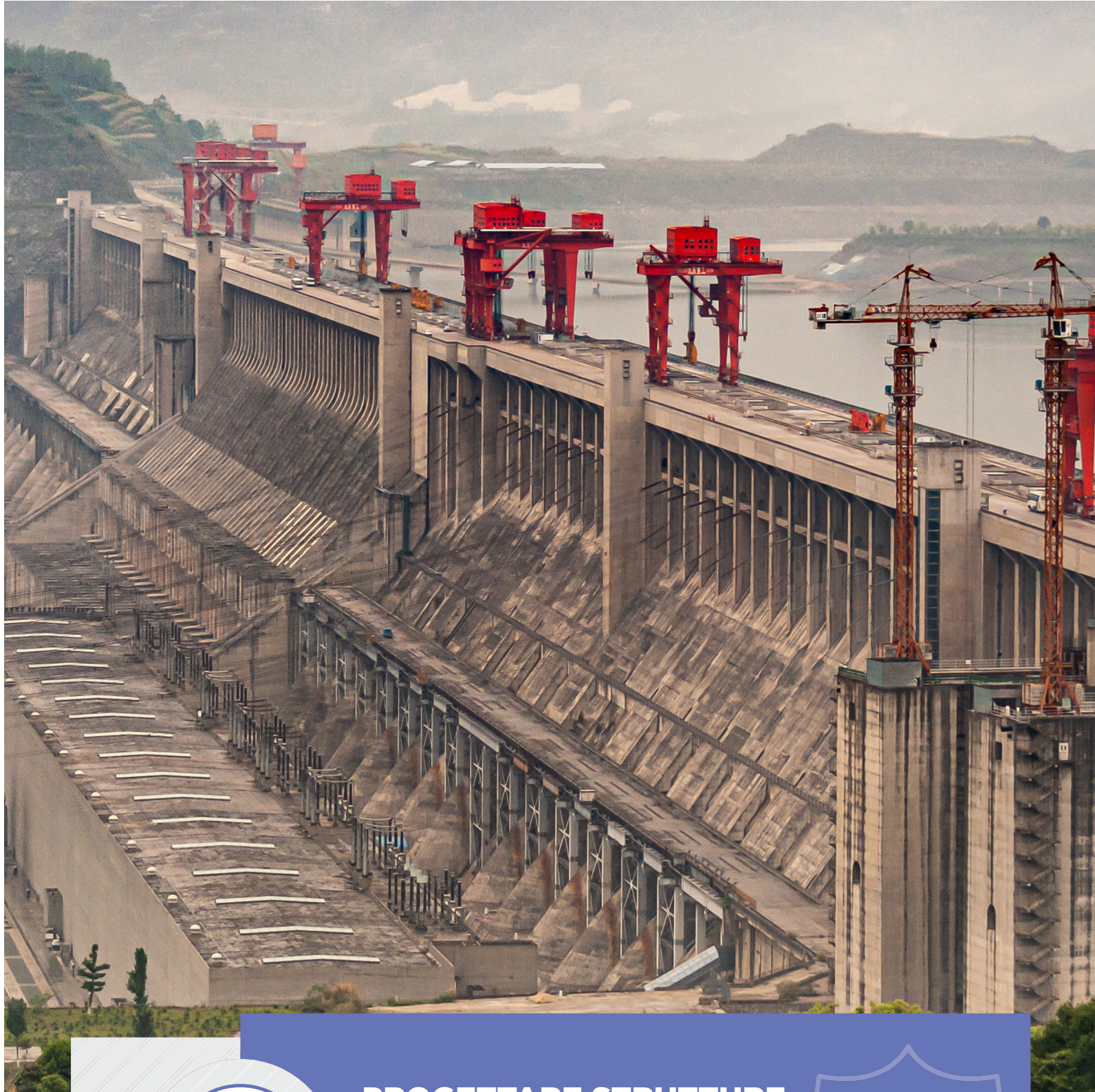




**PROGETTARE STRUTTURE
MASSIVE
IN CALCESTRUZZO
ARMATO**



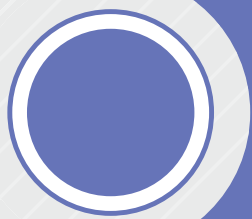
COLABETON 



Le **strutture in calcestruzzo armato massivo (o massicce)** comprendono quegli elementi costruttivi che sono contraddistinti da un elevato rapporto volume di calcestruzzo gettato/superficie quali, ad esempio, i plinti di fondazione delle pile da ponte, i dadi di fondazione delle turbine negli impianti di produzione dell'energia elettrica, gli impalcati da ponte monolitici di grande spessore, le travi rovesce di fondazione e i muri di grande sezione, le platee di fondazione di edifici a notevole sviluppo verticale. Dal punto di vista pratico si ritiene massivo un muro di fondazione, una platea o una soletta di spessore almeno pari a 80-100 cm. Per elementi isolati, invece, quali i plinti, le condizioni di struttura massiva si realizzano allorquando la dimensione minima della sezione supera i 150 cm circa.

Il problema principale nella realizzazione di una struttura massiva è rappresentato dal fatto che:

- a) la **reazione di idratazione del cemento con l'acqua è di tipo esotermico** e, quindi, dà luogo ad uno sviluppo di calore;
- b) per effetto dello sviluppo di calore, **la temperatura del getto aumenta rispetto alla temperatura iniziale** che, ragionevolmente, può essere assunta **pari alla temperatura ambientale esistente al momento della posa in opera**;
- c) il **calcestruzzo è un materiale caratterizzato da una bassa conducibilità termica**. Pertanto, gli strati corticali di un getto massivo si comportano come isolante termico nei confronti delle porzioni più intime della struttura. Il **"cuore" del getto si trova, quindi, ad operare in condizioni adiabatiche senza la possibilità di dissipare il calore prodotto**. Conseguentemente, il "cuore" della struttura raggiunge temperature maggiori rispetto agli



strati corticali che, trovandosi a più diretto contatto con l'ambiente esterno, dissipano una maggiore quantità di calore, attestandosi su una temperatura più bassa. La temperatura massima che si raggiunge nel cuore del getto, a parità di calcestruzzo impiegato, dipende da quanto tempo persistono le condizioni adiabatiche che, a sua volta, è funzione dello spessore della struttura: **maggiori le dimensioni minime, più a lungo rimangono le condizioni adiabatiche e maggiore sarà la temperatura raggiunta nel cuore.** Da un punto di vista pratico, si può assumere che in un getto di spessore inferiore a 60-80 cm, le condizioni adiabatiche persistano per un tempo così ridotto (meno di 24 ore) da non generare un aumento di temperatura significativo nel cuore della struttura. Per contro, nelle strutture di maggiore spessore **le condizioni adiabatiche possono durare 3 o 7 giorni rispettivamente per manufatti di spessore minore/uguale o maggiore di 2 m;**

- d) **maggior è la temperatura raggiunta nel cuore e più elevato risulterà il gradiente termico tra le zone più intime del getto e quelle superficiali.** Pertanto, in base a quanto sopra esposto, all'aumentare dello spessore degli elementi costruttivi aumenta il gradiente termico. La temperatura degli strati più esterni non è, invece, sostanzialmente influenzata dallo spessore minimo dell'elemento strutturale, essendo strettamente legata alle condizioni ambientali che si realizzano nell'intorno della struttura. Possiamo, quindi, concludere che – **per un dato calcestruzzo – il gradiente termico che si stabilisce tra "cuore" e superficie è fondamentalmente dipendente dallo spessore dei getti.** Maggiore è lo spessore, più elevato risulterà il gradiente termico, maggiore sarà il rischio di fessurazione delle strutture. Queste



fessure sono determinate dal diverso comportamento dilatazionale degli strati di calcestruzzo che compongono un determinato elemento strutturale. Il “cuore” dell’elemento strutturale, infatti, raggiunta la massima temperatura inizierà a raffreddarsi (questo accade quando la velocità di sviluppo del calore è più bassa di quella con cui lo stesso viene dissipato). Al raffreddamento conseguirebbe una inevitabile contrazione dimensionale del materiale che, tuttavia, risulta impedita dagli strati più esterni che sono in equilibrio con l’ambiente esterno. **L’impedimento alla contrazione dimensionale del cuore del getto, durante la fase di raffreddamento, produce su queste porzioni di struttura la nascita di stati tensionali di trazione che, superando la resistenza a trazione del conglomerato cementizio, fessurano il calcestruzzo.** Gli stati tensionali di trazione responsabili del quadro fessurativo sono proporzionali al gradiente termico generato e, quindi, sono direttamente riconducibili alla temperatura raggiunta nel cuore. Pertanto, la limitazione del rischio fessurativo in una struttura massiva non può prescindere dall’impiego di un conglomerato cementizio che sia confezionato in modo da ridurre al minimo lo sviluppo di calore responsabile dell’incremento di temperatura nel cuore del getto. **Una regola pratica è quella di utilizzare calcestruzzi caratterizzati da un incremento di temperatura in condizioni adiabatiche valutate dopo 3 o 7 giorni (a seconda se lo spessore è minore/uguale o maggiore di 2 m) dal getto, non superiore a 35°C;**

- e) **l’incremento di temperatura in condizioni adiabatiche è funzione del tipo/classe e del dosaggio di cemento.** In particolare, l’incremento di temperatura aumenta con il



dosaggio di cemento e impiegando cementi ricchi in clinker e a rapido indurimento (che contengono un maggior quantitativo di silicato tricalcico - il costituente mineralogico che maggiormente contribuisce al riscaldamento dei getti - ma anche una finezza di macinazione più spinta). Pertanto, sulla base di quanto sopra affermato si può concludere che sono particolarmente indicati per la realizzazione dei getti massivi quei calcestruzzi confezionati con:



1. e.1. **cementi a basso sviluppo di calore di tipo LH (Low Heat)** conformi alla norma EN 197-1. Questi cementi sono caratterizzati da una ridotta percentuale di clinker e, pertanto, rispondono ai requisiti dei cementi LH, ad esempio, i cementi d'altoforno di tipo III/B e III/C, i cementi compositi di tipo V, i cementi pozzolanici di tipo IV/B. Inoltre, presentano caratteristiche LH i cementi di classe di resistenza 32.5N e quelli di classe 32.5R. In ogni caso, indipendentemente dalla composizione (dal tipo) e dalla classe di cemento sarà necessario richiedere – al fine di calcolare il massimo gradiente in condizioni adiabatiche di un getto in modo da calcolare se risulti o meno inferiore al valore di soglia (35°C) – al produttore del cemento il calore di idratazione unitario sviluppato da un kg di cemento a 3 e a 7 giorni (q_3 e q_7 , rispettivamente) da utilizzare a seconda che il calcolo riguardi un getto massivo di spessore minore/uguale o maggiore di 2 m, rispettivamente.

- e.2 **adottare tutti quei provvedimenti finalizzati a ridurre il dosaggio di cemento nel confezionamento del calcestruzzo** e che in sintesi possono così essere riassunti:

e.2.1. – adottare **per l'aggregato la massima pezzatura** possibile compatibilmente con l'interferro e il copriferro dell'elemento strutturale;



e.2.2. – adottare **per gli aggregati distribuzioni granulometriche sottosabbiate** finalizzate a diminuire la richiesta d'acqua e, conseguentemente, a pari rapporto a/c, a ridurre dosaggio di cemento;

e.2.2 – impiegare **additivi riduttori di acqua ad alta efficacia** conformi ai prospetti 3.1/3.2 o 11.1/11.2 della EN 934-2 al fine di adottare il minor dosaggio di acqua di impasto e, conseguentemente, a pari rapporto a/c, il minor dosaggio di cemento;

e.2.3 – impiegare additivi **“nucleatori di C-S-H”** che consentono a pari prestazione meccanica di ridurre il dosaggio di cemento;

e.2.4 – solo se i provvedimenti sopra menzionati non fossero sufficienti a limitare l'incremento di temperatura al di sotto di 35°C, **si potrà valutare la possibilità di ridurre la lavorabilità del calcestruzzo al getto** compatibilmente con le difficoltà di posa in opera del conglomerato cementizio.



Noto il calore di idratazione unitario del cemento (q_3 oppure q_7) prescelto e stabilito il dosaggio di cemento (c), il calcolo del massimo riscaldamento in condizioni adiabatiche (ΔT) potrà così essere effettuato:

$$\Delta T = (q_3 \cdot c) / (m \cdot \rho) \text{ per strutture di spessore } \leq 2m$$

$$\Delta T = (q_7 \cdot c) / (m \cdot \rho) \text{ per strutture di spessore } > 2m$$

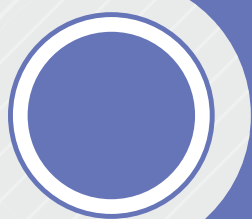
dove m è la massa volumica del calcestruzzo e ρ è il calore specifico del conglomerato (in genere assunto pari a 1.1 kJ/(kg*°C)).

Sarà, quindi, possibile valutare se il riscaldamento in condizioni adiabatiche è inferiore o meno a 35°C.



Qualora questo obiettivo non fosse soddisfatto, si potrà intervenire a cambiare il tipo di cemento, scegliendone uno caratterizzato da un minor calore di idratazione unitario, e/o si potranno adottare tutti quegli accorgimenti finalizzati a ridurre il dosaggio di cemento.

Si segnala, infine, che oltre a limitare – utilizzando gli accorgimenti sopramenzionati – l’incremento di temperatura in condizioni adiabatiche, si può ridurre il gradiente termico nelle strutture massive predisponendo sulla superficie del manufatto dei materassini coibenti (ad esempio, in polistirolo) al fine di evitare la dissipazione del calore dagli strati più esterni del getto che, riscaldandosi si attesteranno su temperature prossime a quelle del cuore. Si tenga presente, tuttavia, come l’adozione di queste protezioni non può rappresentare da sola la soluzione al problema dello sviluppo di fessure nei getti massivi, in quanto i materassini dovranno ad un certo punto essere rimossi. Quando questo accade gli strati più esterni si raffredderanno più in fretta rispetto a quelli interni generando comunque la nascita di un gradiente termico che sarà tanto maggiore quanto più elevata è la temperatura raggiunta nel “cuore”, cioè quanto maggiore è stato l’incremento di temperatura in condizioni adiabatiche. Pertanto, l’adozione dei materassini coibenti potrebbe da sola non essere sufficiente a prevenire la comparsa dei quadri fessurativi se questo provvedimento non è accompagnato dalla scelta di un calcestruzzo specifico per questo tipo di strutture che sia contraddistinto da un incremento di temperatura inferiore a 35°C. Infine, si segnala che questo obiettivo (quello di limitare l’incremento di temperatura a 35°C) è fondamentale per quelle strutture massive che sono vincolate ad un elemento strutturale precedentemente realizzato e che si trova già in equilibrio con la temperatura ambientale.



E' il caso, ad esempio, di un muro massivo vincolato alla fondazione o di un impalcato monolitico vincolato ai setti verticali. In queste strutture, infatti, limitare l'incremento di temperatura è fondamentale per ridurre il gradiente termico non solo tra "cuore" e superficie, ma anche tra i due elementi costruttivi. Si intuisce come in questa situazione l'impiego dei soli materassini coibenti non può rappresentare la soluzione al problema del gradiente termico tra le due diverse strutture.



COLABETON

DIREZIONE GENERALE
via della Vittorina, 60
06024 Gubbio (PG) - Italy
T +39 075 92401

www.colabeton.it
stc@colabeton.it
commerciale@colabeton.it
Numero Verde: 800 102102





via della Vittorina, 60
06024 Gubbio (PG) - Italy
T +39 075 92401
F +39 075 9273965

www.colabeton.it
info@colabeton.it

