

# Calcestruzzi critici per strutture alte requisiti prestazionali per la progettazione e la messa in opera

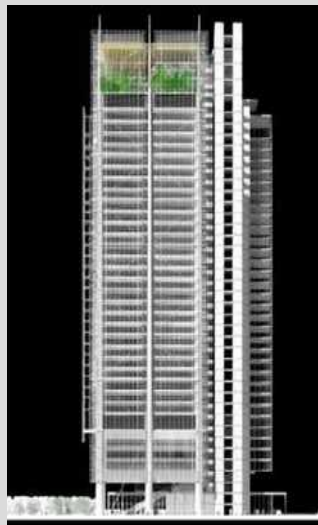
*Marco Francini*



*New Trend in Tall Buildings – Torino 9 aprile 2015*



# 3 torri-record in Italia per altezza della struttura in calcestruzzo



TORRE  
INTESA SAN PAOLO



TORRE  
REGIONE PIEMONTE



TORRE  
ALLIANZ

# Torre Intesa San Paolo

Torino

R. Piano

167 m (218)

anno 2012



# Torre Intesa San Paolo

Torino

R. Piano

167 m (218)

anno 2012



# Torre Intesa San Paolo

Torino

R. Piano

167 m (218)

anno 2012



# Torre Regione Piemonte

Torino

M. Fuksas

185 m (209)

anno 2015



# Torre Regione Piemonte

Torino

M. Fuksas

185 m (209)

anno 2015



# Torre Regione Piemonte

Torino

M. Fuksas

185 m (209)

anno 2015





# Torre Allianz

Milano - CityLife

A.Isozaki - A.Maffei

207 m (247)

anno 2015



# Torre Allianz

Milano - CityLife

A.Isozaki - A.Maffei

207 m (247)

anno 2015



# Torre Allianz

Milano - CityLife

A.Isozaki - A.Maffei

207 m (247)

anno 2015



# Calcestruzzo nei grattacieli: i punti forti

**efficienza statica**

**versatilità**

**prestazioni/costo**

**durabilità**

**flessibilità**

**facile “installazione”**

**sostenibilità**

**resistenza al fuoco**



# Calcestruzzo nei grattacieli: i punti forti

**efficienza statica**

versatilità

**prestazioni/costo**

durabilità

flessibilità

facile “installazione”

sostenibilità

resistenza al fuoco



# Calcestruzzo nei grattacieli: i punti forti

efficienza statica

**versatilità**

prestazioni/costo

durabilità

**flessibilità**

**facile “installazione”**

sostenibilità

resistenza al fuoco



# Calcestruzzo nei grattacieli: i punti forti

efficienza statica

versatilità

prestazioni/costo

**durabilità**

flessibilità

facile “installazione”

sostenibilità

**resistenza al fuoco**



# Calcestruzzo nei grattacieli: i punti forti

efficienza statica

versatilità

prestazioni/costo

durabilità

flessibilità

facile “installazione”

**sostenibilità**

resistenza al fuoco





# Calcestruzzo nei grattacieli: alcune parole-chiave

pompabilità

mantenimento

duttilità

stabilità

**robustezza**

volumetrica

SCC

HPC

spalling

spalling

**reologia**

delta termico

HSC

getti massivi

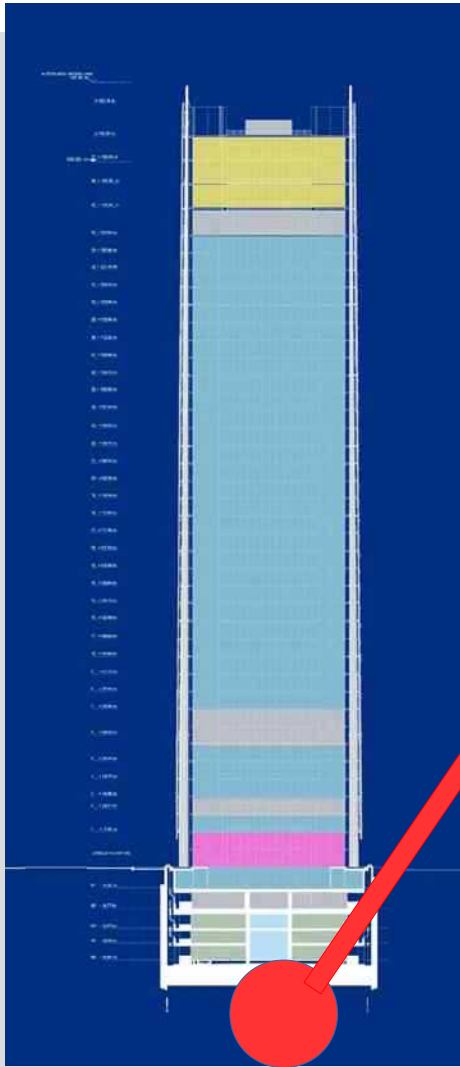
calcestruzzi per grattacieli:  
**alcuni elementi strutturali critici**  
e relativi requisiti per la progettazione



Marco Francini - *New Trend in Tall Buildings* - Politecnico di Torino 9 aprile 2015

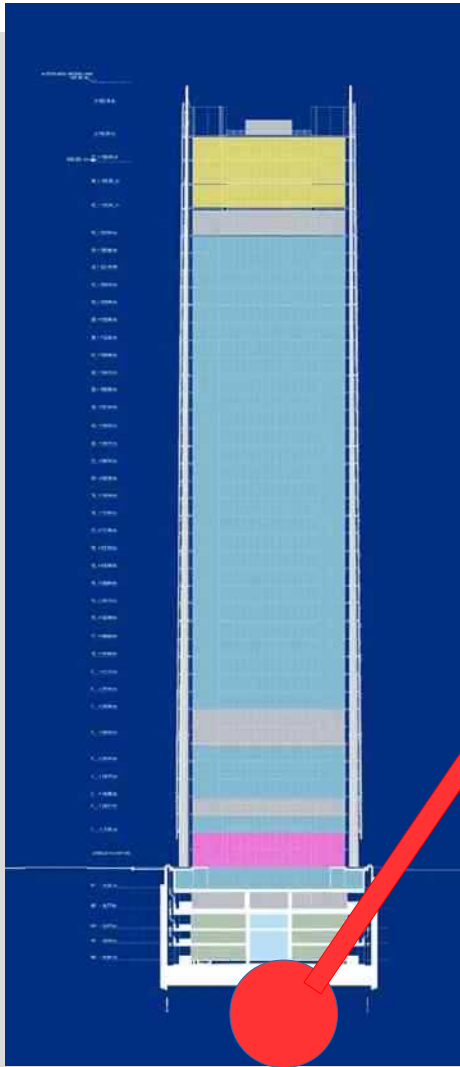


# Criticità 1



**PLATEE DI  
FONDAZIONE  
MONOLITICHE**

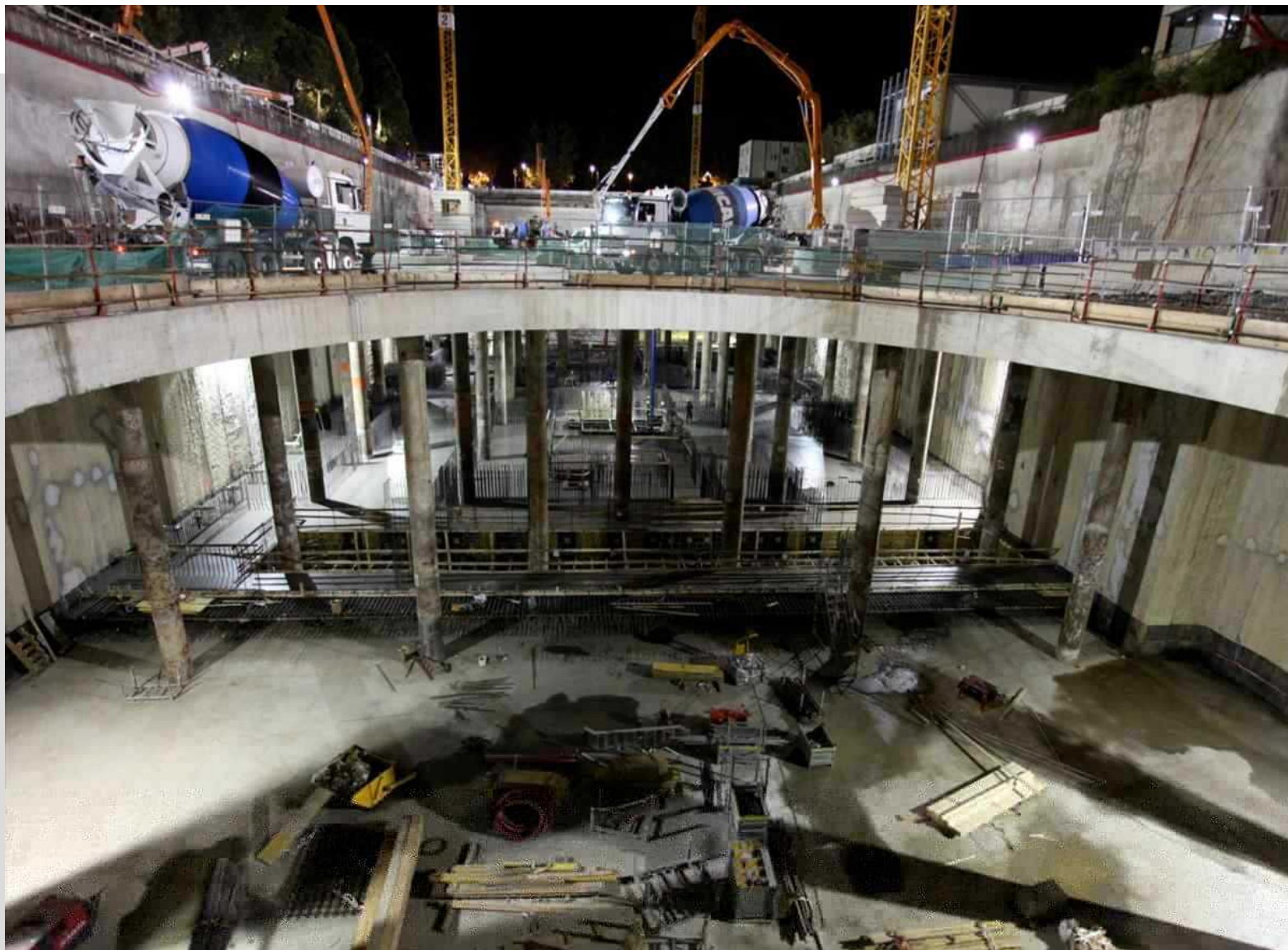
# Criticità 1



## PLATEE DI FONDAZIONE MONOLITICHE

- Torre Intesa San Paolo **12.500 m<sup>3</sup>**
- Torre Regione Piemonte **10.500 m<sup>3</sup>**
- *spessori fino a 5 metri*
- *getto unico e continuo*

## Criticità 1 – platee monolitiche





# REQUISITI PER LA PROGETTAZIONE

C $\frac{32}{40}$

XA2

XC4

0,45

Ø14

C $\frac{25}{30}$

28 g

C $\frac{32}{40}$

60 g

FAST

4 h

SLOW

16 h



sviluppo posticipato  
delle resistenze

C $\frac{32}{40}$

60 g

C $\frac{32}{40}$

XA2

XC4

0,45

Ø14

C $\frac{25}{30}$

28 g

C $\frac{32}{40}$

60 g

FAST

4 h

SLOW

16 h

# modulazione dei tempi di indurimento

**FAST**

4 h

**SLOW**

16 h

**C<sub>32/40</sub>**

**XA2**

**XC4**

**0,45**

**Ø14**

**C<sub>25/30</sub>**

28 g

**C<sub>32/40</sub>**

60 g

**FAST**

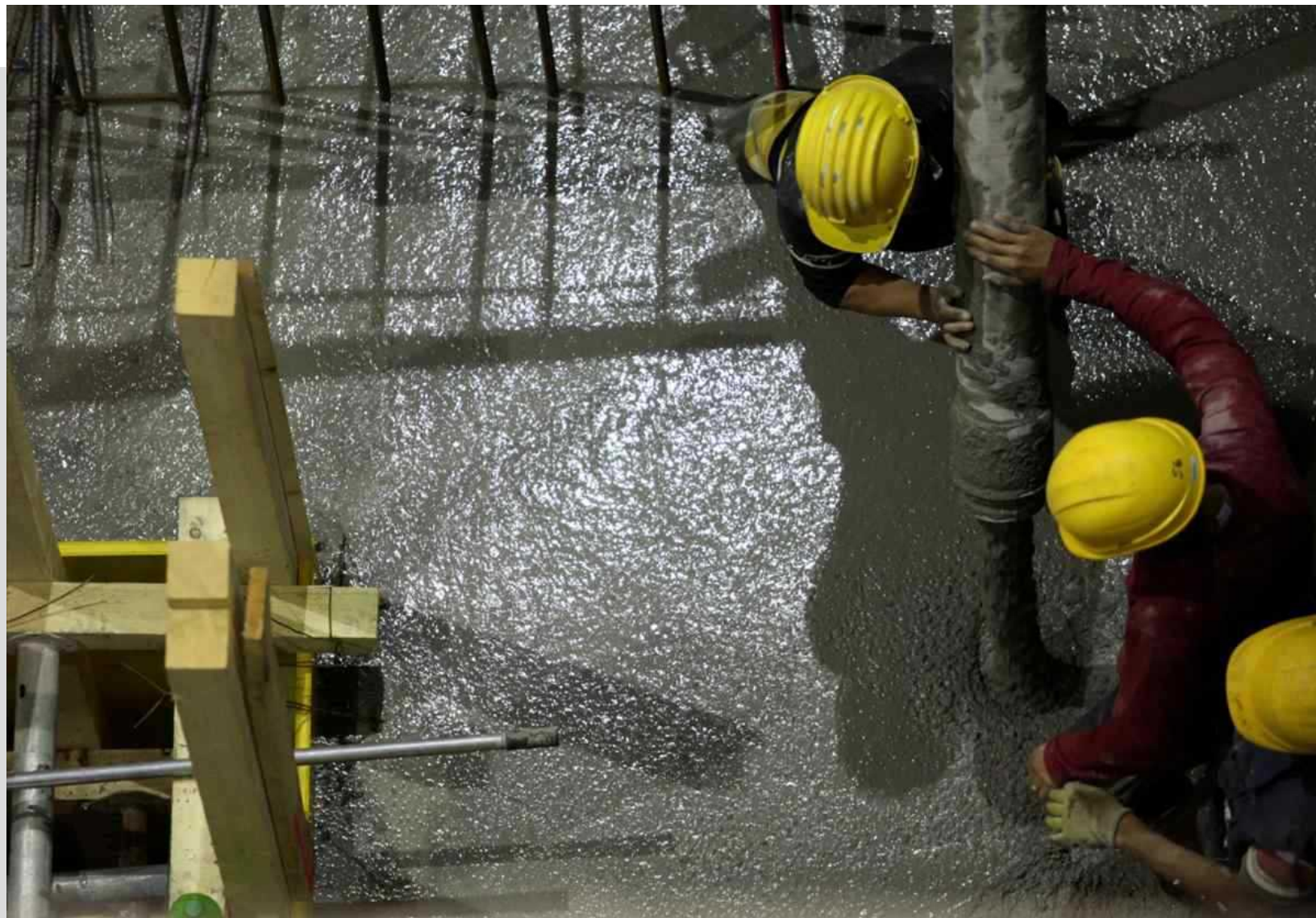
4 h

**SLOW**

16 h



## Criticità 1 – platee monolitiche





## REQUISITI SUL FRESCO

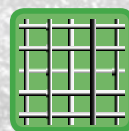


SF3



VF2

VS1



PJ2



SR2



100 m



classe di fluidità  
autocompattante



SF3

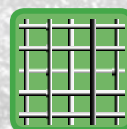


SF3



VF2

VS1



PJ2



SR2



100 m





classe di resistenza  
alla segregazione



SR2

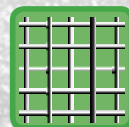


SF3



VF2

VS1



PJ2



SR2



100 m

**mantenimento  
della consistenza SCC**



**8  
ore**

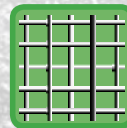


**SF3**



**VF2**

**VS1**



**PJ2**



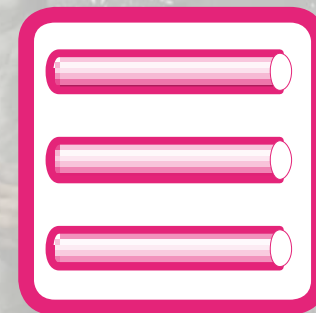
**SR2**

**8  
ore**



**100 m**

facile pompabilità  
orizzontale



100 m

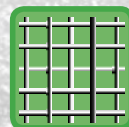


SF3



VF2

VS1



PJ2



SR2



100 m



# Criticità 1 – platee monolitiche



SF3

VF2

VS1

PJ2

SR2

8 ore

100 m

## Criticità 1 – platee monolitiche





## REQUISITI AGGIUNTIVI



30°C



200 μm



400 μm



30 mm



28 GPa



ad hoc

basso calore  
di idratazione  
in condizioni adiabatiche



30°C



30°C



200 μm



400 μm



30 mm



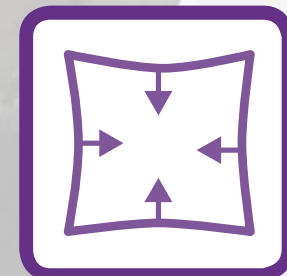
28 GPa



ad hoc



# ritiro igrometrico moderato e modulato



400  $\mu\text{m}$

200  $\mu\text{m}$



30°C



200  $\mu\text{m}$



400  $\mu\text{m}$



30 mm



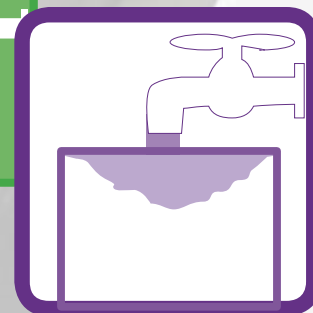
28 GPa



ad hoc



moderata permeabilità  
all'acqua in pressione



30 mm



30°C



200 μm



400 μm



30 mm



28 GPa



ad hoc



modulo elastico definito  
con tempi di sviluppo noti



28 GPa



30°C



200 μm



400 μm



30 mm



28 GPa



ad hoc



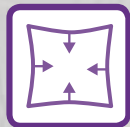
# produzione ad hoc del cemento LH



ad hoc



30°C



200 μm



400 μm



30 mm



28 GPa

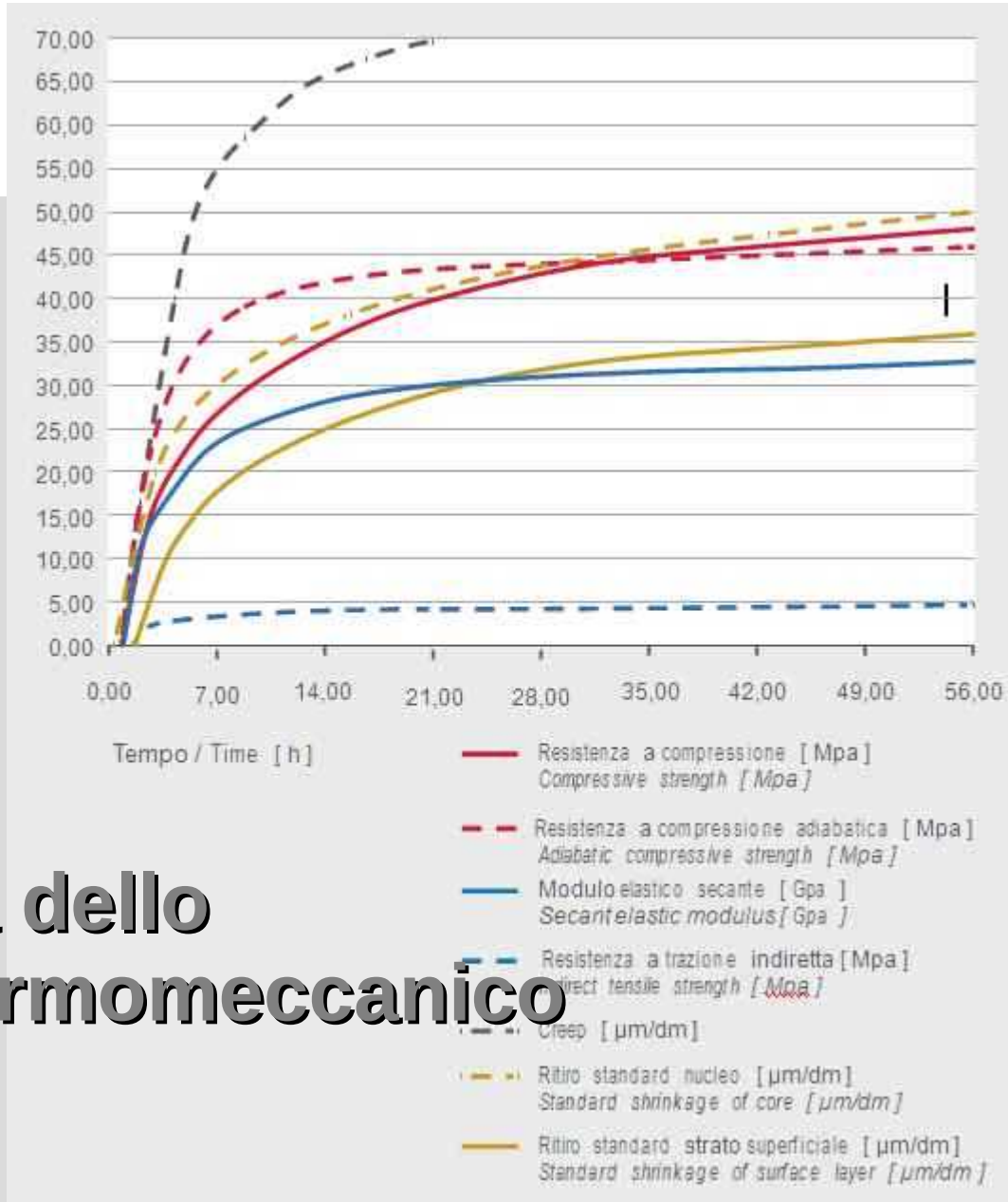


ad hoc





# Criticità 1 platee monolitiche



importanza dello  
sviluppo termomeccanico  
nel tempo

## Criticità 2



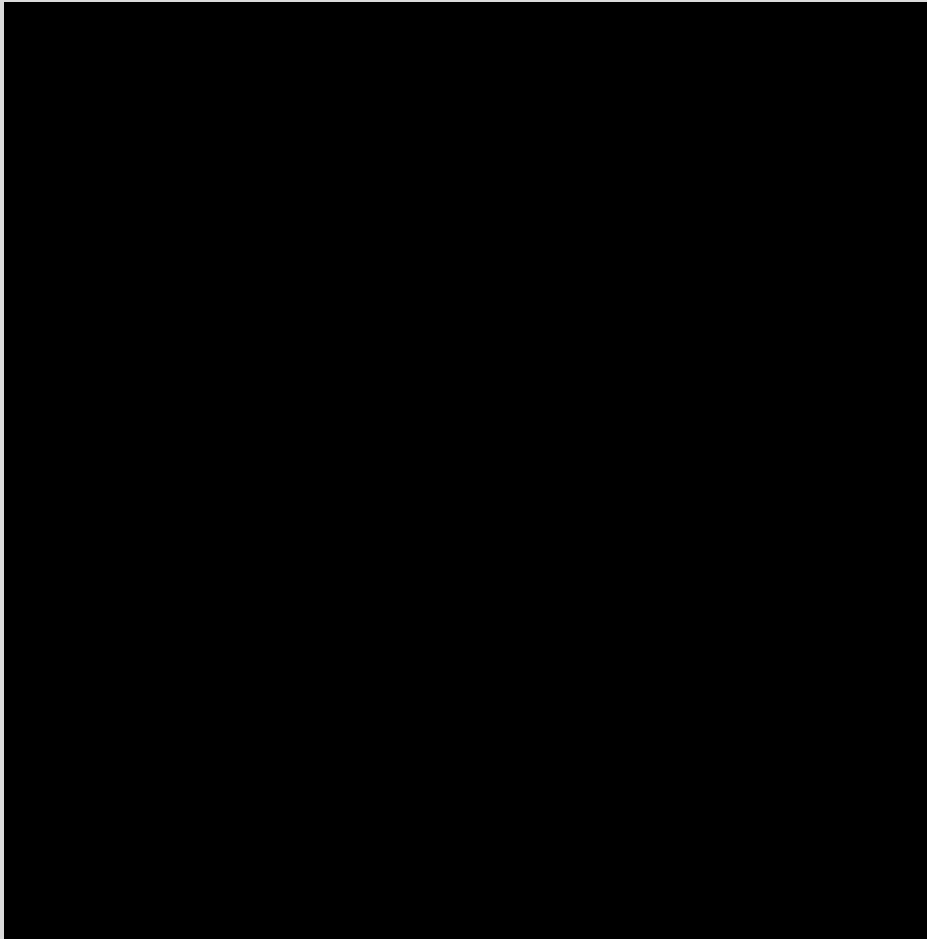
**STRUTTURE  
PORTANTI  
IN HSC**



# STRUTTURE PORTANTI IN HSC

- Torre Intesa San Paolo C70/85 SCC e S5
- Torre Regione Piemonte C70/85 SCC
- Torre Isozaki C70/85 SCC
- ***prequalifiche di C90/105 SCC***

## Criticità 2 – strutture portanti in HSC



## REQUISITI PRINCIPALI

C  $\frac{70}{85}$

FLOW  
RIF  
750

CLORURI  
0,2

Ø 12

ME

42 GPa

10 mm

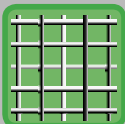
300 µm



VF2

VS2

PJ2



2  
ore

100 m



alte resistenze  
meccaniche

C  $\frac{70}{85}$

C  $\frac{90}{105}$

C  $\frac{70}{85}$

FLOW  
RIF  
750

CLORURI  
0,2

Ø 12

ME

10 mm

300 µm



42 GPa

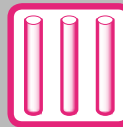
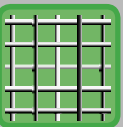
10 mm

300 µm

VF2

VS2

PJ2



2  
ore



100 m

# resistenza al fuoco senza spalling



C  $\frac{70}{85}$

FLOW  
RIF  
750

CLORURI  
0,2

Ø 12

ME

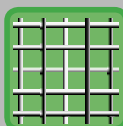


42 GPa 10 mm 300 µm

VF2

VS2

PJ2

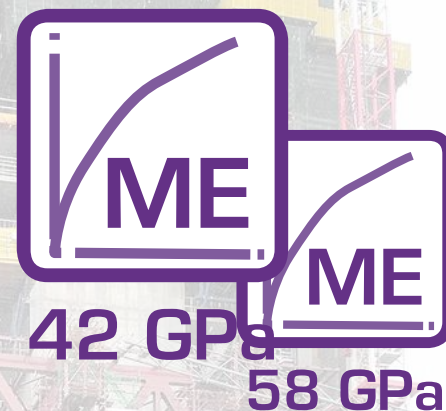


2  
ore



100 m

## moduli noti oggetto di requisito



$C_{70/85}$

FLOW  
RIF  
750

CLORURI  
0,2

Ø 12



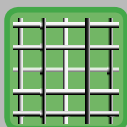
42 GPa



VF2

VS2

PJ2



2  
ore





# omogeneità e reologia per finitura a vista

$C \frac{70}{85}$

FLOW  
RIF  
750

CLORURI  
0,2

Ø 12

ME

42 GPa

10 mm

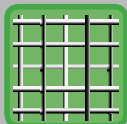
300 µm



VF2

VS2

PJ2



2  
ore



100 m

# classe di duttilità



$C \frac{70}{85}$

FLOW RIF  
750

CLORURI  
0,2

Ø 12



42 GPa



10 mm



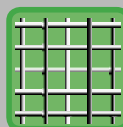
300 µm



VF2

VS2

PJ2



100 m

2 ore



# Criticità 3



**TRAVI  
SOMMITALI  
IN HPC**

# Criticità 3



## TRAVI SOMMITALI IN HPC

- Belt Truss superiore Torre Isozaki  
C60/75 SCC e S5 presollecitato

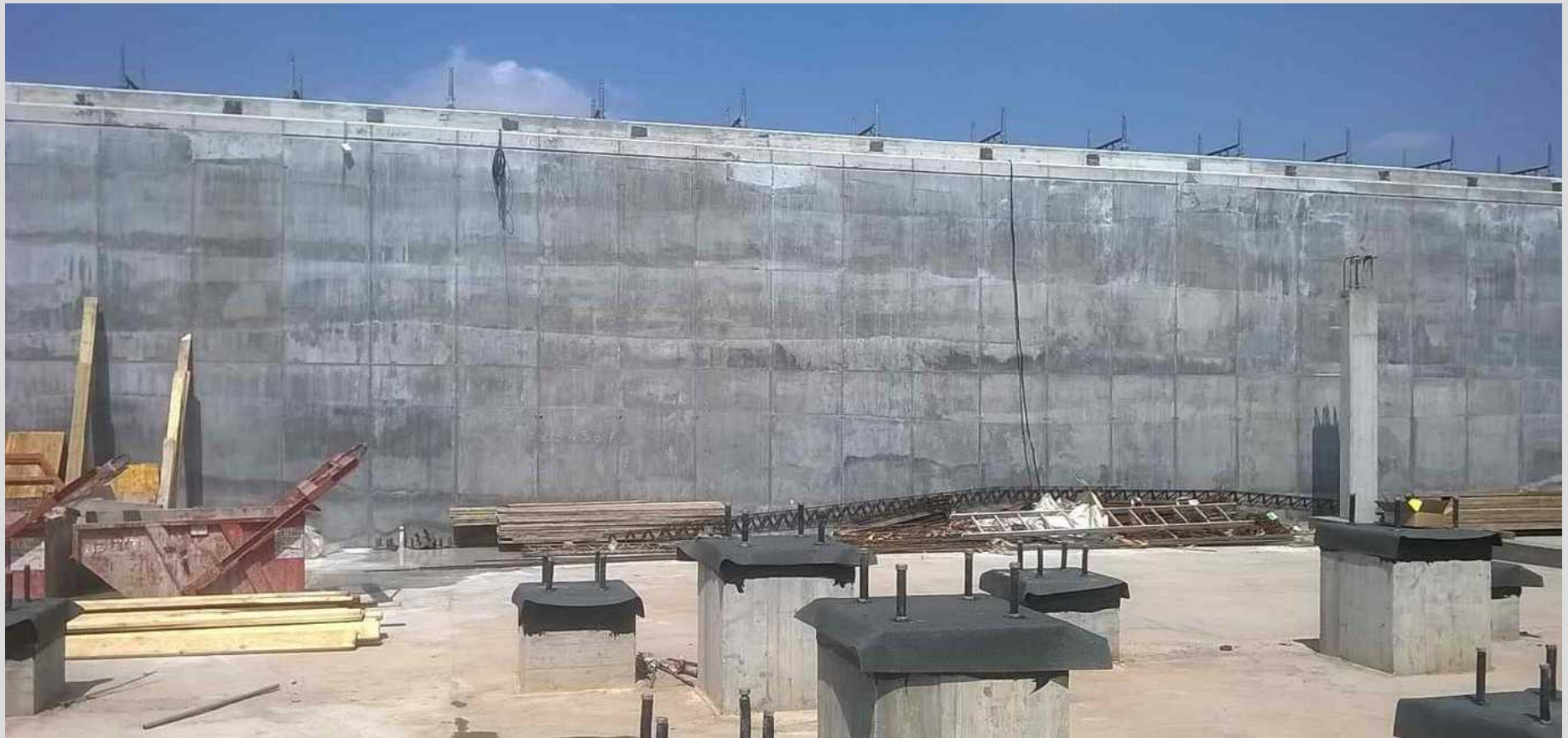
## Criticità 3 – travi sommitali in HPC



## Criticità 3 – travi sommitali in HPC



## Criticità 3 – travi sommitali in HPC



## REQUISITI PRINCIPALI

C  $\frac{60}{75}$

C  $\frac{50}{60}$

SF2

S5

CLORURI  
0,2

90  
min

$\Delta T$

300  $\mu m$

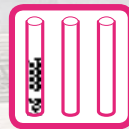
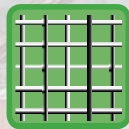
10 mm

72 h

50°C

300  $\mu m$

10 mm



250 m



# resistenze meccaniche precoci

C $\frac{50}{60}$

72 h

C $\frac{60}{75}$

C $\frac{50}{60}$

72 h

SF2

S5

CLORURI  
0,2

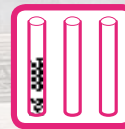
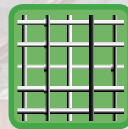
90  
min

$\Delta T$

50°C

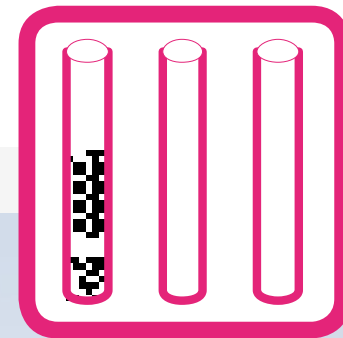
300  $\mu$ m

10 mm



250 m

# grande pompabilità verticale



250 m

C  $\frac{60}{75}$

C  $\frac{50}{60}$

SF2

S5

CLORURI  
0,2

90  
min

$\Delta T$

$\mu m$

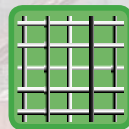
10 mm

72 h

50°C

300  $\mu m$

10 mm



250 m

**linee guida**

**modello**

**prescrittivo**

**prequalifica**

**ricetta**

**componenti**

**curve**

**dosaggi**

**ripetizione**

**progetto**

**capitolato**

**riproduzione**

**modello**

**garanzia**

**prestazione**

**risultato finale**

**prestazionale**

**norme EN**

**linee guida**

**modello**

**prescrittivo**

**prequalifica**

**ricetta**

**componenti**

**curve**

**dosaggi**

**ripetizione**

**collaborazione progettuale**

**riproduzione**

**garanzia**

**prestazione**

**risultato finale**

**modello**

**prestazionale**

**norme EN**

**prestazioni  
critiche**

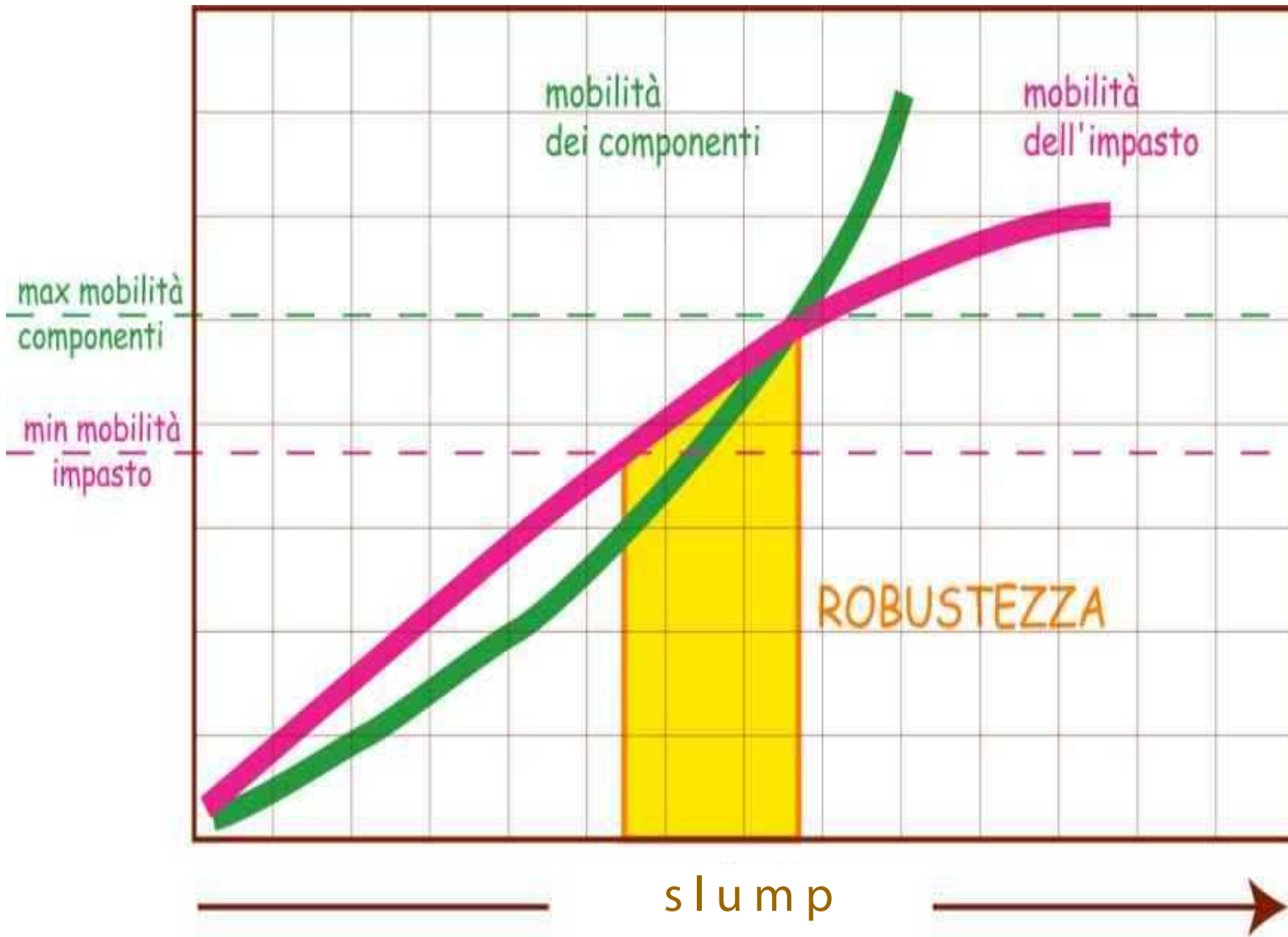
**interazioni  
variabilità  
equilibrio**

**robustezza reologica**

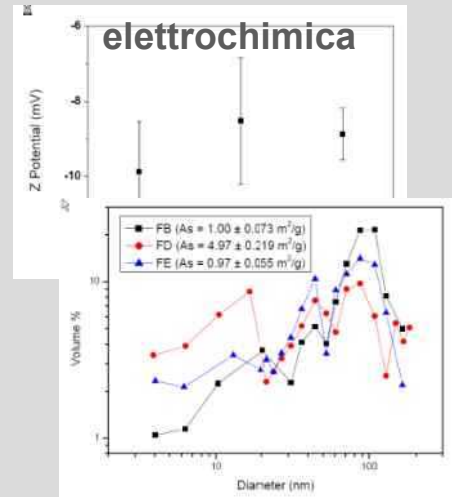
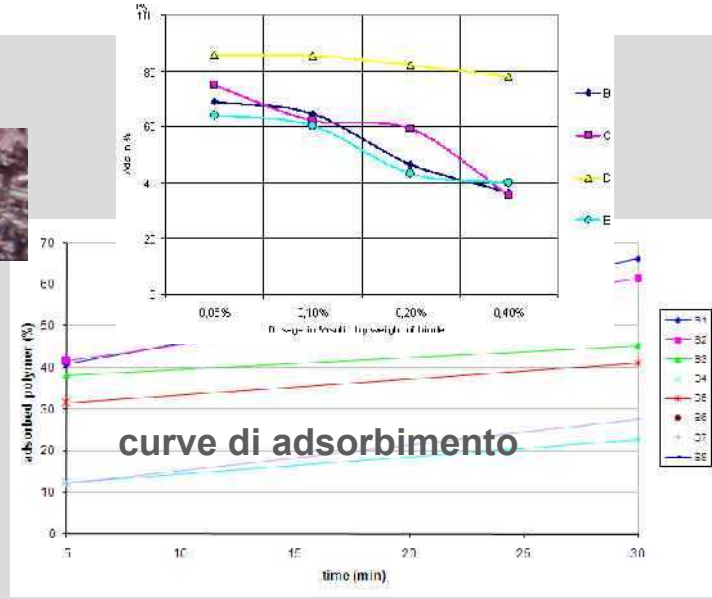
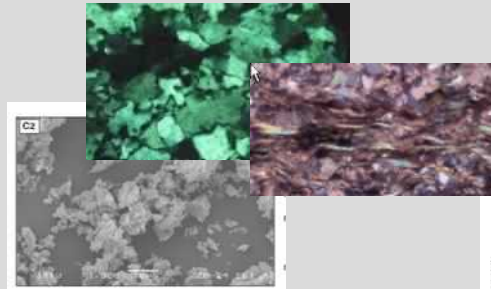
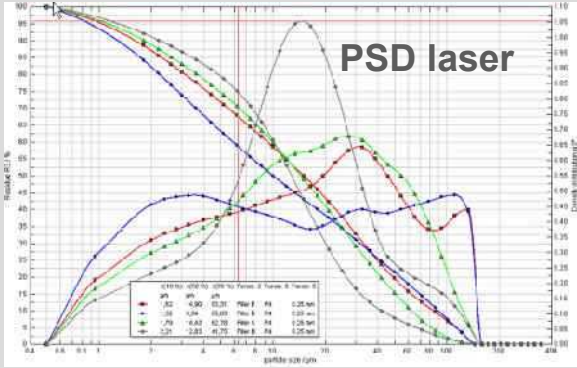
**approccio adattivo  
fattibilità**

**componenti  
innovativi**

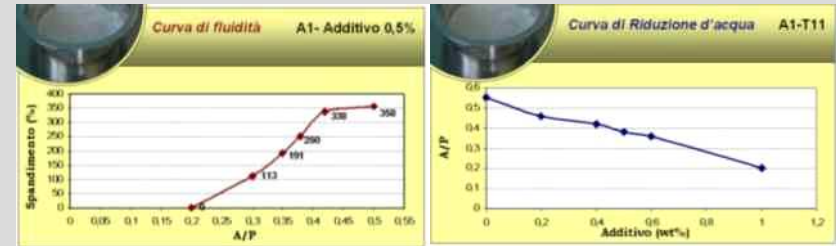




# Dietro la robustezza reologica c'è un know how complesso

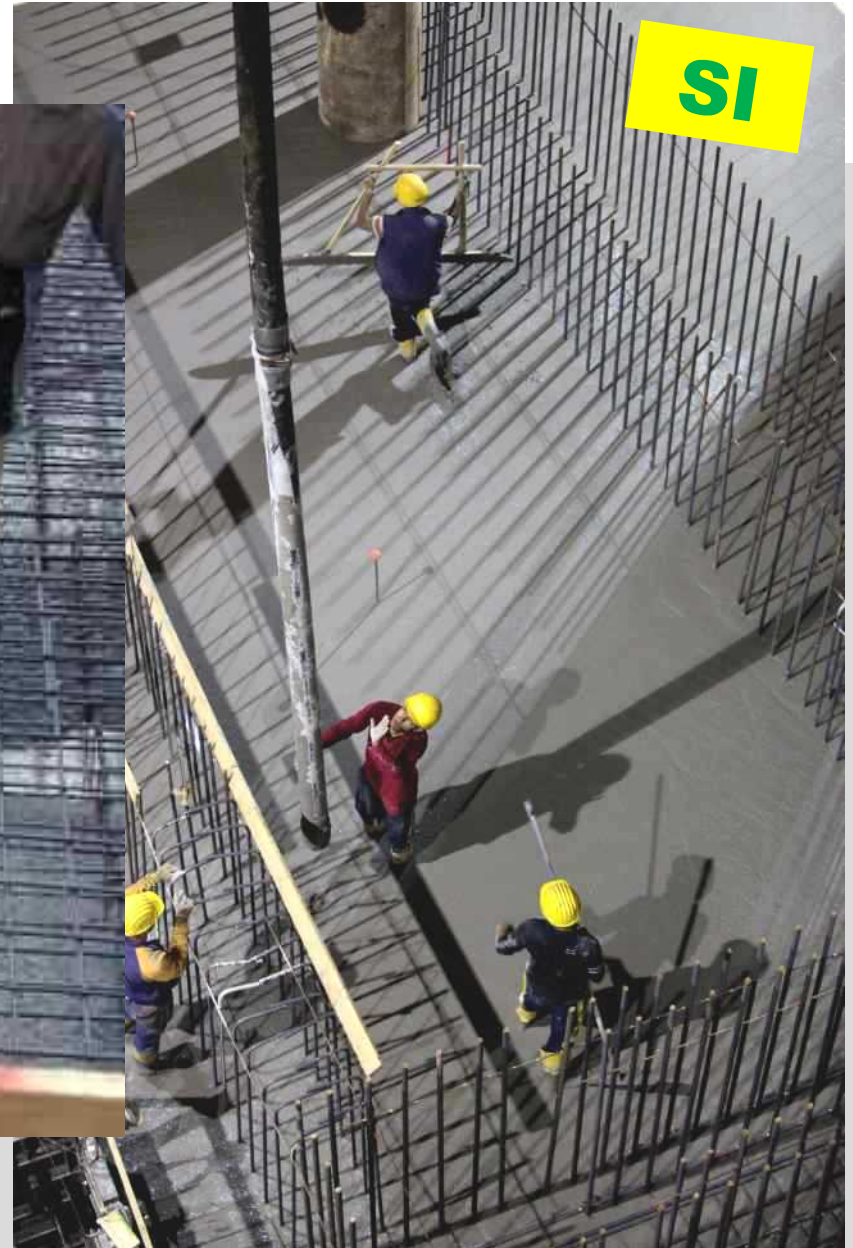


## curve di fluidificazione











*grazie per l'attenzione*

