

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
“FEDERICO II”**



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER
L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

(CLASSE DELLE LAUREE IN INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE N. 8)

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA GEOTECNICA ED
AMBIENTALE**

ABSTRACT DELL' ELABORATO DI LAUREA

EQUILIBRIO DINAMICO NEL TRASPORTO IN SOSPENSIONE

RELATORE

Ch.mo Prof. Ing. Massimo Greco

CANDIDATO

Massimo Papa

MATR. 518/330

ANNO ACCADEMICO 2009/2010

Il presente lavoro di tesi verte sull'equilibrio dinamico nel trasporto in sospensione in alvei fluviali a fondo mobile, ossia in corsi d'acqua naturali il cui fondo, in quanto costituito d'ammassi di sedimenti privi o parzialmente dotati di coesione, può essere soggetto, per effetto dell'azione esplicata dalla corrente idrica, ad un processo di erosione che determina il progressivo distacco di particelle solide ed il loro conseguente trasporto idrodinamico.

Si parla di equilibrio dinamico nel trasporto in sospensione poiché si considera che il flusso di particelle mediamente mobilitato dalla corrente bilancia il flusso che mediamente si deposita sul fondo.

La relazione tra modalità di movimento e dimensione del materiale trasportato è complessa da definire e risulta fortemente influenzata dalle caratteristiche idrauliche della corrente. Delle diverse modalità di trasporto solido che possono verificarsi in un alveo fluviale, è stato esaminato in questa sede, il trasporto in sospensione che riguarda materiale di minori dimensioni che viene trascinato all'interno della corrente per effetto del carattere turbolento connesso al campo di moto. Infatti, la capacità della corrente di mantenere in sospensione particelle solide per lunghi tratti risiede proprio nel carattere turbolento del moto, che sempre caratterizza il deflusso di acque in alvei. Questo determina lo sviluppo di moti secondari o di agitazione, che si sovrappongono al movimento generale secondo l'asse del canale, determinando in tal modo un continuo spostamento di masse d'acqua in direzione puramente casuale all'interno della corrente stessa.

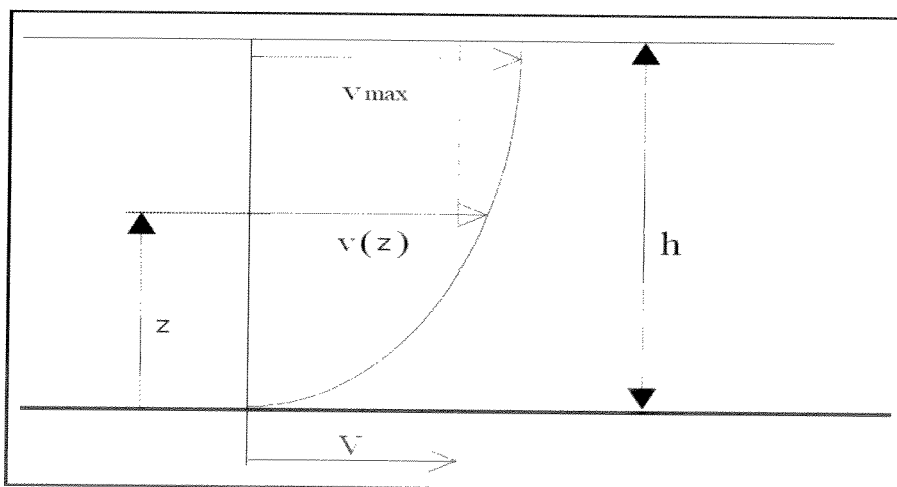
Il fenomeno del trasporto solido ha importanza rilevante per l'Idraulica fluviale poiché costituisce il fattore fondamentale della modellazione dei corsi d'acqua, azione che conduce ad una serie di fenomeni peculiari quali: variazioni altimetriche dell'alveo, escavazioni e depositi localizzati, cambiamenti della sezione e della granulometria dell'alveo, fenomeni questi che hanno dirette implicazioni sui problemi di Ingegneria.

Nello studio del trasporto solido in alvei a fondo mobile, la determinazione delle caratteristiche idrauliche della corrente idrica e la valutazione del trasporto solido

risultano essere due aspetti strettamente interconnessi, in cui l'elemento fondamentale di tale reciproca influenza è l'insieme delle forze che si trasmettono tra corrente idrica e fondo mobile, azione quantificata dallo sforzo tangenziale che il flusso esplica sul materiale di fondo che rappresenta una misura della capacità di una corrente di sollevare i sedimenti del letto.

Pertanto il problema è stato affrontato considerando due fasi progressive: nella prima, relativamente a specifiche ipotesi riguardanti le caratteristiche della corrente e dell'alveo, il problema è stato sviluppato estendendo all'alveo fluviale in esame le relazioni principali dell'Idraulica che regolano il moto delle correnti a pelo libero; si è quindi pervenuti alla conseguente legge di resistenza, considerando l'alveo come equivalente ad un canale nel quale è possibile assumere condizioni di moto uniforme e di regime turbolento; nella seconda fase l'attenzione è stata focalizzata sull'introduzione delle relazioni e dei modelli necessari alla valutazione del trasporto solido.

In riferimento poi al carattere turbolento che sempre caratterizza il deflusso della corrente in alvei fluviali, è stato evidenziato come la turbolenza di parete, originata per effetto delle condizioni di aderenza dello strato fluido ad essa immediatamente prossimo, determina un andamento logaritmico del profilo di velocità lungo la verticale al moto che contempla velocità nulla in prossimità del fondo della corrente stessa. Andamento di seguito riportato:



A tale risultato si è giunti dopo aver espresso lo sforzo tangenziale medio complessivo in funzione del gradiente della velocità media; tale sforzo è stato

considerato somma dello sforzo tangenziale vero e proprio, dovuto alla viscosità, e di quello dovuto alla turbolenza, che si origina in seguito a scambi di quantità di moto tra le masse fluide che vengono in contatto. Tale relazione deriva dalla constatazione che, con riferimento ai valori assoluti delle varie grandezze, gli sforzi tangenziali turbolenti, considerati in tale modello preponderanti rispetto agli sforzi viscosi, se si eccettua la zona immediatamente vicina alle pareti definita strato inerziale, aumentano col crescere del gradiente della velocità media.

Con queste premesse è stato così possibile, partendo dal legame tra lo sforzo tangenziale turbolento ed il gradiente della velocità media, utilizzando il modello di Prandtl, pervenire alla legge universale di distribuzione della velocità lungo la verticale che presenta appunto andamento logaritmico, espresso dalla seguente:

$$\frac{V}{v_*} = A \cdot \log \frac{R}{K} + B$$

Assumendo tale distribuzione delle velocità, la velocità media della corrente è stata così espressa come funzione della velocità di attrito v_* , rappresentativa questa degli sforzi tangenziali sul fondo.

Successivamente l'attenzione è stata focalizzata sull'introduzione delle relazioni e dei modelli necessari alla valutazione del trasporto solido: dalla conoscenza delle grandezze idrauliche relative alla corrente in esame si è potuto valutare lo sforzo tangenziale che il flusso esplica sul materiale di fondo, parametro preso in considerazione per la modellazione numerica del trasporto solido.

Infatti, la determinazione delle condizioni per le quali si verifica il movimento del materiale solido costituente il fondo dell'alveo è stata affrontata facendo riferimento al criterio d'inizio trasporto di Shields, secondo il quale l'inizio del movimento del fondo è determinato dal superamento dello sforzo tangenziale, esercitato dalla corrente sul fondo dell'alveo stesso, di una soglia critica individuata dallo sforzo tangenziale critico o di incipiente movimento. La valutazione del parametro θ_{cr} critico di Shields, espressione dello sforzo tangenziale critico al fondo, è stata possibile mediante l'approssimazione proposta da Brownlie a partire dall'utilizzo di alcuni gruppi adimensionali, tali da rendere i risultati validi in un ampio campo di variabilità

di quasi tutte le grandezze che caratterizzano il fluido, il materiale d'alveo e la corrente.

Accertata la presenza di trasporto solido, è stato possibile utilizzare per la valutazione del trasporto in sospensione le stesse leggi che regolano il moto di sostanze in soluzione, poiché si considera che le masse idriche in movimento tendono a produrre sulle particelle solide, per effetto della turbolenza che caratterizza il moto, lo stesso effetto di diffusione che si determina in sostanze in soluzione. Da ciò è derivata la possibilità di utilizzare il modello diffusivo, derivante dalla teoria della diffusione turbolenta, per lo studio del trasporto in sospensione, che ha condotto all'uguaglianza tra il coefficiente di diffusione turbolenta delle sospensioni ε_s con il corrispondente coefficiente ε_z di diffusione per le soluzioni.

Secondo tale modello, che considera la portata solida in sospensione come somma di una portata diffusiva, espressa mediante la legge di Fick, e di una portata convettiva connessa al campo di moto, si è pervenuti, mediante un bilancio di massa di sostanza sospesa, all'equazione differenziale di continuità della fase solida.

In seguito, a partire dall'equazione della diffusione in regime turbolento, riformulata introducendo i termini di agitazione connessi con il carattere turbolento del moto, usufruendo dell'analogia di Reynolds tra diffusione turbolenta e flusso medio di quantità di moto connesso con la turbolenza, è stato possibile esplicitare, l'uguaglianza tra il coefficiente di diffusione turbolenta dei soluti ε_z ed il coefficiente di viscosità cinematica turbolenta ν_t . Di quest'ultimo, stante la distribuzione logaritmica della velocità, è stato possibile individuare la relativa legge di variazione lungo la verticale al moto espressa dalla seguente:

$$\varepsilon_z = \nu_t = k \nu_* z \left(1 - \frac{z}{h}\right)$$

In seguito si è introdotta la soluzione di Rouse per l'integrazione dell'equazione differenziale del trasporto solido che ha condotto alle seguente relazione utilizzata nell'elaborato per la determinazione del profilo di concentrazione di solidi sospesi

lungo la verticale al moto: $\frac{c}{c_a} = \left[\frac{1-z/h}{1-a/h} \frac{a/h}{z/h} \right]^{w/k\nu_*}$

Per l'utilizzo di tale relazione, sono state considerate le formulazioni di Van Rijn e Smith-McLean per la determinazione delle condizioni al contorno, ossia della quota a alla quale si considera che inizi il trasporto in sospensione e della relativa concentrazione di solidi sospesi c_a a tale quota.

L'analisi del profilo di concentrazione di solidi sospesi è stata poi sviluppata considerando due distinti valori di quota a dal fondo in corrispondenza dei quali si è assunto che inizi il trasporto in sospensione; sono stati considerati i seguenti valori: $a = 0.01h$ ed $a = 5d$; ove con d si è indicato il diametro efficace del materiale d'alveo.

L'analisi della concentrazione c_i di solidi sospesi lungo la verticale al moto della corrente a partire dal fondo $z = 0$ fino alla quota dal fondo $z = h = 1.63m$, pari cioè al tirante idrico del canale precedentemente calcolato, ha fornito relativamente alle due formulazione di Van Rijn e Smith-McLean rispettivamente i seguenti profili di concentrazione ottenuti per entrambi i valori di a considerati:

