

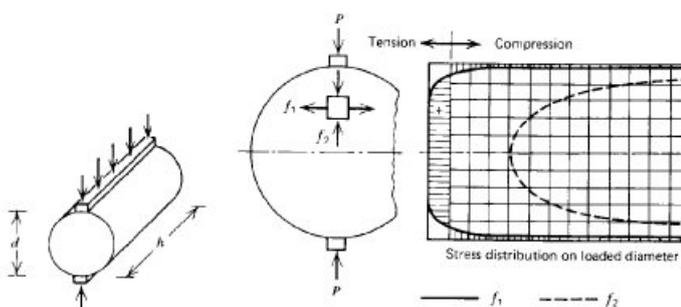
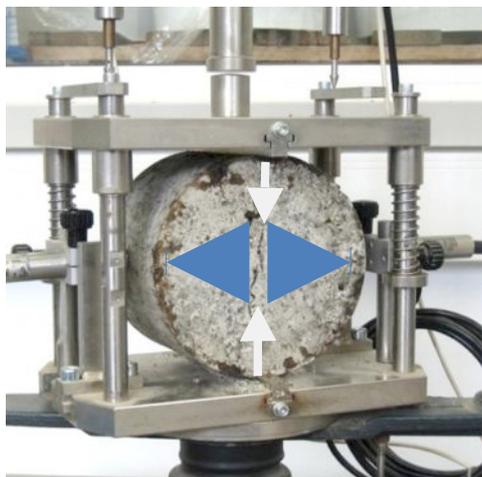
STUDIO MODELLAZIONE STATICA PROGETTO T/M

Proseguiamo la nostra modesta analisi occupandoci dei groutbags da sistemare fino a colmare i circa 80 metri di vuoto al momento esistenti tra lo scafo ed il fondale.

La zona di contatto nave/sacchi è facilmente ragguagliabile ad una striscia materializzata nel ginocchio di destra lunga 80 metri e con uno sviluppo di (tenuto conto che è un quarto di circonferenza) di circa $3,14 \text{ ml.} * 80 \text{ metri} = 251 \text{ metri quadrati circa}$. Ora è atteso che non si possa ottenere il contatto perfetto su tutta la superficie del ginocchio tenendo anche conto che la nave ruota sul ginocchio stesso, quindi cambia continuamente il suo punto di massimo appoggio. Facendo un minimo di approssimazione si può ragionevolmente escludere il contatto "puntiforme" e assumere come congruo e ragionevole un contatto superficiale tenendo conto che i sacchi in fase di iniezione tendono ad "accostare" il ginocchio quanto più possibile. Possiamo pensare che lo facciano per un terzo dello sviluppo ovvero con una superficie di circa $80,00 \text{ mt.} \times (3.14/3) = 84 \text{ mq circa}$.

Una volta che la nave viene sollevata dagli appoggi di prua e di poppa su cui attualmente insiste, verrà a trovarsi interamente supportata dei sacchi di cemento. Per poter proseguire nel ragionamento è necessario fare alcune considerazioni sulle classi di resistenza cubica e cilindrica che torneranno utili in seguito. Dagli schemi raffigurati nelle slide pubblicate, ammendo per essi la piena veridicità, si può rilevare che i sacchi, di forma più o meno cilindrica, sono posti normalmente al ginocchio con un sistema di posa assimilabile alle "quinconce" sovrapposte ed alternate. A riempimento avvenuto si può affermare che i sacchi potranno essere assimilati ad un cilindro con generatrice normale all'asse longitudinale della nave. Questo è ciò che si deduce dalle illustrazioni fino a prova del contrario.

Orbene in tale configurazione lo sforzo di compressione in realtà, per effetto delle sistemazioni e del riempimento vengono trasformate in sforzi di trazione normale al piano di applicazione della sollecitazione comportandosi esattamente come un provino da laboratorio sottoposto a prova di rottura. Il risultato è chiaramente visibile nelle immagini riportate.



Come si può ben notare il provino si lesiona come in figura e non al contrario come normalmente ci si potrebbe aspettare. In realtà la lesione è esattamente diretta lungo la retta di azione delle forze applicate. Quindi i sacchi (assimilabili a cilindri) si comporteranno esattamente come il provino.

Tale comportamento si può sperimentalmente rilevare con la prova "brasiliiana" dove il provino si distrugge per eccesso di trazione una volta raggiunto il limite ammissibile per la compressione. In molti casi il calcestruzzo risulta soggetto a sollecitazioni composte (bi- o tri-assiali): ad esempio nelle sezioni delle travi sollecitate a flessione e taglio si ha uno stato contemporaneo di tensioni normali e tangenziali.

Per il caso generale del calcestruzzo soggetto a tensioni triassiali non si dispone di modelli teorici soddisfacenti. Uno dei criteri più antichi, che si accorda qualitativamente con il comportamento dei materiali fragili, è quello di Mohr-Coulomb o della massima tensione tangenziale.

Ad aggravare la situazione in atto, entra in gioco il fatto che il calcestruzzo (o miscele variamente composte iniettate nei sacchi) non è confinato da nessun tipo di armatura trasversale (le staffe nelle travi e nei pilastri). L'armatura trasversale svolge diversi ruoli, si osserva che le staffe, se abbastanza fitte e opportunamente conformate, possono svolgere il ruolo di confinare il calcestruzzo. Infatti quando la tensione assiale si avvicina a quella di collasso la deformazione trasversale del calcestruzzo diviene molto grande e le staffe, ostacolando questa deformazione, provocano l'insorgere di tensioni di coazione simili a quelle idrostatiche: ne deriva un aumento della resistenza a schiacciamento e della duttilità del calcestruzzo. Naturalmente non è possibile armare in nessun modo i sacchi quindi ci si trova nella esatta condizione del provino. Tornando alla rotazione cerchiamo di capire cosa accade nel momento in cui la nave, sufficientemente ruotata e sollevata, grava per intero sul ginocchio nelle zone afferenti i sacchi (grout bags).

Avevamo definito la superficie di contatto ginocchio/sacchi in 84 mq, forse qualcuno in più, ma non vi sono grandi differenze sostanziali. Ipotizzando un contatto perfetto e tale da consentire il totale trasferimento dei carichi si avrebbe che, sulla superficie indicata, a scafo parzialmente ruotato, vengano ad insistere tutte le 80.000 t. circa del sistema nave (peso nave di progetto 54.000 t. + serbatoi scarichi 8.000 t. + forza di tiro 10.000 t.+ travi+cavi+martinetti+zavorra ecc.). Riducendo questi carichi alle tensioni unitarie ammissibili si ha:

$80.000 \text{ t.} : 84 \text{ mq} = 952 \text{ t./mq} = 95,2 \text{ Kg/ cmq}$ ben oltre i canonici $30,5 \text{ kN/mm}^2$ previsti per il C25/30.

Per fare in modo che le sollecitazioni unitarie restino nel campo delle tensioni ammissibili del materiale scelto la superficie di contatto deve essere garantita con certezza assoluta durante tutte le fasi di carico e con superfici di scarico notevolmente maggiori di quelle indicate certamente non reperibili con facilità nei pressi del ginocchio di dritta. Ma si sa questo è il progetto delle "incertezze, dei ripensamenti, delle revisioni in corso d'opera e dei dubbi" e questo è uno di quelli sui quali la grande collaborazione della "Dea Bendata" è fondamentale, speriamo che i sacchi stiano al loro posto e non si rompano!

Questi sforzi unitari esulano dai normali valori ammessi per i calcestruzzi e si entra nel campo delle miscele epossidiche bi-componenti più o meno "caricate" con inerti nobili se addirittura non con polimeri modificati specializzati in "trazione", e non delle comuni miscele ternarie cementizie non armate, come si è nel nostro caso. Non potendo usare le resine perché costose, difficili da usare soprattutto nella fase non catalizzata, estremamente inquinanti e tossiche per il personale e l'ambiente, una possibile soluzione per ottenere resistenze così elevate potrebbe essere l'impiego di calcestruzzi particolari con i quali è possibile raggiungere resistenze prossime a quelle delle resine. Questi calcestruzzi però presentano delle oggettive difficoltà di impiego (necessitano di un numero consistente di additivi per consentirne la lavorabilità in tempi ragionevoli, sono caratterizzati da una maggiore velocità di contrazione nella fase immediatamente successiva all'esposizione all'atmosfera insatura di vapore, rispetto ai calcestruzzi normali e tutta un'ampia serie di accorgimenti tali e complicati da far desistere anche il più volenteroso dei mix project). L'esame dei diagrammi/sforzo deformazione a compressione, ad esempio, presenta alcune caratteristiche che li diversificano dai cementi normali quali maggior deformazione in corrispondenza dello sforzo massimo, una brusca caduta del ramo discendente ed una minore deformazione ultima, entrambi indici di una maggiore fragilità dei materiali di questo tipo. Infatti il loro impiego è limitato ad opere particolari adottando particolari accorgimenti costruttivi tenuto conto che le norme in tutto il mondo ne vietano l'impiego nella pratica corrente. (alcune strutture del ponte della musica in Roma sono state realizzate con questi calcestruzzi)

Fatta questa breve parentesi sui calcestruzzi, quand'anche ci si attestasse su valori degli sforzi applicati pari alla metà di quelli trovati si è ben oltre il campo delle resistenze caratteristiche ammissibili per i cementi

normali. Inutile dilungarsi oltre sull'argomento esiste una letteratura più che ampia con la quale confrontarsi.

Torniamo alla nave, che abbiamo detto, è parzialmente ruotata e staccata per buona parte dagli appoggi a prua e poppa, trattenuta a monte dai cavi sottopassanti ,caricata con i cassoni e la relativa carpenteria di collegamento, molto verosimilmente con qualche decina di migliaia di tonnellate d'acqua e tirata a sinistra dai cavi ancorati al falso fondale.

Per effetto delle sollecitazioni si ipotizza con sufficiente realismo la rottura dei sacchi i quali cedendo per raggiunto limite di compressione, si comporteranno esattamente come i provini di cui sopra aprendosi lungo la retta di applicazione dei carichi e abbassandosi nel senso dell'altezza tale da causare un abbassamento del piano di posa del ginocchio dovuta alle seguenti condizioni del carico stesso:

- nave sollevata dagli appoggi;
- carico insistente per la quasi totalità sui sacchetti (80.000 t. circa);
- angolo di sbandamento di circa 35/40 gradi (ammesso che i cedimenti non avvengano prima di aver raggiunto tale angolo, nel qual caso le cose si complicano ulteriormente)
- tenuta a monte non in grado di contrastare gli abbassamenti causati dal cedimento dei sacchi (non è pensata per questo);
- dispositivi di tiro offshore al massimo della tensione.
- scafo fortemente inflesso per via della duplice azione connessa al cedimento dei sacchi, al peso proprio, alla componente verticale dei tiri e dei carichi aggiunti sul lato sinistro.

Al cedimento progressivo, a questo punto inarrestabile, corrisponde un costante abbassamento del ginocchio di destra fino a che la chiglia non va ad incastrarsi tra ciò che resta dei sacchetti e la trave di bordo del falso fondale inserendosi a cuneo tra questi due punti.

In questa situazione la zona al di sotto della trave di bordo del fondale ,lato scafo, costituisce un gradino insormontabile tenuto conto che in tale condizione nessun tipo di sforzo potrà mai essere sufficientemente alto da vincere questa nuova condizione statica. Qualcosa del genere: ci avevate pensato? Come si può capire dallo schema (non ci si lasci ingannare dai graficismi dello schizzo a mano libera che indurrebbero a pensare ad una situazione tutto sommato favorevole ma non è così come raffigurata, la nave è più in basso del piano di imposta del falso fondale) la trave di bordo della mensola si troverà a sopportare lungo una superficie piuttosto esigua il peso del complesso nella sua interezza. Cosa accadrà al fondo dello scafo in simili condizioni e/o alla trave di bordo e all'intero falso fondale?...A voi le conclusioni! Tutto questo non ci risulta sia ben rappresentato e chiarito nelle bellissime "slides" del sito ufficiale e nei commenti acclusi.

