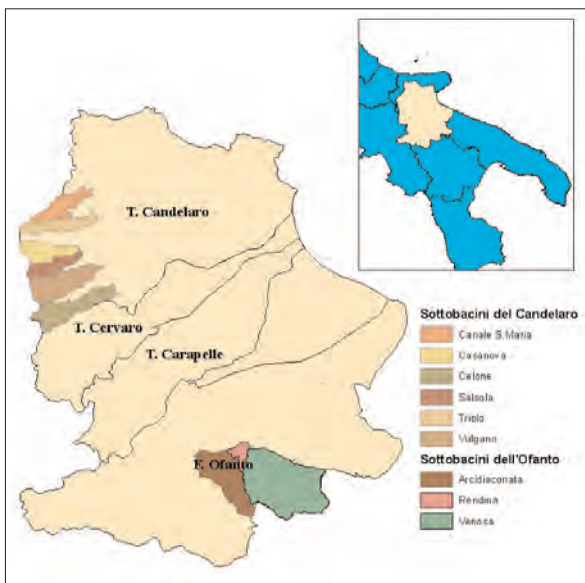


Figura 1 - Localizzazione dei sottobacini del torrente Candelaro e del fiume Ofanto chiusi alle stazioni di misura del trasporto solido



Torrente		Celone	Canale s. Maria	Vulgano	Triolo	Casanova	Salsola	Arcidiaconata	Venosa
Superficie(km ²)		92,5	58,1	94,1	55,8	57,4	44,1	124,0	263,0
Altitudine	max	1125,0	750,0	1125,0	967,0	875,0	1025,0	1300,0	875,0
	media	544,0	204,0	467,0	301,0	447,0	432,0	553,0	464,0
	min	189,0	89,0	179,0	114,0	179,0	189,0	225,0	221,0
Pendenza media del bacino %		4,5	4,1	5,4	4,8	4,9	6,1	17,8	8,7

Tabella 1 - Principali caratteristiche dei sottobacini in esame

3. ANALISI DELLE SERIE STORICHE DEL TRASPORTO SOLIDO IN SOSPENSIONE

Le analisi hanno riguardato le serie storiche registrate dal 1965 al 1986 in sei stazioni torbiometriche ricadenti nel bacino del Candelaro e localizzate lungo i torrenti Celone, Vulgano, Salsola, Casanova, Triolo e C. S. Maria, e le serie storiche registrate dal 1958 al 1989 in due stazioni ricadenti nel bacino dell'Ofanto localizzate lungo i torrenti Arcidiaconata e Venosa.

I deflussi torbidi medi annui di tutti i bacini esaminati assumono valori medi confrontabili tra loro ad eccezione del torrente Vulgano che mostra un contributo unitario maggiore degli altri ed il torrente Venosa che, invece, registra un contributo unitario inferiore rispetto alla media (fig. 2). I deflussi torbidi medi mensili di tutti i bacini (fig. 3) sono concentrati nei mesi invernali ed all'inizio della stagione autunnale.

L'analisi dei dati relativi a tutti i sottobacini evidenzia l'esistenza di una relazione tra il trasporto torbido medio annuo ed i deflussi liquidi, in particolare la portata massima unitaria (fig. 4). La correlazione tra i deflussi torbidi e le altre variabili idrologiche (afflussi e coefficienti di deflusso) invece è risultata meno significativa e ciò conferma che, anche per i bacini della Puglia settentrionale, il deflusso torbido è principalmente condizionato dagli eventi di piena.

La relazione tra il trasporto torbido e le portate massime ha suggerito l'analisi dell'andamento temporale dei deflussi liquidi per i torrenti in esame. L'evoluzione temporale dei deflussi è stata esaminata riportando sia il diagramma cronologico delle portate medie sia le portate medie giornaliere corrispondenti a valori caratteristici delle durate espresse in giorni. In particolare sono state considerate le Q_{30} , Q_{182} e Q_{355} , ossia le portate che vengono raggiunte o superate rispettivamente 30, 182 e 355 giorni all'anno. Le Q_{30} sono rappresentative dei deflussi di piena, le Q_{182} sono dette anche portate semipermanenti per il grado di avvicinamento alla portata costante ed infine le Q_{355} sintetizzano i regimi di

magra.

Tra le stazioni considerate si riportano i dati relativi ai torrenti Salsola chiuso a ponte Foggia-S. Severo (bacino di estensione 463 km²) e Arcidiaconata chiuso a ponte Rapolla-Lavello (bacino di estensione 124 km²). La scelta dei due torrenti, affluenti rispettivamente del Candelaro e dell'Ofanto, è stata determinata dalla disponibilità del maggior numero di osservazioni idrometriche per un periodo pressoché continuo relativo alla seconda metà del secolo scorso.

Dall'analisi dei diagrammi riportati in figura 5 si evidenzia, in entrambi i corsi d'acqua e per il periodo osservato, un trend decrescente delle portate semipermanenti (Q_{182}). Un analogo decremento si osserva per le Q_{355} , mentre i deflussi di piena (Q_{30}) si riducono per il Salsola ed aumentano nell'Arcidiaconata.

4. VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ DI TRASPORTO DEL TORRENTE ARCIDIACONATA

Alcune formule empiriche per la stima del trasporto solido totale (Ackers-White, 1973; Engelund-Hansen, 1967; Yang, 1979; van Rijn, 1993) sono state applicate utilizzando i dati relativi alla granulometria del materiale solido trasportato dal torrente Arcidiaconata che raggiunge l'invaso di Abate Alonia (Cotecchia e Lonoce, 1963). Si tratta di sedimenti appartenenti prevalentemente alla classe delle sabbie fini con un diametro mediano $d=0,15$ mm.

La formula di van Rijn differisce dalle altre poiché distingue le due forme di trasporto (in sospensione e di fondo) e dipende non solo dai deflussi e dalla natura dei sedimenti ma anche dalla condizione di incipiente movimento della fase in sospensione. Il valore del parametro critico di incipiente movimento θ_c della fase in sospensione dipende dal diametro caratteristico del materiale e presenta un'ampia variabilità (Armanini, 2005). Per tale motivo la formula di van Rijn è stata calibrata variando tale parametro nel range di valori ammissibili per lo specifico diametro caratteristico del materiale trasportato.



CAMBIAMENTI CLIMATICI E RISCHI GEOLOGICI IN PUGLIA

CASTELLO DI SANNICANDRO DI BARI - 30 Novembre 2007

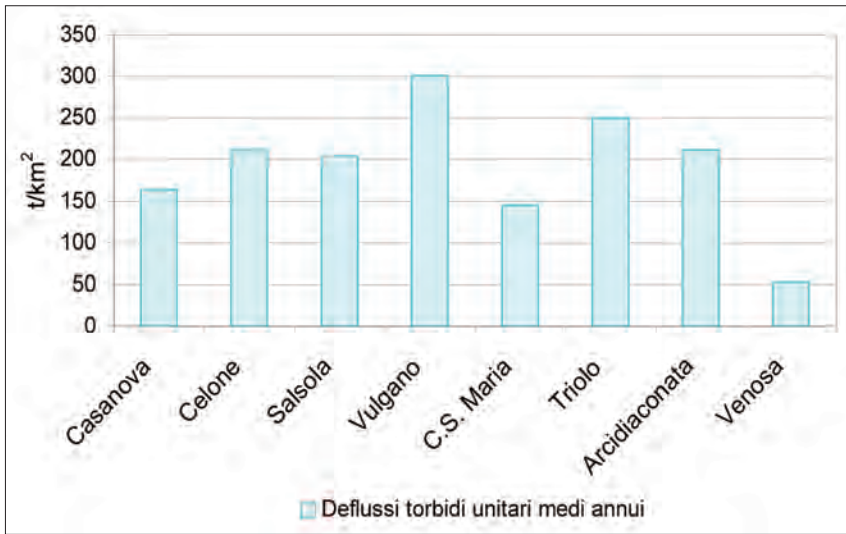


Figura 2 - Deflussi torbidi unitari medi annui relativi ai sottobacini in esame

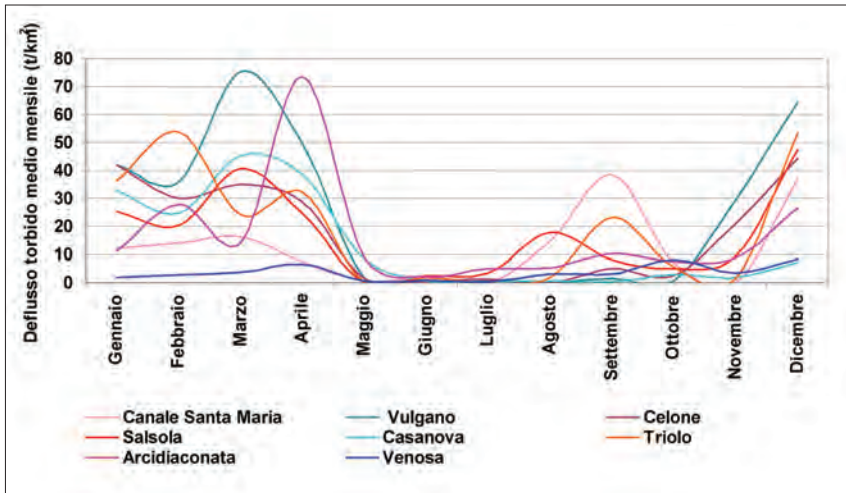


Figura 3 - Andamento dei deflussi torbidi unitari medi mensili nei sottobacini in esame

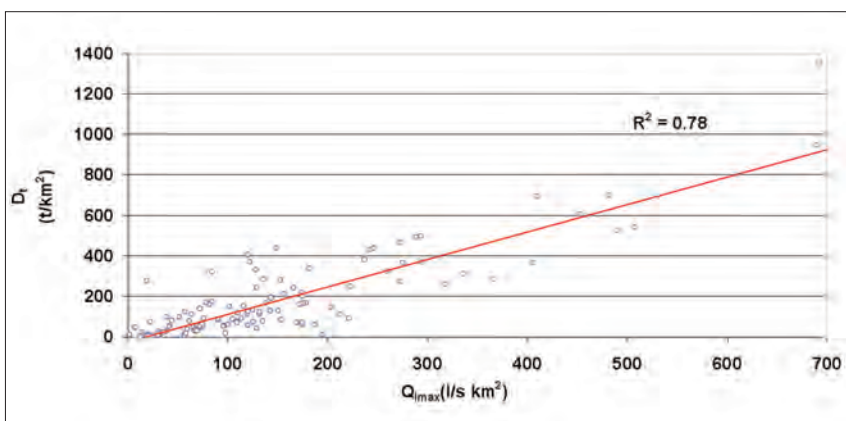


Figura 4 - Deflussi torbidi unitari medi annui in funzione della portata massima unitaria

I valori dei parametri relativi alle caratteristiche del torrente Arcidiaconata utilizzati nell'applicazione sono il diametro medio delle particelle $d=0,15$ mm, il diametro caratteristico $D^*=3,5$, la pendenza dell'alveo $i=0,12$ %, il coefficiente di scabrezza (Strickler) $k=26$ $m^{1/3}s^{-1}$, il peso specifico dei

sedimenti $\gamma_s=2700$ kg/m^3 , la viscosità cinematica $\nu=10^{-6}$ m^2/s , la porosità $p=0,52$ ed il parametro di incipiente movimento $\theta_c=0,115$.

L'applicazione delle formule è stata effettuata preliminarmente considerando come dato in ingresso la portata liquida media dell'intero periodo



(1958-1986) con l'obiettivo di calibrare il parametro di incipiente movimento θ_c della formula di van Rijn. I risultati della calibrazione sono stati, in seguito, utilizzati per simulare le portate solide medie di tre periodi (1958-1967, 1968-1977, 1978-1986) al fine di verificare l'adattamento dei modelli adottati nelle previsioni di medio e lungo termine. I risultati mostrano che, per l'intero periodo, la formula di van Rijn (trasporto solido in sospensione) risulta in accordo con i dati sperimentali; le formule di Ackers-White, Engelund-Hansen e Yang sottostimano il dato mentre quella di van Rijn (trasporto solido totale) lo sovrastima. Le considerazioni su esposte sono confermate dall'applicazione a scala decennale (fig. 6).

L'applicazione delle formule a scala mensile ha condotto a risultati ben confrontabili con i dati sperimentali ad eccezione di alcuni valori che si discostano notevolmente dalle osservazioni. Tali valori, che costituiscono solo il 13% della serie, sono stati esclusi dalla simulazione (Bisantino *et al.*, 2007).

Nella tabella 2 si riportano i valori di alcuni parametri statistici rappresentativi della bontà dell'adattamento delle formule ai dati sperimentali: il valor medio m , la deviazione standard D_S , la deviazione percentuale media d_v , l'errore quadratico delle stime $RMSE$, il coefficiente di determinazione R^2 , il coeffi-

ciente di efficienza E (Nash e Sutcliff, 1970), l'indice di concordanza d (Willmot, 1981), il test t di Student per la differenza tra le medie.

I valori dei suddetti parametri, calcolati a scala annuale, evidenziano un miglior adattamento delle formule di van Rijn (trasporto solido in sospensione) ed Engelund-Hansen ai dati sperimentali, come si evince dal valore della deviazione percentuale media ($d_v < 15\%$), dagli elevati valori dei coefficienti di determinazione, efficienza e indice di concordanza ($R^2=0,8$, $E=0,7$, $d=0,87$) e dall'accettabilità del test t di Student.

A scala mensile le formule di Ackers-White, Yang, van Rijn (portata solida in sospensione) ed Engelund-Hansen stimano il dato con un accettabile livello di accuratezza ($R^2=0,75$, $d > 0,85$, $d_v < 20\%$ ed $E=0,8$), mentre la formula di van Rijn lo sovrastima severamente. Il test t di Student è risultato accettabile solo per le formule di Ackers-White e Yang.

Per valutare l'adattamento delle formule al crescere della portata liquida sono stati estratti dalla serie originale due campioni di dati, considerando il valore soglia $Q_S=14$ t/giorno corrispondente al 70% delle portate solide mensili. I parametri statistici calcolati per la prima serie ($Q_S=14$ t/g) evidenziano un accettabile adattamento ai valori osservati solo per la formula di Ackers-White, mentre i risultati dell'ana-

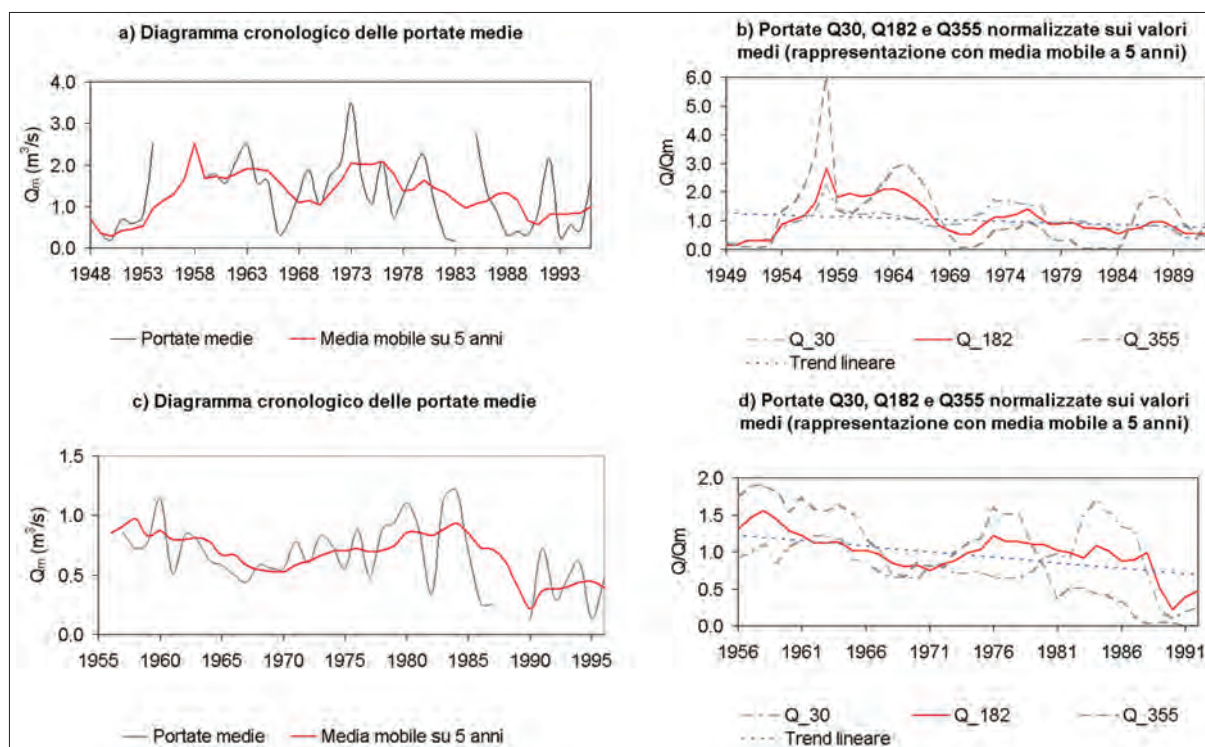


Figura 5 - Evoluzione dei deflussi liquidi per i torrenti Salsola (a-b), chiuso a ponte Foggia-S. Severo, e Arcidiaconata (c-d), chiuso a ponte Rapolla-Lavello

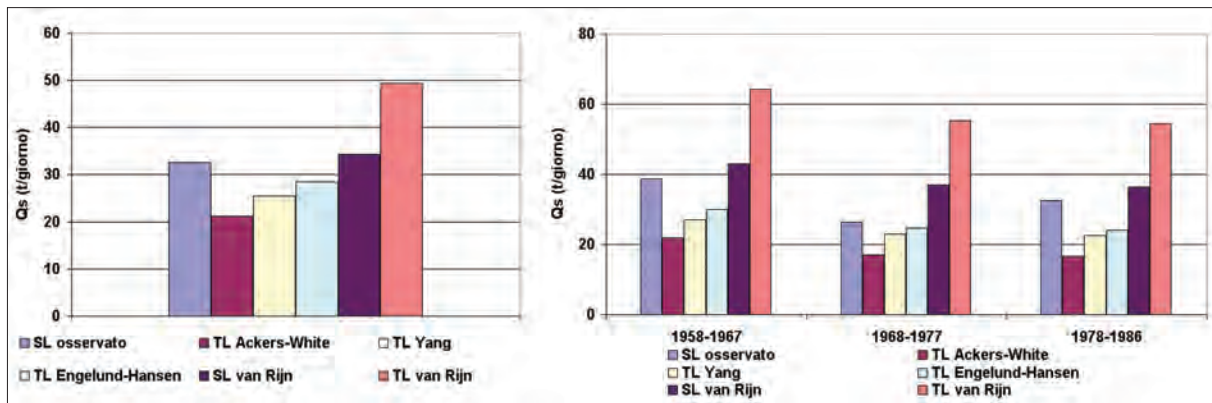


Figura 6 - Confronto tra la portata solida media annua calcolata e il dato medio osservato nell'intero periodo e nei tre decenni

lisi statistica relativi alla seconda serie suggeriscono un buon adattamento per tutte le formule ($R^2 > 0,7$, $d > 0,75$, $E > 0,65$) ed una evidente sottostima del dato nella formula di Yang (Bisantino *et al.* 2007).

5. STAZIONE SPERIMENTALE DI MISURA DEL TRASPORTO SOLIDO IN SOSPENSIONE

Le formule che stimano la capacità di trasporto dei sedimenti si basano su ipotesi di moto uniforme e stazionario. Tali condizioni non si verificano durante gli eventi di piena a causa della non stazionarietà del flusso. La necessità di approfondire i processi di trasporto solido in sospensione che, proprio durante tali eventi assumono elevate intensità, ha evidenziato l'esigenza di realizzare una stazione di misura sperimentale completamente automatica e funzionante in continuo.

La stazione è ubicata sul torrente Carapelle in località ponte Ortona-Castelluccio dei Sauri (superficie del bacino pari a 506 km²) ed è già dotata di misuratore di livelli ad ultrasuoni con trasmissione dati in telemisura, idrometrografo e teleferica. La strumentazione di misura adottata è costituita da un torbidimetro ottico ad immersione a doppio sistema

di misura (torbidità e solidi sospesi) (fig. 7). Lo strumento è alloggiato, mediante un gruppo puleggia, galleggiante e contrappeso, in una tubazione in PVC forata, ispezionabile nella parte finale ed ancorata alle pile del ponte. L'acquisizione e l'archiviazione dei dati avviene mediante una centralina collegata ad un datalogger che memorizza le misure e permette il trasferimento dati su PC. L'alimentazione dell'intero sistema è a pannelli solari (Bisantino *et al.*, 2006).

Lo strumento di misura è stato verificato preliminarmente in laboratorio per determinare la relazione esistente tra il dato misurato (in entrambe le modalità di funzionamento) e quello ottenuto dalle analisi gravimetriche nonché per valutare l'influenza delle variazioni di granulometria del miscuglio (Gentile *et al.*, 2007). Le prove sono state eseguite complessivamente su 67 miscugli ricavati a partire dal materiale prelevato nell'alveo del torrente Carapelle. Nel funzionamento in modalità torbidità si è evidenziata una "cecità della sonda" che si verifica anche per basse concentrazioni se il miscuglio contiene materiale solido prevalentemente fine. Nella modalità solidi sospesi, invece, la misura cresce linearmente al crescere della concentrazione nota e, a parità di concentrazione, assume valori maggiori nei miscugli aventi

	Ackers White		Yang		Engelund Hansen		van Rijn SL		van Rijn TL	
	Mensile	Annuale	Mensile	Annuale	Mensile	Annuale	Mensile	Annuale	Mensile	Annuale
<i>m</i>	36,04	21,32	30,21	25,34	39,92	28,35	38,98	34,35	54,94	49,37
<i>D_s</i>	84,30	17,54	45,95	13,56	77,70	18,09	54,22	17,52	73,65	24,66
<i>d_v</i>	7,50	-34,40	-9,89	22,03	19,07	-12,75	16,27	5,71	63,85	51,94
<i>E</i>	0,80	0,59	0,67	0,54	0,80	0,70	0,71	0,68	0,69	0,48
<i>R²</i>	0,82	0,85	0,78	0,80	0,81	0,83	0,77	0,79	0,76	0,79
<i>RMSE</i>	37,03	20,00	48,07	21,19	37,07	16,98	45,02	17,54	46,47	22,54
<i>d</i>	0,95	0,84	0,86	0,77	0,95	0,88	0,89	0,87	0,91	0,86
<i>t</i>	1,18	3,66	1,20	1,93	3,00	1,35	2,12	0,57	9,00	6,22
<i>t_{cr}</i>	1,98	2,05	1,98	2,05	1,98	2,05	1,98	2,05	1,98	2,05

Tabella 2 - Parametri statistici calcolati a scala mensile ed annuale



elevate percentuali di materiale fine rispetto a quelli prevalentemente sabbiosi (fig. 8).

Alla luce dei risultati conseguiti sono state avviate le operazioni di taratura in campo, predisponendo lo strumento in modalità solidi sospesi ed effettuando, durante gli eventi di piena una campagna di campionamenti delle torbide e la determinazione del peso secco di ciascun campione. La

metodologia di misura è stata validata correggendo le anomalie collegate al funzionamento in campo del sensore e determinando la relazione tra i dati rilevati dal sensore e quelli misurati in laboratorio per lo specifico caso in esame.

Complessivamente sono stati monitorati otto eventi di piena durante i quali sono stati prelevati 65 campioni di torbida. Il confronto tra il dato misurato

dallo strumento e quello ottenuto in laboratorio con analisi gravimetrica ha permesso di ricavare la curva di taratura dello strumento relativa al materiale trasportato nel torrente Carapelle. I risultati hanno confermato l'esistenza, nell'intervallo di valori di portata monitorato, di una relazione lineare tra il dato misurato con metodo gravimetrico e quello misurato dalla sonda (Gentile *et al.*, 2008).



Figura 7 - Stazione di misura del trasporto solido in sospensione realizzata sul torrente Carapelle e particolari della strumentazione adottata

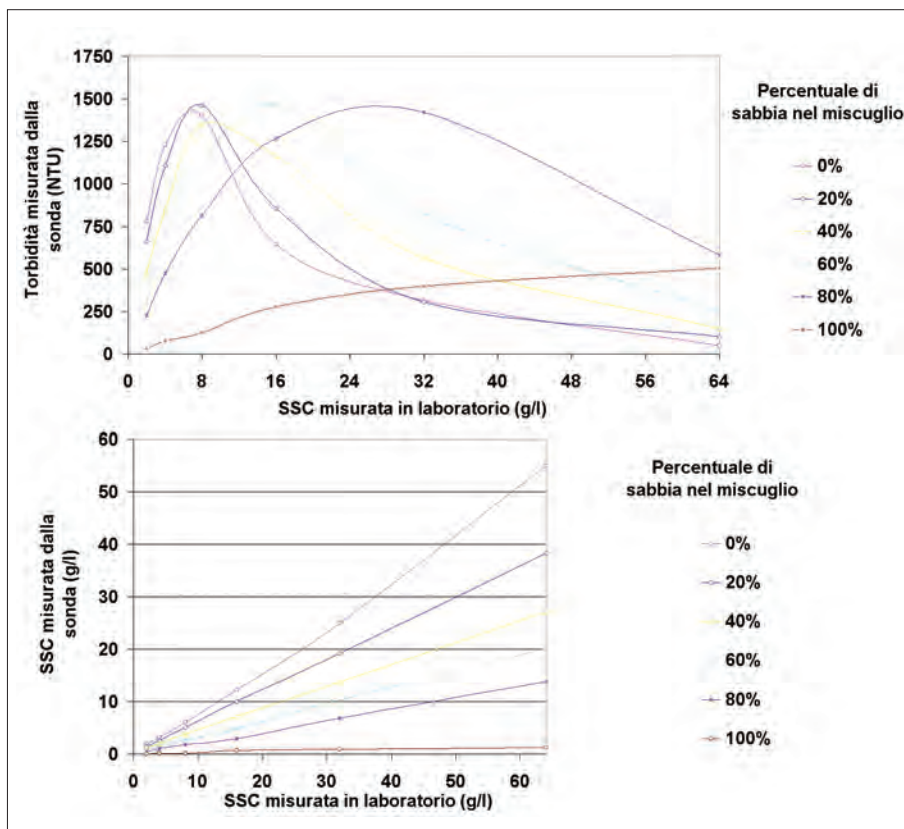


Figura 8 - Risultati della fase di laboratorio: relazioni esistenti tra il dato misurato dallo strumento e quello gravimetrico al variare della percentuale di sabbia nel miscuglio

6. CONCLUSIONI

Gli effetti del cambiamento climatico sulle componenti del bilancio idrologico mostrano possibili alterazioni del regime dei deflussi dei corsi d'acqua e del trasporto solido. L'analisi dei dati disponibili nei bacini della Puglia settentrionale ha mostrato la correlazione esistente tra il carico in sospensione e i deflussi di piena ed evidenziato il buon adattamento ai dati sperimentali di alcune formule empiriche per il calcolo della capacità di trasporto (Ackers-White, Engelund-Hansen, Yang e van Rijn). L'esigenza di riprendere le misure di trasporto solido,



interrotte da un lungo periodo, e di disporre di misurazioni effettuate in continuo, ha suggerito la realizzazione di una stazione di misura dei solidi sospesi attrezzata con un torbidimetro ottico ad immersione. L'obiettivo è quello di giungere ad una migliore interpretazione dei processi in atto, nonché ad una quantificazione di massima del budget di sedimento disponibili a scala di evento. I risultati della prima fase di attività mostrano la linearità della risposta del sensore e la sua dipendenza dalla composizione granulometrica del miscuglio bifase.

BIBLIOGRAFIA

- ACKERS P., WHITE W.R. (1973) - *Sediment transport: new approach and analysis*. Journals of Hydraulics Division, 99 (1).
- ARMANINI A. (2005) - *Principi di Idraulica Fluviale*. Editoriale Bios.
- BISANTINO T., CORBINO R., GENTILE F., GRITANI A., MILILLO F., ROMANO G., TRISORIO LIUZZI G., ZANFRAMUNDO P. (2006) - *Monitoraggio del trasporto solido nei bacini della Puglia settentrionale tra il Candelaro e l'Ofanto*. Quaderni di Idronomia Montana. 26.
- BISANTINO T., GENTILE F., MILELLA P., TRISORIO LIUZZI G. (2007) - *Modellazione del trasporto solido in un affluente del fiume Ofanto finalizzata alla gestione degli invasi artificiali*. Quaderni di Idronomia Montana. 27.
- COTECCHIA V., LONOCE R. (1963) - *Le dérangement hydro-géologique dans les vallées du torrent de Venosa et de L'Arcidiaconata et la sédimentation dans le lac artificiel de Abate Alonia (torrent Rendina-Lucania)*. Geotecnica 1.
- DE SUTTER R., VERHOEVEN R., KREIN A. (2001) - *Simulation of sediment transport during flood events: laboratory work and field experiment*. Hydrol. Sc. 46(4).
- ENGELUND F., HANSEN E. (1967) - *A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams*. Teknisk Forlag, Technical University of Denmark, Ostervoldgade 10, Copenhagen, Denmark.
- GENTILE F., BISANTINO T., MILILLO F., ROMANO G., TRISORIO LIUZZI G. (2007) - *Caratteristiche funzionali di una sonda a raggi infrarossi per la misura del trasporto solido in sospensione nei corsi d'acqua*. Quaderni di Idronomia Montana. 27.
- GENTILE F., BISANTINO T., MILILLO F., ROMANO G., TRISORIO LIUZZI G. (2008) - *Impiego di una sonda ottica ad immersione per il monitoraggio del trasporto solido in sospensione nel torrente carapelle (Puglia settentrionale)*. Submitted
- IPCC (2007) - *Intergovernmental Panel on Climate Change: Synthesis Report*. www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf
- LAVEE H., IMESON A. C., SARAH P. (1998) - *The impact of climate change on geomorphology and desertification along a mediterranean-arid transect*. Land Degrad. Dev. 9(5).
- LENZI M.A., MARCHI L. (2000) - *Suspended sediment load during floods in a small stream of the Dolomites northeastern Italy*. Catena. 39.
- LEWIS J. (1996). *Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation*. Water Resour. Res. 32(7).
- MARCHI L., TRISORIO-LIUZZI G., ZANFRAMUNDO P. (1986) - *Analisi dei deflussi torbidi nei piccoli bacini del Sub-Appennino dauno*. Quaderni di Idronomia Montana. 6.
- NASH J.E., SUTCLIFFE J.V. (1970) - *River flow forecasting through conceptual models, Part I- A discussion of principles*. Journal of Hydrol. 10.
- VAN RIJN L.C. (1993). *Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas*. Aqua Publication, the Netherlands, Amsterdam.
- WALLING D.E., WEBB B.W., WOODWARD, J.C. (1992) - *Some sampling considerations in the design of effective strategies for monitoring sediment-associated transport*. IAHS Spec. Publ. 210.
- WILLIAMS G.P. (1989) - *Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers*. Journal of Hydrology. 111.
- WILLMOT C.J. (1981) - *On the validation of models*. Physical Geography. 2.
- YANG C.T. (1979) - *Unit stream power equation for total load*. Journal of Hydrol. 40.