

Sviluppo e validazione di un modello numerico bifase per lo studio dell'interazione onda-struttura

Maria Gabriella Gaeta

DICAM, Università di Bologna, Viale Risorgimento, 2 - 40136 Bologna
E-mail: g.gaeta@unibo.it

La valutazione dell'entità dell'impatto di un'onda su una struttura costiera impermeabile risulta di fondamentale importanza per le conseguenze indotte sulla stabilità e il danneggiamento dell'opera stessa: l'onda infatti all'impatto determina una forte pressione (o shock), elevata in intensità e breve in durata. Già Bagnold (1939) e più recentemente, tra gli altri, Oumeraci et al. (2001) conclusero sulla base di risultati sperimentali che l'entità di tale impatto è fortemente legata al contenuto di aria per il cosiddetto effetto cuscinetto e alla forma dell'onda frangente.

Diversi studi numerici su tale tematica sono presenti in letteratura (una dettagliata revisione è presente in Bredmose et al., 2009) dai quali emerge che i modelli numerici che consentono una accurata e più completa descrizione dell'idrodinamica, sia durante la propagazione dell'onda che al suo impatto con una struttura, risultano quelli di tipo wave resolving.

La presente nota descrive lo sviluppo e la validazione di un modello numerico bifase aria-acqua 2DV di tipo F-RANS caratterizzata da un nuovo modulo per il trattamento della comprimibilità dell'aria. Tale modello, chiamato COBRAS2, è stato sviluppato implementando il modello monofase COBRAS0 (Lin e Liu, 1998). Le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto per la miscela aria-acqua seguono la trattazione analitica formulata da Drew e Passman (1999) e sono state mediate secondo Favre-Reynolds mentre la comprimibilità dell'aria è stata sviluppata includendo nel set di equazioni costitutive del modello la legge adiabatica di un gas ideale, portando all'equazione di continuità nella forma:

$$\frac{\partial \varphi \cdot \bar{\rho}_w}{\partial t} + \varphi \cdot \bar{\rho}_w \frac{\partial \bar{u}_{m,i}}{\partial x_i} + \frac{\partial ((1-\varphi) \cdot \bar{\rho}_g)}{\partial t} + \frac{\partial ((1-\varphi) \bar{\rho}_g \cdot \bar{u}_{m,i})}{\partial x_i} = 0$$

con $\varphi(x,t)$ l'indicatore di fase, pari a 1 per l'acqua e a 0 per il gas, con $u_{m,i}$ l'i-esima componente della velocità media della miscela e ρ_w, ρ_g la densità dell'acqua e dell'aria rispettivamente.

L'aggiunta dell'effetto della comprimibilità dell'aria porta ad una modifica dell'equazione di pressione di Poisson (PPE):

$$\Delta t \nabla \cdot \left[\frac{1}{\rho_m^n} \nabla p^{n+1} \right] = - \left[\left(\nabla \cdot \mathbf{u}^{*n+1}_{m,i} \right) + \left[(1-\varphi^n) \cdot \frac{1}{\rho_m^n} \left(\frac{\rho_g^{n+1} - \rho_g^n}{\Delta t} + \mathbf{u}^{*n+1}_{m,i} \cdot \nabla \rho_a^n \right) \right] \right]$$

che, linearizzata, è risolta iterativamente usando il metodo del gradiente coniugato. Maggiori dettagli sulla modellazione della comprimibilità dell'aria e sulla risoluzione delle equazioni costitutive del modello possono essere trovati in Gaeta (2009).

Il modello è stato validato con la simulazione di un caso di laboratorio in cui sono state valutate le forze verticali generate da onde solitarie su un impalcato orizzontale (French, 1970). I risultati sperimentali sono stati confrontati con quelli numerici ottenuti usando il modello monofase COBRAS0 e i modelli bifase CO-

BRAS2 con e senza comprimibilità dell'aria. E' evidente da Figura 1 come la trattazione numerica dell'aria, con il proprio contributo inerziale, risulta essenziale per una riproduzione realistica delle forze di impatto, mentre quella della sua comprimibilità risulta in questo test non del tutto visibile.

Uno studio numerico sull'influenza della forma dei frangenti all'impatto su parete verticale ha inoltre evidenziato come il modello bifase ben riproduce l'evoluzione caratteristica, e ampiamente documentata in letteratura, delle forze di impatto.

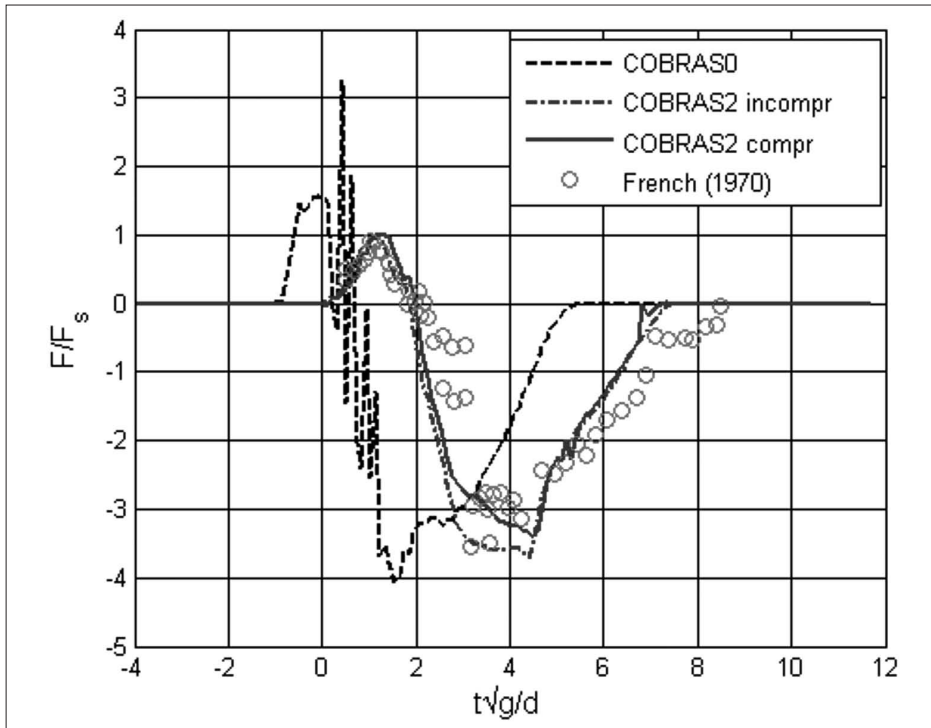


Figura 1 -Forza su impalcato orizzontale: confronto tra risultati numerici e dati di laboratorio di French (1970).

Si è anche verificato come la massima forza si osserva in presenza di un frangente di tipo plunging con aria intrappolata ed è proprio in queste simulazioni che la trattazione numerica dell'aria è risultata essenziale per evitare errori numerici del modello monofase. Infatti, l'implosione di una bolla di vuoto, anziché di aria, provoca un aumento notevole della pressione nell'acqua che non presenterebbe alcun significato fisico.

La modellazione numerica bifase è inoltre di supporto all'analisi sperimentale delle sollecitazioni ondose di tipo impulsivo applicate ai pontili, oggetto di un progetto Hydralab III (Martinelli et al., 2010) che ha posto particolare attenzione agli effetti scala dovuti alla comprimibilità dell'aria. Il modello bifase consente di ottenere una maggiore informazione sui processi idrodinamici che avvengono durante l'impatto dell'onda contro l'impalcato, evidenziando la formazione di vortici associati sia all'ingresso d'aria all'arrivo dell'onda che alla sua fuoriuscita per effetto dell'onda che passa sotto la struttura, il conseguente aumento di pressione nell'aria rimasta intrappolata per la presenza delle travature e il ruolo della comprimibilità nella valutazione quantitativa delle forze.

In conclusione, il contributo aggiuntivo della modellazione della comprimibilità dell'aria nella simulazione dell'impatto di onda è risultato in una più realistica rappresentazione dell'effetto cuscinetto dell'aria intrappolata e in una più accurata previsione numerica delle forze massime e quasi-statiche agenti sulle strutture e sarà oggetto di ulteriori considerazioni sugli effetti a grande scala della comprimibilità dell'aria.