



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE - FACOLTÀ DI INGEGNERIA
ISTITUTO DI INGEGNERIA CIVILE

IGNAZIO BECCHI - GIOVANNI MENDUNI

Studio preliminare per l'analisi delle resistenze su fondo
a dune in condizioni di moto vario

N. 26

NOTE E PUBBLICAZIONI DI INGEGNERIA IDRAULICA



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE - FACOLTÀ DI INGEGNERIA
ISTITUTO DI INGEGNERIA CIVILE

IGNAZIO BECCHI - GIOVANNI MENDUNI

Studio preliminare per l'analisi delle resistenze su fondo
a dune in condizioni di moto vario

N. 26

NOTE E PUBBLICAZIONI DI INGEGNERIA IDRAULICA

finito di stampare nel mese di

Giugno 1982

presso le Officine Grafiche:

Pitagora-Tecnoprint

Via del Legatore, 3

Bologna

Ignazio BECCHI e Giovanni MENDUNI

STUDIO PRELIMINARE PER L'ANALISI DELLE RESISTENZE SU FONDO A DUNE
IN CONDIZIONI DI MOTO VARIO

Istituto di Ingegneria Civile dell'Universita' degli Studi

FIRENZE

Sommario. Vengono studiati i fenomeni di formazione ed evoluzione delle resistenze al moto su alvei mobili in presenza di dune durante brusche variazioni della portata. Lo studio di natura sperimentale e' svolto in canaletta selezionando una metodologia sperimentale affidabile pur nell'impiego di mezzi non sofisticati. La taratura viene condotta su eventi di moto permanente applicando a confronto le teorie note. In ultimo i primi risultati di moto vario vengono discussi assieme alle poche risultanze note dalla letteratura.

Abstract. Phenomena of the response of dune resistance of cohesive granular bed to unsteady flow are experimentally studied. For the purpose of the investigation a laboratory flume is employed and a particular selection of experimental methods is carried out, permanent flow conditions check is carried in comparison with known theories. Eventually first unsteady flow results are discussed together with some data from the literature.

Lavoro svolto nell'ambito delle attivita' del Progetto Finalizzato del CNR "Conservazione del suolo", sottoprogetto "Dinamica Fluviale", Unita' Operativa 65 presso l'Istituto di Ingegneria Civile dell'Universita' di Firenze.

1. PREMESSA

Lo studio delle resistenze di alvei a fondo mobile riveste da parecchio tempo un ruolo di grande significatività, sia per quanto riguarda gli aspetti più tecnici di progettazione di opere di sistemazione di corsi d'acqua, sia per gli aspetti più complessi di modellistica numerica della dinamica dei fiumi e della evoluzione degli alvei.

Non è il caso qui di ripercorrere le numerose tappe dell'iter conoscitivo che ha portato la ricerca a livelli sempre più approfonditi pur non consentendo, a tutt'oggi, di esprimere con buona affidabilità il calcolo della resistenza negli alvei naturali. Per chi volesse approfondire alcuni aspetti preliminari del problema, rimandiamo alla Bibliografia ove sono indicate opere guida di Meyer-Peter, Einsetin et Al., Engelund, Yalin, Graf, Garde et Al., Shen, Simons, Bogardi e Vanoni.

Il presente studio vuole approfondire una nuova tematica di ricerca che consiste nell'analisi delle variazioni temporali della resistenza al moto, conseguenti a variazioni delle variabili principali, portata liquida e pendenza motrice.

Questo tipo di problema, pur ritenuto di importanza primaria da molti studiosi, specie per la ricostruzione delle scale di deflusso in ambiente naturale, è stato finora poco studiato sia perché non è possibile individuare con sufficiente precisione le resistenze in moto permanente, sia per le pesanti condizioni sperimentali che vincolano la misura delle variabili fondamentali.

Esistono al momento, a conoscenza di chi scrive, soltanto due studi che abbiano affrontato questo problema; ambedue sono di tipo sperimentale e si sono rivolti a fenomeni riguardanti alvei a dune. È infatti in questo campo che sembra più importante l'effetto del transitorio sulle resistenze.

In realtà, data la larga dispersione dei dati reperibili in letteratura, molti autori, già per il regime permanente, hanno supposto la presenza di fenomeni di isteresi o di biforcazioni nel comportamento. In molti casi le sperimentazioni sono state impugnate da studiosi del settore che hanno parlato di situazione non di regime.

In via del tutto preliminare sembra opportuno chiarire che aspetti quali l'isteresi o la biforcazione, qualora realmente esistenti, sarebbero chiaramente testimoniati da fenomeni e morfologie naturali dei corsi d'acqua. Le moderne vedute sulla morfologia degli alvei, invece, non forniscono tali indizi; ancor più

recentemente e' stato possibile, pur attraverso complicate approssimazioni empiriche, ridurre al varianza dei dati di resistenza, dal valore di circa 28% per le formule di Englund, White et Al. e Paris, al 12% (Becchi 1982).

Sembra cosi' che piu' che di fenomeni di isteresi o biforcazione si tratti di influenza di parametri non tenuti in conto nell'analisi dei dati o nella calcolazione delle resistenze. Il nostro studio, di conseguenza, analizzera' il fenomeno utilizzando quell'approccio che, al momento, presenta la minor varianza.

Da un punto di vista puramente sperimentale, molti sono i problemi da risolvere: identificazione del sistema fisico di riferimento, misura delle grandezze medie con buona affidabilita', mantenimento delle grandezze di riferimento, acquisizione e gestione dei dati.

Se analizziamo le sperimentazioni note, possiamo osservare che in un caso (Klaasen 1979) le esperienze sono state condotte su una canaletta di grandi dimensioni effettuando le misure della profondita' e del profilo del fondo mediante sonda automatica e tutte le altre mediante tecniche convenzionali. Nell'altro caso noto (Gee 1975) e' stata impiegata una canaletta di dimensioni piu' ridotte, equipaggiata con un sistema a retroazione idoneo a mantenere costante un parametro al variare degli altri; il sistema era calibrato per mantenere costante la pendenza motrice.

Da un punto di vista superficiale, nonostante la differente complessita' dei due apparati, non e' parso significativamente diverso il comportamento sperimentale. In sintesi si puo' dire che la risposta al transitorio consisteva sempre in una variazione piu' o meno rapida delle grandezze del moto, seguita da una oscillazione smorzata.

Si e' cosi' pensato che era possibile misurare gli effetti del transitorio anche senza introdurre complicati automatismi. L'importante e' sembrato consistere nella possibilita' di misurare il piu' celermente possibile le grandezze in osservazione.

Nel presente studio sono riportate le caratteristiche dell'apparecchiatura sperimentale ed i primi risultati conseguiti sia per il controllo dell'affidabilita' delle misure, sia per la verifica della risposta.

2. PROGETTAZIONE DELLA SPERIMENTAZIONE

Per effettuare le esperienze previste e' stata opportunamente

attrezzata una canaletta a pendenza variabile situata nei laboratori dell'Istituto di Ingegneria Civile dell'Università di Firenze. Tale canaletta, il cui disegno è riportato in figura 1, ha sezione rettangolare di 20 cm di larghezza e 40 di altezza, e' lunga 10 metri ed ha pareti e fondo in perspex.

Il fondo del canale è stato realizzato disponendo direttamente nella canaletta uno strato di sabbia di 10 cm di spessore, trattenuto a valle da una traversa in perspex posta a 1.5 metri dalla sezione di sbocco. Il materiale è stato ottenuto utilizzando i granuli passanti al setaccio da 1 mm a partire da un metro cubo circa di sabbia. Il tutto è stato poi accuratamente lavato per togliere ogni traccia di materiali fini; la curva granulometrica è riportata in figura 2.

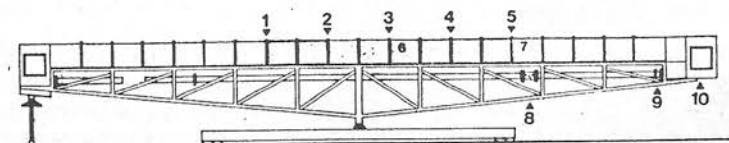


fig. 1 - UBICAZIONE DELLE ATTREZZATURE DI MISURA E REGOLAZIONE

- | | |
|----------------|---|
| 1, 2, 3, 4, 5: | Prese di pressione |
| 6, 7 | : Sonde per la misura della velocità |
| 8 | : Tubo Venturi |
| 9 | : Valvola a farfalla |
| 10 | : sonda per la misura della temperatura |

La corretta alimentazione di sedimenti al fondo è stata garantita da un circuito secondario di ricircolo del materiale solido appositamente progettato e costruito col compito di catturare il materiale trascinato al fondo nella estrema sezione di valle, e trasportarlo a monte distribuendolo uniformemente nella corrente.

La portata liquida è stata misurata mediante un tubo Venturi posto sulla mandata del circuito principale, mentre le misure di pendenza motrice sono state effettuate interpolando tra i valori forniti da cinque prese di pressione poste nella zona centrale del canale e collegate ad altrettante canne piezometriche.

Un punto assai delicato nella progettazione delle prove è stato costituito dalla misura della profondità media. A tal fine, dovendo disporre di un metodo che consentisse una misura il più possibile rapida di tale grandezza, abbiamo ritenuto opportuno ricorrere ad una misura indiretta attraverso la valutazione della

velocita' media della corrente. Infatti, utilizzando il tradizionale metodo del campionamento puntuale, non essendo disponibile un'apparato automatico, era necessario collezionare piu' di cento misure al fine di abbattere la varianza della media a valori accettabili. Tra i sistemi presi in considerazione e' apparso conveniente quello detto "Salt Velocity Method" descritto estesamente, ad esempio, da Davies et Al. (1981).

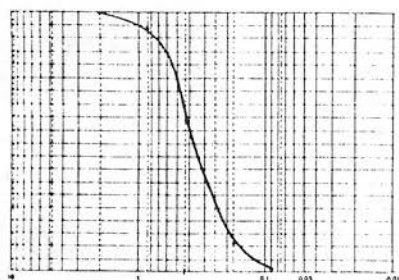


Fig. 2 - CURVA GRANULOMETRICA DEL MATERIALE

Il principio di funzionamento puo' essere brevemente cosi' accennato: una certa quantita' di soluzione salina viene iniettata nella corrente all'estremita' di monte. Il suo passaggio viene rilevato, attraverso la misura dell'aumento di conducibilita' dell'acqua, da una coppia di sonde poste sufficientemente a valle da garantire un buon mescolamento. La velocita' del fluido viene cosi' ottenuta dividendo la distanza tra due sonde per il tempo che l'onda salina ha impiegato a percorrerla.

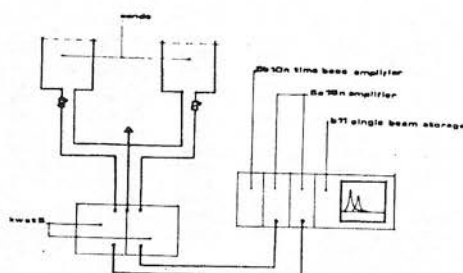


Fig. 3 - SCHEMA ELETTRICO DEL CIRCUITO DI MISURAZIONE DELLA VELOCITA'

Le sonde, in particolare, sono state realizzate sagomando ad U due barrette di plexiglas di 2 mm di spessore e dotate, ciascuna, di una coppia di elettrodi in metallo dorato e di un trimmer di calibrazione. Il collegamento, il cui schema e' riportato in figura 3, e' stato effettuato in modo da evitare derive dovute a

ritorni di massa.

Le variazioni di conducibilità, rilevate da un ponte di misura in alternata ($f=5$ KHz), sono state registrate su di un'oscilloscopio Tektronix a due canali e permanenza di traccia dotato di fotocamera Polaroid.

Durante tutta la durata delle prove e' stata controllata la temperatura dell'acqua mediante un termistore la cui sonda era stata posta nel cassone di monte della canaletta.

3. PROVE PRELIMINARI

Sono state effettuate, in tutto, 30 prove classificate secondo una nomenclatura che evidenziasse l'appartenenza a diverse serie e quindi anche l'evoluzione temporale complessiva dei fenomeni. I dati ottenuti dalle prove sono riportati in TABELLA I. I parametri misurati o calcolati sono:

- la portata liquida Q ,
- la profondità media H ,
- il raggio idraulico R ,
- la pendenza motrice J ,
- la velocità media V ,
- la velocità di attrito V^* ,
- il coefficiente adimensionale di Chezy C ,
- il difetto di velocità riferito all'andamento assolutamente turbolento $C-C_0$,
- il numero di Reynolds al fondo per il granulo N_d ,

TABELLA I

PROVA	$Q (m^3/s)$	$H (m)$	$R (m)$	J	$V (m/s)$	$V^* (m/s)$	C	$C-C_0$	N_d	Y
A1	.00196	.046	.042	.00300	.213	.0353	6.02	- 5.19	11.76	.20
B1	.00103	.031	.029	.00305	.166	.0296	5.60	- 4.69	9.06	.14
B2	.00204	.045	.041	.00359	.226	.0392	5.92	- 5.24	12.73	.23
B3	.00365	.051	.043	.00336	.357	.0377	9.48	- 1.77	12.55	.23
B4	.00501	.053	.041	.00391	.472	.0395	11.96	+ .79	13.14	.25
B5	.00573	.059	.047	.00456	.485	.0461	10.52	- .98	15.35	.34
B6	.00692	.069	.050	.00306	.494	.0389	12.68	+ 1.02	12.96	.24
B7	.00798	.078	.060	.00414	.511	.0495	10.31	- 1.78	16.49	.39
B8	.00827	.079	.060	.00405	.523	.0489	10.68	- 1.41	16.29	.38
C1	.00382	.057	.049	.00303	.335	.0379	8.83	- 2.71	12.62	.23
C2	.00444	.057	.046	.00325	.339	.0386	10.09	- 1.38	12.65	.24
C3	.00223	.050	.046	.00334	.223	.0389	5.73	- 5.70	12.94	.24
C4	.00325	.062	.055	.00276	.262	.0386	6.78	- 5.03	12.85	.24
D1	.00233	.051	.046	.00300	.226	.0370	6.16	- 5.29	12.33	.22
D2	.00242	.062	.057	.00290	.195	.0405	4.81	- 7.17	13.49	.26
D3	.00282	.063	.055	.00191	.223	.0323	6.92	- 4.96	10.74	.16
E1I	.00121	.024	.021	.00237	.252	.0222	11.39	+ 1.90	7.38	.08
E1F	.00210	.045	.042	.00370	.229	.0392	5.85	- 5.36	13.06	.25
E2HF	.00200	.044	.040	.00305	.227	.0347	6.54	- 4.54	11.55	.19
E2PF	.00125	.032	.029	.00283	.195	.0287	6.79	- 3.53	9.56	.13
E3HF	.00201	.043	.039	.00278	.233	.0326	7.16	- 3.83	10.85	.17
E3RF	.00125	.034	.031	.00310	.183	.0311	5.89	- 4.61	10.37	.15
E4R	.00250	.060	.055	.00303	.288	.0406	5.12	- 6.76	13.52	.26
E4R	.00125	.039	.035	.00225	.164	.0280	5.87	- 4.90	9.32	.12
E2I	.00126	.032	.029	.00215	.196	.0243	7.93	- 2.35	8.25	.10
F1	.00072	.025	.020	.00380	.148	.0275	5.10	- 4.28	11.67	.12
F2	.00108	.032	.024	.00136	.167	.0216	7.74	- 2.03	9.16	.07
F3	.00125	.037	.027	.00272	.168	.0268	6.26	- 3.62	11.39	.11
F4	.00215	.038	.027	.00148	.278	.0195	14.24	+ 4.07	8.28	.06
F5	.00249	.044	.030	.00120	.278	.0190	14.60	+ 4.18	8.07	.05

- il numero di mobilita' secondo Schields Y.

L'elaborazione e le successive analisi dei dati misurati sono state condotte tramite un sistema di calcolo a "microprocessore". Nella figura 4 sono riportati al variare della portata i valori del coefficiente C adottato come indicatore delle resistenze e della pendenza motrice J che tra l'altro indica la stabilita' del

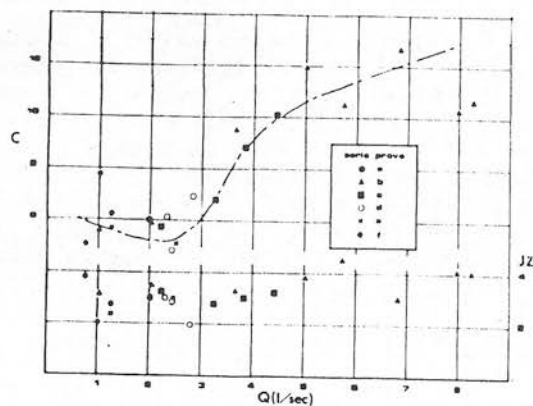


fig. 4 - ANDAMENTO DEL COEFFICIENTE C DI RESISTENZA E DELLA PENDENZA MOTTRICE J AL VARIARE DELLA PORTATA PER LE PROVE IN MOTO PERMANENTE

fondo sabbioso al variare della portata. E' possibile riconoscere una buona ripetibilita' delle misure e stabilita' del fondo anche se talune prove discostano sensibilmente dal valore medio. In parte cio' e' giustificabile da variazioni di temperatura che per le prime 25 prove era mantenuta costante pari a 15 gradi C mentre per le altre 5 (serie F) era aumentata a 25 gradi C.

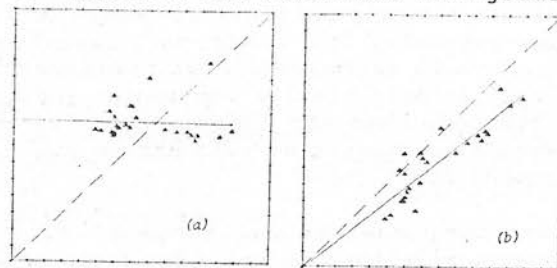


fig. 5 - CALCOLO SECONDO ENGELUND (a) E BECCHI (b)

A titolo di verifica ulteriore dei dati si e' provveduto ad analizzare l'andamento delle misure eseguite a confronto con le teorie esistenti gia' richiamate. Nella figura 5 sono riportati in scala lineare due diagrammi ove i valori sperimentali del

coefficiente C sono messi in dipendenza del valore calcolato; sono stati scelti gli andamenti relativi alla teoria di Engelund che attualmente è forse la più nota ed alla recente interpretazione di Becchi(1982).

4. LA RISPOSTA AL MOTO VARIO

Per l'analisi della risposta al moto vario è stato scelto il metodo seguito da Klaassen, cioè di studiare il comportamento al variare tra due situazioni studiate nel moto permanente che fornissero valori di pendenza prossimi. È stato scelto il passaggio dalla prova E4A e quella E4R. In figura 6 sono rappresentati al variare del tempo i cambiamenti di pendenza motrice, profondità media e coefficiente C . È possibile notare che il tempo di adeguamento indica, come già detto nella premessa, un andamento asintotico mescolato con una componente oscillatoria.

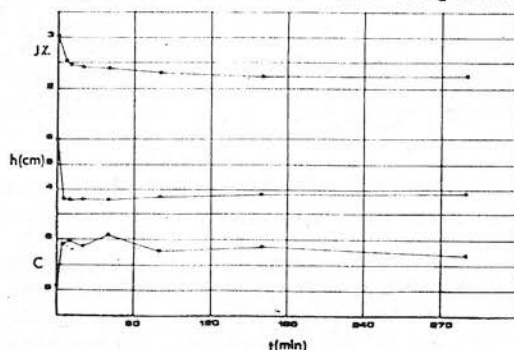


fig. 6 - ANDAMENTO DEI PARAMETRI DEL MOTO DURANTE IL TRANSITORIO TRA LA SITUAZIONE "E4 A" E LA "E4 R"

Come primo risultato notiamo che anche le nostre prove si adeguano alla tendenza generale. Ciò conferma l'assunto preliminare anche se per la prova in esame, che è di riduzione della portata, la tendenza oscillatoria risulta contenuta. Infatti le misure erano condotte con campionamento tempovariante secondo una progressione geometrica in maniera da evidenziare più la componente asintotica di quella oscillante.

Per una migliore comprensione del fenomeno si è pensato di inquadrare il nostro risultato in una formulazione analitica che consentisse un confronto con i dati noti. A tal fine si è formulato il seguente criterio fenomenico: il tempo di adeguamento del fondo, nel caso di dune o altre forme periodiche, dovrà essere in qualche modo funzione sia del volume di sabbia raccolto dalle singole forme sia del trasporto solido che si verifica sul fondo.

Questo criterio, già enunciato da Gee, è stato da noi applicato in termini di confronto tra il tempo di risposta T_2 , ricavato dalla pendenza del diagramma semilogaritmico, e un tempo che si può chiamare "fisiografico" T_1 , ottenuto come rapporto tra il cambiamento di volume delle forme di fondo ed il trasporto solido disponibile.

Nella figura 7 sono riportati, in diagramma bilogaritmico, in ascisse il tempo fisiografico ed in ordinate il tempo di risposta. Nella figura si distinguono i dati di Gee (punti scuri), quello di Klaassen (triangolo chiaro) ed il nostro (cerchio chiaro). La distinzione tra triangoli e cerchi è riferita alla impostazione di Gee che ha distinto due tipi di transizione. La transizione di tipo 1 (triangoli) prodotta da un incremento di portata e quella di tipo 2 (cerchi) in cui invece la portata diminuisce. Questa distinzione sembra giustificata anche dalla sintesi di figura 7 in cui l'andamento dei triangoli sembra suggerire una stretta correlazione del fenomeno, mentre i dati relativi alla transizione di tipo 2 riescono più dispersi e individuano tempi di adeguamento del fondo molto più ridotti.

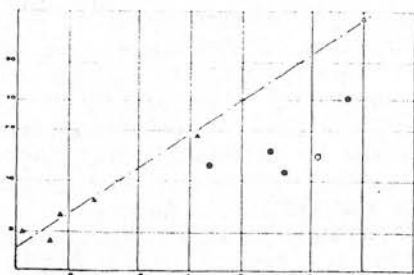


Fig. 7 - CONFRONTO TRA IL TEMPO DI RISPOSTA ED IL TEMPO FISIOGRAFICO PER LE PROVE IN AUMENTO DI PORTATA (Triangoli) ED IN RIDUZIONE (cerchi).

5. CONCLUSIONI

La ricerca qui riportata ha fornito utili indicazioni sia pure in via preliminare. In primo luogo l'impostazione della sperimentazione si è rivelata affidabile sia per quanto riguarda la ripetibilità delle misure sia nella riproduzione di fenomeni già osservati da altri sperimentatori.

Da un punto di vista sintetico si possono desumere due interessanti risultati. Da una parte è stato possibile verificare che i dati di resistenza con fondo a dune possono essere ben interpretati utilizzando i più recenti risultati della ricerca che consentono di rappresentare le variazioni di comportamento in

forma sufficientemente aderente alla realta' da consentire l'analisi del moto vario. Dall'altra parte il comportamento in moto vario rispetta un andamento non simmetrico, come gia' osservato da Gee, per cui all'aumentare della portata la velocita' di adeguamento delle resistenze risulta molto piu' bassa di quanto avvenga nel caso di riduzione.

BIBLIOGRAFIA CITATA

- ACAROGLU, E.R. (1972) "FRICTION FACTOR IN SOLID MATERIAL LADEN SYSTEMS" - Proc. A.S.C.E. HY4, p. 681
- ALAM, M.Z. & KENNEDY, J.F. (1969) "FRICTION FACTOR FOR FLOW IN SAND BED CHANNELS" - Proc. A.S.C.E. HY6, p.
- ASHIDA, K. (1974) "BED CONFIGURATION IN ALLUVIAL STREAMS" IN : THE BED CONFIGURATION AND ROUGHNESS OF ALLUVIAL STREAMS - Jap. Soc. Civil Eng., TOKYO
- ASCE (1977) "SEDIMENTATION ENGINEERING" - V. Vanoni Editor
- BAGNOLD, R.A. (1966) "AN APPROACH TO THE SEDIMENT TRANSPORT PROBLEM FROM GENERAL PHYSICS" - U.S.G.S. P.P.422-I
- BECCHI, I. (1980) "ALCUNE OSSERVAZIONI SUL COMPORTAMENTO DEI LETTI GRANULARI E SULLA POSSIBILITA' DI RAPPRESENTARLO CON MODELLI" XVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Palermo, A-3.
- BECCHI, I. (1980) "OUTLINE OF HYDRAULIC RESISTANCES INTERPRETATION IN ALLUVIAL STREAMS" Proc. I.A.H.R. Symposium 'RIVER ENGINEERING', Beograd.
- BECCHI, I. (1982) "RESISTENZE AL MOO TURBOLENO UNIFORME SU FONDO MOBILE: GLI EFFETTI DELLE FORME DI FONDO" XVIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Bologna
- BOGARDI, J.L. (1966) "EUROPEAN CONCEPTS OF SEDIMENT TRANSPORTATION" Proc. A.S.C.E., HY1, p.29
- DAVIES, T.R.H. & JAEGGI M.N.R. (1981) "PRECISE LABORATORY MEASUREMENT OF FLOW RESISTANCE" XIX Congress IAHR, New Dhely
- DAVIES, T.R.H. (1982) "LOWER FLOW REGIME BEDFORMS" Proc. A.S.C.E., HY3, p.343
- EINSTEIN, H.A. & BARBAROSSA, (1952) "RIVER CHANNEL ROUGHNESS" Trans. A.S.C.E. no. 177.
- ENGELUND, F. (1966) "HYDRAULIC RESISTANCES OF ALLUVIAL STREAMS" Proc. A.S.C.E., HY2, no. 315.
- ENGELUND, F. & FREDSOE, J. (1974) "TRANSITION FROM DUNES TO PLANE BED IN ALLUVIAL CHANNELS" Inst. Hydr. Lyngby - pap. 4.
- GARDE, R.J. & RANGA RAJU, K.G. (1966) "RESISTANCE RELATIONSHIP FOR

- ALLUVIAL CHANNEL FLOW" Proc. A.S.C.E., HY4 .
- GEE, M. D. (1975) "BED FORM RESPONSE TO NONSTEADY FLOWS" Proc. A.S.C.E., HY3, p.437
- GRAF, W.M. (1971) "HYDRAULICS OF SEDIMENT TRANSPORT", McGraw-Hill , N.Y.
- JOHN, P.H. JOHNSON F.A. & SUTCLIFFE D. (1976) "A CONDUCTIVITY FLOW METER" Journal of Hydraulic Research, Vol.14, n.1
- KENNEDY, J.F. (1963) "THE MECHANICS OF DUNES AND ANTIDUNES IN ERODIBLE-BED CHANNELS" J.F.M., no.16, part. 4.
- KISHI, T. (1974) "ROUGHNESS IN ALLUVIAL STREAMS" in 'The Bed Configurations and Roughness of Alluvial Streams', Jap. Soc. Civil Eng., Tokyo.
- KLAASSEN, G.K. (1979) "SEDIMENT TRANSPORT AND HYDRAULIC ROUGHNESS IN RELATION TO BED FORMS" Waterloopkundig laboratorium, Delft Hydraulics Laboratory, Pub. n.213V
- MARCHI, E. (1969) "RESISTANCES TO FLOW IN FIXED-BED CHANNELS WITH THE INFLUENCE OF CROSS-SECTIONAL SHAPE AND FREE SURFACE" X Congress, I.A.H.R., Fort Collins.
- MAYER-PETER, E. & MUELLER, R. (1948) "FORMULAS FOR BED-LOAD TRANSPORT" IV Congress I.A.H.R., Stockholm.
- MENDUNI, G. (1982) "EVOLUZIONE DELLE RESISTENZE AL MOTO IN PRESENZA DI FORME DI FONDO" Tesi di laurea, Facoltà di Ingegneria, FIRENZE
- PARIS, E. (1980) "UN METODO PER IL CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI SCABREZZA IN ALVEI MOBILI" L'Energia Elettrica, no.12 , vol. LVII
- RAUDKIVI, A.J. (1976) "LOOSE BOUNDARY HYDRAULICS" Pergamon, N.Y.
- SHIELDS, A. (1936) "ANWENDUNG DER AENLICHKEITMECHANIK UND TURBOLENZFORSCHUNG AUF DIE GESCHIEBBEBEWEGUNG" Mitt. d. Preuss. Versuchsanstalt f. Wasserbau u. Schiffbau, no.26 , Berlin.
- SHEN, H.W. (1962) "DEVELOPMENT OF BED ROUGHNESS IN ALLUVIAL CHANNELS" Proc. A.S.C.E. , HY3 , p. 45.
- SIMONS, D.B. , RICHARDSON, E.V. & NORDIN, C.F. jr (1964) "SEDIMENTARY STRUCTURES GENERATED BY FLOW IN ALLUVIAL CHANNELS" Rep. CER64, DES-EVR-CFN 15, Colorado State Univ., Fort Collins.
- SUPINO, G. (1964) "LE RETI IDRAULICHE" Patron, Bologna
- VANONI, V.A. & HWANG, L.S. (1967) "RELATION BETWEEN BED FORMS AND FRICTION IN STREAMS" Proc. A.S.C.E., HY3 , p. 121.
- WHITE, W.R. , PARIS, E. & BETTESS, R. (1979) "A NEW GENERAL METHOD FOR PREDICTING THE FRICTIONAL CHARACTERISTICS OF ALLUVIAL STREAMS" Hydr. Res. Stat., rep. IT 187, Wallingford.
- YALIN, S. (1972) "MECHANICS OF SEDIMENT TRANSPORT", Pergamon, N.Y.
- YALIN, S. & KARAHAN E. (1979) "SEEPNESS OF SEDIMENTARY DUNES" Proc. A.S.C.E., HY4, P.381