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

Programmi di ricerca cofinanziati - Modello E
Relazione scientifica conclusiva sui risultati di ricerca ottenuti - ANNO 2007
prot. 2007AK87L8

1. Area Scientifico Disciplinare principale	*08: Ingegneria civile ed Architettura*
2. Coordinatore Scientifico del programma di ricerca	*MARION Andrea*
- Università	*Università degli Studi di PADOVA*
- Facoltà	*Facoltà di INGEGNERIA*
- Dipartimento/Istituto	*Dip. INGEGNERIA IDRAULICA, MARITTIMA, AMBIENTALE E GEOTECNICA*
3. Titolo del programma di ricerca	*Modelli e misure di interazione corrente-sedimenti a diverse scale spaziali e temporali di interesse fisico (MOMICS)*
4. Settore principale del Programma di Ricerca:	*ICAR/01*
5. Costo originale del Programma:	*269.000 €*
6. Quota Cofinanziamento MIUR:	*113.000 €*
7. Quota Cofinanziamento Ateneo:	*48.762 €*
8. Finanziamento totale:	*161.762 €*
9. Durata:	*24 mesi*

10. Obiettivo della ricerca eseguita

L'obiettivo generale del Progetto era contribuire ad un avanzamento dello stato dell'arte sulla comprensione dei processi di trasporto di sedimenti incoerenti. In particolare erano previsti significativi contributi su:
1) gli aspetti strettamente fenomenologici, attraverso il lavoro del primo periodo (Task 1), legati all'osservazione diretta o attraverso simulazione numerica;
2) gli aspetti interpretativi della fisica dei processi, attraverso una analisi concettuale dei processi dominanti in diverse situazioni (Task 2);
3) gli aspetti modellistici, attraverso la definizione di nuovi strumenti di simulazione dei casi studiati, sia teorici che numerici (Task 3).

OBIETTIVI SPERIMENTALI
Gli obiettivi parziali della prima parte del Progetto riguardavano la messa a punto e la definizione della potenzialità di tecniche sperimentali innovative e la raccolta di dati su casi di indagine di interesse ingegneristico. Erano programmati esperimenti fisici consistenti in parte di ampi set di dati raccolti in progetti internazionali nei ultimi anni, ed in parte di nuove osservazioni da eseguire presso alcuni laboratori delle unità di ricerca.

A. Letti piani uniformi, dinamica a scala di grano
L'obiettivo di questa attività era l'individuazione dei campi di moto locali associati al moto dei grani e delle tracce del movimento dei grani sul campo di moto, in un ottica sia euleriana che lagrangiana. Ci si era proposti di ottenere la valutazione dell'importanza di diversi parametri fisici (velocità longitudinale, velocità trasversale, sforzi alla Reynolds, intensità turbolenta) sul movimento dei grani per poterli poi modellare. L'osservazione euleriana dell'entità del trasporto di grani su una sezione assegnata a crescenti regimi di forzante idrodinamica, era volta alla definizione quantitativa del concetto di "intermittenza" cioè delle proprietà statistiche della distribuzione dei tempi di quiete e movimento dei grani su una superficie di riferimento assegnata. L'obiettivo era quindi la definizione di grandezze di tipo aleatorio, da inserire in un nuovo approccio modellistico nelle fasi successive del Progetto.

B. Letti piani a scabrezza e mobilità non uniforme, dinamica a scala di grano
L'obiettivo principale consisteva nella raccolta di dati sperimentali, con misura di dettaglio del campo di moto verticale attraverso uso di tecniche PIV. L'obiettivo principale è integrare i risultati sul campo di moto su letto scabro del task 1A che non comprendeva la misura delle componenti verticali. I risultati sperimentali avrebbero permesso di valutare l'entità e la significatività delle componenti verticali della velocità, medie e fluttuanti, e degli sforzi turbolenti relativi. I nuovi dati provenienti da un'attività nel progetto Hydralab III della UP dovevano permettere il confronto con le osservazioni ottenute con le tecniche PIV, caratterizzate da ampio raggio spaziale e bassa risoluzione temporale, e le osservazioni ottenute con la tecnica LDA, caratterizzata da osservazione puntuale ad alta risoluzione temporale.

C. Scavi localizzati di forma bidimensionale, scala globale
L'obiettivo di questa fase era l'identificazione e la parametrizzazione di forme geometriche che sembrano essere "universalmente" ricorrenti, e la misura del campo di moto associato allo scavo localizzato in alcuni casi particolari. L'obiettivo sarebbe stato raggiunto attraverso un'ampia indagine della casistica disponibile in letteratura e attraverso nuove prove sperimentali.

D. Scavi localizzati di forma tridimensionale, scala globale
L'obiettivo di questa fase era l'esecuzione di prove fisiche e numeriche sull'erosione localizzata generata dall'inserimento di una spalla di ponte di forma trapezia. Le prove fisiche erano programmate presso il laboratorio della UM, usando una tecnica di rilievo fotografico ad alta definizione, mentre le prove numeriche erano programmate in prevalenza dalla UT, utilizzando schemi numerici di tipo LES (Large Eddy Simulation) accoppiati a modelli di parete e di tipo RANS (Reynolds-Averaged Numerical Simulations).

OBIETTIVI INTERPRETATIVI
La seconda fase del Progetto si doveva concentrare su obiettivi assolutamente imprescindibili per l'intero Progetto di Ricerca. In questa fase le risultanze sperimentali derivanti dall'amplissimo set di dati analizzati dalla letteratura, dai nuovi dati sperimentali raccolti su modello fisico e dalle simulazioni numeriche doveva essere analizzato nell'ottica di individuare ed isolare i processi fisici dominanti nei casi studiati. Tali processi avrebbero rappresenteranno gli elementi su cui

concentrare gli sforzi modellistici nel periodo rimanente. Nella dinamica di grano e nei fenomeni morfologici a scala maggiore dovevano essere distinti gli effetti delle componenti della velocità, delle loro fluttuazioni, dei prodotti misti (sforzi di Reynolds), delle forze di pressione, di resistenza e di sollevamento e la loro distribuzione spaziale. Nei casi di letto piano era previsto l'utilizzo di un'analisi a doppia media spaziale e temporale (DAM method) su scale diverse. Nel caso degli scavi di varia forma, dovevano venir identificate le grandezze dominanti in diversi sottodomini spaziali, cercando il principio causale tra la forzante idrodinamica e la risposta geometrica morfologica, nonché la loro interdipendenza nel determinare l'equilibrio.

OBIETTIVI MODELLISTICI
Gli obiettivi modellistici del Progetto consistevano nella messa a punto di formule e codici di calcolo che permettessero una maggior aderenza ai fenomeni fisici rispetto ai modelli ad oggi disponibili, mantenendo un grado di semplificazione e di complessità operativa adeguato agli scopi ingegneristici del Progetto. Gli obiettivi modellistici sono stati divisi rispetto alla scala fisica dei fenomeni considerati. La modellazione a scala di grano è stata assunta come l'elemento di base per la modellazione a scale di interesse morfologico, pur rimanendo attività distinta nell'ambito del Progetto.

A. Obiettivi modellistici per la scala di grano
L'obiettivo di questa parte del Progetto era una formulazione della dinamica del trasporto dei grani che migliorasse le esistenti trattazioni a soglia di criticità (modelli alla Shields) e di formule di trasporto basate su parametri medi rappresentativi del campo di moto (sforzo tangenziale, componenti della velocità). Si prevedeva di rivisitare criticamente sulla base dei nuovi dati sperimentali l'impostazione probabilistica di Grass sull'incipienza del moto. Si prevedeva inoltre di applicare un'impostazione probabilistica anche al trasporto sviluppato, parametrizzando opportunamente la statistica dell'intermittenza in funzione di rappresentazioni dei termini idrodinamici anche di ordine superiore al primo ed in funzione delle scale spaziali e temporali del fenomeno (dal punto di vista dei modelli Double Average). Era previsto che l'insieme di questi approcci portasse alla definizione di un modello di grano (GRAIN).

B. Obiettivi modellistici a scala di interesse morfologico (scavi localizzati)
L'obiettivo di questa parte del Progetto era diviso in una parte concettuale ed in una parte numerica. Lo sviluppo concettuale si doveva fondare sulla definizione di un modello fisicamente basato per spiegare la ricorrenza di forme geometriche nei processi di scavo all'equilibrio, capace quindi di motivare la "universalità" per affinità e similarità delle forme dei profili di scavo. L'obiettivo della parte numerica era invece la definizione di modelli accoppiati per le due fasi (liquido e solido) che permettessero l'estensione a numeri di Reynolds di interesse applicativo, mantenendo la capacità di riprodurre i processi fondamentali di interazione tra corrente e sedimenti (MORPHO).
Alla luce della forte riduzione del finanziamento inizialmente richiesto, si prevedeva di mantenere gli obiettivi legati ai Tasks 1 e 2, mentre si riteneva possibile solo un conseguimento parziale degli obiettivi legati al Task 3.

---

11. Descrizione della Ricerca eseguita e dei risultati ottenuti

Il Progetto è articolato in tre fasi distinte denominate "Task", secondo lo schema riportato nella proposta iniziale. Il primo anno di progetto è stato interamente dedicato alle attività previste dal Task 1, di seguito descritte. Scopo del task è l'analisi di diversi processi di trasporto solido, a scala di complessità crescente, al fine di individuare i principali meccanismi di (inter)azione corrente-sedimenti responsabili dei fenomeni erosivi. Tale obiettivo viene perseguito per mezzo di analisi sperimentali e/o numeriche, in cui sono valutati i campi cinematici delle fasi liquida e solida.

Task 1: "Fenomenologia del trasporto a scala spaziale di grano e a scale superiori"

Task 1A. Letti piani uniformi (scala di grano)
Una delle attività principali del Task 1A è stata l'esecuzione di esperimenti di trasporto solido lineare presso il laboratorio di Idraulica del Politecnico di Milano. Le condizioni di trasporto applicate variavano dall'incipiente movimento fino ad uno sforzo al fondo pari a circa il doppio di quello di soglia. Nell'ambito di una misura Euleriana del moto dei sedimenti, è stato definito un parametro "intermittenza" funzione del periodo di tempo per cui non si rileva movimento di particelle in una certa posizione. La definizione dell'intermittenza ha consentito di definire delle medie temporali delle grandezze indice, basate soltanto sui dati relativi agli eventi di movimento. Si è inoltre potuto valutare l'importanza relativa dei termini medi e dei termini fluttuanti di velocità e concentrazione a diverse intensità del trasporto. E' stato inoltre condotto un esperimento di lunga durata i cui dati sono stati analizzati tramite strumenti statistici quali le funzioni di correlazione spaziale e temporale, gli spettri di frequenza, le funzioni di struttura.
Il contributo dell'unità di Padova(UP) ha rappresentato una continuazione di attività sperimentali svolte in passato in collaborazione con sedi inglesi in progetti finanziati nel Regno Unito. I test consistono in misure simultanee del campo di moto su un piano orizzontale prossimo al letto (tramite tecnica Particle Image Velocimetry) e del moto individuale di grani (tramite tecniche fotografiche. Nel corso del primo anno del progetto la UP ha condotto una nuova serie di esperimenti in collaborazione l'Università di Bradford (UK). I nuovi esperimenti si differenziano dai precedenti per le seguenti caratteristiche: (i) la frequenza di campionamento è stata 5 volte superiore, tale da consentire una misura del campo di moto con una risoluzione molto prossima alla scala temporale della turbolenza; (ii) è stato utilizzato un sistema stereoscopico di fotocamere, che permette di rilevare anche la componente verticale della velocità ed descrivere così il campo di moto tridimensionale; (iii) gli esperimenti sono stati condotti con intensità crescenti di trasporto solido, compatibilmente con il limite tecnico di individuazione dei singoli grani in movimento. I risultati delle prove sono al momento sotto analisi. Lo scopo è quello di consolidare la metodologia sviluppata attraverso l'informazione di dati con un elevato grado di dettaglio, in modo da ottenere una descrizione completa della funzione di resistenza dei grani. La possibilità di formulare in termini probabilistici la distribuzione di velocità in grado di mettere in moto i sedimenti, a partire dalla rappresentazione statistica della topografia del letto, costituirebbe infatti un fondamentale avanzamento nella comprensione del processo di entrainment, che è alla base di ogni modello di trasporto solido. Il lavoro svolto nella sede di Padova è stato integrato dall'attività svolta presso l'Università della Calabria. Il lavoro svolto in relazione a questo task si può riassumere nei punti seguenti: a)studio dei fenomeni di erosione e deposito generalizzati, con studio sperimentale di laboratorio sull'evoluzione temporale di un letto mobile in condizione di erosione e deposito; b)sviluppo e utilizzo di moderne tecniche di velocimetria laser (Laser Doppler Velocimetry 3D) in canali a fondo fisso con turbolenza di parete, da esportare in canali a fondo mobile; c)analisi dello stato dell'arte sui profili di velocità in canali a superficie libera, con considerazioni critiche riguardanti la variabilità della costante di von Kármán in presenza di letti mobili.

Task 1B. Letti piani a scabrezza non uniforme (scala di grano)
L'attività relativa al Task 1B è stata condotta in collaborazione tra le unità di Milano (UM) e Napoli (UN). Sono stati condotti esperimenti di trasporto solido nella rimozione di un deposito di sedimenti sul fondo di un canale liscio. La UN ha eseguito la misura del moto del fluido in un piano verticale longitudinale tramite Particle Image Velocimetry, mentre la UM ha riguardato la misura del moto dei sedimenti tramite le tecniche Euleriane sviluppate negli anni precedenti e usate anche nelle attività del Task 1A.

Task 1C. Scavi localizzati 2D (scala globale)
Il processo di escavazione localizzata uniformi sulla larghezza quali quelli prodotti da soglie di fondo sono stato l'oggetto di studio sia dell'unità di Roma (UR) sia dell'unità di Padova (UP). L'attività della UR ha prodotto risultati sperimentali da prove in canaletta di laboratorio che sono stati usati per modellare teoricamente la distribuzione dello sforzo tangenziale lungo la fossa di scavo. Il processo erosivo è stato modellato partendo da una forma opportunamente modificata dell'equazione di Exner. Il contributo della UP a questo Task è consistito nella analisi di una ampia serie di risultati ottenuti negli anni precedenti in collaborazione con diversi gruppi di ricerca stranieri. L'analisi ha portato alla formulazione del concetto di "flash flood", ovvero di un evento di piena per il quale il processo di scavo viene limitato dalla durata temporale dell'evento idrologico. La natura di una tale definizione è legata sia alle caratteristiche idrodinamiche dell'evento stesso (tempo idrologico) sia alle caratteristiche morfologiche e geometriche del corso d'acqua stabilizzato (tempo morfologico). All'interno del contributo di UP a questo task, il contributo dei membri della U.O. affiliati all'Università della Calabria si possono riassumere nelle attività seguenti. a) Osservazione e studio dei fenomeni di escavazione localizzata alle pile dei ponti: studio sperimentale di laboratorio sull'evoluzione temporale della massima profondità di scavo attorno a auna pila circolare non protetta e, per confronto, attorno alla medesima pila protetta con contromisure innovative (soglia di fondo; fessura passante o slot; contromisura combinata: soglia di fondo e fessura passante). E' stata dimostrata sperimentalmente l'efficacia delle contromisure proposte, capaci di ridurre la massima profondità di scavo anche del 50% circa, e le aree e i volumi di scavo fino all'80% circa. b)Osservazione dei fenomeni di erosione e di escavazione localizzata in miscele di materiali coesivi e non coesivi, con studio sperimentale di laboratorio in canale a superficie libera.

Task 1D. Scavi localizzati 3D (scala globale)
Nella collaborazione tra le unità di Milano (UM) e Trieste (UT) sono stati analizzati dati sperimentali sull'erosione localizzata a spalle di ponte di geometria rettangolare e trapezoidale. Si distinguono una fase iniziale in cui i grani si muovono in maniera relativamente continua ed in cui prevalgono le componenti medie del flusso di sedimenti, e una fase successiva (sviluppata) in cui i grani si muovono sporadicamente sotto l'effetto del vortice principale e in cui prevalgono le componenti pulsanti. Il peso dei termini fluttuanti è risultato superiore per l'ostacolo rettangolare che per quello trapezoidale, suggerendo che la maggiore turbolenza indotta dal corpo tozzo abbia analoghe ripercussioni sul moto dei sedimenti nella fossa di erosione. Il processo erosivo è stato oggetto anche di

simulazione numerica attraverso LES Large Eddy Simulation. I risultati hanno mostrato un significativo grado di organizzazione del campo di moto in strutture turbolente ed hanno confermato la possibiltà di trasporto in zone del dominio in cui lo sforzo medio è al di sotto della soglia di incipiente movimento.

Task 2: "Analisi dei risultati del task 1 comprendente l'identificazione dei processi fisici dominanti da includere nei modelli dedicati"
Per sua natura il Task 2 costituisce la cerniera fra la prima e la seconda fase del progetto, prevedendo un lavoro congiunto, fra le diverse sedi, di sintesi dei risultati ottenuti durante il 1o anno di lavoro (in cui è stato essenzialmente svolto il Task 1), facendo il punto delle conoscenze acquisiste e delle maggiori criticità ancora aperte, in vista degli obiettivi modellistica del Task 3. Durante la riunione congiunta di avvio del Task 2 e nelle successive settimane si sono individuate le direttrici su cui concentrare gli sforzi per la seconda fase del progetto. Per motivi di spazio non si espongono nel dettaglio i risultati del task, che possono essere rinvenuti nelle relazioni delle singole sedi e, implicitamente, dalla descrizione delle attività intraprese nel Task 3.
Si vuole, a questo livello, sottolineare soltanto un risultato base (e trasversale alle successive attività) costituito dall'aver evidenziato la criticità nella corretta identificazione delle scale spaziali e temporali per la descrizione e modellazione dei processi, riconoscendo la necessità di definire correttamente le variabili stesse di caratterizzazione del problema ed evidenziandone la possibile non invarianza alle variazioni di scala.

Task 3: "Sviluppo e verifica di modelli adeguati all'applicazione ingegneristica"
Come indicato nel paragrafo relativo agli obiettivi, il Task 3 è risultato la parte del progetto di ricerca più significativamente colpito dalla riduzione del budget. Sulla base delle risorse disponibili si è deciso di mantenere la struttura generale del task, sviluppandone le diverse componenti, con la consapevolezza che la prevista integrazione dei modelli a scala di grano e a scala globale sarebbe stata solo parzialmente perseguita. Tale linea di condotta, concordata fra le sedi durante il Task 2, ha permesso di raggiungere la messa a punto di modelli di utilità applicativa a scala ingegneristica ancorché non necessariamente dedotti quali integrazione (upscaling) dei processi modellati a scala di grano.

Task 3A. Modello GRAIN (scala di grano)
I risultati sperimentali raccolti durante il task 1 (UP, UM, UN) e successivamente analizzati durante il task 2 hanno innanzitutto mostrato l'improprietà del concetto di sforzo tangenziale nella descrizione delle proprietà statistiche delle caratteristiche di stabilità dei grani e del loro eventuale movimento; è stata, pertanto, analizzata la possibilità di grandezze e statistiche alternative per la descrizione dell'azione forzante del campo di moto fluido sulla fase solida. In particolare, una volta identificate opportune scale spaziali e temporali di riferimento per i processi, è stato possibile valutare per via sperimentale le caratteristiche delle distribuzioni statistiche delle proprietà di resistenza del letto da incrociare con le equivalenti distribuzioni per l'azione idrodinamica della corrente, ottenendo una rappresentazione completa delle probabilità di entrainment dei grani. Pur non generalizzabili al di fuori dei campi sperimentati, il risultato rappresenta un significativo avanzamento nella modellazione dei processi a scala di grano.
Un secondo filone di attività, sostenuto soprattutto dalle UT e UP, ha riguardato lo sviluppo di modelli ad alta risoluzione spaziale e temporale per la componente fluidodinamica, compatibili con valori di interesse applicativo per i numeri di Reynolds dei processi; sono state innanzitutto verificate le potenzialità e i limiti di diversi approcci e scale di risoluzione (RANS vs. LES) e, in particolare, sviluppati modelli per un adeguata ed opportuna rappresentazione della scabrezza delle superfici o, più in generale, di geometrie con contorni complessi. Tale attività, rendicontata nell'ambito del sotto-task 3A, risulta, in effetti, elemento chiave del ponte fra le due diverse scale di analisi.

Task 3B. Modello MORPHO (scala globale)
Sulla base dell'obiettivo di realizzare modelli di utilità applicativa sono stati seguiti essenzialmente due filoni di attività. Il primo filone (UP, UR) ha riguardato lo sviluppo di modelli semiempirici per la descrizione dei processi morfodinamici relativi ai fenomeni erosivi localizzati. Elemnto chiave dell'approccio è il riconoscimento delle proprietà di similitudine geometrica (o affinità geometrica) delle forme delle fosse di scavo nei processi localizzati, unita alla possibilità (o meno, a seconda dei casi) di separare le scale temporali tipiche dei processi erosivi rispetto a quelle caratteristiche dei fenomeni di piena. I risultati hanno trovato sintesi operativa nel modello LEMMA (Local Erosion Model for Morphological Applications), risultato strumento versatile e robusto per la simulazione dei processi di scavo in condizioni di forzante idrologica non stazionaria.
Il secondo filone (UN, UP) si è concentrato sullo sviluppo di opportuni approcci 2D (acque basse), in alternativa agli approcci 3D precedentemente discussi, in funzione del loro accoppiamento con le equazioni del trasporto e di continuità per i sedimenti. In particolare sono stati messi a punto strumenti di modellazione delle discontinuità geometriche e verificate su casi benchmark le caratteristiche di accuratezza e robustezza di possibili equazioni di chiusura per il moto della fase solida.

A) RELAZIONE CON TEMPISTICA DEL PROGRAMMA

Le attività hanno sostanzialmente rispettato per contenuti e tempistica le indicazioni contenute nella proposta, tenuto conto della variazione di obiettivi a seguito della rideterminazione del progetto..

B) CORRISPONDENZA CON I CRITERI DI VERIFICABILITÀ

Criteri interni di verifica
Il Coordinatore Nazionale ha visitato una o più volte tutte le sedi delle unità raccolte nel progetto.
La sede di Padova (UP) che coordina il progetto nazionale e la sede di Milano (UM) risultano presenti almeno in alternanza in ognuno dei task del progetto. Il coordinatore nazionale ha curato i contatti con la sede di Roma ed in parte di Napoli, mentre il responsabile della sede di Milano è stato in continuo contatto con le sedi di Trieste e Napoli.
Nei giorni dal 3 al 5 settembre 2009 è stato tenuto un workshop presso una sede dell'Università di Padova situata a Castelfranco Veneto (TV) che ha visto la partecipazione dei responsabili e di alcuni membri di tutte le unità.
Nell'ambito del progetto è stato anche individuata una figura di "external advisor" nella persona del Prof. Mossa del Politecnico di Bari, esperto delle materie trattate nel progetto, che ha gentilmente seguito lo sviluppo del progetto.
Alla fine del secondo anno di attività è stato effettuato il previsto workshop di presentazione dei risultati finali (Padova, 16-17 settembre 2010).

Criteri esterni di verifica
Oltre alle periodiche relazioni di rendicontazione scientifica ed amministrativa previste dal MIUR, il criterio di verifica più importante resta la pubblicazione di memorie su riviste scientifiche ISI referenziate, internazionali o nazionali, nella presentazione di memorie congiunte tra due o più unità ai maggiori incontri scientifici internazionali e nazionali, e la disponibilità offerta alla comunità scientifica di database previsti nei risultati.
Si rimanda alla lista delle pubblicazioni prodotte dai membri delle unità del progetto presentata nella sezione successiva.

C) CARATTERE INNOVATIVO IN RAPPORTO ALLO STATO DELL'ARTE

Il carattere innovativo dell'attività è testimoniato dai contribuiti pubblicati o inviati a riviste internazionali referenziate o incluse negli atti di conferenze specialistiche. Per limiti di spazio sono nel seguito riportate solo le pubblicazioni su riviste internazionali referenziate. Il database completo delle pubblicazioni è ricostruibile sulla base dei riferimenti riportati nelle relazioni delle unità locali.
1. Carravetta, O. Fecarotta, R. Martino, and C. Sabatino; 2010; ASSESSMENT OF RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF A NATURAL BINGHAM-PLASTIC MIXTURE IN TURBULENT PIPE FLOW; Rivista: JOURNAL OF HYDRAULIC ENGINEERING; Volume: 136; pp.: 820-825; ottobre 2010
2. RADICE, BALLIO F., G. PORTA (2009). Local scour at a trapezoidal abutment: Sediment motion pattern. JOURNAL OF HYDRAULIC RESEARCH, vol. 47; p. 250-262, ISSN: 0022-1686
3. RADICE, BALLIO F., V. NIKORA (2009). On statistical properties of bed load sediment concentration. WATER RESOURCES RESEARCH, vol. 45; p. W06501-1-W06501-8, ISSN: 0043-1397
4. RADICE, BALLIO F., V. NIKORA (2010). Statistics and characteristic scales for bed load in a channel flow with sidewall effects. ACTA GEOPHYSICA, vol. 58; p. 1072-1093, ISSN: 1895-6572
5. TERUZZI, BALLIO F., V. ARMENIO (2009). Turbulent stresses at the bottom surface near an abutment: a laboratory-scale numerical experiment. JOURNAL OF HYDRAULIC ENGINEERING, vol. 135; p. 106-117, ISSN: 0733-9429
6. Adduce C., Proietti S. & Sciortino G., 2010, Gravity currents: laboratory experiments and shallow water simulations, Journal of Hydraulic Engineering (in revisione)

7. Adduce C., Sciortino G. & La Rocca M., 2010, Bed shear stress in an evolving local scour due to a submerged turbulent jet, Water Resources Research (in revisione)
8. Alfonsi G., De Bartolo S., Gaudio R., Primavera L.; 2009; Reliability of 5-beam LDV fiberoptic probe for turbulence measurements in the wall region of open-channel flow; Rivista: Journal of Flow Visualization and Image Processing; Volume: 16(3); pp.: 255-277
9. Armenio V., Roman F; 2008; LES of mixing in coastal areas; Rivista: Bulletin of the American Physical Society 53(15), 2008
10. BALLIO F., A. RADICE, S. DEY (2010). Temporal scales for live-bed scour at abutments. JOURNAL OF HYDRAULIC ENGINEERING, vol. 136; p. 395-402, ISSN: 0733-9429
11. BALLIO F., A. TERUZZI, A. RADICE (2009). Constriction effects in clear-water scour at abutments. JOURNAL OF HYDRAULIC ENGINEERING, vol. 135; p. 140-145, ISSN: 0733-9429
12. BOTTACIN-BUSOLIN A, TAIT S.J, MARION A., CHEGINE A, TREGNAGHI M (2008). Probabilistic description of grain resistance from simultaneous flow field and grain motion measurements. WATER RESOURCES RESEARCH, vol. 44, ISSN: 0043-1397, doi: 10.1029/2007WR006224
13. Bressan F., Ballio F. and Armenio V.; 2008; LES of the flow field around a 45° wing-wall abutment in different scour conditions.; Rivista: Bulletin of the American Physical Society 53(15), 2008
14. Cenedese C. and Adduce C., 2010, A new entrainment parameterization for mixing in overflows, Journal of Physical Oceanography, 40, 8, 1835-1850.
15. COZZOLINO L, DELLA MORTE R., PALUMBO A, PIANESE D (2010). Stochastic approaches for sensors placement against intentional contaminations in water distribution systems. CIVIL ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL SYSTEMS, ISSN: 1028-6608
16. F.ROMAN, G. STIPCICH, ARMENIO V., R. INGHILESI, S. CORSINI (in stampa). Large Eddy Simulation of mixing in coastal areas. INTERNATIONAL JOURNAL OF HEAT AND FLUID FLOW, vol. 31/3, ISSN: 0142-727X
17. Grimaldi C., Gaudio R., Calomino F., Cardoso A. H.; 2009; Control of scour at bridge piers by a downstream bed sill; Rivista: Journal of Hydraulic Engineering; Volume: 135(1); pp.: 13-21
18. Grimaldi C., Gaudio R., Calomino F., Cardoso A. H.; 2009; Countermeasures against local scouring at bridge piers: slot and combined system of slot and bed sill; Rivista: Journal of Hydraulic Engineering; Volume: 135(5); pp.: 425-431
19. INGHILESI R, STOCCA V, ROMAN F, ARMENIO V. (2008). Dispersion of a vertical jet of buoyant particles in a stably stratified wind-driven Ekman layer. INTERNATIONAL JOURNAL OF HEAT AND FLUID FLOW, vol. 29; p. 733-742, ISSN: 0142-727X
20. La Rocca M., Adduce C., Sciortino G. and Bateman Pinzon A., 2008, Experimental and numerical simulation of three-dimensional gravity currents on smooth and rough bed, Physics of Fluids, 20, 106603.
21. La Rocca M., Adduce C., Sciortino G., Bateman Pinzon A. and M. A. Boniforti, 2010, A double-layer model for 3D gravity currents, Environmental Fluid Mechanics (in revisione).
22. M. De Marchis, E. Napoli, V. Armenio, (2010). Turbulence structures over irregular rough surfaces, Journal of Turbulence, Vol. 11, No. 3, 2010, 1-32.
23. Miglio A., Gaudio R., Calomino F.; 2009; Mobile-bed aggradation and degradation in a narrow flume: Laboratory experiments and numerical simulations; Rivista: Journal of Hydro-Environment Research; Volume: 3; pp.: 9-19
24. NAPOLI E, ARMENIO V., DE MARCHIS M (2008). The effect of the slope of irregularly distributed roughness elements on turbulent wall-bounded flows. JOURNAL OF FLUID MECHANICS, vol. 613; p. 385-394, ISSN: 0022-1120
25. Radice A., Ballio F., Tran C.K.; 2010; Gravity- and turbulence-dominated sediment motion in the clear-water scour process at a vertical-wall abutment in pressurized flow; Rivista: Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics; Volume: 57
26. Radice A., Ballio F.; 2008; Double-average characteristics of sediment motion in one-dimensional bed load; Rivista: Acta Geophysica; Volume: 56
27. Radice A., Porta G., Franzetti S.; 2009; Analysis of the time-averaged properties of sediment motion in a local scour process; Rivista: Water Resources Research; Volume: 45
28. Radice A.; 2009; Use of the Lorenz curve to quantify statistical nonuniformity of sediment transport rate; Rivista: Journal of Hydraulic Engineering; Volume: 135
29. ROMAN F, ARMENIO V., FROEHLICH J (2009). A simple wall-layer model for large eddy simulation with immersed boundary method. PHYSICS OF FLUIDS, vol. 21; p. 101701-1-101701-4, ISSN: 1070-6631
30. ROMAN F, NAPOLI E, MILICI B, ARMENIO V. (2009). An improved immersed boundary method for curvilinear grids. COMPUTERS & FLUIDS, vol. 38; p. 1510-1527, ISSN: 0045-7930
31. SALON S, ARMENIO V., CRISE A (2009). A numerical (LES) investigation of a shallow-water, mid-latitude, tidally-driven boundary layer. ENVIRONMENTAL FLUID MECHANICS, vol. 9; p. 525-547, ISSN: 1567-7419, doi: 10.1007/s10652-009-9122-y
32. SCANDURA P, ARMENIO V., FOTI E (2009). Numerical investigation of the oscillatory flow around a circular cylinder close to a wall at KC=10 and beta=20 and 50. JOURNAL OF FLUID MECHANICS, vol. 627; p. 259-290, ISSN: 0022-1120
33. Stocca V., Montanari F., Stel F., Armenio A., Sreenivasan K. R.; 2008; LES study of polluted dust dispersion in a Trieste densely populated area; Rivista: Bulletin of the American Physical Society 53(15), 2008
34. Tafarojnoruz A., Gaudio R., Dey S.; 2010; Flow-altering countermeasures against scour at bridge piers: a review; Rivista: Journal of Hydraulic Research; Volume: 48(4); pp.: 411-452
35. TREGNAGHI M, MARION A., COLEMAN S.E (2009). Scouring at bed sills as a response to flash floods. JOURNAL OF HYDRAULIC ENGINEERING, vol. 135 (6); p. 466-475, ISSN: 0733-9429, doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000033
36. TREGNAGHI M, MARION A., COLEMAN S.E. AND TAIT S.J (2010). Effect of flood recession on scouring at bed sills. JOURNAL OF HYDRAULIC ENGINEERING, vol. 136 (4); p. 204-213, ISSN: 0733-9429, doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000164

12. Problemi riscontrati nel corso della ricerca

L'attività del primo anno ha rispettato i contenuti della proposta iniziale. L'attività del secondo anno ha subito significative contrazioni rispetto alla proposta iniziale, in ragione della riduzione di quota di finanziamento concesso, peraltro in linea con le aspettative dichiarate in fase di rideterminazione.

13. Risorse umane complessivamente ed effettivamente impegnate (da consuntivo)

	(mesi uomo) TOTALE
da personale universitario	*149*
altro personale	*68*
Personale a contratto a carico del PRIN 2007	*26*

14. Modalità di svolgimento (dati complessivi)

Partecipazioni a convegni:

	Già svolti (numero)	Da svolgere (numero)	Descrizione
in Italia	*12*	*0*	*° 3° Convegno Nazionale di Idraulica Urbana ;* *° 31° Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche IDRA2008;*

			° 32° Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche IDRA2010.
all'estero	*23*	*0*	*° Academy Colloquium Immersed Boundary Methods: Current Status and Future Research Directions;* *° CECEPM2010 Comfort, Efficiency, Energy Conservation and Environmental Protection;* *° Costalab10;* *° ERCOFTAC Workshop Direct and Large Eddy Simulation Workshop8;* *° River Flow 2008;* *° River Flow 2010;* *° 1° Congress of the European Section of IAHR;* *° 9° Symp. on the Urban Environment;* *° 17° International Conference on Computational Methods in Water Resources;* *° 33° IAHRCongress.*
TOTALE	**35**	**0**	

Per ogni campo di testo max 8.000 caratteri spazi inclusi

Articoli pertinenti pubblicati:

	Numero	Descrizione
su riviste italiane con referee	*0*	
su riviste straniere con referee	*27*	*° Acta Geophysica;* *° Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics;* *° Bulletin of the American Physical Society;* *° Civil Engineering and Environmental Systems;* *° Computers & Fluids;* *° Environmental Fluid Mechanics;* *° International Journal of Heat and Fluid Flow;* *° Journal of Flow Visualization and Image Processing* *° Journal of Fluid Mechanics;* *° Journal of Hydraulic Engineering;* *° Journal of Hydraulic Research;* *° Journal of Hydro-Environment Research;* *° Journal of Physical Oceanography;* *° Journal of Turbulence;* *° Physics of Fluids;* *° Water Resources Research.*
su altre riviste italiane	*0*	
su altre riviste straniere	*0*	
comunicazioni a convegni/congressi internazionali	*20*	*° Academy Colloquium Immersed Boundary Methods: Current Status and Future Research Directions;* *° CECEPM2010 Comfort, Efficiency, Energy Conservation and Environmental Protection;* *° Costalab10;* *° ERCOFTAC Workshop Direct and Large Eddy Simulation Workshop8;* *° River Flow 2008;* *° River Flow 2010;* *° 1° Congress of the European Section of IAHR;* *° 9° Symp. on the Urban Environment;* *° 17° International Conference on Computational Methods in Water Resources;* *° 33° IAHRCongress.*
comunicazioni a convegni/congressi nazionali	*9*	*° 3° Convegno Nazionale di Idraulica Urbana ;* *° 31° Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche IDRA2008;* *° 32° Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche IDRA2010.*
rapporti interni	*0*	
brevetti depositati	*0*	
TOTALE	**56**	

Per ogni campo di testo max 8.000 caratteri spazi inclusi

Data 21/12/2010 21:50 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.