

Il calcestruzzo in curva

MAURIZIO AGOSTINO*

Finalmente è successo. Sulla Gazzetta Ufficiale n. 147 del giorno 27/6/2009 in particolare sul Supplemento Ordinario n.99 è stata pubblicata la legge di conversione del 24 giugno 2009, n.77 sugli interventi urgenti a favore della popolazione d'Abruzzo, che contiene la disposizione che sancisce al 1° luglio 2009 l'inizio della validità esclusiva del DM 14/0/2008.

Cosa significa tutto ciò? Che dal 1° luglio 2009 tutte le forniture di calcestruzzo dovranno obbligatoriamente provenire solo da produttori di calcestruzzo in possesso del certificato FPC (Factory Production Control). In qualunque parte d'Italia, per qualunque tipo di costruzione e calcestruzzo impiegato. Questo comporta un'ulteriore riflessione: da oggi in poi per aprire una centrale di produzione di calcestruzzo, in Italia, sarà obbligatorio conseguire la certificazione FPC.

Chiunque produca calcestruzzo seriamente da oggi in poi, forse per qualche tempo, avrà una nuova leva di marketing, informare il Direttore Lavori o l'impresa di costruzione dell'obbligo a visionare il certificato della centrale fornitrice per il cantiere in grado di fornire ad un prezzo così basso.

Ma qual è il senso della certificazione FPC? In una sola parola: la tracciabilità della produzione. Riuscire a controllare e verificare, per qualunque giorno d'attività, il processo produttivo del calcestruzzo consegnato. È intuibile, quindi, la necessità a disporre di attrezzature al passo

con i tempi che possano registrare l'umidità delle sabbie per un corretto dosaggio dell'acqua, le singole pesate dei componenti, la percentuale d'additivo dosato oltre che lo scostamento percentuale dalla ricetta che si potrà definire "ideale" presa a riferimento. Ebbene, per esperienza, ho già avuto modo di sconfortarmi vedendo certificare produttori con centrali che operano come nel 1970. Compilazione del documento di trasporto a mano, dosaggio degli aggregati eseguito con tutte le dita disponibili come un pianista e, cosa fenomenale, registrando le singole pesate a mano su di un modulo cartaceo per soddisfare l'FPC. Ma chi vogliamo prendere in giro? Il mio personale convincimento è che la sala carico debba essere equipaggiata con almeno un certo numero di strumenti: bollettazione automatica, dosaggio dei componenti attuato da un plc, sonde d'umidità delle sabbie, data base di registrazione dei carichi in automatico su computer. Al di sotto di questi requisiti minimi, che si dovrà dimostrare essere quotidianamente impiegati, qualunque ente certificatore dovrebbe cestinare la domanda d'ispezione.

A mio avviso i passi in avanti si fanno alzando l'ostacolo e non abbassandolo affinché anche chi non ha voglia di saltare possano scavalcarlo.

Già da qualche anno, ma con più frequenza da qualche mese, durante i miei colloqui con progettisti ed imprese di costruzione c'è un tema che risulta molto

Facciamo un pò di chiarezza su un concetto di grande attualità per il settore, e che spesso viene mal interpretato dagli addetti ai lavori

* TECNOLOGO DEL CALCESTRUZZO
MAURIZIO@KORASRL.COM

in voga in merito al calcestruzzo. In particolare i geometri di cantiere, solitamente a digiuno praticamente di tutta la tecnologia del calcestruzzo per non parlare delle normative, sembra abbiano trovato un nuovo argomento di dialogo: quello del calcestruzzo perfettamente in curva.

La cosa che maggiormente mi fa riflettere è che l'argomento viene trattato facendo trasparire una grande sicurezza, come nemmeno Adam Neville farebbe, illusi di essere pienamente padroni della materia, in virtù di cosa poi non si sa. La situazione trova una grande analogia con quella che fino a qualche anno fa aleggiava nel mondo cinofilo. Infatti chiunque si ritenesse, per proprio esclusivo giudizio, un grande conoscitore delle razze canine ogni volta si giungesse a parlare dei Dobermann, con la stessa leggerezza dei geometri, buttava nel bel mezzo del discorso il fatto che per tali soggetti fosse necessario prevedere la loro soppressione poiché affetti da una malattia che vedeva crescere il cervello più delle ossa

Figura 2 – Esempio di curva granulometrica di un solo aggregato

costituenti la scatola cranica. Formidabile castroneria! Allo stesso modo oggi si straparla delle curve del calcestruzzo, con una sottile ed implicita accusa verso il produttore di calcestruzzo reo di non impegnarsi a fondo nella risoluzione. L'idea, del tutto errata che passa, è che una buona parte del margine operativo di una centrale si basi sulla trascuratezza di questo aspetto tecnologico.

Tornando ad argomentazioni più serie credo che tale argomentazione sia da attribuirsi all'azione commerciale di alcune aziende che promettono di allungare la durabilità del calcestruzzo, per esempio da infiltrazioni, attraverso una "chiusura" più opportuna della curva granulometrica.

Quello che segue non ha certamente la speranza di rappresentare un trattato universitario sull'argomento, sia perché un gran numero di professori ha già creato lunghe bibliografie in merito sia perché lo scopo è quello di risultare fruibile a quella parte di operatori del settore che non vanta trascorsi universitari e, forse, senza alcune basi scientifiche.

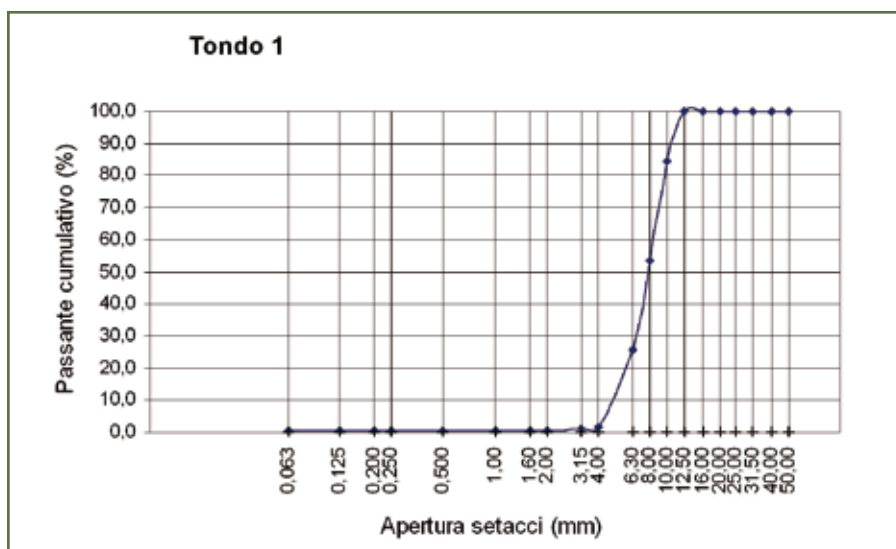


Figura 1 – Setacci posizionati su macchina vibrante

Si comincerà cercando di capire che cosa è quella "curva" del calcestruzzo di cui molti parlano e cercano di chiedere come fosse una porta.

Come ben sappiamo un calcestruzzo è composto da una serie di materiali detti aggregati o inerti che possono essere di provenienza sia naturale che artificiale. Attraverso il passaggio di tali materiali in una serie ben definita di setacci è possibile ottenere un'analisi granulometrica dalla quale nascerà un diagramma sperimentale detto curva granulometrica.

I setacci (o stacci) sono normalmente disposti posizionando quelli a maglia più larga in alto decrescendo fino a quelli



con maglie più strette in basso. Il numero dei setacci e la misura delle maglie tecnicamente detta "apertura del setaccio", è fornita dalla normativa UNI 12620.

Osservando un grafico tutti coloro a digiuno di queste analisi noteranno che, in linea di massima sull'asse orizzontale, gl'intervalli vanno accorciandosi mano a mano che ci si sposta verso destra, dando la sensazione di risultare un po' confusi alla lettura (Fig.2). Su quell'asse del grafico si posiziona l'apertura dei setacci (che ora sappiamo cos'è) disponendo gl'intervalli secondo la cosiddetta scala logaritmica. Il perché non lo spiega mai nessuno: in questo modo si riduce la lunghezza orizzontale del diagramma che diversamente sarebbe così lungo da uscire dal foglio.

Sull'asse verticale, invece, si annota il passante cioè quella parte di materiale che una volta posizionato nel setaccio passa, percentualmente rispetto al quantitativo totale, attraverso il setaccio a quello sottostante. Forse è meglio chiarire quest'ultimo concetto.

Setacciando un aggregato si potranno quantificare due aspetti: la parte di materiale con diametro maggiore delle maglie che vi si ferma sopra detto "trattenuto"

e la parte più fine che transiterà al setaccio sottostante detto "passante".

Una volta eseguita l'analisi granulometrica di tutti gli aggregati impiegati per confezionare il proprio calcestruzzo, si uniranno graficamente in un'unica curva detta "curva risultante" (Fig.3).

Ottenuto il prodotto dell'analisi sarà necessario scegliere una curva di riferimento con la quale confrontare quella ottenuta. Già in questa fase molti commettono il primo errore, ignorando che la curva di confronto è, in realtà, l'approssimazione grafica del "fuso di riferimento" (Fig.3). Per restare coerente con l'affermazione iniziale non mi dilungherò a spiegare come definire l'area del fuso, vi basti sapere che da essa si estrapola poi quella che si chiama curva di confronto. Molti si attendono che la curva risultante dei nostri aggregati ricalchi perfettamente quella media del fuso di riferimento. È bene usare un poco di lucidità tenendo presente che la nostra curva basterà che sia contenuta, il più possibile, entro quell'area del fuso sintetizzata in una curva. La curva granulometrica risultante degli aggregati sarà tanto migliore quanto più contenuta all'interno del fuso di riferimento.

I fusi solitamente assunti come campione sono due, quello di Fuller-Thompson e quello di Bolomey, ma in realtà ne esistono molti altri, per citarne solo alcuni Faury e Dreux. La differenza sta sia nell'equazione che

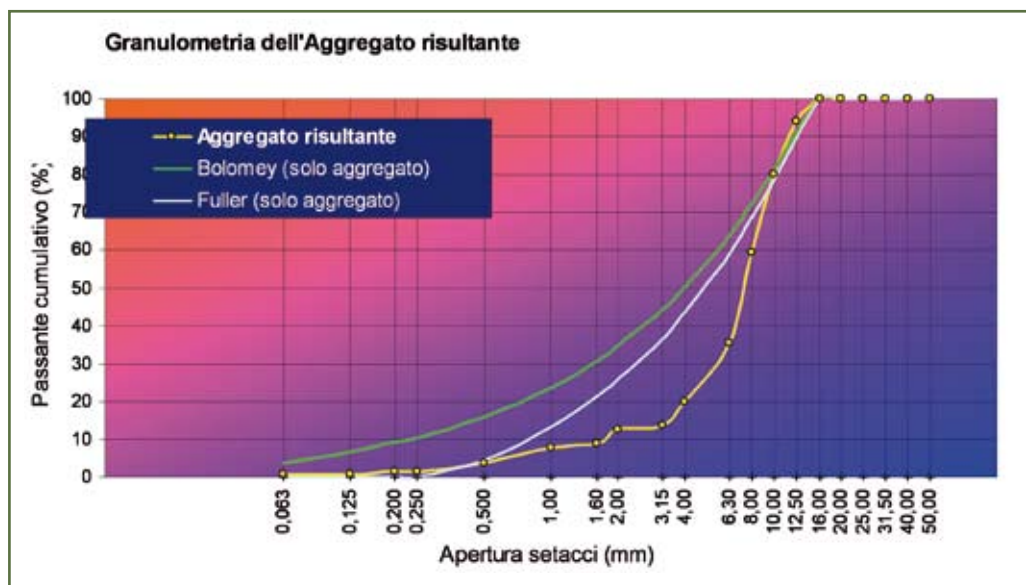


Figura 3 – Esempio di curva granulometrica risultante, curva di Bolomey e di Fuller

Il termine P rappresenta, anche in questo caso il passante in percentuale, la costante di Bolomey è indicata con "A" ed è compresa fra un valore di 8 e 14 secondo i dati riportati nella tabella 1.

Cercheremo ora di capire meglio cosa vuol dire avere un aggregato in curva mediante l'osservazione che rispetto a quanto detto finora, piena-

mente consapevole del rischio di vedere gettare alle ortiche la mia laurea, dagli stessi professori che me l'hanno consegnata.

Prendendo come esempio una sabbia impiegata in produzione questa risulterà composta da un assortimento di differenti diametri di granuli. Se l'insieme dei diametri fosse equamente distribuito si avrebbe che, una volta posizionato sulla pila dei setacci un certo quantitativo di sabbia, questa si distribuirebbe abbastanza uniformemente su ogni setaccio.

L'analisi granulometrica sarebbe quindi una curva molto dolce, costante lungo il grafico, a dimostrazione del suo buon assortimento. Nella realtà invece la stessa sabbia mancherà di alcuni diametri risultando male assortita. In gergo si dice che presenta molti "salti". Tali salti saranno visibili sia nella curva granulometrica del singolo materiale sia in quella risultante di tutti gli aggregati, a meno che un altro inerte non presenti granuli con diametro in grado di

li genera sia nel criterio generale alla base della loro creazione.

Per la curva di Fuller l'aggregato che la segue sarà caratterizzato dalla massima compattezza possibile allo scopo di impiegare il minimo volume di pasta possibile, limitando così i costi di produzione. La Fuller è particolarmente amata dagli ingegneri sia perché in grado di fornire elevate resistenze meccaniche per l'ottimo costipamento sia perché quella più insegnata nei corsi universitari.

Equazione di Fuller $P = 100 \sqrt{\frac{d}{D}}$

Il termine P indica la percentuale di passante al setaccio con apertura "d" mentre il diametro dell'aggregato più grosso è indicata con "D".

Questa curva compattando molto il materiale se da un lato è incline a migliori esiti resistenziali, dall'altra origina un calcestruzzo davvero poco adatto allo scorrimento e quindi ad essere lavorato.

Infatti dobbiamo immaginare il calcestruzzo come un insieme di strati costituiti da sfere, che rappresentano il nostro aggregato, la distribuzione granulometrica è in grado d'influencare lo scorrimento finale del materiale. Senza entrare troppo nel dettaglio, si assuma che gli strati di sfere rappresentano degli strati di scorrimento, alcuni costituiti dall'aggregato più grosso ed altri da quello più fine. In linea di massima è proprio quest'ul-

timo che influenza maggiormente la lavorabilità del calcestruzzo comportandosi come un vero e proprio lubrificante. Ecco perché Bolomey propose il proprio fuso come alternativo caratterizzandolo con una quantità maggiore di materiale fine, o lubrificante, ed inserendo anche una costante in grado di valutare anche la forma dell'aggregato in funzione della consistenza del calcestruzzo che si vorrà confezionare.

Per concludere, proporzionando secondo il fuso di Bolomey si darà origine ad un calcestruzzo con più vuoti, rispetto a quello con il fuso di Fuller, ma essi risulteranno riempiti da una maggior quantità di pasta di cemento, la quale lubrificando i piani di scorrimento ne faciliterà la lavorabilità (Figura 4).

Per queste motivazioni da alcuni anni, i produttori, preferiscono usare la curva di Bolomey.

Equazione di Bolomey

$$P = A + (100 - A) \sqrt{\frac{d}{D}}$$

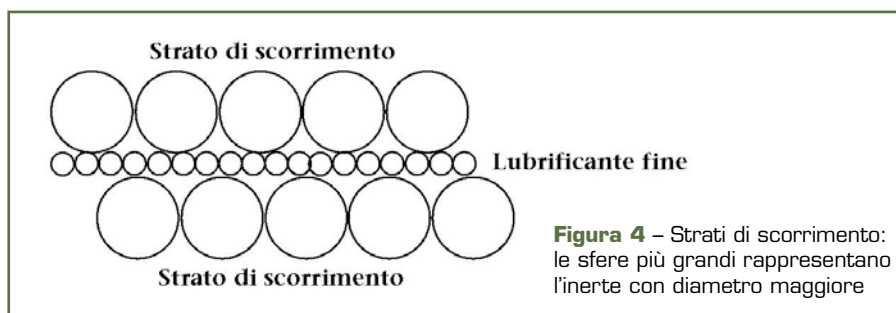


Figura 4 – Strati di scorrimento: le sfere più grandi rappresentano l'inerte con diametro maggiore

Natura inerte	Consistenza terra umida	Consistenza plastica	Consistenza fluida
alluvionale tondi	8	10	12
frantumato angolare	10	12	14

Tabella 1- Coefficiente A di Bolomey

colmare la lacuna della sabbia.

Nella fig. 5 è riportata la setacciatura di due sabbie impiegate per la produzione di un calcestruzzo: una sabbia naturale di Po' ed una sabbia artificiale detta "franta". Osservando l'intervallo 0.200, evidenziato in rosso, si potrà notare che il trattenuto (parziale) per entrambe le sabbie è uguale a zero e nell'ingrandimento del dettaglio grafico, sempre in fig.5, la curva presenta un appiattimento.

Ora si hanno a disposizione, mi scusino gli esperti, tutte le conoscenze per capire in maniera approssimativa cosa manca in una curva granulometrica.

Tornando all'inizio di questa digressione il punto cruciale era quello di cercare di capire cosa volesse dire chiudere una curva. Bene ora lo sappiamo, ma questa è la teoria.

La mia esperienza personale, e quella di coloro che ogni giorno lavorano fra impasti e setacciature, insegna che un buon calcestruzzo non deve avere necessariamente una curva perfetta, anzi spesso avviene il contrario. Durante gli incontri tecnici mi trovo spesso a dover dimostrare, a chi di cantiere ne vede poco e di calcestruzzo ancor meno, che fra i due aspetti è sempre quello pratico quello a cui soggiacere. Questo significa che prima di scartare un impasto poco convincente sulla

carta, è certamente necessario cercare un aggiustamento, ma l'ultima parola l'avrà sempre la realizzazione pratica.

Senza arrivare ai

casi limite di miscele con talmente tanti salti da risultare discontinue, in pochi sanno che già nel 1960 numerosi furono gli studi, e le pubblicazioni, su tali miscele.

Alcuni studi si devono agli italiani Marco Spagliardi e P.G. Zanco. Nel 1970 Li Shu-t'ien, V. Ramakrishnan e Vijai Rangan hanno proposto un metodo grafico per dosare le miscele discontinue senza però garantire in maniera continuativa l'ottenimento delle prestazioni resistenziali di progetto.

Per una centrale di calcestruzzo il problema della chiusura della curva può risultare problematico. Il nocciolo della questione risulta, infatti, essere quello della reperibilità degli aggregati nei dintorni della zona di produzione, in modo da poter giungere in stabilimento, senza un eccessivo aggravio derivante dal loro trasporto, sul costo finale del calcestruzzo. Questo aspetto è spesso totalmente ignorato dall'interlocutore, progettista o geometra che sia. Scendendo nel dettaglio in cui mi trovo ad operare, nella zona di Parma viene da anni coltivato il mito leggendario del cosiddetto "misto Breccia". Tramandato come un inerte molto ben distribuito sulla propria curva granulometrica ma, purtroppo, estremamente dispendioso causa il lungo trasporto necessario per il suo approvvigionamento.

Tuttavia l'impiego dell'inerte, alluvionale o frantumato, proveniente dai terrazzi fluviali della zona ha permesso, e permette, la produzione di ottimi calcestruzzi molto ben lavorabili e con eccellenti risposte prestazionali.

A condizionare le forniture, più che il tipo d'inerte, risulta essere l'incessante richiesta di sconto da parte delle imprese di costruzione, soprattutto in questo periodo congiunturale economico. Esse quasi sempre, non smetterò mai di asserirlo, non sono capaci di verificare il livello qualitativo del calcestruzzo che impiegano ed utilizzano lo sconto sul prezzo di fornitura, come l'unico elemento di dialogo con il fornitore. Qualunque produttore sarebbe felice di offrire un'alternativa di scelta anche sugli aggregati purchè venisse riconosciuto il giusto valore economico.

Per chiudere il cerchio dei temi trattati in questo articolo, alla luce di quanto scritto, domando se risulti realmente possibile, per una società di consulenza, operare una tantum sulla curva granulometrica di un produttore senza generare un aggravio dei costi finali del prodotto?

Quali garanzie può fornire il produttore sull'esito resistenziale del proprio calcestruzzo, nel momento in cui si vadano a modificare le curve degli aggregati e le resistenze monitorate per anni? Più semplicemente questo porterà ad uno scarico di responsabilità da parte della centrale che dovrà essere raccolto da qualcun altro pena un danno per il cliente.

Per concludere, toccando molti aspetti, spero di essere riuscito a chiarire meglio cosa significhi, nella realtà, mettere mano alla curva di un calcestruzzo e quali competenze si debbano possedere. Chiedo scusa, se alcuni passaggi, saranno risultati troppo superficiali ma, anche stavolta, il mio intento è quello di fornire semplici elementi per capire un po' meglio. La bibliografia è molto vasta ed a disposizione per gli approfondimenti. ■

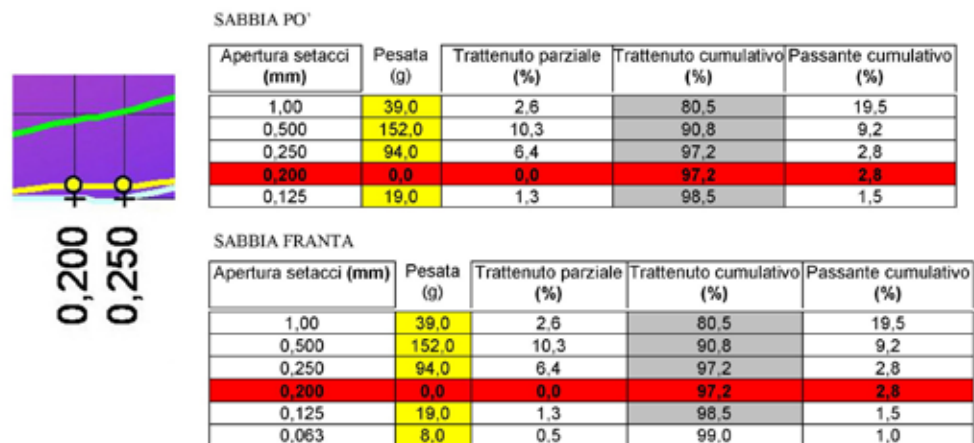


Figura 5 - Dettaglio della setacciatura delle sabbie