

SELF-COMPACTING CONCRETE (SCC): REALIZZAZIONE DEL BASAMENTO PER IL MULINO DELLA CEMENTERIA UNIMED DI BARLETTA

Massimo PARIS, Buzzi Unicem
Salvatore TAVANO, Addiment Italia
Elisa ALBIERO, Addiment Italia

SOMMARIO

Questo articolo evidenzia come le proprietà del Self-Compacting Concrete e un mix-design accuratamente studiato per ridurre il calore di idratazione, possano essere combinati e compatibili per realizzare una struttura fortemente armata e di notevoli dimensioni. Il mix-design è stato messo a punto utilizzando tests per la verifica delle proprietà reologiche, mentre per la stima dei ΔT fra l'interno del getto e l'ambiente esterno si sono utilizzate simulazioni agli elementi finiti. In questo modo si sono messi in opera 500 m³ di calcestruzzo, caratterizzato da un ridotto sviluppo di calore, senza apporto di energia esterna di compattazione. Tra i principali vantaggi ricordiamo: semplificazione delle procedure di cantiere, riduzione dei tempi e della manodopera, maggiore qualità e durabilità della struttura.

SUMMARY

A strongly reinforced structure with considerable dimensions can be obtained with the combination of Self-Compacting Concrete properties, together with a mix-design, carefully studied to reduce the heat of hydration. The mix-design was optimized by rheological properties measurements and by finite elements method to evaluate ΔT between the inside and outside of cast. This enabled to cast 500 m³ of concrete, characterized by a lower heat of hydration, without compacting energy. The main advantages reached in this work are an easier procedure of casting, reduced times and work-force, improved quality and structure durability.

1. IL SELF-COMPACTING CONCRETE

La capacità di compattazione per peso proprio senza l'ausilio di forze esterne, è la peculiarità principale del Self-Compacting Concrete (SCC).

La combinazione fra coesione, viscosità e fluidità, che garantisce al calcestruzzo fresco deformabilità, resistenza alla segregazione e all'essudazione d'acqua, è la condizione indispensabile per confezionare un calcestruzzo capace di diffondersi fra le armature più fitte e di riempire omogeneamente le casseforme, senza apporto di energia di compattazione.

Le prestazioni ottenibili in termini di facciavista, compattezza ed omogeneità della matrice (riduzione delle zone difettose), superfici chiuse e resistenze meccaniche, sono superiori a quelle fornite dai calcestruzzi tradizionali accuratamente confezionati e vibrati.

Il Self-Compacting Concrete è stato impiegato, a partire dal 1988 in Giappone e in Canada. Solo nel 1990, però, in Giappone sono stati realizzati i primi

grandi progetti. L'introduzione in Europa (Svezia) risale al 1996, mentre in Italia la sua diffusione è più recente. [1]

1.1 La composizione

Dal punto di vista reologico il calcestruzzo autocompattante si può considerare costituito da due fasi:

- la pasta, (acqua, cemento e polveri con diametro massimo 0,125 mm) che deve garantire la sospensione degli aggregati durante il getto, in modo che non si depositino sul fondo originando segregazione;
- gli aggregati che costituiscono la fase trasportata. [2]

Nello studio del mix-design, proprio per la presenza di queste due fasi, è necessario adottare alcuni fondamentali accorgimenti:

- un alto contenuto di polveri (indicativamente 550-600 kg per m³) quali cemento e aggiunte minerali

con lento o pressoché nullo sviluppo di calore (cenere volante, silice fumes, filler calcareo) [EN 206-1] per aumentare la viscosità senza aumentare troppo il quantitativo di cemento e quindi lo sviluppo del calore di idratazione, avendo al contempo un migliore comportamento reologico;

- un minore volume di aggregato grosso (280-350 litri per m³), per ridurre il quantitativo di materiale trasportato e per ridurre la possibilità di blocking;
- un minore diametro massimo dell'aggregato grosso (20 mm);
- un quantitativo adeguato di acqua per garantire un corretto rapporto acqua/polveri (in volume i valori ottimali sono compresi fra 0,9-1). [3]

Inoltre è altrettanto indispensabile utilizzare additivi superfluidificanti a base di eteri policarbossilati per garantire la corretta fluidità all'impasto, eventualmente abbinati agli additivi modificatori di viscosità per ottimizzare il grado di viscosità necessario per la resistenza alla segregazione. [4]

La reologia del calcestruzzo SCC è molto più sensibile, rispetto al calcestruzzo tradizionale, ai cambiamenti delle caratteristiche chimico-fisiche dei materiali utilizzati. Variazioni anche minime possono comportare il mancato ottenimento dell'autocompattabilità. Per questo motivo, dati certi materiali, non basta mettere a punto il mix design iniziale ma è necessario verificare continuamente che esso mantenga le sue prestazioni. La produzione del calcestruzzo SCC, quindi, richiede centrali di betonaggio dotate di adeguati sistemi per il controllo del

dosaggio di tutti i costituenti e per la misura dell'umidità degli aggregati.

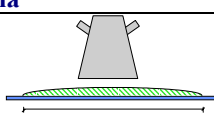
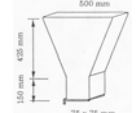
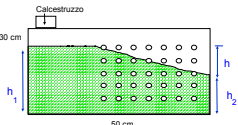
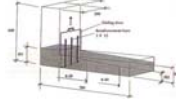
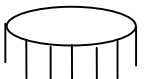
1.2 I metodi di controllo

Il controllo del calcestruzzo autocompattante indurito non si differenzia sostanzialmente da quello per un calcestruzzo tradizionale (resistenza a compressione e trazione, misure di ritiro ecc.). Allo stato fresco invece, per valutare le proprietà reologiche, sono raccomandate una serie di prove specifiche, quali Slump-Flow Test, V-Funnel Test, Kajima Test, L-Box Test, U-Box Test, J- ring, prove di resistenza alla sedimentazione e alla segregazione. [5]

Per qualificare un calcestruzzo SCC non è necessario sottoporlo a tutti i metodi di prova disponibili; sia in laboratorio, sia in cantiere, queste possono essere scelte secondo le esigenze progettuali e l'esperienza di impiego.

Ogni metodo di controllo valuta una o più proprietà del calcestruzzo definendo dei criteri di accettazione. (tab. 1) In particolare:

- lo *Slump-Flow Test* (svuotamento al cono di Abrams) valuta lo spandimento finale (S_f) raggiunto dal calcestruzzo e il tempo impiegato per raggiungere i 50 cm di diametro (T_{50}); [6]
- il *V-Funnel Test* valuta la viscosità plastica del calcestruzzo misurando il tempo di efflusso dall'imbuto (T);
- il *Kajima Test* valuta la capacità di riempimento e

METODI DI CONTROLLO			
Metodo di prova	Proprietà reologiche	Schema	Intervalli di accettazione
Slump-Flow	- Fluidità - Limite di scorrimento		$S_f > 600$ mm $T_{50} \leq 12$ sec
V-Funnel	- Viscosità plastica		$4 \text{ sec} < T < 12 \text{ sec}$
Kajima	- Deformabilità - Resistenza alla segregazione - Viscosità plastica		$(h_1 + h_2) / 2h_1 * 100 > 90\%$
L-Box	- Limite di scorrimento - Viscosità plastica		$h_2/h_1 > 0,80$
J-ring	- Viscosità plastica - Segregazione		$\Delta\Phi \leq 50$ mm rispetto allo scorrimento senza anello

Tab. 1 Metodi di controllo e relativi intervalli di accettazione

la deformabilità (capacità di modificare la propria forma sotto l'azione del peso) del calcestruzzo in presenza di barre d'armatura molto fitte, rapportando le altezze raggiunte dal calcestruzzo nel contenitore; [6]

- il *J-ring* valuta la passing ability (in presenza di barre d'armatura molto fitte), rapportando le altezze raggiunte dal calcestruzzo a monte e a valle dell'anello. [7]

2. IL BASAMENTO DEL NUOVO MULINO HOROMILL PRESSO LA CEMENTERIA UNIMED DI BARLETTA

2.1 Il progetto

Presso la cementeria UNIMED di Barletta, è stata realizzata un'interessante struttura con il Self-Compacting Concrete. (fig. 1)

L'installazione del nuovo mulino Horomill per la essico-macinazione della farina cruda, ha comportato la realizzazione di un apposito blocco-fondazione per sopportare oltre i carichi statici anche quelli dinamici (vibrazioni) prodotti dal mulino in marcia.

Il blocco di fondazione, progettato dalla società BCV Progetti di Milano, è all'incirca un parallelepipedo alto 4 m con una base 14 x 10 m ed un volume di circa 500 m³. Il blocco poggia su una serie di molle smorzatori disposti perimetralmente. L'armatura del blocco ha, in molti punti, densità molto elevate con ferri di vari diametri fino ad un massimo di $\Phi 26$.



Fig. 1 Vista del blocco-fondazione e della sovrastante struttura per l'alloggiamento del mulino.

La resistenza prevista per il calcestruzzo del blocco fondazione è di 35 MPa. Il getto, secondo le prescrizioni, doveva essere estremamente omogeneo, compatto, privo di segregazione e cavità e realizzato

senza interruzioni per evitare la formazione di giunti freddi. L'alta densità dei ferri d'armatura e le notevoli dimensioni del blocco avrebbero però reso le condizioni di getto, e soprattutto di vibrazione, molto difficili. La scelta del calcestruzzo SCC ha consentito di ovviare a queste difficoltà e di realizzare l'intera struttura senza soluzione di continuità e senza apporto di energia di compattazione. (fig. 2)



Fig. 2 Particolare della superficie del blocco-fondazione e della sua armatura, immediatamente prima del getto.

2.2 Il problema del calore di idratazione

Per il getto del basamento si è studiato un primo mix-design nel rispetto delle indicazioni per le miscele di calcestruzzo autocompattante; ovvero con un alto contenuto in polveri (cemento, cenere e passante della sabbia a 0,125 mm).

In seguito ad un'accurata analisi delle caratteristiche dei componenti quali cenere volante e aggregati del luogo, nei laboratori di ricerca Addiment si è messo a punto il mix-design di riferimento con 330 kg di cemento e 175 kg di cenere volante al metro cubo. (tab. 2) Il passante a 0,125 mm della sabbia pari a circa 14%, garantiva il raggiungimento della quantità ottimale di polveri.

Per l'ottimizzazione della miscela in laboratorio e per la sua verifica nella centrale di betonaggio Unical preposta alla fornitura del calcestruzzo per il getto, si sono utilizzati alcuni metodi di prova ritenuti maggiormente restrittivi e utili per la classificazione, quali: Slump-Flow Test, V-Funnel Test e Kajima Test.

Per testare maggiormente l'idoneità di questo mix-design si è realizzata in cantiere una cassera di prova alta 3 m, larga 6,5 m, con uno spessore di 20 cm, armata con barre in quantità e diametro molto simili a quelle del basamento.

	Kg/m ³
Cemento II-A/L 32,5 R Buzzi Unicem	330
Fly-Ash	175
Sabbia (0/8)	906
Pietrischetto (8/16)	726
Acqua	175
Addiment Compactcrete 39/P (% sul cemento + cenere)	1,4%

Tab. 2 Mix-design di riferimento

Considerata la configurazione e le dimensioni notevoli del basamento, particolare attenzione è stata posta allo sviluppo del calore di idratazione ed ai possibili rischi di fessurazione termica. [8]

Simulazioni effettuate in collaborazione con il Prof. Alunno Rossetti dell'Università di Roma 'La Sapienza' hanno infatti evidenziato la possibilità di raggiungere ΔT differenziali tra l'interno e l'esterno del basamento, di entità tale da comportare un serio rischio di fessurazioni.

In base a queste indicazioni, scartata la possibilità di asportare il calore sviluppato per mezzo di un sistema di raffreddamento a causa della densità dell'armatura, si è deciso di riprogettare il mix design in modo tale da minimizzare lo sviluppo del calore di idratazione pur rispettando i valori di resistenza meccanica desiderati.

Prove di laboratorio condotte presso il Centro Ricerche Buzzi Unicem di Guidonia, hanno consentito di individuare un rapporto cenere/cemento tale da consentire un abbattimento significativo del calore di idratazione senza penalizzare troppo le resistenze. (fig. 3)

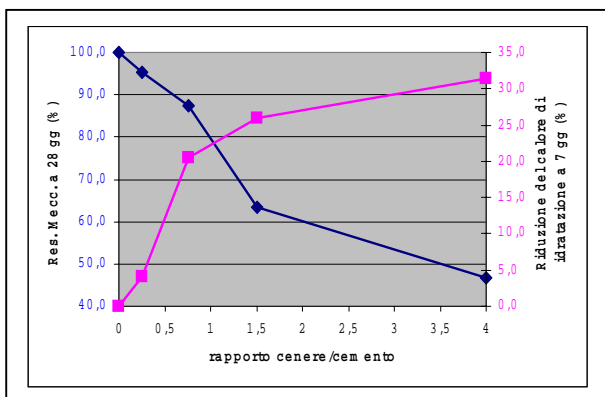


Fig. 3 Influenza del rapporto cenere/cemento sulle resistenze meccaniche e sulla riduzione del calore di idratazione.

Il rapporto cenere/cemento ottimale trovato è stato 0,75. A questo punto il contenuto di cemento è stato fissato in 265 Kg/m³ e le ceneri volanti portate a 200 Kg/m³.

La ricetta conclusiva (riportata nella tab. 3) ha consentito di soddisfare i parametri reologici sfruttando il fatto che il passante a 0,125 mm della sabbia era molto alto (circa 14%), pertanto il totale delle polveri raggiungeva circa 600 kg al metro cubo.

	Kg/m ³
Cemento II-A/L 32,5 R Buzzi Unicem	265
Fly-Ash	200
Sabbia calcarea (0/8)	970
Pietrischetto calcareo (8/16)	700
Acqua	190
Addiment Compactcrete 39/P (% sul cemento + cenere)	1,8%

Tab. 3 Mix-design impiegato per il getto

Con queste proporzioni si è ottenuto un mix design con le proprietà di un calcestruzzo SCC e le simulazioni dimostravano una notevole riduzione del rischio di fessurazioni. Nonostante ciò, e per minimizzare ulteriormente tali rischi, è stata inserita, d'accordo con il progettista, una doppia serie di ferri corticali $\Phi 16$ passo 20 cm fino ad una profondità di 25 cm dalla superficie dei casseri.

Prima di eseguire il getto, si è deciso anche di misurare l'andamento della temperatura all'interno del blocco di fondazione. Sono state perciò disposte, in corrispondenza della superficie e di una parete laterale, a varie profondità (1, 10, 25, 50, 100 cm), 10 canne in PVC diametro esterno 15 mm, chiuse con tappi filettati di acciaio all'estremità immersa nel getto. Un ulteriore canna è stata inserita in prossimità del 'cuore' del getto a 200 cm dalla superficie. All'interno di ciascuna canna è stata calata una termoresistenza PT100; le termoresistenze sono state collegate ad un acquisitore multicanale HBM UPM 60 ed i dati raccolti registrati su un PC.

Con una termocoppia tipo J, si è registrato anche l'andamento della temperatura ambiente. Gli andamenti misurati sono riportati nelle fig. 4 e 5.

La temperatura massima di 62°C, è stata raggiunta al centro del blocco dopo circa 120 ore dall'inizio del getto. I ΔT massimi sono stati di 43°C rispetto alla superficie del getto e 28°C rispetto alla parete laterale.

Inoltre per evitare uno sbalzo termico eccessivo fra le superfici esterne e il centro della struttura, quindi per evitare lo sviluppo di fessurazioni per comportamento differenziale, i casseri sono stati tolti dopo circa 7 giorni.

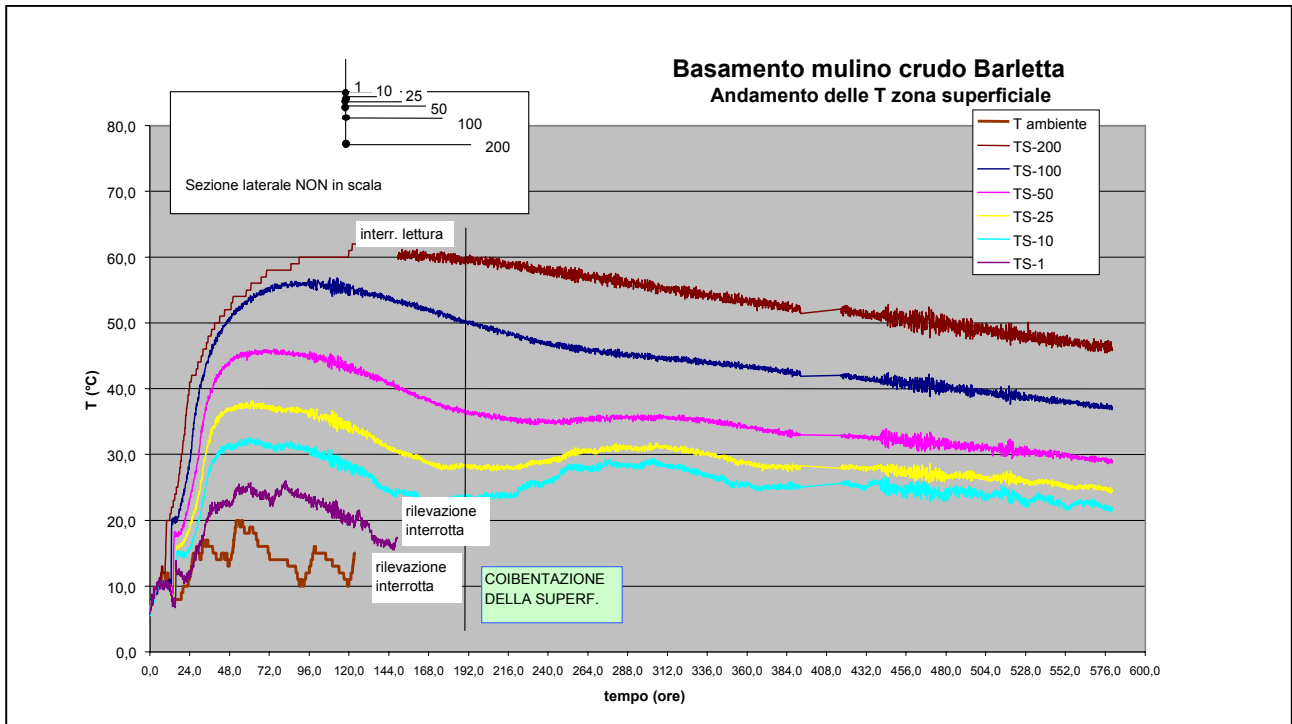


Fig. 4 Andamento delle temperature della zona superficiale.

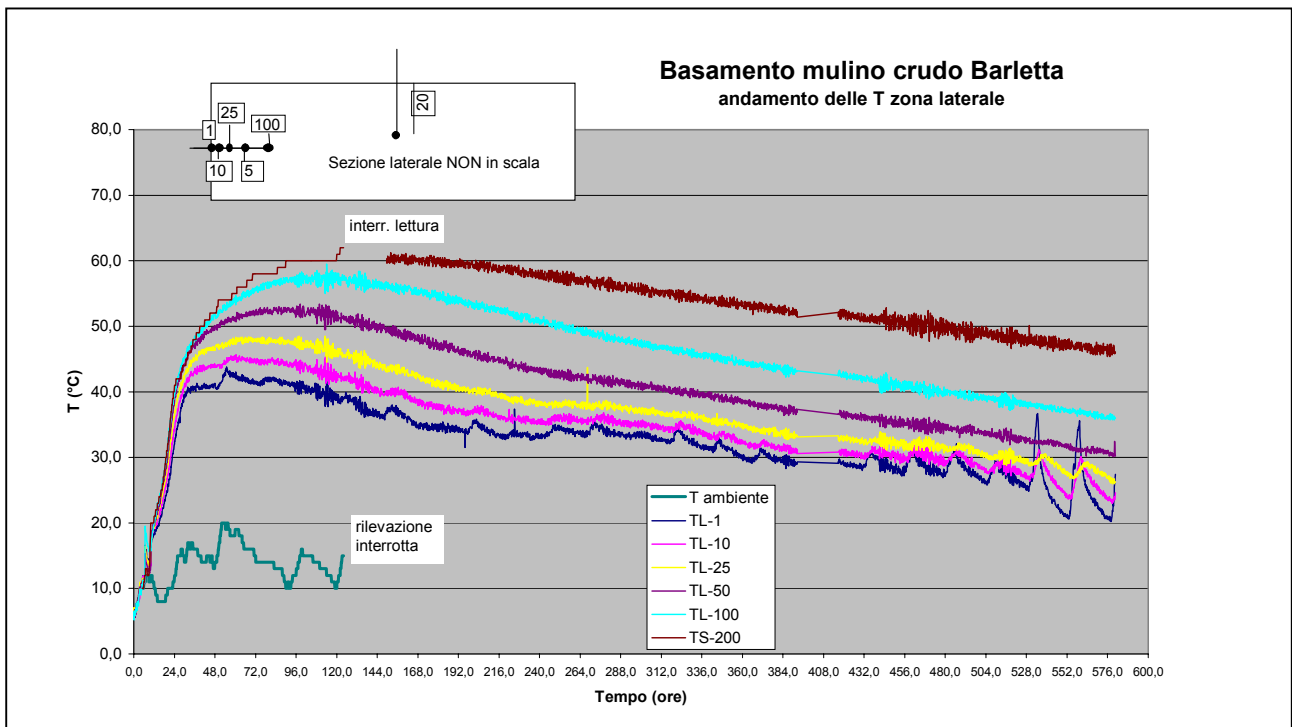


Fig. 5 Andamento delle temperature della zona laterale.

2.3 La messa in opera

Il getto è iniziato alle ore 7:30 del 21 febbraio 2001 ed è terminato alle ore 23:00 dello stesso giorno. Il calcestruzzo SCC è stato messo in opera tramite due pompe alimentate con autobetoniere che trasportavano ciascuna circa 7 m³ di calcestruzzo. I due punti di scarico, in relazione alla capacità di scorrimento propria del calcestruzzo autocompattante, sono stati posizionati ad una distanza relativa di circa 7 m e ad un'altezza dal fondo cassero di circa 4 m.

Per l'esecuzione dell'intero getto sono serviti un operatore per ogni pompa e uno ad ogni punto di scarico del calcestruzzo.

Per il confinamento della struttura sono stati utilizzati casseri in legno da 2,8 cm di spessore, a tenuta e trattati con disarmante applicato a spruzzo. Le pareti verticali delle casseforme, sono state collegate tra loro con dei tiranti per aumentare la resistenza alla spinta (paragonabile a quella idrostatica) che un calcestruzzo SCC esercita in misura maggiore rispetto ad un calcestruzzo tradizionale.

A lavoro ultimato le superfici del getto sono state trattate con un prodotto specifico per la protezione del calcestruzzo dal rapido essiccamento, per evitare la formazione di fessurazioni o polverosità.

Nel complesso si è ottenuto un getto di buona qualità e uniforme come si può constatare dalle fig. 6 e 7.



Fig. 6 Vista del basamento dopo la scasseratura a 7 giorni.



Fig 7 Particolare di un lato del basamento.

3. CONSIDERAZIONI FINALI DALL'ESPERIENZA DI BARLETTA

L'esperienza di Barletta ha confermato pienamente i vantaggi derivanti dall'utilizzo del Self-Compacting Concrete: a fronte di un maggior costo di produzione, i risparmi conseguiti sono significativi in termini di manodopera (50% in meno) e tempi di realizzazione (60 - 70% in meno), senza contare il netto miglioramento delle condizioni di lavoro dovute al mancato utilizzo dei vibrator.

Piena conferma hanno avuto anche le raccomandazioni e le accortezze che il Self-Compacting Concrete richiede, in generale, per la sua corretta confezione e posa in opera:

- impianti di produzione con adeguati sistemi di pesatura e rilevatori;
- autobetoniere molto efficienti; è raccomandabile l'uso di un premescolatore;
- costanza qualitativa del calcestruzzo che deve essere verificata regolarmente;
- curing più accurato rispetto a quello di un calcestruzzo tradizionale, soprattutto per l'elevato contenuto di polveri;
- utilizzo di casseri in grado di resistere alla spinta prodotta dal calcestruzzo ed in grado di assicurare una perfetta tenuta.

Il getto di Barletta, in particolare, ha evidenziato che:

- il mix-design di un calcestruzzo SCC può e deve essere appositamente studiato in funzione delle caratteristiche dei materiali a disposizione e, eventualmente, del tipo di manufatto; non è possibile mettere a punto un'unica ricetta valida incondizionatamente;
- le condizioni di messa in opera, specie nei getti massivi, rivestono un'importanza fondamentale ai

fini dell'ottenimento di una struttura omogenea e durabile. Occorre pertanto verificare e programmare accuratamente la continuità del getto coordinando l'attività produttiva della centrale di betonaggio con quella del cantiere.

Il basamento per il nuovo mulino della cementeria UNIMED di Barletta è un esempio rappresentativo delle eccezionali proprietà del Self-Compacting Concrete. I vantaggi ottenibili attraverso il suo impiego in termini di semplificazione e ottimizzazione delle procedure di cantiere, di risparmi di tempo e manodopera e in termini di omogeneità, qualità e durabilità della struttura, sono notevoli anche in caso di getti massivi in cui l'obiettivo della riduzione del calore di idratazione riveste un ruolo di fondamentale importanza.

BIBLIOGRAFIA

- [1] S. TAVANO, I. PIGNI: "SCC confezionato con filler calcareo. Vantaggi d'impiego", L'Edilizia, n. 1/2001.
- [2] R. FERRARI, R. BAGGIO: "Il calcestruzzo autocompattante", corso di formazione Buzzi Unicem, Aprile 2001.
- [3] AA.VV., "Self-Compacting Concrete", Proceedings of the First International RILEM Symposium", Settembre 1999.
- [4] AA.VV., "I materiali delle costruzioni si rinnovano. Il calcestruzzo per il futuro è...autocompattante", cd-rom distribuito da ASSIAD.
- [5] "Calcestruzzo autocompattante: specifiche, caratteristiche e controlli", progetto di norma UNICEMENTO
- [6] S. TAVANO, E. ALBIERO: "Parametri utili alla valutazione delle proprietà reologiche del calcestruzzo SCC", congresso CTE, Pisa 9-11 novembre 2000.
- [7] "Specification and guidelines for Self-Compacting Concrete", EFNARC.
- [8] V. ALUNNO ROSSETTI, M. ROSSI: "Prevenzione dei fenomeni di fessurazione termica - Viadotto Santerno (Linea Milano - Napoli, tratta Bologna - Firenze)", l'industria italiana del cemento, n. 12/98.
- [9] AA.VV., "Self-Compacting Concrete. State-of-the-Art report of RILEM Technical Committee 174-SCC".