

Problemi di fessurazione in getti massivi: una collaudata soluzione tecnologica, il Pre-Packed Aggregate Concrete (PAC), calcestruzzo predepositato

Antonella FERRARO

1. Premessa

Nella realizzazione di manufatti massivi (come dighe, plinti...) i problemi di fessurazione da fenomeni termici possono essere rilevanti. Per contenere o eliminare il problema può essere richiesto l'impiego di un calcestruzzo a basso calore di idratazione.

Il calcestruzzo denominato Pre-Packed Aggregate Concrete (PAC) o Pre-Placed Aggregate Concrete (calcestruzzo con aggregato predepositato) o anche Two Stages Concrete (calcestruzzo in 2 fasi), consente di ridurre al minimo il calore d'idratazione utilizzando un dosaggio di cemento molto basso; al contempo le operazioni di produzione e di messa in opera sono più veloci rispetto al calcestruzzo convenzionale e ciò ne determina anche un costo più basso.

Questo tipo di calcestruzzo è costituito da aggregato predepositato preliminarmente nella cassaforma e dal successivo getto della malta fine (grout).

Secondo le raccomandazioni ACI (304.1R-92) questa tecnologia è utilizzabile nei getti massivi e anche molto armati ed inoltre nel restauro del cemento armato in considerazione del basso ritiro.

Si ritiene però che attualmente l'unica applicazione praticabile sia nel calcestruzzo di massa non armato o poco armato. Infatti negli altri casi citati trovano migliori applicazioni rispettivamente, i calcestruzzi fluidi e le malte da restauro prive di ritiro.

2. Proprietà del Pre-Packed Aggregate Concrete

La principale differenza del PAC con il calcestruzzo convenzionale è la maggiore percentuale di aggregato grosso. Infatti nel PAC, che è realizzato depositando direttamente l'aggregato nella cassaforma, ogni particella viene a contatto con le altre (si veda figura 1). Le particelle di aggregato non sono avvolte dalla matrice cementizia come avviene invece nel calcestruzzo convenzionale, per questo motivo le proprietà del PAC dipendono soprattutto dall'aggregato: il modulo elastico è più alto e il ritiro da essiccamento è circa la metà dei calcestruzzi normali (a pari contenuto di aggregato).

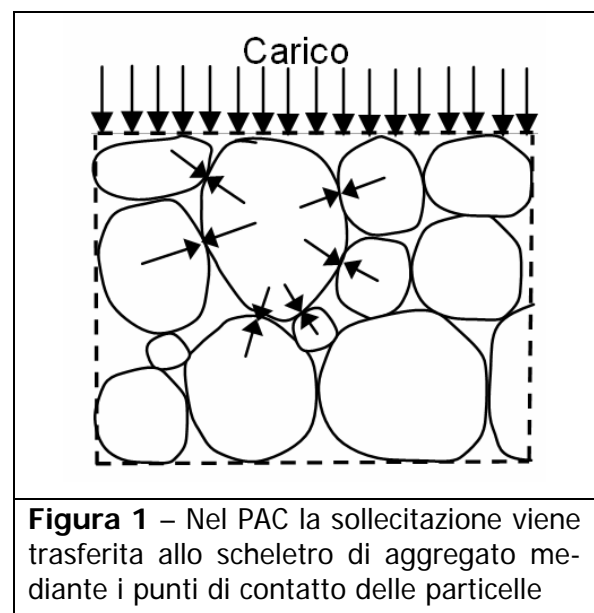
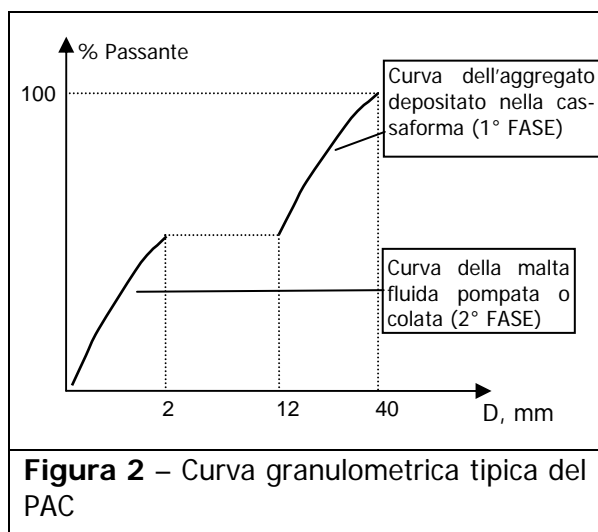


Figura 1 – Nel PAC la sollecitazione viene trasferita allo scheletro di aggregato mediante i punti di contatto delle particelle

Inoltre questo calcestruzzo è caratterizzato da una curva granulometrica discontinua (gap grading) del tipo di quella riportata di seguito: la componente di aggregato grosso viene immessa nella prima fase, quella fine nella seconda fase con il pompaggio o il colaggio della malta.



Con questa tecnologia, si raggiungono resistenze non particolarmente alte a 28 giorni, fino a circa 40 MPa, ma a lungo termine le resistenze possono essere rilevanti specialmente con utilizzo di materiale ad attività pozzolanica (come la cenere volante), fino a circa 62 MPa a 90 giorni e fino a circa 90 MPa ad 1 anno.

3. Progettazione del Pre-packed Aggregate Concrete

Si riportano le fasi di progettazione di un calcestruzzo predepositato utilizzato per la realizzazione di plinti di fondazione di grandi dimensioni, studio eseguito dalla Clinica del Calcestruzzo (vedi foto seguenti).

Poiché l'aggregato grosso è disposto preliminarmente alla rinfusa nella cassaforma, quando si parla di mix design del PAC si intende principalmente mix design della malta.

3.1 Aggregato grosso

L'aggregato grosso, predepositato oltre a rispettare, così come per il calcestruzzo convenzionale, i requisiti delle norme, deve rispettare i limiti di granulometria riportati di seguito (ACI 304.1R-92), allo scopo di garantire un prestabilito indice dei vuoti (volume dei vuoti/volume del calcestruzzo), 30-40%.

Sieve size	Percent passing		
	Grading 1 For 1/2 in. (12.5 mm) maximum size coarse aggregate	Grading 2 For 3/4 in. (19.0 mm) maximum size coarse aggregate	Grading 3 For 1-1/2 in. (37.5 mm) maximum size coarse aggregate
	Coarse aggregate		
1-1/2 in. (37.5 mm)	95 to 100	—	0.5
1 in. (25.0 mm)	40 to 80	*	—
3/4 in. (19.0 mm)	25 to 40	0 to 10	—
1/2 in. (12.5 mm)	0 to 10	0 to 2	—
3/8 in. (9.5 mm)	0 to 2	0 to 1	—

L'indice dei vuoti dovrà sempre essere verificato; tale dato fornisce il volume di malta necessario per realizzare 1 m³ di calcestruzzo.

Per la misura si dispone per caduta l'aggregato (in condizioni saturo a superficie asciutta) in un contenitore di volume noto (cilindro di 25 cm di diametro) fino all'orlo del contenitore; il volume d'acqua che poi riempie i vuoti rappresenta il volume dei vuoti di quell'aggregato.

3.2 Mix design della malta fine (grout)

Nel mix design della malta si devono tener presente determinate caratteristiche:

- la fluidità necessaria per il riempimento dei vuoti dell'aggregato predepositato; questa è la caratteristica più importante,
- sedimentazione ridotta ovvero stabilità, per evitare sacche d'acqua sotto l'aggregato,
- una resistenza meccanica prestabilita che determina poi quella voluta nel calcestruzzo in opera.

I materiali sono quelli usati anche per un convenzionale calcestruzzo:

- Cemento,
- materiale pozzolanico (cenere volante, fly ash),
- sabbia con una curva granulometrica del tipo di quelle riportate di seguito (ACI 304.1R-92),
- additivo superfluidificante.

Per il controllo delle caratteristiche più importanti della malta già elencate si procede in questo modo:

- si fa una misura dello spandimento con cono previsto per malte, per la misura della fluidità (figura 3)

- per la prova di sedimentazione si lascia a riposo il grout (500 ml) appena miscelato in un cilindro graduato da 500 ml. Dopo 1, 2 e 3 h si legge il volume di liquido surnatante.

Le miscele che presentano uno spandimento di circa 200 mm e una sedimentazione al massimo di 2% raggiungono un ottimo risultato di intasamento dei vuoti dell'aggregato e nessun problema di bleeding (si allega la schermata del foglio di calcolo utilizzato nella progettazione di queste miscele).

	Fine aggregate	
	—	100
No. 4 (4.75 mm)	—	100
No. 8 (2.36 mm)	100	90 to 100
No. 16 (1.18 mm)	95 to 100	80 to 90
No. 30 (600 microns)	55 to 80	55 to 70
No. 50 (300 microns)	30 to 55	25 to 50
No. 100 (150 microns)	10 to 30	5 to 30
No. 200 (75 microns)	0 to 10	0 to 10
Fineness modulus	1.30 to 2.10	1.60 to 2.45



Figura 3 – Prova di spandimento con il cono per le malte

Poiché in genere si vuole minimizzare il calore di idratazione si impiegano alti dosaggi di ceneri volanti riducendo al minimo il dosaggio di cemento.

4. Messa in opera

La procedura da seguire nella messa in opera del PAC è:

- montaggio della cassaforma,
- disposizione dell'aggregato nella cassaforma,
- disposizione dei tubi per il pompaggio della malta dal basso,

- pompaggio della malta.

In alcune situazioni invece del pompaggio si può precedere al colaggio del grout con un tubo o secchione.

Si riportano di seguito le foto di fasi di messa a punto un calcestruzzo predeposato utilizzato per la realizzazione di plinti di fondazione non armati (di diametro 24 metri).



Figura 4 – Cilindro di prova dopo rimozione del cassero (altezza 50 cm)



5 - Cilindro diviso in due

Come mostrano le foto, i risultati di fluidità e coesione sono stati eccellenti; ovviamente anche gli altri requisiti (calore e resistenza) risultavano soddisfatti.

Schermata del foglio di calcolo usato nella progettazione di miscele di Prepacked Aggregates Concrete

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
2											
3		MIX - DESIGN				Prepacked concrete					
4		IN VERDE LE SOLE CELLE MODIFICABILI									
		NB: a/fini deve essere minore di a/leganti									
5		s =	1.4			Fluidità, mm =		195			
6		fini = cem+cen+fill	1			Sedimentazione, % =		2.0			
7		a/fini =	0.55			Resistenza: a/(cem + fly) =		0.56			
8		a/leganti (cem + FA)	0.56			Resistenza: a/(cem + k fly) =		0.7			
9		fini/s =	0.714					Peso	Volume		
10		Mixing time	6				Acqua	376		376	
11		Vuoti %	35				Filler	12		4	
12		Cem = % legante	70.0%				Sabbia	956		353	
13		Cenere = % legante	30.0%				Cemento =	470		157	
14		Varia %	1.4				Cenere	201		93.6	
15		Vadd, l	2.7				Legante	671			
16							Fini	683			
17		MV cen	2.15				Totale	2015		1000	
18		MV fill	2.76				Cem equiv	550			
19		MV cem	3				In 1 m³ calcestruzzo				
20		MV Sab	2.71				il cemento	164			
21		Mvol grout	2018				la cenere	70			
22						Intasiamo	2.9	m³ Prepacked con 1 m³ di grout			