

Indagini sperimentali e numeriche per lo studio dell'interazione tra il moto ondoso e le condotte sottomarine

Matteo Mattioli

Dipartimento Idraulica Strade Ambiente e Chimica, Università Politecnica delle Marche
Via Brecce Bianche, 60131 Ancona, Italia, E-mail: matteomattioli13@hotmail.it.

Il costo associato ad una rottura o al collasso di una condotta sottomarina, se riferito alle riparazioni ad elevate profondità e alla perdita di produzione, è talmente elevato che è fondamentale valutare con attenzione tutte le possibili condizioni di carico e gli eventi incidentali che la condotta deve affrontare, durante il suo ciclo di vita. Quando una condotta viene installata sul fondale marino priva di protezione si genera: i) turbolenza, ii) una vorticità localizzata e, in funzione del tipo di forzante (onda e/o corrente), iii) un gradiente di pressione tra monte e valle. Questi effetti possono combinarsi tra loro, generando un'erosione localizzata (*scour*) sotto la struttura che, a sua volta, può svilupparsi lungo l'asse longitudinale generando una *free-span* (cioè la formazione di campate libere). Un evento di *free-span* anche per un certo periodo di tempo, può causare fenomeni di vibrazione e un accumulo di danno a fatica.

La leggi che descrivono il processo di *scour* risultano ancora ad oggi non complete. Una possibile ragione risiede nella complessa generazione di turbolenza tridimensionale attorno la condotta. Una via di analisi (oltre ai modelli fisici) ci viene fornita dalla modellistica numerica. Negli ultimi due decenni, due tipologie di modelli sono stati implementati, i primi riguardanti la teoria del moto potenziale, più recentemente si sono sviluppati modelli di tipo RANS e LES a cui vengono accoppiati dei modelli per il trasporto dei sedimenti.

Lo scopo di questa ricerca è quello di indagare la meccanica dello *scour* sia numericamente che sperimentalmente e promuove un'analisi di interazione condotta-suolo attraverso la dinamica locale dei sedimenti. Viene analizzata la turbolenza attraverso un'indagine sperimentale (presso il Laboratorio di Idraulica dell'Università Politecnica delle Marche), svolta con una tecnica non invasiva, la *Particle Tracking Velocimetry* (PTV). La tecnica di *tracking* è basata su una misura di correlazione tra finestre di interrogazione di immagini consecutive e viene eseguita con il software "YATS" (Miozzi, 2004). Undici differenti condizioni ondose vengono testate, sia in una configurazione a fondo rigido che a fondo mobile. Con la prima, realizzata con delle piastre in acciaio sopra a pedane di legno, vengono valutati il campo di moto, la vorticità, la turbolenza, e lo spessore del *boundary layer*; con la seconda configurazione, realizzata con sabbia ($D_{50} = 0.6$ mm), vengono monitorate le fasi di sviluppo dell'erosione e si studia la condizione di equilibrio in termini di profondità e ampiezza. Il numero di *Keulegan-Carpenter* KC, che esprime il rapporto tra l'ampiezza orbitale dell'onda ($2\pi a$) e le dimensioni della condotta (D), sotto l'ipotesi di teoria lineare, varia da 1 a 30.

È stato inoltre implementato un innovativo modello numerico, basato sulla tecnica del *Level-Set* per fluidi bifase. L'erosione attorno la condotta viene modellata accoppiando la soluzione della parte idrodinamica, con un modello semplificato per descrivere il moto dei sedimenti. Il dominio viene suddiviso in tre differenti sottodomini: i) una fase liquida, ii) una fase solida e iii) una fase mista solida-liquida funzione della concentrazione. Le equazioni di *Navier-Stokes* vengono scritte nell'intero dominio con differenti proprietà di densità e viscosità per le diverse fasi e sono risolte attraverso una *Direct Numerical Simulation*. La subroutine implementata per il trasporto dei sedimenti utilizza uno schema costituito da una componente di *drifting* e una di *lifting*. La prima opera sul sedimento in sospensione ed è funzione del campo di pressione, la seconda agisce all'interfaccia

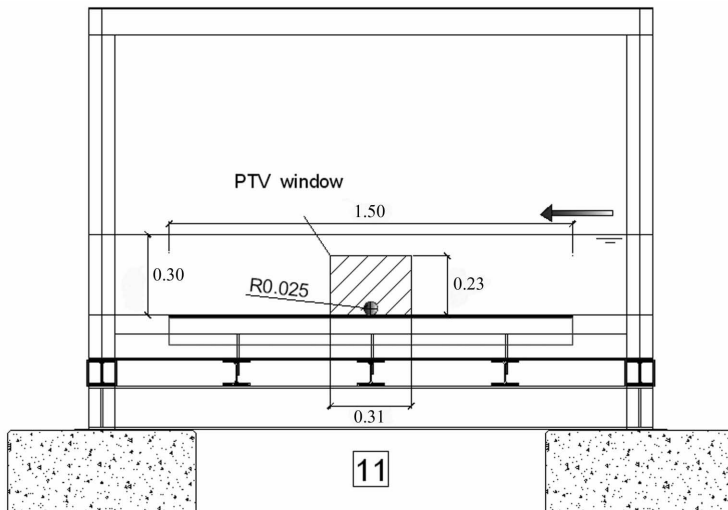


Figura 1 - Configurazione a fondo rigido.

tra la parte solida e quella liquida ed è funzione della tensione tangenziale esercitata al fondo (Mattioli, 2010). Il modello sperimentale si estende lungo l'asse del canale per onde per 1.5 m, la sua larghezza è di 1 m (Figura 1). Il diametro della condotta (realizzata con materiale PVC) è pari a $D=0.05$ m, viene installata con un rapporto $e/D=0$, sia nella configurazione a fondo rigido che a fondo mobile, essendo e la distanza di in-terramento della condotta. Si deve sottolineare che il valore del parametro di Shields critico ottenuto è pari a $\theta_{cr}=0.031$ e non tutte le onde testate

inducono le condizioni critiche per la movimentazione dei grani. La finestra di indagine per la PTV è pari a 31 cm (lungo x) x 23 cm (lungo y). L'inseminante usato (peperoncino macinato) ha una $\gamma_c=0.95$ g/cm³ e una dimensione dei grani $D_{50}=0.0003$ m e ha il vantaggio di comportarsi in maniera neutra nei confronti dell'acqua. Oltre alla tecnica ottica vengono utilizzate due sonde di livello all'ingresso e all'uscita del modello per rilevare la superficie libera e un *Acoustic Doppler Velocimetry* "ADV" per il campionamento puntuale della velocità. Per il modello a fondo rigido, la PTV ci consente di analizzare per le diverse fasi dell'onda, il campo di moto perturbato attorno la condotta, dal quale sono stati estratti la vorticità, la turbolenza e l'intensità del parametro di Okubo-Weiss, mediando una serie di 100 ripetizioni del singolo esperimento. L'analisi di convergenza mostra che l'errore, se riferito alla componente longitudinale del moto u , decade al 3 % , se riferito all'energia cinetica turbolenta k , si attesta al 5% dopo 50 ripetute. I risultati evidenziano che vorticità e turbolenza crescono con KC e l'estensione longitudinale dei vortici generati a valle della condotta aumenta linearmente con KC (Mattioli, 2010).

La dinamica dei sedimenti e quindi dell'erosione provocata dal moto ondoso sotto la condotta viene analizzata nella configurazione a fondo mobile. La durata delle prove è di 90 minuti anche se la condizioni di equilibrio viene raggiunta dopo circa 60 minuti. Vengono campionati sia la profondità di *scour* in diverse sezioni che l'estensione dell'area interessata dall'erosione. I risultati sperimentali vengono poi messi a confronto con le relazioni empiriche di letteratura. La relazione di Sumer and Fredsoe (2002) approssima bene i risultati sperimentali ai fini della profondità di *scour* sotto il tubo, ma sottostima la dimensione longitudinale dell'area interessata dall'erosione.

Il modello numerico è stato applicato per la sola configurazione ondosa OR8, che esprime le condizioni più gravose. La griglia di calcolo utilizzata ha un'estensione longitudinale $L=100D$ e trasversale $H=6D$ con il centro del cilindro posto a $0.3D$ dal contorno sinistro. Il dominio viene schematizzato con 500 nodi lungo x e 40 nodi in verticale. Vengono utilizzati ai fini del calcolo 5 differenti valori di β , che rappresenta un parametro di calibrazione per la capacità di trasporto dei sedimenti (Mattioli, 2010). Il valore di β entra nella formula che regola il sollevamento dei sedimenti, qualora si verificassero le condizioni di instabilità (la tensione tangenziale ottenuta per effetto della forzante, in questo caso ondosa, supera le condizioni critiche espresse dal parametro di Shields).

I risultati numerici vengono confrontati con quelli sperimentali ottenuti in un tempo di prova pari a 60 T, essendo T il periodo ondoso. Attualmente il calcolo numerico non viene spinto fino la condizione di equilibrio perché risulta essere troppo onerosa in termini computazionali. Il principale problema per questa tipologia di modelli è relativo alla differente scala temporale tra la soluzione idrodinamica e quella morfodinamica. I risultati sono comunque confortevoli e risultano migliori per $0 < \beta < 1$.