

IL CALCESTRUZZO 3-SC PER COSTRUZIONI COMPLESSE DI DIFFICILE ESECUZIONE

Mario Collepari
ACI Honorary Member

Calcestruzzo 3-SC

- La sigla **3-SC** indica un calcestruzzo che presenta le seguenti tre caratteristiche:
- **Self-Compacting** → calcestruzzo auto-compattante grazie all'azione di un superfluidificante acrilico e di una particolare curva granulometrica degli inerti
- **Self-Compressing** → calcestruzzo auto-compresso grazie all'azione espansiva di un agente espansivo a base di uno speciale CaO cotto ad alta temperatura
- **Self-Curing** → calcestruzzo auto-stagionante che non richiede alcun trattamento umido grazie all'impiego di uno speciale additivo che riduce il ritiro igrometrico (Shrinkage Reducing Admixture: SRA)
- Perciò **3-SC** indica un calcestruzzo tre volte "self"

Dove impiegare il calcestruzzo 3-SC

- Il calcestruzzo **3-SC** è destinato alla realizzazione di strutture fortemente armate, dal contorno geometrico irregolare e completamente prive di fessure irregolari o tagli per giunti da contrazione.
- Un esempio di questo tipo di costruzione è il **MAXXI** che verrà illustrato nel seguito di questa esposizione.

MAXXI

- **MAXXI** significa **M**useo delle **A**rti moderne del **XXI** secolo.
- Esso è stato progettato da Zaha Hadid e Patrik Scumaker con l'aiuto di Gianluca Racana (*Zaha Hadid Ltd*).
- Il progetto strutturale è stato studiato dal Prof. Giorgio Croci ed il suo team.

MAXXI

- L'edificio è stato commissionato dal Ministero Italiano delle Arti e controllato dal Ministero Italiano delle Infrastrutture sotto la supervisione del Prof. Remo Calzona. L'edificio è stato realizzato da Italiana Costruzioni S.p.a. sotto la supervisione dell'Ing. Marco Odoardi.

Il mix-design dello speciale calcestruzzo **3-SC** è stato messo a punto dal Prof. Mario Collepardi, ENCO.

- Il calcestruzzo è stato prodotto da Calcestruzzi S.p.a. sotto la supervisione dell'Ing. Giuseppe Marchese.
- Per ragioni di durabilità (carbonatazione) la R_{ck} del calcestruzzo è stata di almeno 40 MPa e lo spessore di copriferro di almeno 40 mm.

Muri del MAXXI lunghi, piegati ed inclinati



Vista di un muro lungo 100 m. curvo e fortemente armato



SCC (Self-Compacting Concrete) secondo la composizione raccomandata dal team di Zaha Hadid per riempire i muri fortemente armati senza compattazione

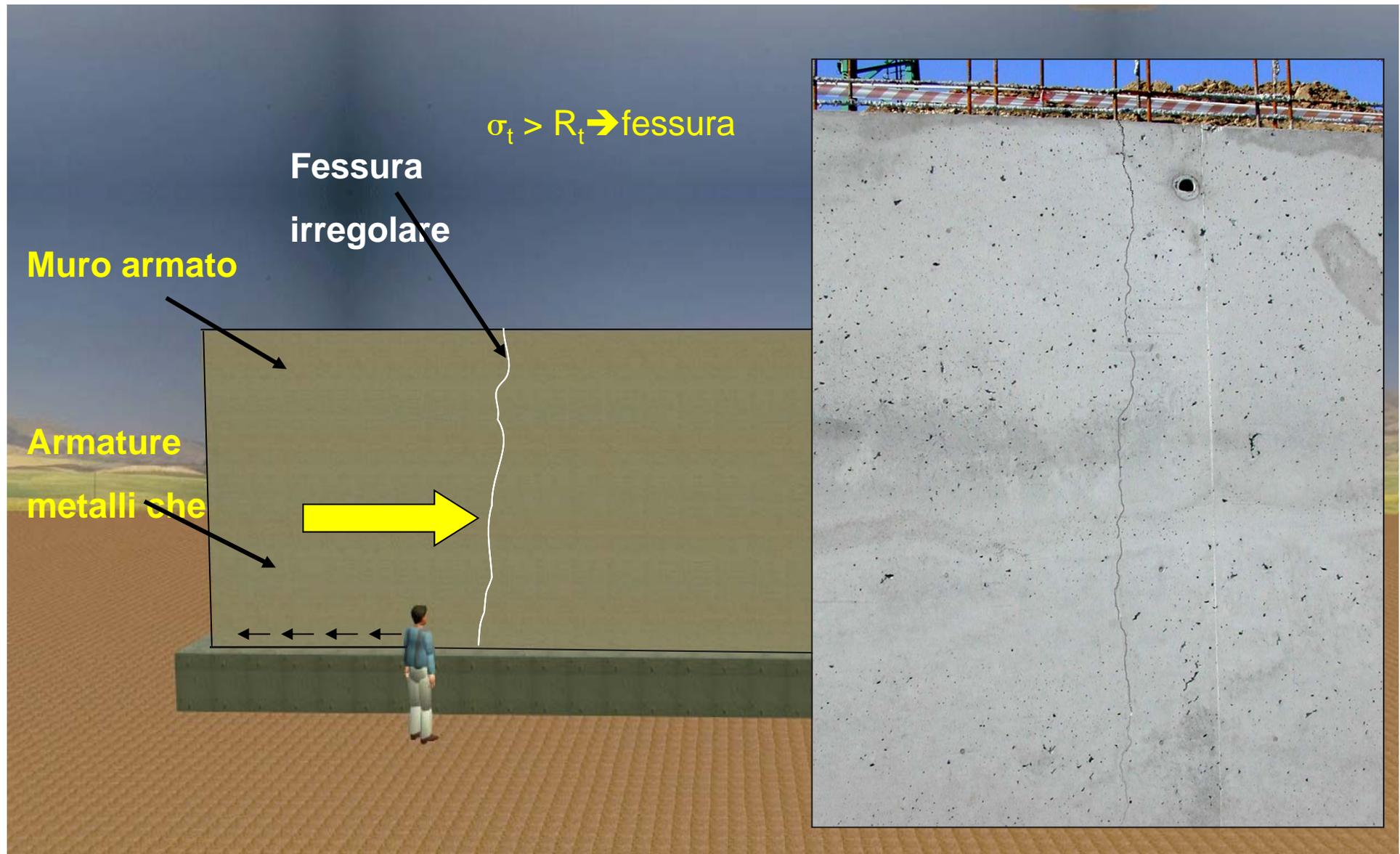
Composizione (kg/m³)	SCC
Portland Cement → CEM I 42.5 N	350
Calcare macinato (0.1-0.2 mm)	185
Sabbia (1-4 mm)	875
Ghiaia (4-16 mm)	905
Acqua	165
Superfluidificante acrilico	6.5

Prova di campo: tentativo di muro nel MAXXI messo in opera con l'SCC proposto dal team di Zaha Hadid.

Dopo alcuni giorni dalla rimozione dei casseri sono apparse numerose fessure irregolari provocate dal ritiro igrometrico contrastato dalle armature



Muro armato fessurato per ritiro igrometrico



Le fessure riducono la durabilità del calcestruzzo armato

- Le fessure provocate dal ritiro igrometrico non sono solo una fonte di difetti estetici superficiali, ma - più importantemente - sono un serio inconveniente tecnico perchè attraverso le fessure passano gli agenti aggressivi soprattutto per i ferri di armatura. Perciò per prolungare la vita di servizio delle strutture armate per almeno 50 o 100 anni si debbono eliminare le fessure sulla superficie.

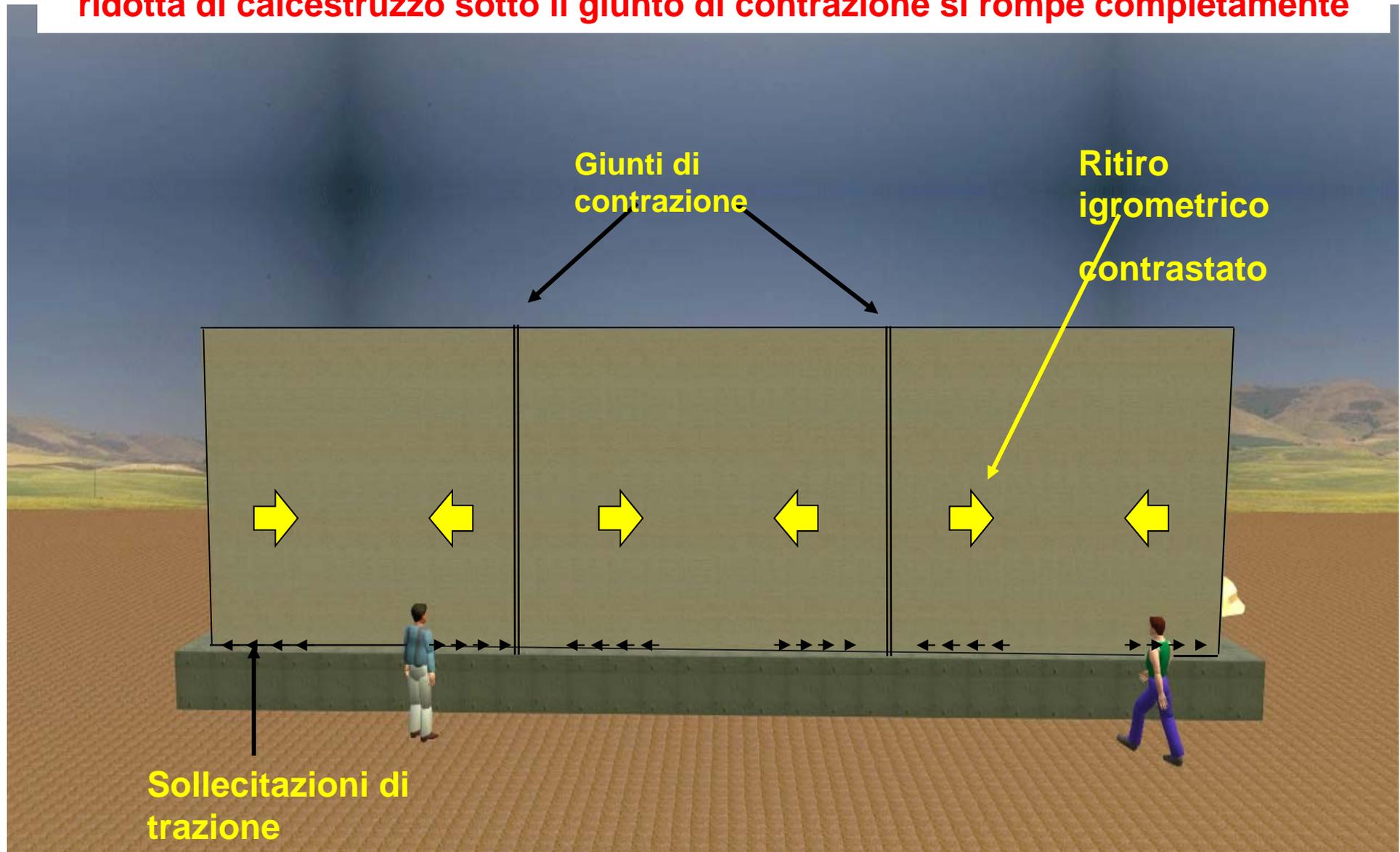


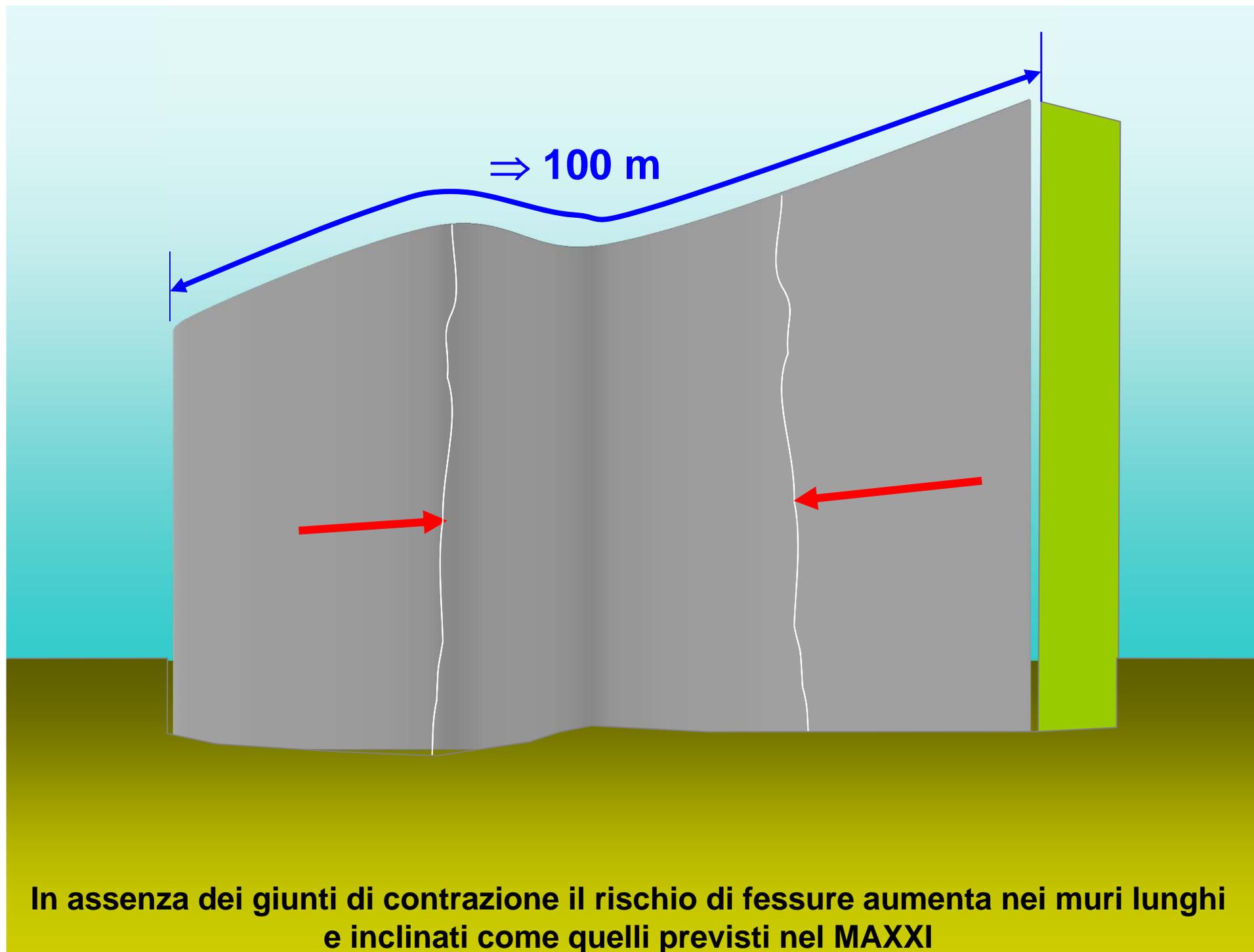
- La figura riportata qui sotto mostra una superficie con i ferri a vista a causa della corrosione dei ferri che espellono il copriferro a causa del loro rigonfiamento durante la corrosione provocata dalla carbonatazione della calce presente nel copriferro.

Calcestruzzo armato con giunti di contrazione

- Allo scopo di rimuovere le fessure irregolari causate dal ritiro igrometrico la tecnica usulamente più adottata consiste nel segmentare l'originale lunghezza del muro in porzioni più corte attraverso i cosiddetti **giunti di contrazione** che si presentano come tagli regolari in superficie riducendo la sezione del calcestruzzo e provocandone un punto debole sottostante che si romperà per effetto del ritiro igrometrico. Lo spazio del taglio del giunto è sigillato con silicone per evitare l'accesso ai ferri.
- Tuttavia, secondo il progetto di Zaha Hadid sulla superficie dei lunghi muri del MAXXI non erano accettabili nè le fessure irregolari provocate dal ritiro igrometrico, nè i giunti di contrazioni per ragioni estetiche.

Il ruolo giocato dai giunti di contrazione consiste nel ridurre la fessurazione provocata dal ritiro igrometrico contrastato → a causa del ritiro, la sezione ridotta di calcestruzzo sotto il giunto di contrazione si rompe completamente



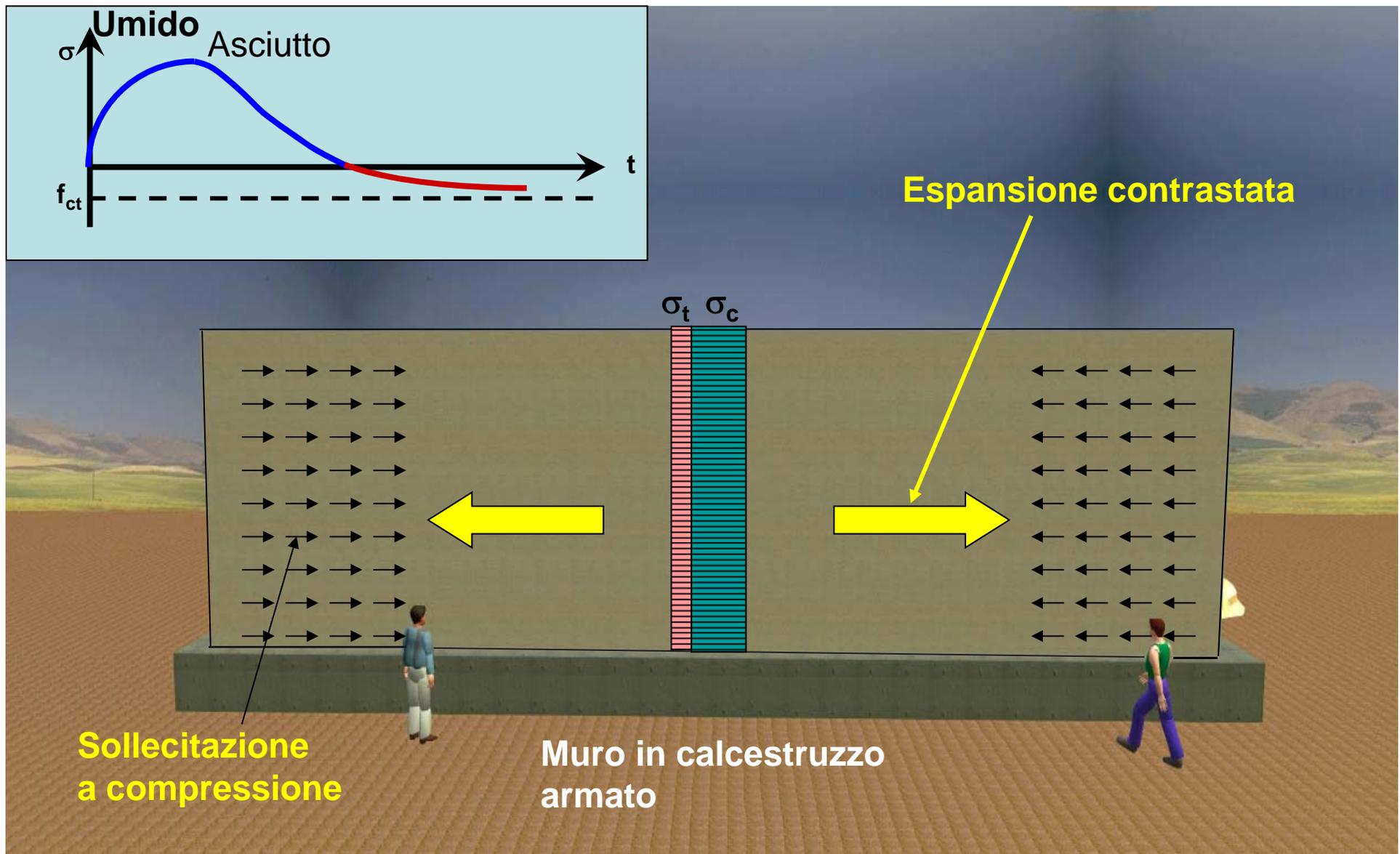


In assenza dei giunti di contrazione il rischio di fessure aumenta nei muri lunghi e inclinati come quelli previsti nel MAXXI

Come ridurre la fessurazione da ritiro igrometrico in assenza dei giunti di contrazione

- In teoria, le fessurazioni indotte dal ritiro igrometrico potrebbero essere evitate se le strutture in calcestruzzo armato fossero mantenute permanentemente in un ambiente umido con una UR maggiore del 95%.
- Un approccio più realistico è basato sull'impiego di prodotti chimici che provocano un allungamento delle dimensioni della struttura capace di compensare il ritiro igrometrico.
- Questi prodotti chimici, noti come agenti espansivi, possono produrre un incremento iniziale delle dimensioni delle strutture purchè queste siano conservate in ambiente umido da 1 a 7 giorni a seconda del tipo di agente espansivo.
- Se l'espansione è contrastata dalle armature metalliche, durante la conservazione in ambiente umido si genera un benefico stato (σ_c) di autocompressione nel calcestruzzo. Terminata la conservazione in ambiente umido il calcestruzzo può ritirarsi e subire una sollecitazione di trazione. Tuttavia, non esiste alcun rischio di fessurazione purchè la sollecitazione di trazione σ_t al termine sia minore della resistenza a trazione del calcestruzzo (f_{ct}).

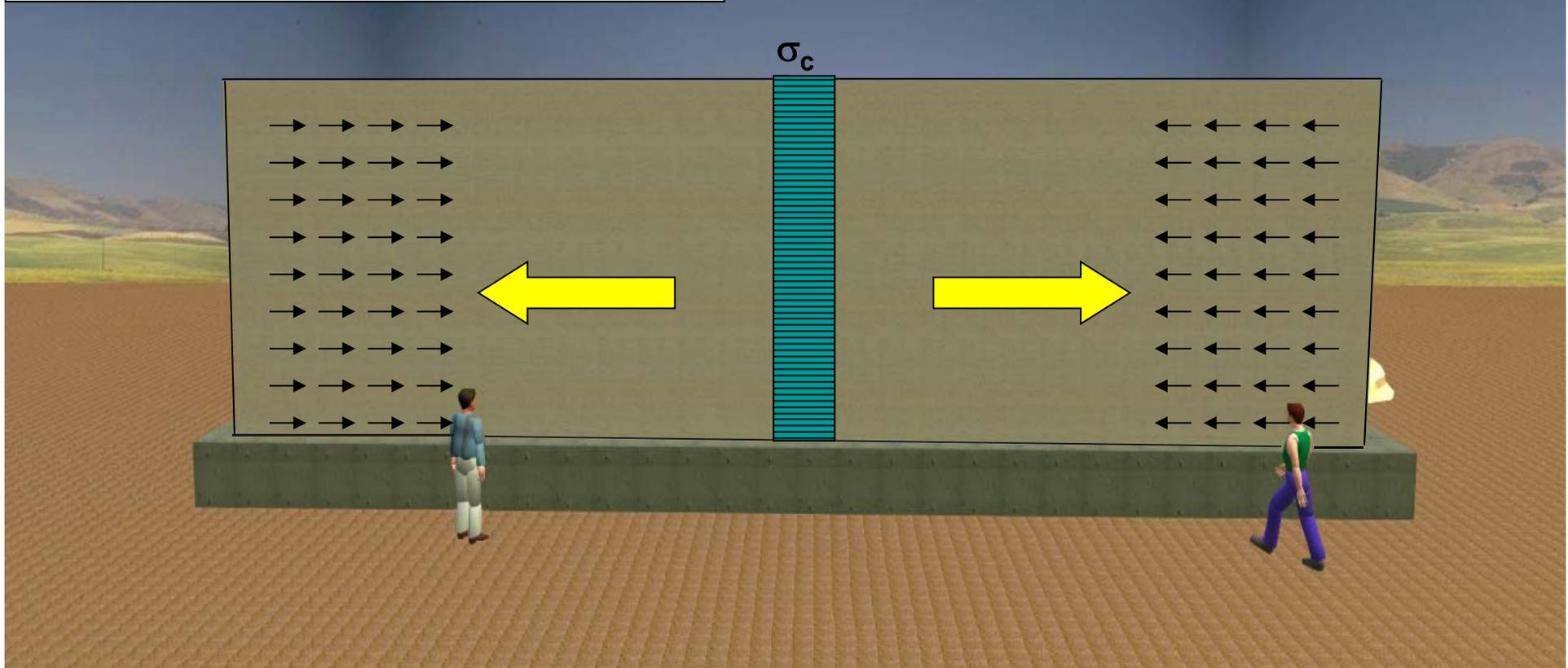
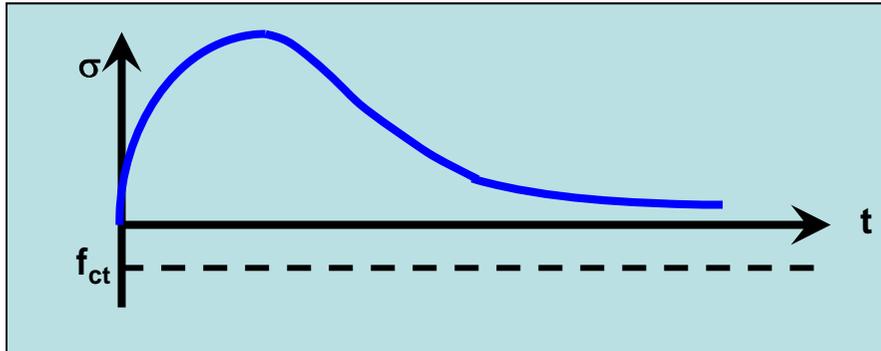
Calcestruzzo a ritiro compensato con agente espansivo a base di CaO



Calcestruzzo a ritiro compensato con agente espansivo a base di CaO e di additivo SRA

- In presenza dell'additivo SRA (Shrinkage Reducing Admixture), l'espansione provocata dall'agente espansivo CaO aumenta mentre il ritiro igrometrico diminuisce.
- Pertanto, l'impiego combinato di agente espansivo a base di un CaO speciale cotto a 1000°C con l'SRA migliora il comportamento del calcestruzzo esposto in ambiente asciutto e riduce fortemente il rischio di fessure provocate dal ritiro igrometrico..
- Con l'impiego combinato di CaO-SRA si conserva sempre uno stato di auto-compressione nel calcestruzzo anche in assenza di una stagionatura umida per la benefica azione dell'SRA.

Influenza dell'SRA sull'auto-compressione (σ) di un calcestruzzo a ritiro compensato con CaO e resistenza a trazione di f_{ct} in ambiente con UR del 60%



Il calcestruzzo privo di fessure o tagli con la tecnica del 3-SC fu sviluppato da Mario Collepari specificatamente per l'edificio MAXXI in sostituzione del calcestruzzo autocompattante SCC originariamente proposto da Zaha Hadid e il suo team.

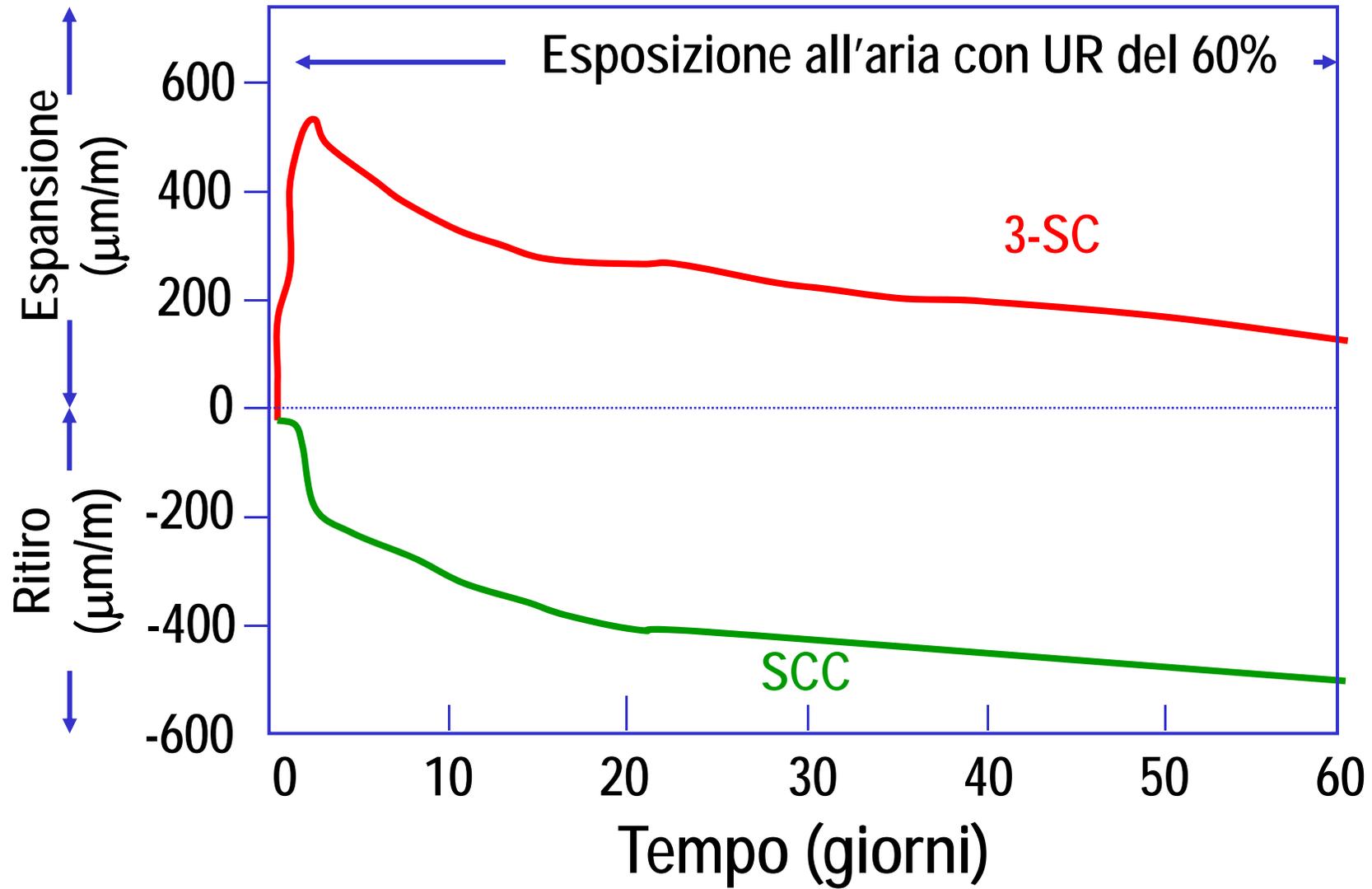
Il cambio dall'SCC al 3-SC si basa sull'aggiunta di 4 kg/m³ di SRA e di 35 kg/m³ di CaO in sostituzione della stessa quantità di calcare macinato.

Inoltre, fu impiegato un cemento pozzolanico in luogo del cemento Portland per ridurre il calore di idratazione e quindi il rischio di fessure di origine termica dovute alla massività del getto.

Composizione (kg/m ³)	3-SC	SCC
Cemento → CEM 42.5 N	350*	350**
Calcare macinato (0.1-0.2 mm)	150	185
Sabbia (0-40 mm)	905	905
Ghiaia (4-16 mm)	875	875
Acqua	161	165
Superfluidificante acrilico	6.5	6.5
Agente espansivo a base di CaO cotto a 1000°C	35	—
SRA	4	—

*Cemento pozzolanico con 15% di pozzolana ** Cemento Portland

Espansione-ritiro dell'SCC a confronto del 3-SC



Conclusioni sulle differenze tra i calcestruzzi 3-SC ed SCC

- Nella costruzione del MAXXI, a causa del ritiro igrometrico contrastato dell'SCC si formavano delle fessure irregolari sulla superficie del muro pochi giorni dopo la rimozione delle casseforme e la conseguente esposizione all'aria insatura di vapore.
- D'altra parte, sulla superficie del calcestruzzo 3-SC, a causa del benefico stato di auto-compressione, non si sono osservate fessure da ritiro igrometrico a distanza di oltre 12 anni del getto nonostante l'assenza di tagli per i giunti di contrazione.
- Poichè la geometria del MAXXI è molto complessa, la tecnica del 3-SC adottata in questo edificio può essere estesa a infrastrutture in calcestruzzo armato come ponti o autostrade per produrre un calcestruzzo privo di fessure e quindi realmente durabile.