



I.I.C.

ISTITUTO ITALIANO PER IL CALCESTRUZZO



Ricerca



Assistenza



Consulenza



Formazione continua

ABC
del calcestruzzo

Per gentile concessione di:
FEBELCEM, Fédération de l'Industrie Cimentière Belge.

DEL PRESENTE VOLUME È VIETATA LA RIPRODUZIONE E LA COMMERCIALIZZAZIONE

Elaborato da:
I.I.C. - Istituto Italiano per il Calcestruzzo
Realizzato con la collaborazione di Tekna Chem s.r.l. e Tenso Floor s.r.l.

1

componenti del calcestruzzo

2

fare calcestruzzo

3

il calcestruzzo fresco

4

il calcestruzzo indurito

1 componenti del calcestruzzo

1a

Ghiaia

1b

Sabbia

1c

Cemento

1d

Acqua

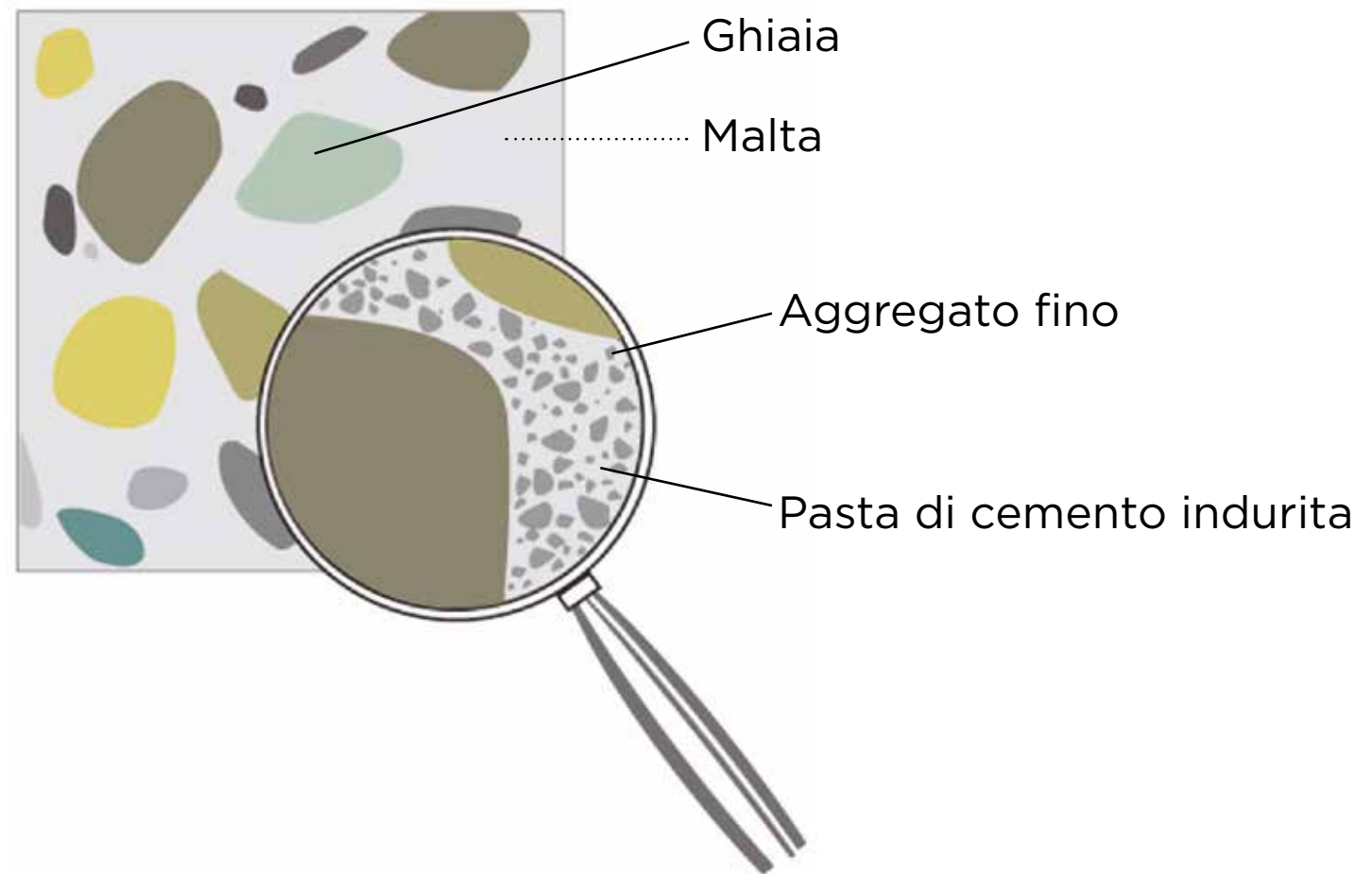
(eventualmente)

1e

Additivi

1f

Aggiunte



Il calcestruzzo è costituito da aggregati grossi e fini (ghiaia o pietra frantumata, sabbia), cemento e acqua. La miscela di cemento/acqua forma la pasta legante. La pasta di cemento e la sabbia costituiscono la malta. Questa si lega con gli aggregati grossolani per formare un conglomerato solido. Gli additivi e le aggiunte servono a migliorare alcune caratteristiche del calcestruzzo fresco e indurito.

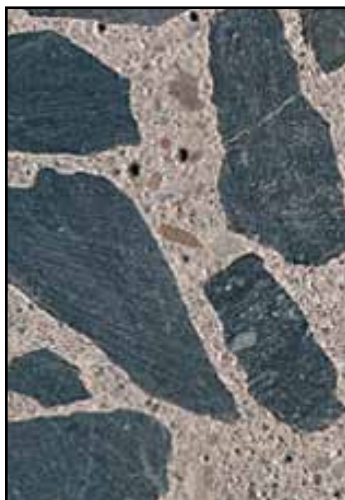
Naturali

(fiume, mare)

Alluvionali

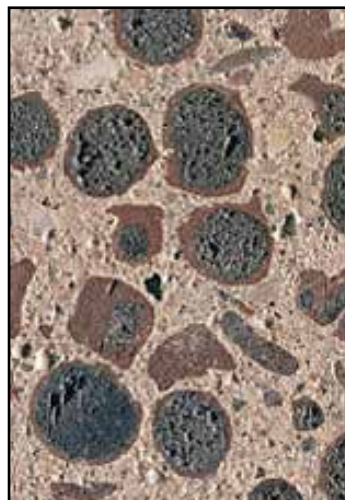


(cava)



Artificiali

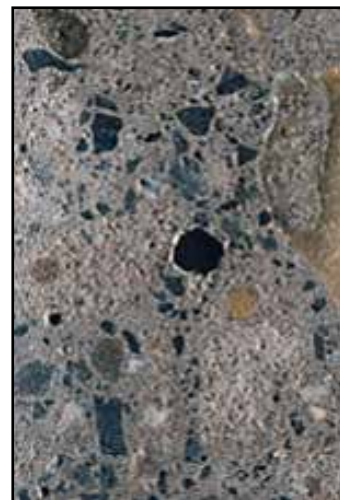
(fabbricati in fabbrica:
es. trasformazione
termica)



Argilla espansa

Riciclati

(scarti di costruzione e di demolizione)



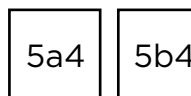
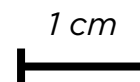
Calcestruzzo
frantumato



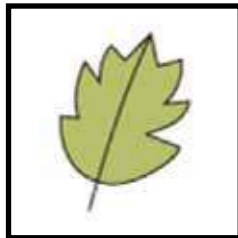
Miscuglio di
calcestruzzo e
muratura frantumati

I 'gradi di
frantumazione' sono:
rotondo,
semi-rotondo,
semi-frantumato,
frantumato

Differenti 'nature mineralogiche': calcare, arenaria, porfido, etc....



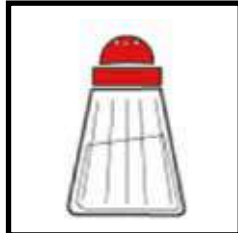
La ghiaia o la pietra frantumata sono gli aggregati più utilizzati. Per alcuni tipi di calcestruzzo (calcestruzzo leggero, pesante, isolante...) sono talvolta sostituiti totalmente o parzialmente da altri aggregati, detti artificiali. Al fine di risparmiare gli aggregati naturali, vengono anche utilizzati aggregati provenienti da macerie.

Da escludere in ogni caso:

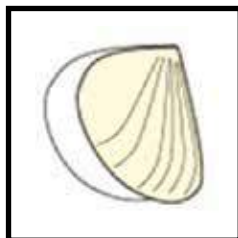
terra, argilla, humus, carbone, sali nocivi... :
pericolosi per l'idratazione del cemento

Da limitare in base all'applicazione:

soprattutto in caso di aggregati d'origine marina



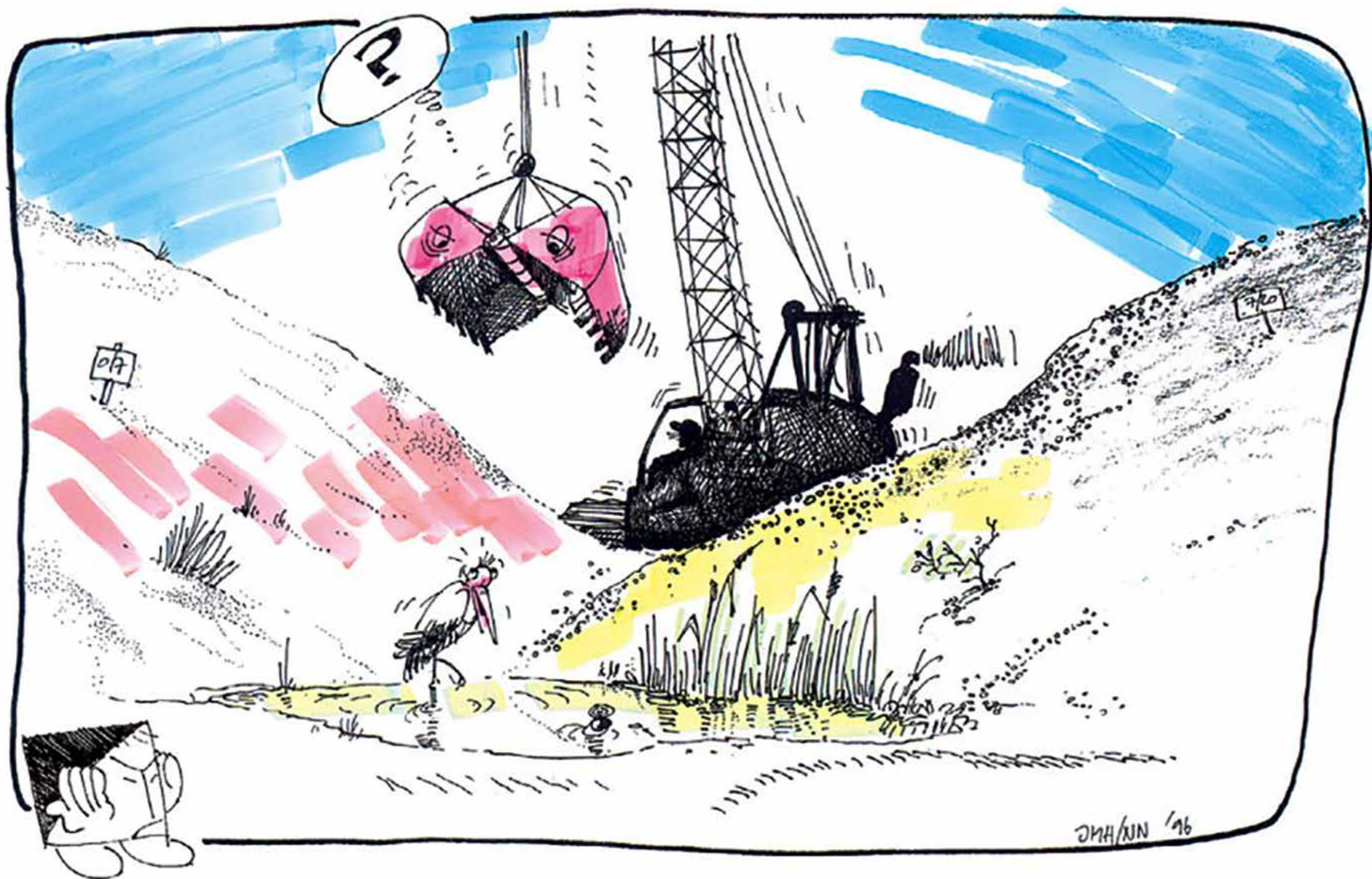
Sali (**ioni cloruri**):
- aggressivi per l'armatura
- accelerano la presa del cemento



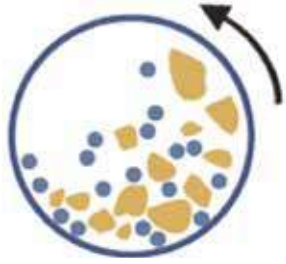
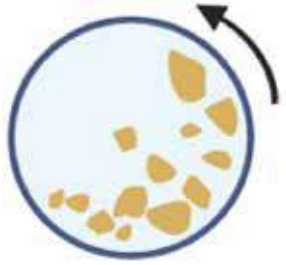
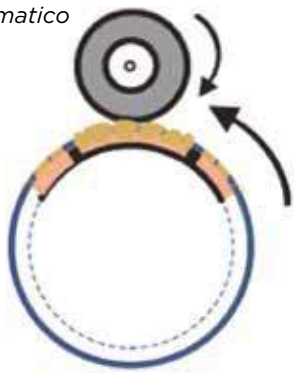
Conchiglie:
= "aggregati" poco resistenti

Esempi di materie inquinanti. La superficie del calcestruzzo può comunque essere raggiunta da altri tipi di "aggressioni", per es.:

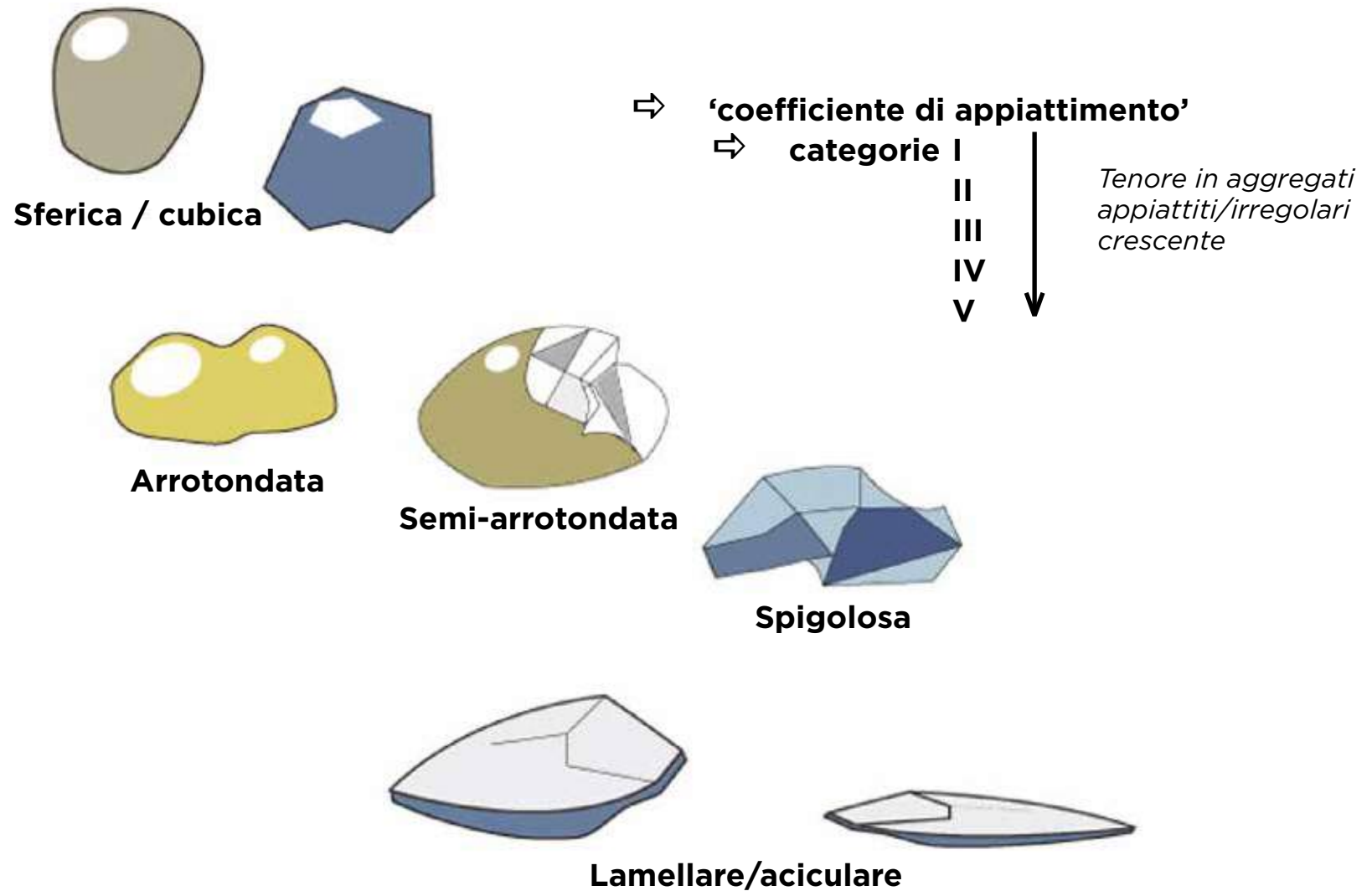
- macchie di ruggine: presenza di materie ferrose;
- "pop-outs" (rigonfiamenti): presenza di materie saggregati silicei reattivi 'Reazione alcali aggregati'



PROPRIETÀ FISICHE E MECCANICHE

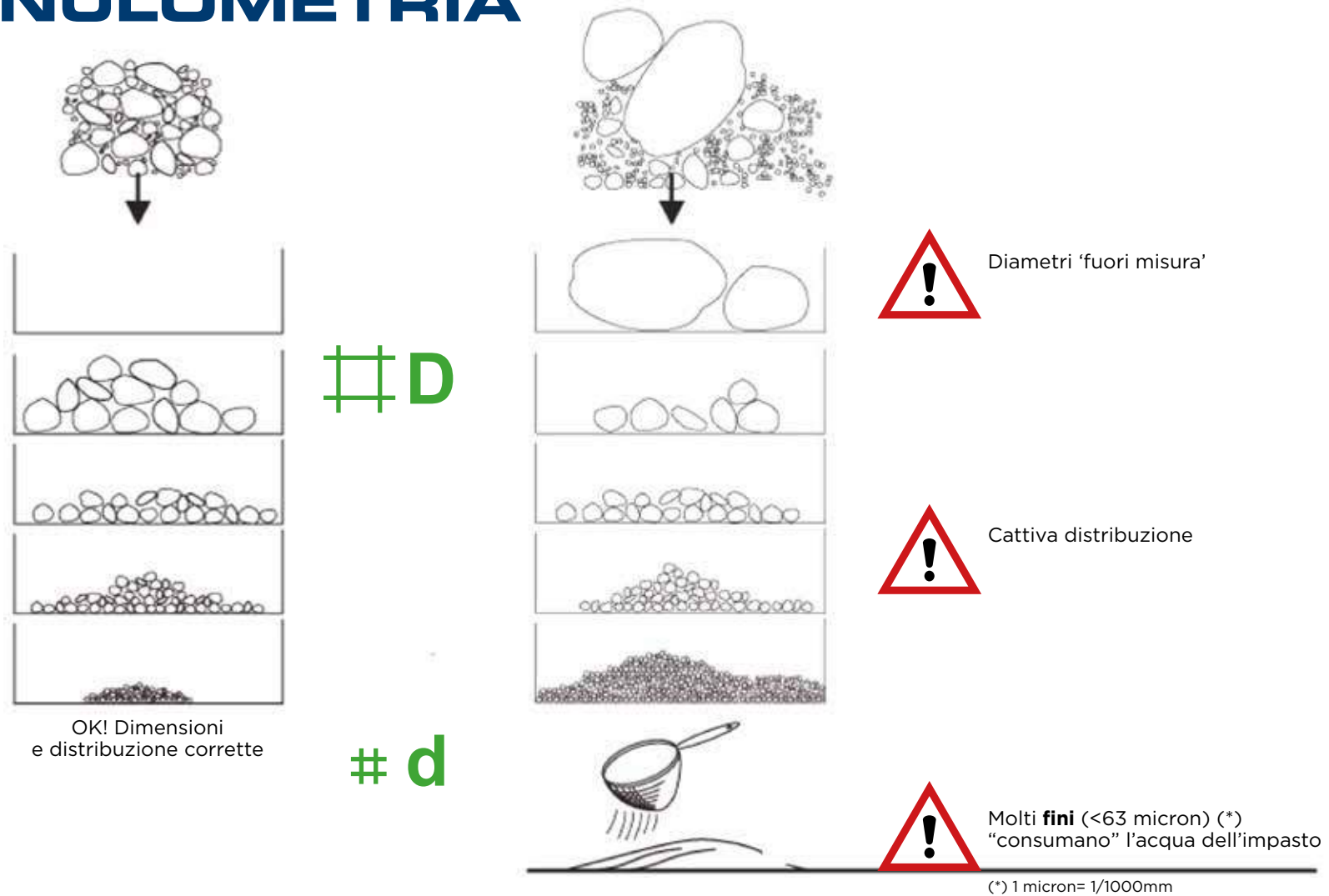
Tamburo a rotazione + sfere di ferro		Misura della quantità di particelle di fini prodotte ⇒ 'coefficiente Los Angeles' (LA) (resistenza alla frammentazione)	'categorie intrinseche': Aa Ab Ac Ba Bb Bc C D E F Resistenza decescente ↓
Tamburo a rotazione + acqua		Misura della quantità di particelle di fini prodotte ⇒ 'coefficiente Micro-Deval' (MDE) (resistenza all'usura)	
Ghiaia incollata su piastre di supporto	Pneumatico 	Misura della resistenza allo scivolamento ⇒ 'Misura della resistenza allo scivolamento' <i>Polished Stone Value</i> (PSV) (resistenza alla lucidatura)	

FORMA



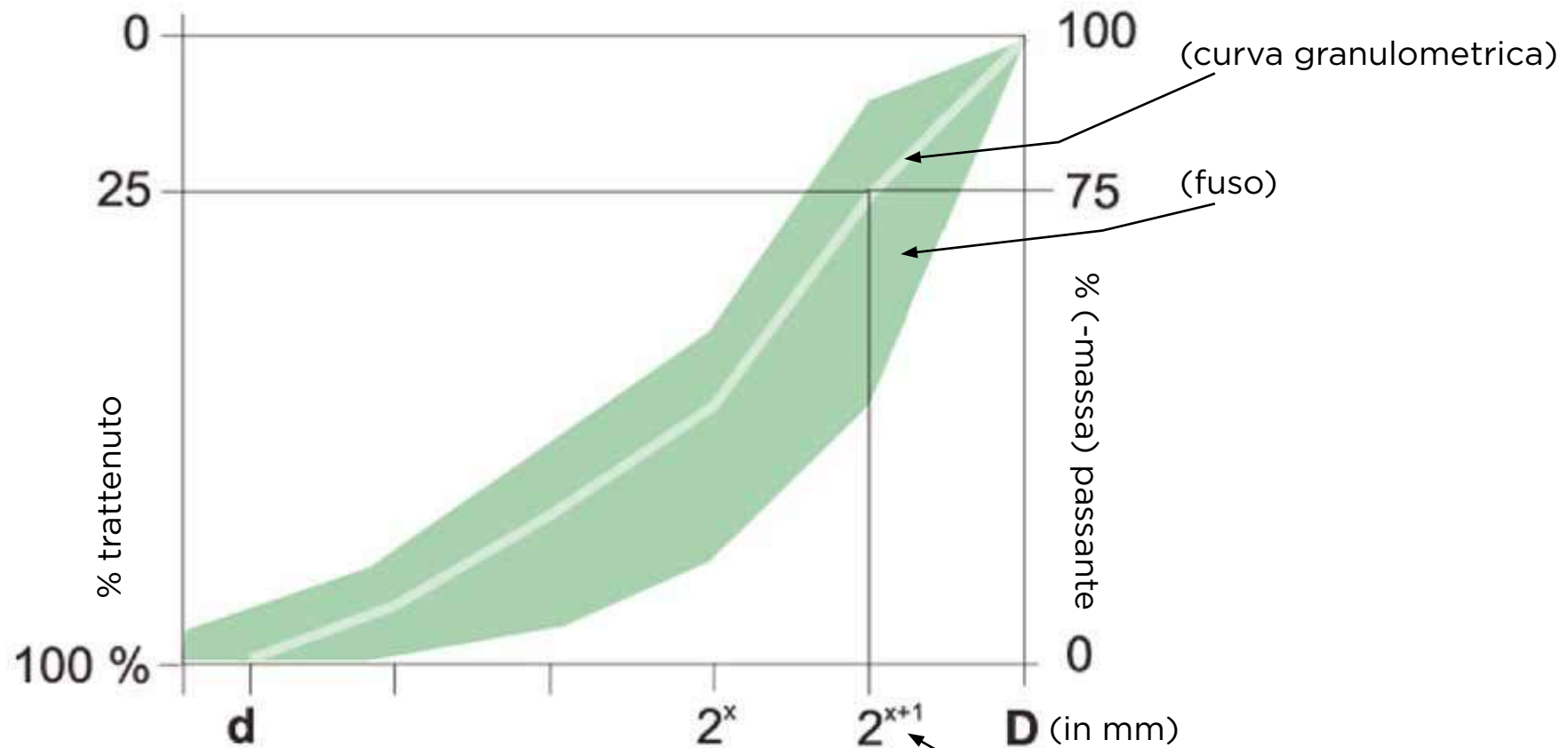
La forma degli aggregati ha un'influenza importante sulla lavorabilità e la stabilità (resistenza alla segregazione) della miscela, così come sulla quantità necessaria di pasta e dunque di cemento.

GRANULOMETRIA



La granulometria, ossia la distribuzione dimensionale di un aggregato - è determinata attraverso una serie di setacci normalizzati. La classe granulometrica d/D rappresenta le dimensioni dei più piccoli e dei più grossi granuli. Una buona granulometria garantisce simultaneamente un minimo di vuoti tra i granuli e un massimo di granuli.

GRANULOMETRIA



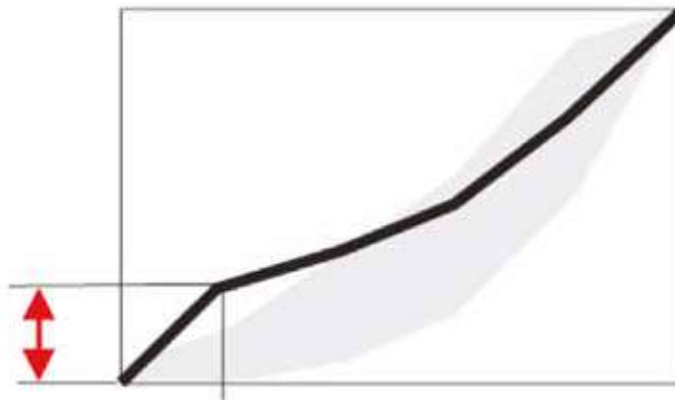
Calibro (classe granulare) d/D :

100% passante per la maglia D (trattenuto = 0%),
75% passante per la maglia 2^{x+1} (trattenuto = 25%),
etc...
0% passante per la maglia d (trattenuto = 100%)

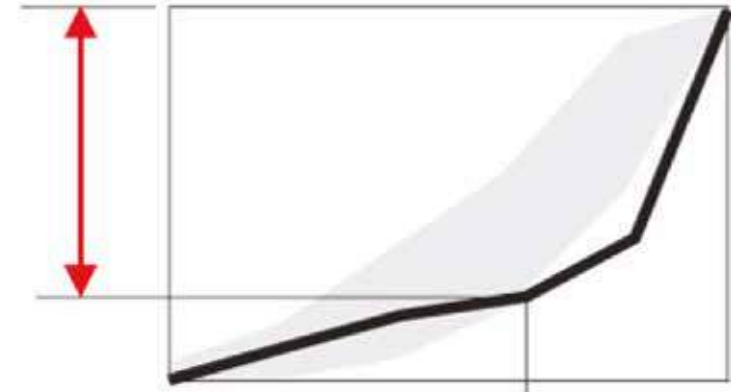
(scala logaritmica)

La granulometria è espressa attraverso un grafico: la curva granulometrica indica le percentuali in massa passante per i setacci successivi. Per le classi granulometriche più frequenti le norme definiscono dei “fusi” all’interno dei quali le classi granulometriche devono essere situate.

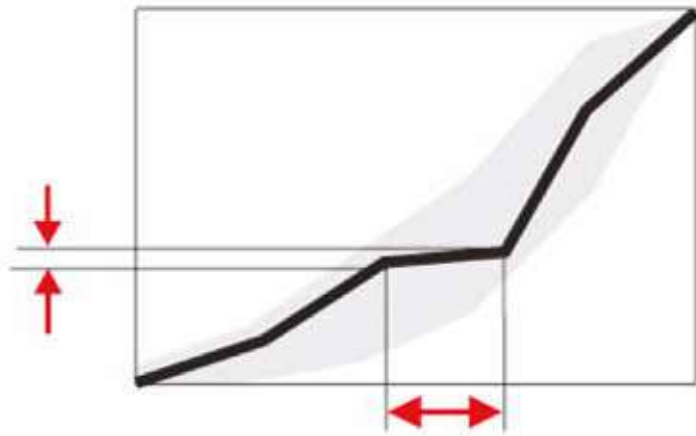
Esempi di granulometrie meno buone



Troppi aggregati fini



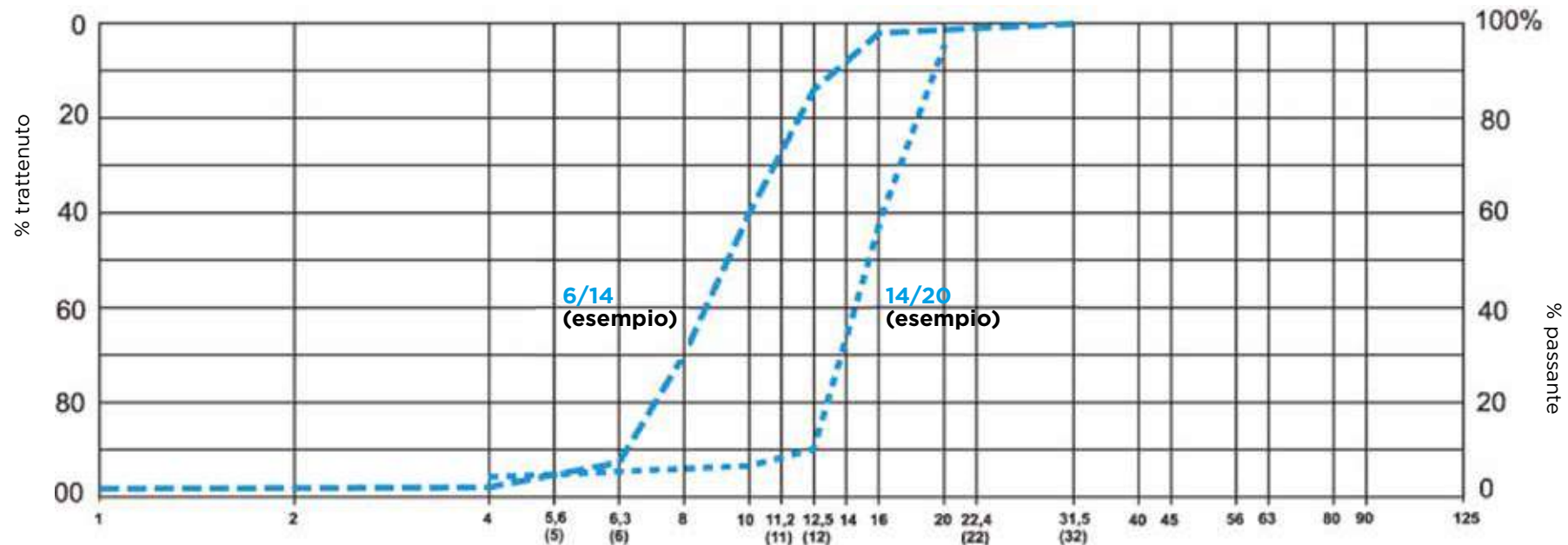
Troppi aggregati grossi



Una frazione mancante:
non adatta per alcuni tipi di calcestruzzo

La curva granulometrica e il fuso permettono di valutare in un solo colpo d'occhio la qualità di una composizione.

GRANULOMETRIA aperture di setacci normalizzati



'BASIC SET' (BS) (serie di base)

1 2 4 8 16 32 63

'BASIC SET' + SET 1 (serie di base + serie 1)

1 2 4 5 8 11 16 22 32 45 56 63 90

'BASIC SET' + SET 2 (serie di base + serie 2)

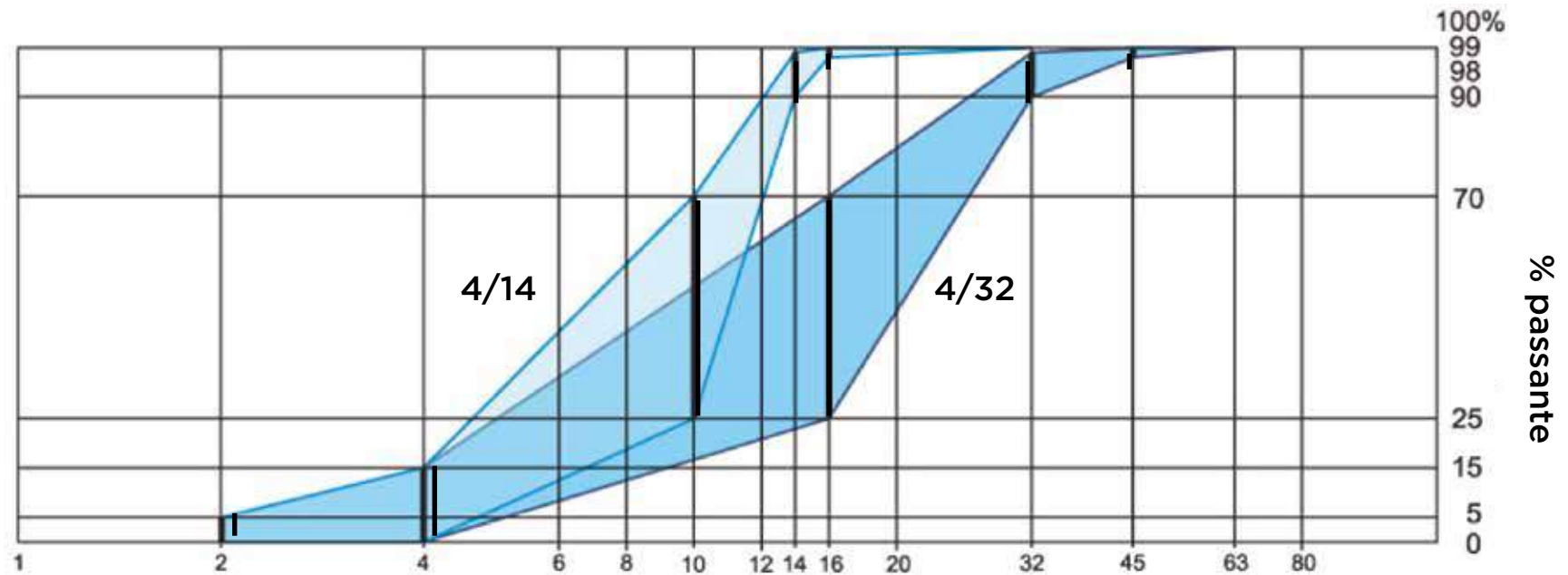
1 2 4 6 8 10 12 14 16 20 32 40 63 80



Non combinare le serie di setacci!

GRANULOMETRIA

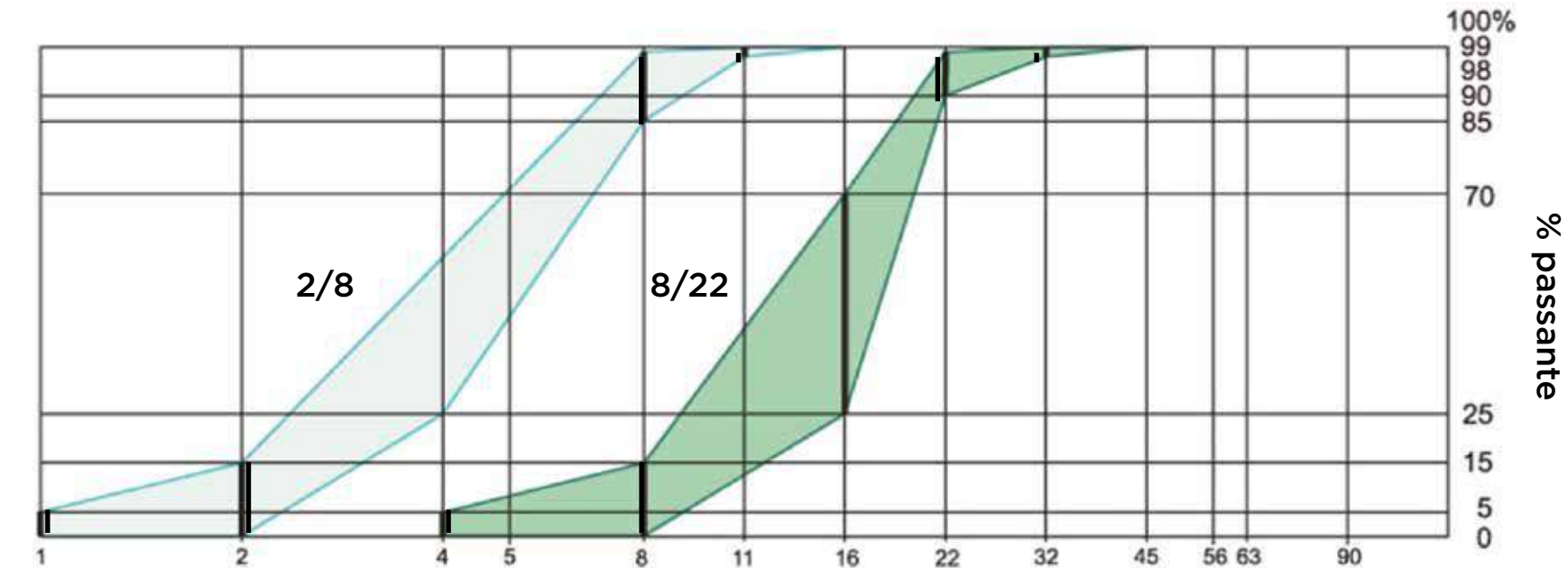
fusi di classi granulari ricorrenti



(BS + Set 2)



GRANULOMETRIA fusi di classi granulari ricorrenti

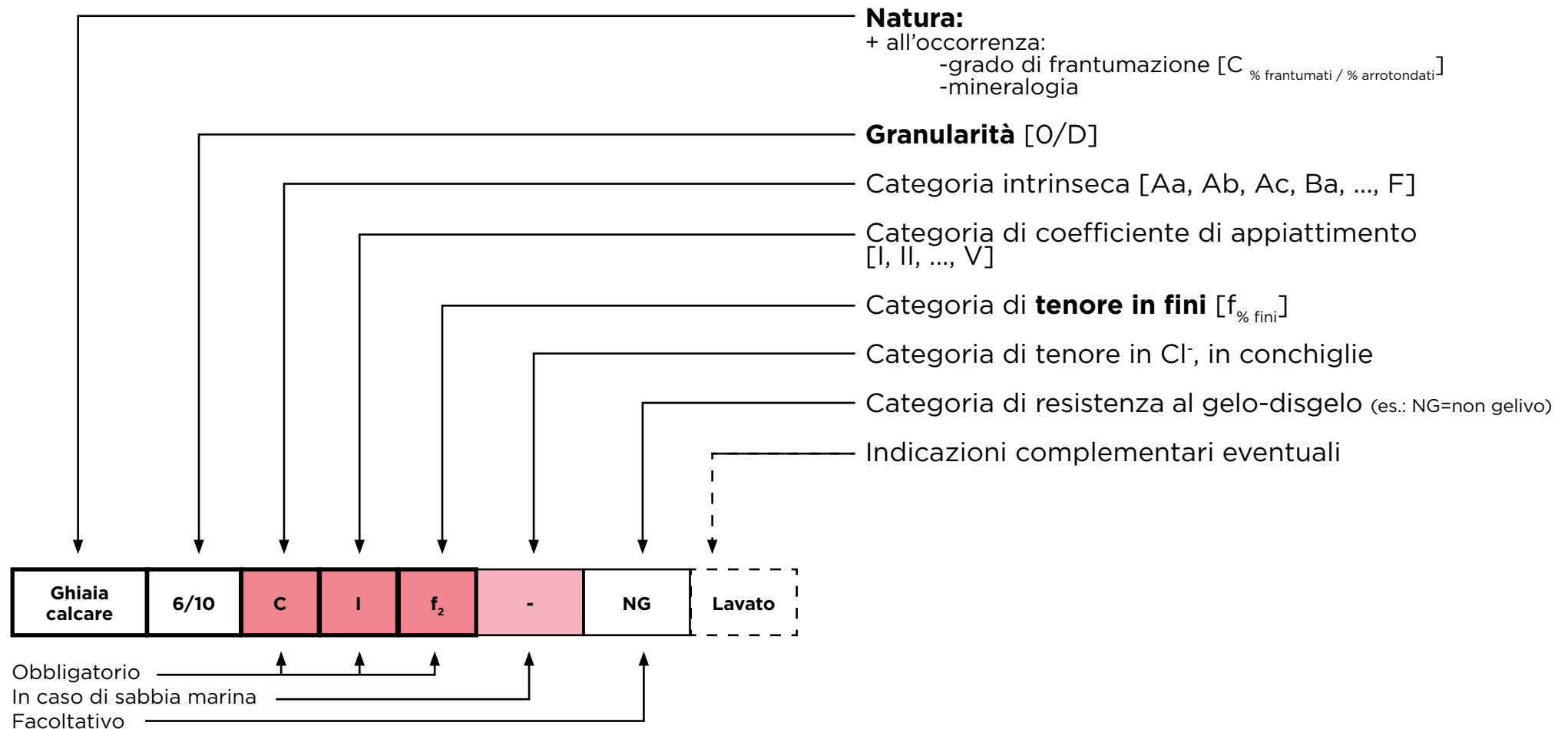


(BS + Set 1)



Esempi di aggregati di cava.

01 - nomenclatura



02 - granulometria

(in generale: le % di passanti attraverso i setacci $d/2$ - d - $D/1,4$ o $D/2$ - D - $1,4D$ - $2D$)

(fiume, mare)



'sabbie tonde'
(generalmente silicee)

(fossa)



(cava di roccia o di ghiaia)

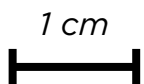


'sabbie di frantumazione'
(differenti 'nature mineralogiche':
calcari, arenarie, porfidi, ...)

(detriti di costruzione
da demolizione)



'sabbie miste'



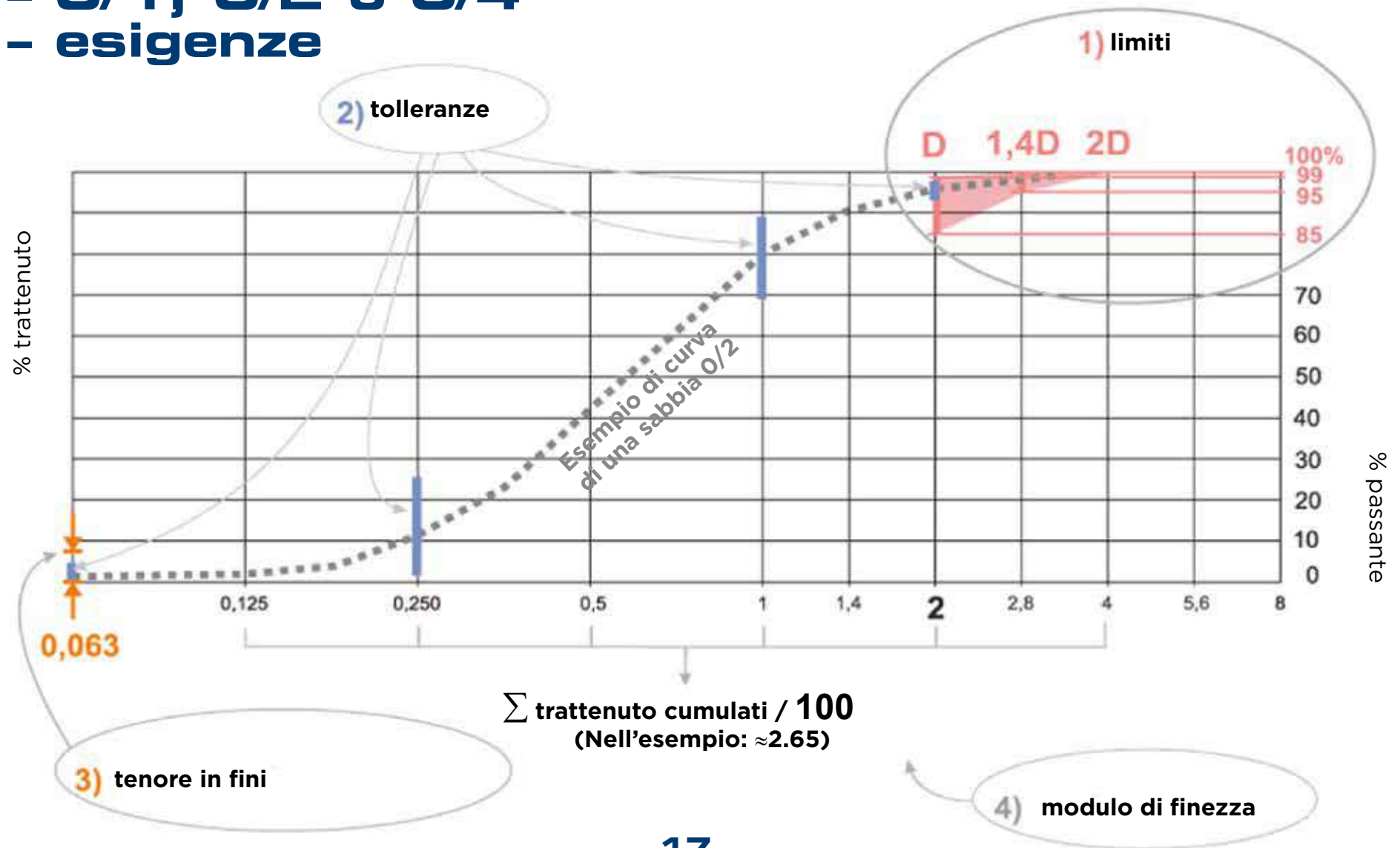
QUALITÀ DEI FINI (<0.063 mm)

- Prova per determinare il **'valore di blu di metilene' (MB_F)**
- Categorie di **pulizia** (più il valore di MB_F è grande, meno i fini sono puliti)

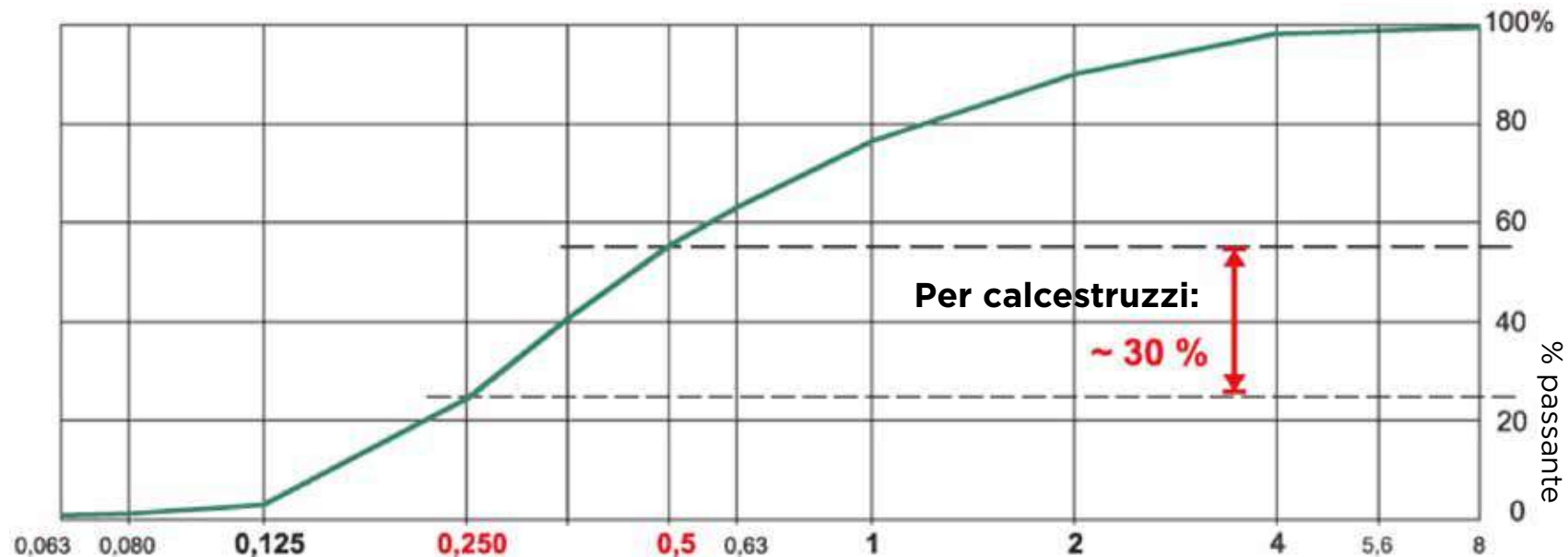
La sabbia rappresentata qui è monogranulare. Per questo motivo non è adatta a priori per fare calcestruzzo.

GRANULOMETRIA

- 0/1, 0/2 o 0/4
- esigenze



GRANULOMETRIA esempio



Sabbia fine



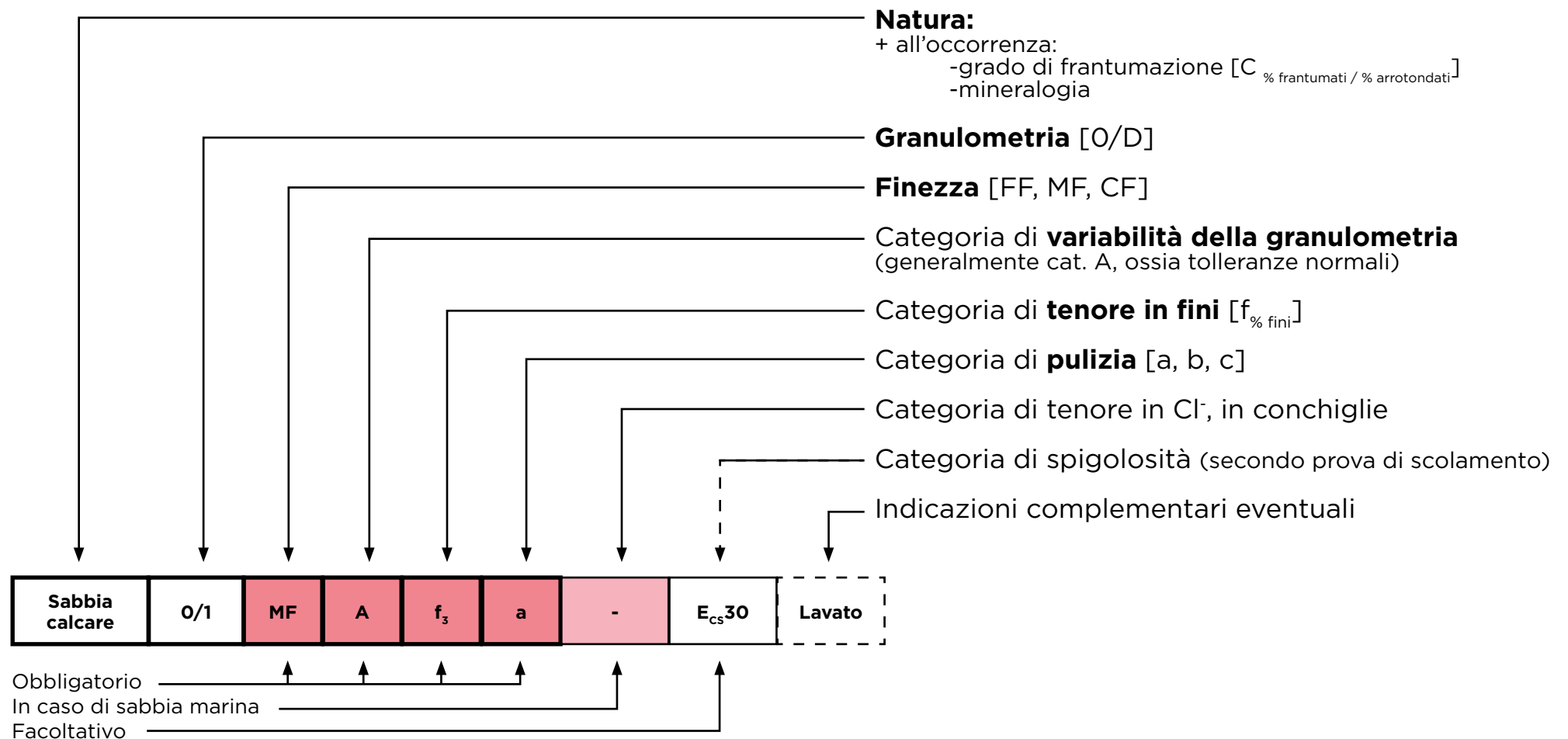
Sabbia di calcestruzzo



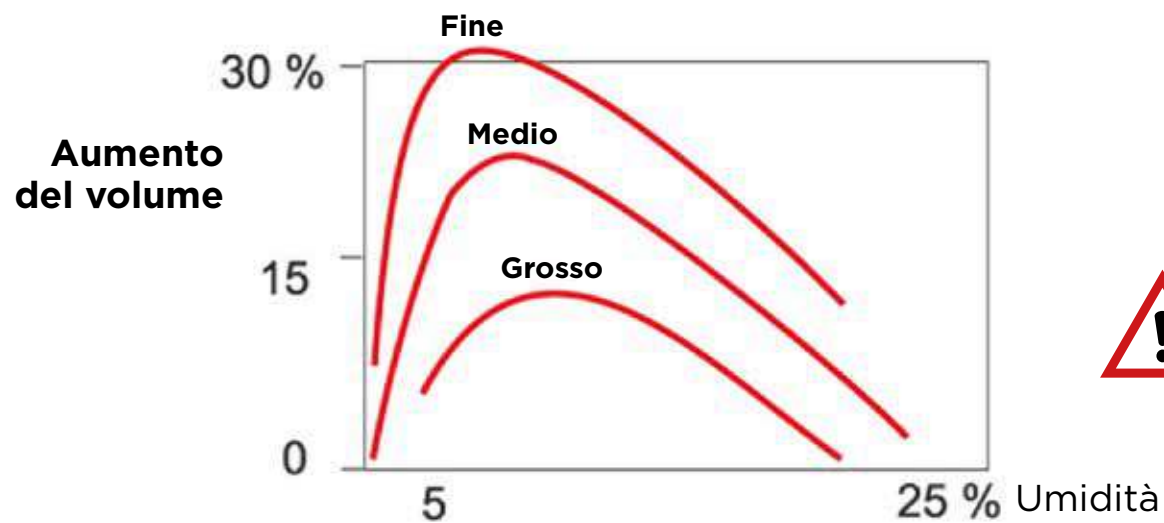
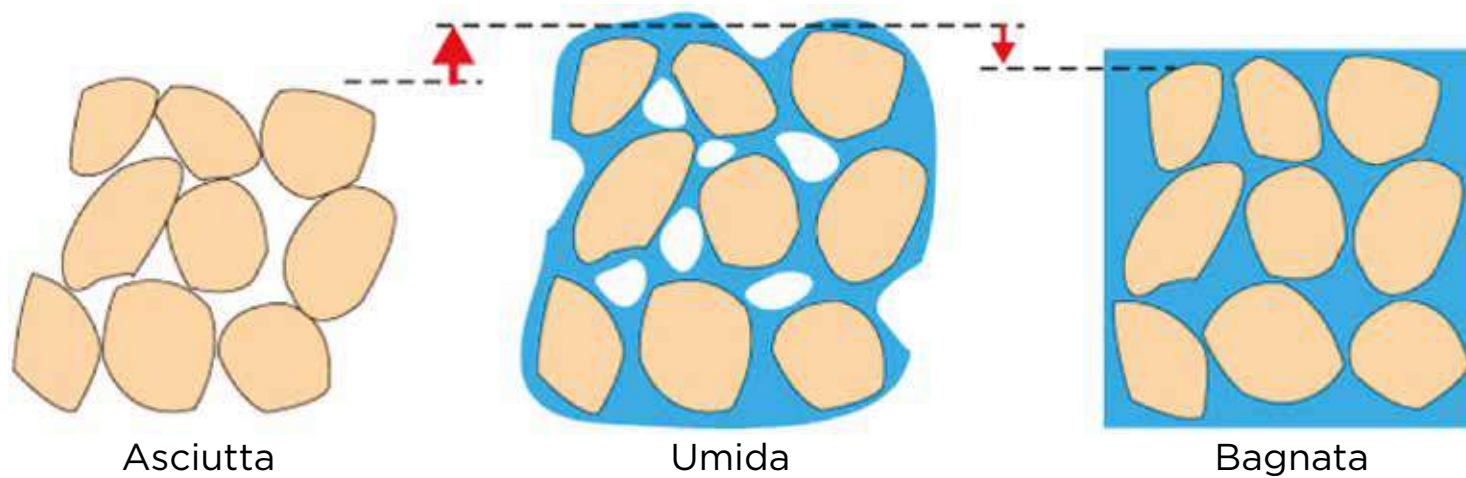
Sabbia grossolana

La sabbia da fine a media è adatta per le malte da muratura interna. La sabbia media è impiegata per malte da muratura esterna e per gli intonaci. Alcuni tipi di calcestruzzo necessitano l'impiego di una quantità minima di fini, ossia ≤ 0.250 mm ("filler" o farina, d'origine non argillosa),

01 - nomenclatura

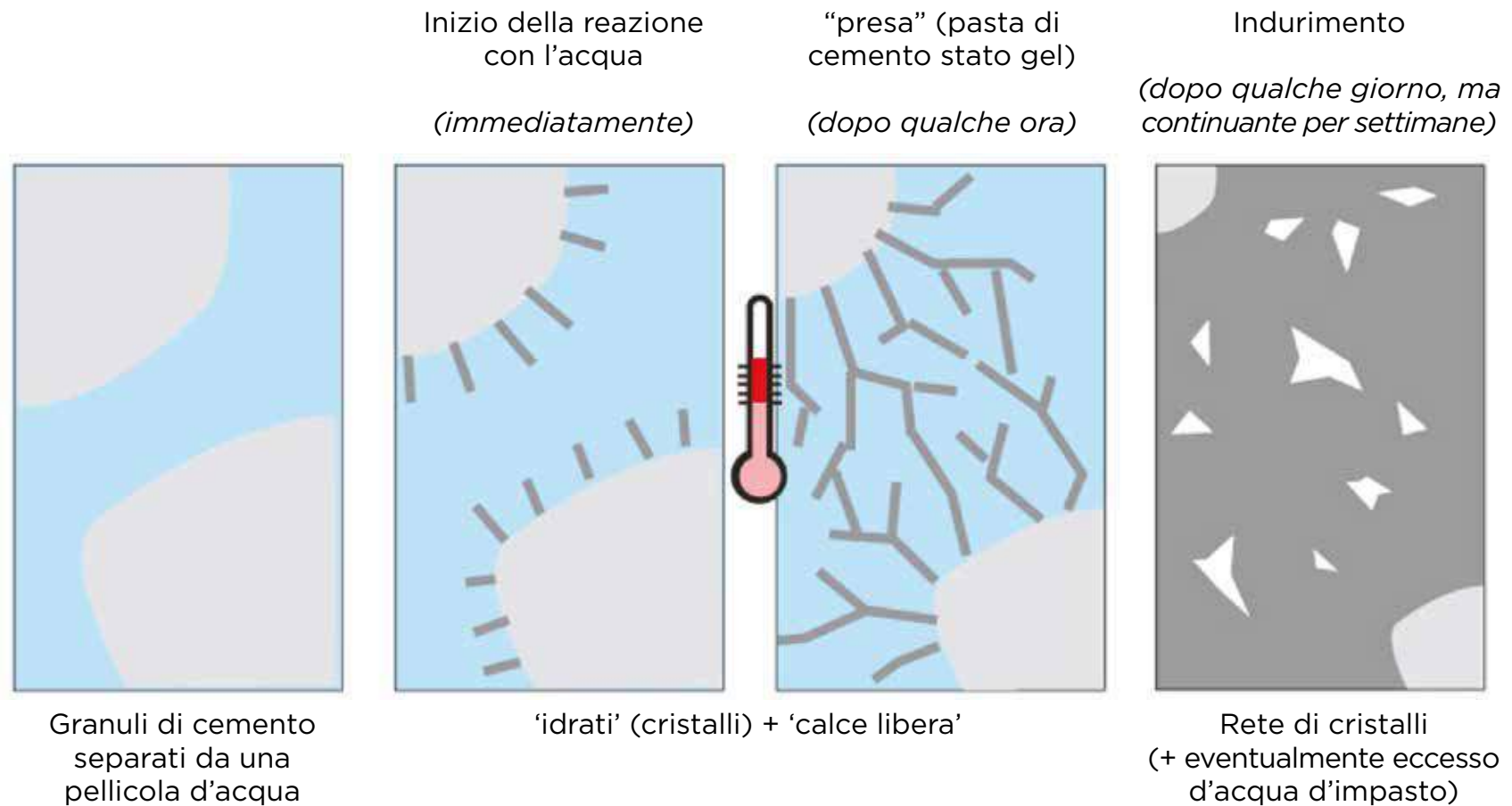


02 - granulometria (le % di passanti attraverso i setacci 0,125 - 0,25 - 0,5 - 1 - 2 - D - 1,4D - 2D)



Attenzione in caso di dosaggio in volume!

La sabbia e soprattutto la sabbia fine, si gonfia quando bagnata. L'aumento di volume raggiunge un massimo per un tasso di umidità del 5% (percentuale della massa di sabbia asciutta).



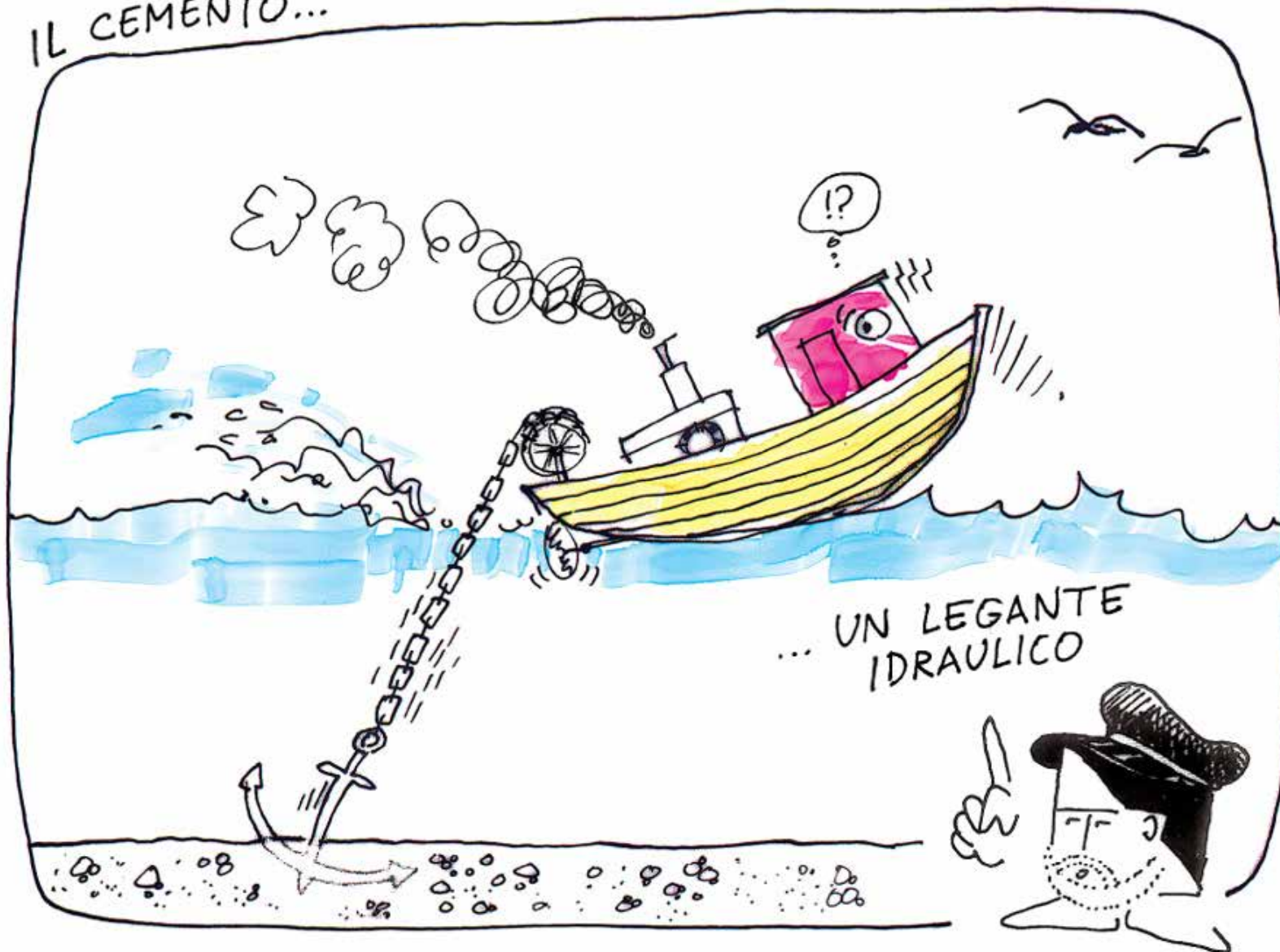
1 / 10.000 cm



Influenza di temperatura e umidità ambientali!

Il cemento è un legante idraulico: la reazione chimica tra la polvere di cemento e l'acqua produce un minerale artificiale insolubile. Più i granuli di cemento sono fini, più questa reazione (idratazione, formazione di idrati) avviene rapidamente. L'idratazione è una reazione esotermica, ossia che sviluppa calore. L'indurimento ha luogo sia all'aria che sotto l'acqua.

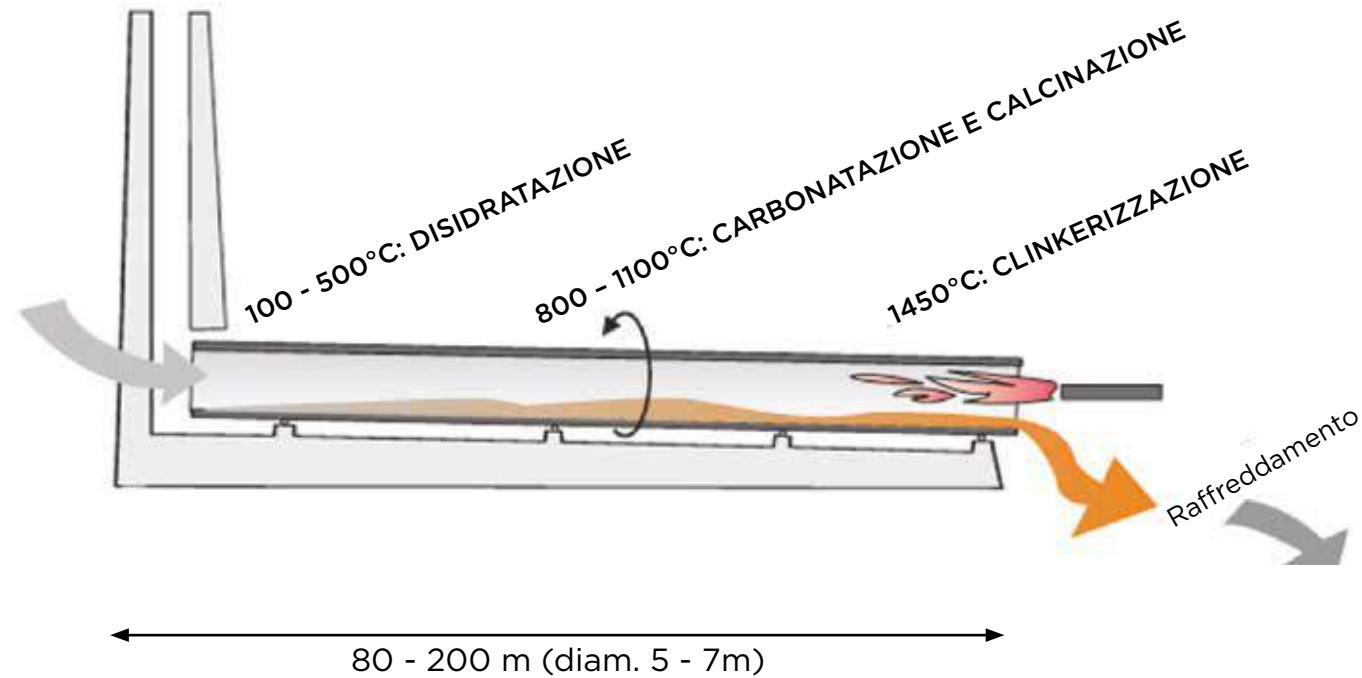
IL CEMENTO...



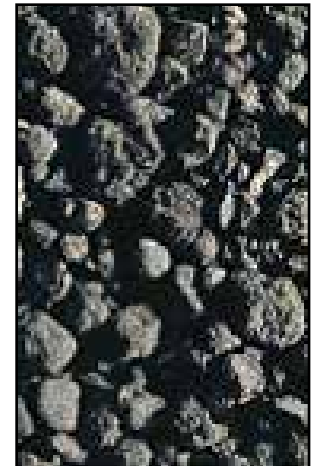
Miscuglio
delle materie
prime ('crudo'):
calcare/gesso
scisto/argilla

Forno per cemento (principio)

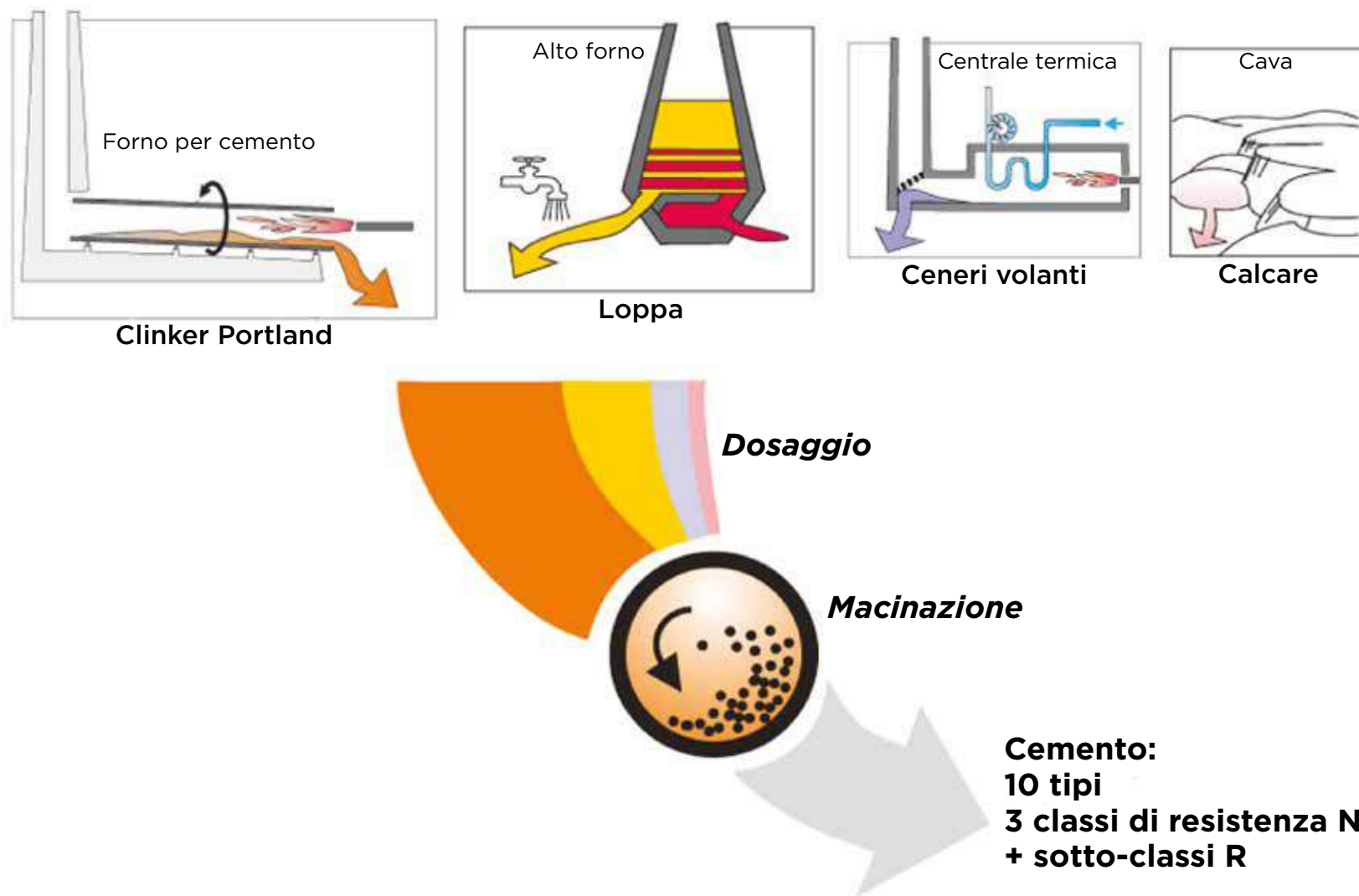
polvere
(*'via asciutta'*)
O pasta
(*'via umida'*)



**Clinker
portland**



Un forno per cemento serve a fabbricare clinker Portland, uno dei costituenti principali del cemento. Il clinker possiede caratteristiche fortemente idrauliche. È ottenuto tramite cottura di un miscuglio di materie prime accuratamente dosate e contenenti ossido di calcio, silice, alluminio e ferro. Essendo il 65% degli ossidi richiesti contenuti in rocce calcari, le cementerie sono situate nei paraggi di cave di calcare e di gesso.



Il cemento è il miscuglio finemente macinato di clinker e uno o più dei costituenti principali seguenti:

- loppa di alto forno: costituente idraulico latente, ossia la cui idratazione deve essere attivata. Il ruolo di "attivatore" è del clinker di Portland.
- cenere volante: costituente pozzolanico, ossia che reagisce con la calce liberata dall'idratazione del clinker
- calcare: costituente inerte. Interviene fisicamente come fluidificante nel calcestruzzo fresco.

(NB: il solfato di calco, ad es. il gesso, è un regolatore di presa. È presente in tutti i cementi.)

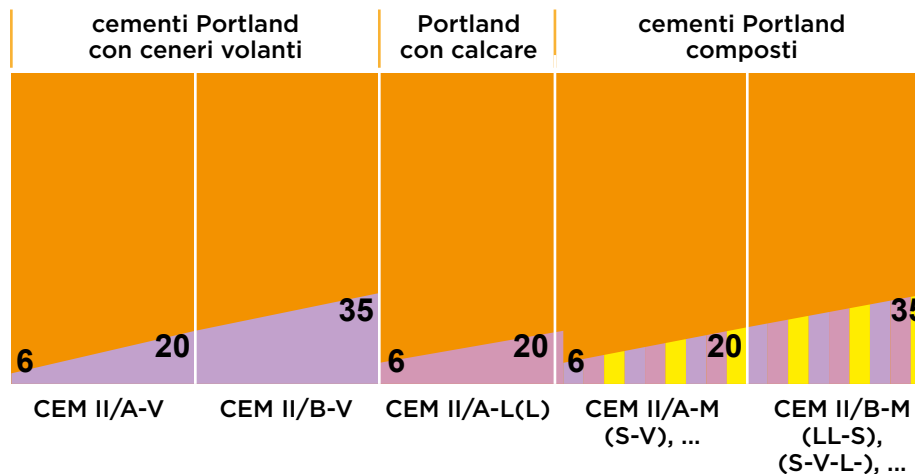
I cementi comuni

CEM I

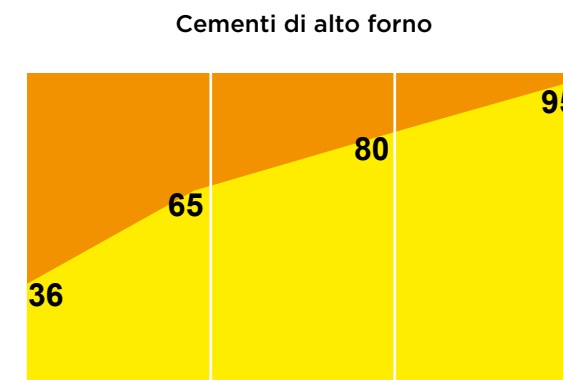


CEM I

CEM II



CEM III



CEM III/A

CEM III/B

CEM III/C

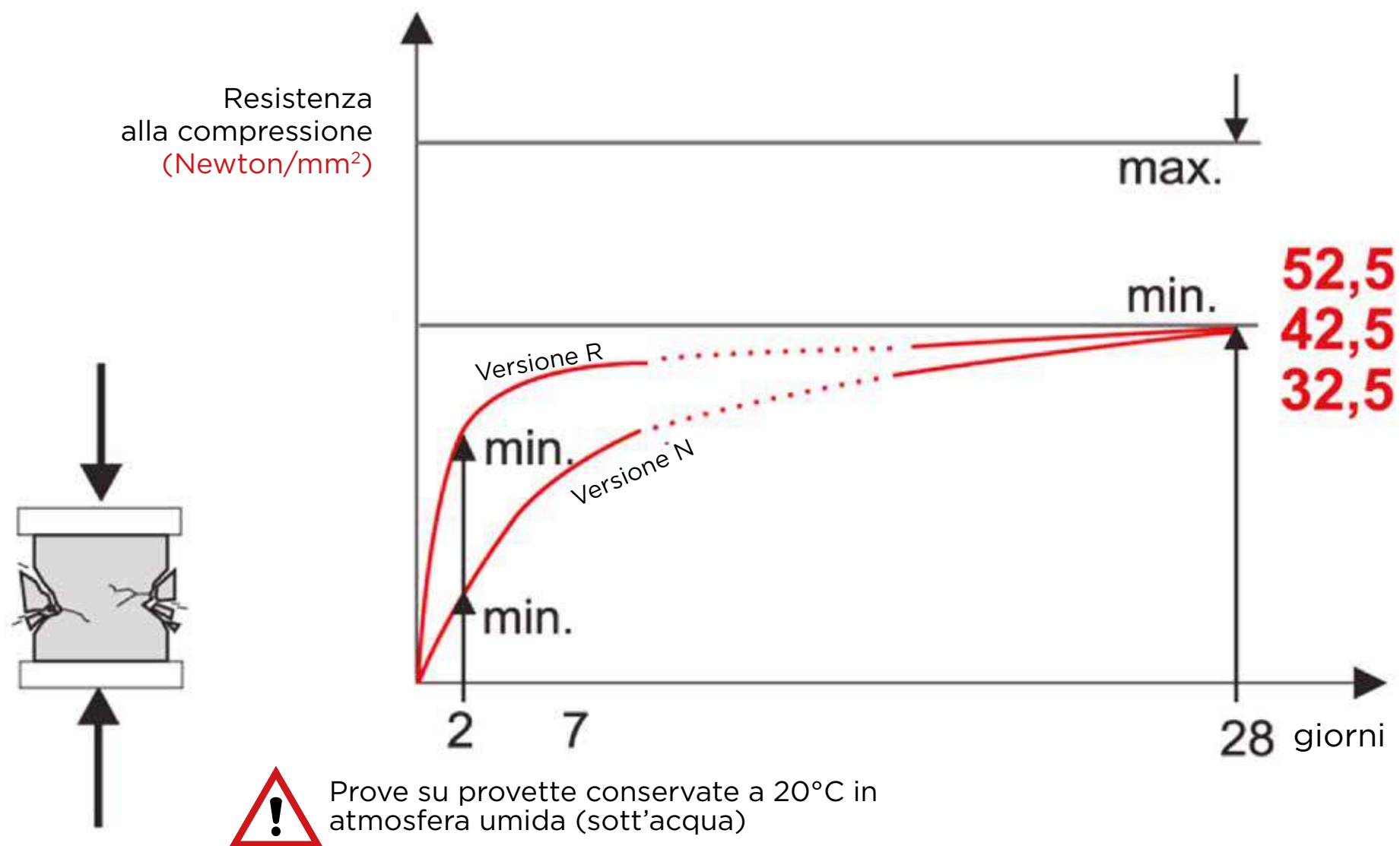
CEM V



CEM V/A (S-V)

- Clinker Portland (K)** (calcare cotto nel forno per cemento: costituente idraulico)
- Loppa di alto-forno (S)** (prodotto residuo dall'industria siderurgica: costituente idraulico)
- Ceneri volanti silicee (V)** (prodotto residuo dalle centrali termiche alimentate a carbone: costituente pozzolanico ossia reagente con la calce libera)
- Calcare (L o LL)** (materiale estratto dalle cave)
- + solfato di calcio** (gesso o anidrite: regolatore di presa)

Secondo la loro composizione, i cementi sono divisi in diversi "tipi". La loro conformità alle norme europee EN 197-1 è attribuita dalla marcatura CE.



La composizione e la finezza di macinazione di un cemento determinano lo sviluppo della sua resistenza. In funzione di questa evoluzione, i cementi sono divisi in “classi di resistenza”. Queste corrispondono a dei livelli di prestazioni minime (e massime) a 28 giorni. In ogni classe, e seguendo le prestazioni alle brevi stagionature, una distinzione è fatta tra la versione N (normale) e la versione R (rapida).

CEM I 52,5 N

= cemento Portland - classe di resistenza 52.5

CEM II B-M (S-V-L) 32,5 N

= cemento Portland composito contenente loppa,
ceneri volanti e del calcare - classe di resistenza 32.5

CEM II/A-V 32,5 R

= cemento Portland alle ceneri volanti - classi di resistenza 32.5 -
resistenze iniziali elevate

CEM III/A-V 42,5 R

= cemento di alto forno A - classe di resistenza 42.5

CEM V/A (S-V) 32,5 N

= cemento composito contenete loppa e ceneri volanti - classe di resistenza 32.5

Qualche esempio di designazione di cementi e loro significato, conformi alla norme europea EN 197-1.

Condizioni “normali”

- tempi normali di scasseratura, sformatura e/o messa in opera
- temperatura ambiente media (10 a 15°C)
- assenza di agenti aggressivi (solfati), di sali antigelo
- opere con massa comune (spessore $\leq 50\text{cm}$)

	CEM I	CEM II/A-...	CEM II/B-...	CEM III/A	CEM III/B	CEM III/C	CEM V/A
classe 32,5							
classe 42,5							
classe 52,5							

Legenda:



resistenze medie a 28 giorni

(malte per muratura, calcestruzzi per fondazioni, calcestruzzi fino a C25/30)



resistenze elevate a 28 giorni

(calcestruzzi a partire da C25/30)



resistenze molto elevate a 28 giorni

(alcuni calcestruzzi prefabbricati, precompressi, con resistenze iniziali elevate)

Scasseratura, sformatura, messa in precompressione e manutenzione in fase iniziale: utilizzare le sottoclassi R o una classe di resistenza superiore

In condizioni normali, la scelta del cemento si fa partendo dalla classe di resistenza.

Temperature molto fredde (< 5°C)

	CEM I	CEM II/A-...	CEM II/B-...	CEM III/A	CEM III/B	CEM III/C	CEM V/A
classe 32,5							
classe 42,5							
classe 52,5							

Legenda:

molto adatto

(nel caso di rischio di gelo nelle ore successive al getto: utilizzare la classe di resistenza 52.5R; eventualmente coprire il calcestruzzo con un isolante termico)

meno adatto

(tranne che per malte e calcestruzzi che possono o che devono far presa lentamente)

Con climi freddi, è più indicato utilizzare un cemento con tenore in clinker più elevato.

Temperature molto calde (> 25°C) (+ vento secco)

	CEM I	CEM II/A-...	CEM II/B-...	CEM III/A	CEM III/B	CEM III/C	CEM V/A
classe 32,5							
classe 42,5							
classe 52,5							

Legenda:

molto adatto

(ma sempre stare attenti che il calcestruzzo fresco sia protetto dall'essiccazione:
coprire e/o prevedere un **trattamento**)



meno adatto

(indurimento troppo rapido della pasta di cemento, rischio di fessurazione dovuto al ritiro termico durante il raffreddamento)

Con climi caldi, è più indicato utilizzare un cemento con tenore in loppa di alto forno più elevato.

CEMENTI SPECIALI

Cemento LA (“Low Alkali”)

In caso di rischi di reazione alcali-aggregati (RAG)
ossia quando le 3 condizioni seguenti sono compiute ***simultaneamente***



1. ambiente umido (calcestruzzi inumiditi in continuazione o frequentemente)
2. Presenza nel calcestruzzo di aggregati sensibili agli alcali o di cui la sensibilità agli alcali non è nota.
3. Tenore elevato in alcali del calcestruzzo

Esempio:

CEM III/A 42,5N LA

= cemento di alto forno A – classe di resistenza 42.5 – tenore limitato in alcali



4b7

I cementi “Low alkali” sono i cementi: CEM I LA, CEM III/A LA, CEM III/B LA, CEM III/C LA, CEM V/A (S-V) LA.

CEMENTI SPECIALI

Cemento HRS (“High Sulfate Resisting”)

In caso di presenza di solfati:
calcestruzzi a contatto con acque reflue, suoli selenitici, acqua di mare...

(NB: in caso di concomitanza di rischi di R.A.G. e presenza di solfati: utilizzare un cemento HSR LA)

Esempio:

= cemento di alto forno B – classe di resistenza 42.5 –
alta resistenza ai solfati – tenore limitato in alcali



4b7

I cementi “High Sulfate Resisting” sono i seguenti: CEM I HSR, CEM III/B HSR, CEM III/C HSR, CEM V/A (S-V) HSR.

CEMENTI SPECIALI

Cemento Portland HES (“High Early Strenght”)

Quando il calcestruzzo deve essere scasserato o messo in opera molto rapidamente
(*con resistenze iniziali elevate*)

Esempio:

cemento Portland – classe di resistenza 52.5 – resistenze iniziali elevate



4b7

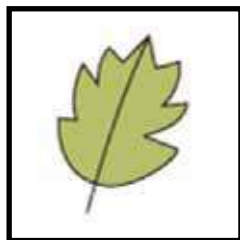
CEMENTI SPECIALI

Cemento LH (“Low Heat”)

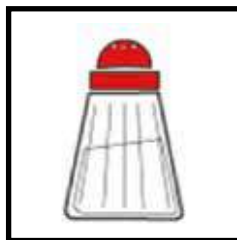
Per calcestruzzi di getti massivi:
opere sviluppate con volumi importanti e spessore > 50 cm (getti massivi)



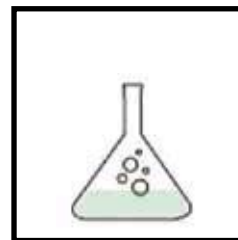
PULIZIA?



Materie
organiche



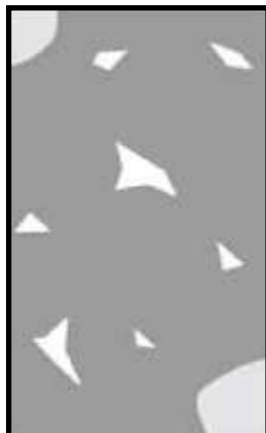
Sali



Acidi

DOSAGGIO?

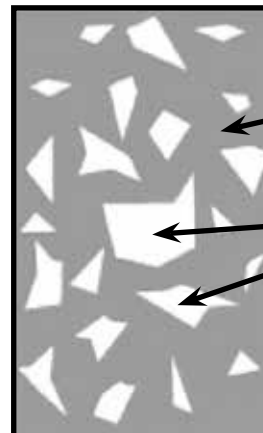
Il minor quantitativo
d'acqua possibile



**Calcestruzzo
indurito compatto!**



Troppa
acqua



**Calcestruzzo
indurito poroso...**

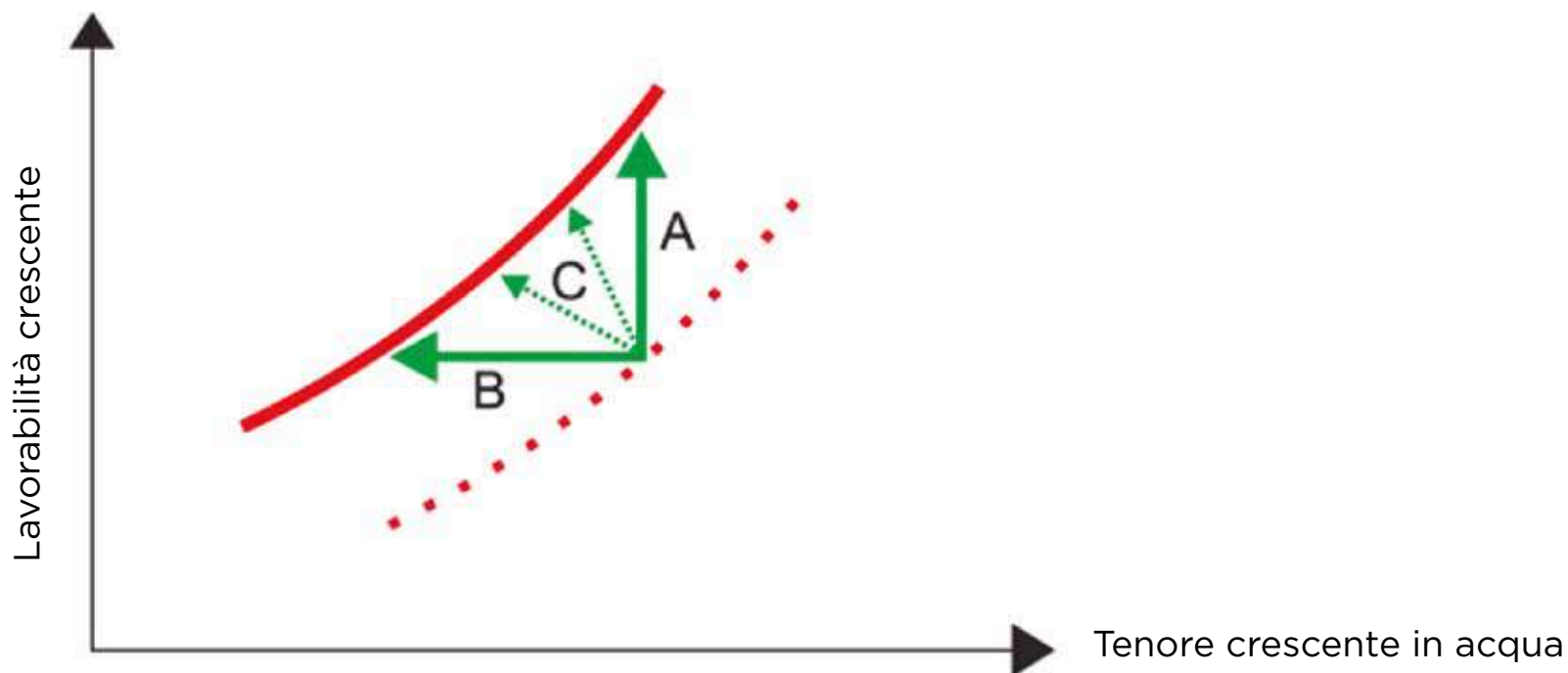
Rete cristallina

Pori larghi



L'acqua potabile di città si adatta perfettamente. Se l'acqua d'impasto proviene da altre fonti, bisogna effettuare un'analisi chimica. In effetti, ne il colore ne l'odore, ne il gusto possono attestare se è adatta. Al momento del dosaggio dell'acqua d'impasto, la totalità dell'acqua interveniente nella miscela deve essere considerata, compresa quella introdotta dagli aggregati, soprattutto dalle sabbie umide.

- Permettono di aumentare la lavorabilità di una miscela di calcestruzzo data senza aggiungere acqua (A)
- Oppure: di ridurre fortemente il tenore in acqua senza modificare la lavorabilità di una miscela di calcestruzzo data (B)
- Oppure ancora: di ridurre il tenore in acqua aumentando in contemporaneo la sua lavorabilità (C)

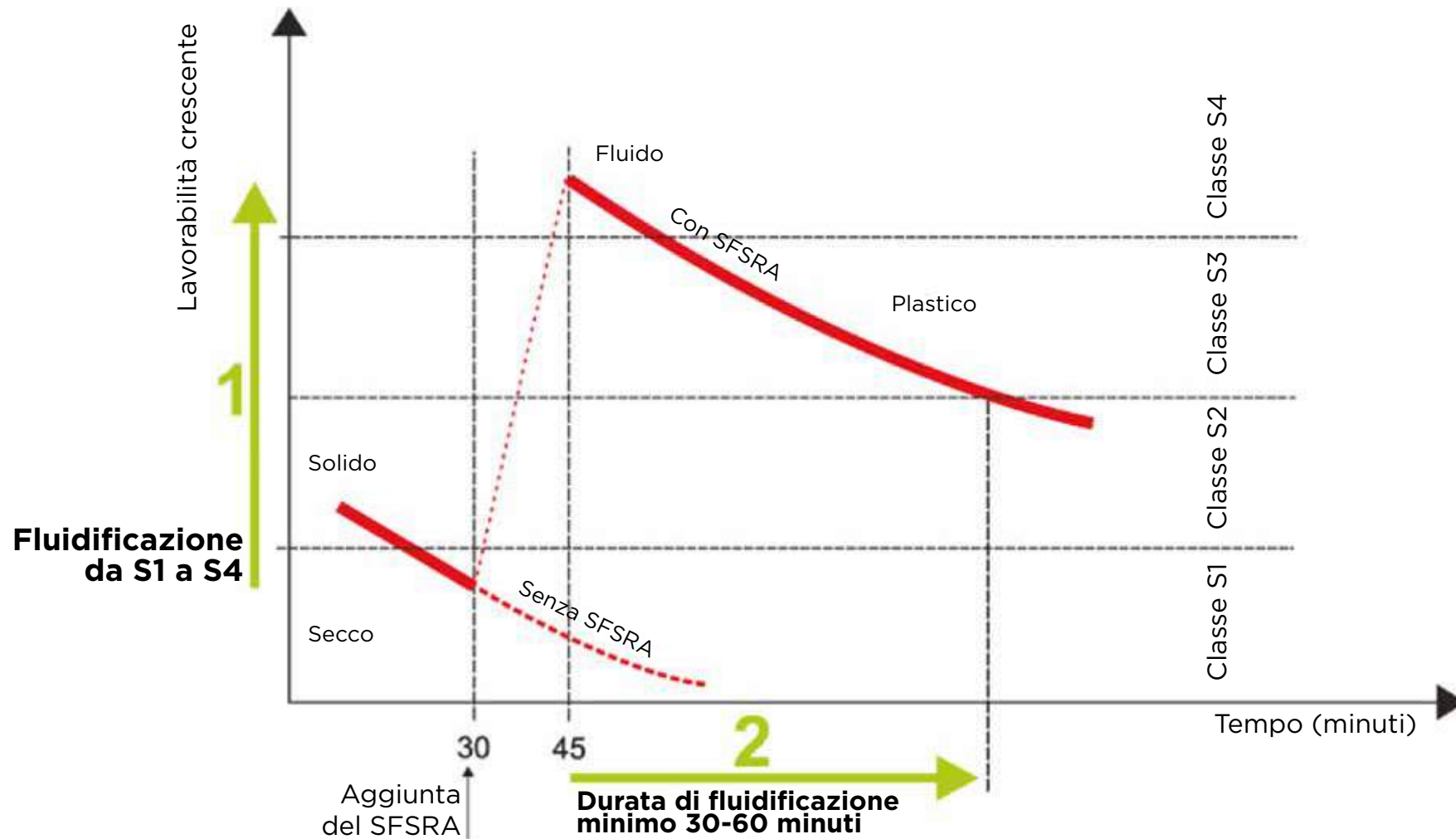


- Dosaggio: variabile a seconda del cemento, degli aggregati e della messa in opera
- Tener conto di eventuali effetti collaterali
(es. sui tempi di presa del cemento, sul tenore in aria del calcestruzzo, ...)

A parità di consistenza (lavorabilità), la quantità d'acqua d'impasto può essere ridotta:

- da 5 a 15 %, con l'impiego di un fluidificante/riduttore d'acqua;
- da 20 a 30%, con l'impiego di un superfluidificante/superiduttore d'acqua.

DUE CRITERI DI EFFICACIA



3c1

I superplastificanti/altamente riduttori d'acqua aumentano la lavorabilità (la "fluidità") del calcestruzzo in un intervallo di tempo e durante un periodo di tempo determinato. Bisogna bene tenere conto di questi dati al momento della progettazione del cassero che rischia di essere sollecitato da forze laterali elevate.

- **Accelerante di presa**

(CaCl₂ e altri - senza cloruri)

4b6



Gli ioni Cl⁻ corrodono l'acciaio

- **Ritardante di presa**

(zuccheri e derivati, nella massa o sulla superficie -nel caso di lacche disattivanti-)

3c1

- **Aeranti**

(aumentano la resistenza al gelo)

4b5



Sono accompagnati da una riduzione delle resistenze...

- **Idrofughi di massa**

(riducono l'assorbimento capillare)

4b3

- **Retentori d'acqua**

(permettono il getto sott'acqua)

- **Agenti schiumogeni**

(calcestruzzi leggeri, isolanti)

- **Pigmenti minerali**

- **Agenti di viscosità**

(calcestruzzi auto-compattanti)

Diversi fattori possono influenzare l'efficacia degli additivi: tipo di cemento, tenore in cemento e fini, tempi di mescolamento, condizioni atmosferiche.

'filler': polvere fine **inerte** ($< 80 \mu\text{m}$) di calcare macinato

- Assicurare la **stabilità** della miscela

Ceneri volanti: polvere fine ($10 \mu\text{m}$, v. cemento) di granuli silicei

- Effetto fluidificante nella miscela fresca ('rotolamenti')
- **Effetto pozzolanico** nel calcestruzzo indurito
(reagiscono con la calce libera -> aumento della compattezza)

Microsilice (fumi di silice, silicafume): polvere ultrafine ($0.1 \mu\text{m}$) di granuli silicei

- Effetto fluidificante sul calcestruzzo fresco
- **Effetto pozzolanico** nel calcestruzzo indurito
(-> compattezza quasi perfetta -> calcestruzzo ad altissime prestazioni)



La presenza di queste polveri minerali fini necessita l'utilizzazione di un (super)fluidificante – (super)riduttore d'acqua.

i "fillers" sono ottenuti con la macinazione di rocce (calcare, arenaria, porfido). Le ceneri volanti sono prodotte al momento della combustione del carbone nelle centrali termiche. Presentano caratteristiche comparabili a quelle delle pozzolane di origine vulcanica. (NB: il termine "pozzolana" deriva da Pozzuoli, città situata nel Sud Italia.)

La microsilice è un prodotto residuale della produzione dell'elemento siliceo e dei legami ferro-silice. È caratterizzata da una pozzolanicità molto elevata.

Norme e Prescrizioni Tecniche:

UNI EN 12620	Aggregati per calcestruzzo
UNI EN 13139	Aggregati per malta
UNI EN 13043	Aggregati per miscele bituminose e trattamenti superficiali utilizzati per la costruzione di strade, aeroporti e altre aree soggette a traffico
UNI EN 13242	Aggregati per materiali non legati e legati per uso idraulico in opere di ingegneria civile e costruzione di strade
UNI EN 197-1	Cemento - Parte 1: Composizione, specifiche e criteri di conformità per cementi comuni Cemento: Cemento ad alta resistenza solfato Cemento: Cemento con un contenuto limitato di alcali Cemento: Cemento Portland ad alta resistenza iniziale
UNI EN 197-2	Cemento - Parte 2: Valutazione di conformità
UNI EN 934-2	Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Parte 2: Additivi per calcestruzzo - Definizioni e requisiti
UNI EN 450	Ceneri volanti per calcestruzzo - Definizioni, requisiti e controllo di qualità

1

componenti del calcestruzzo

2

fare calcestruzzo

3

il calcestruzzo fresco

4

il calcestruzzo indurito

2 fare calcestruzzo

a - *PRINCIPI*

2a composizione del calcestruzzo

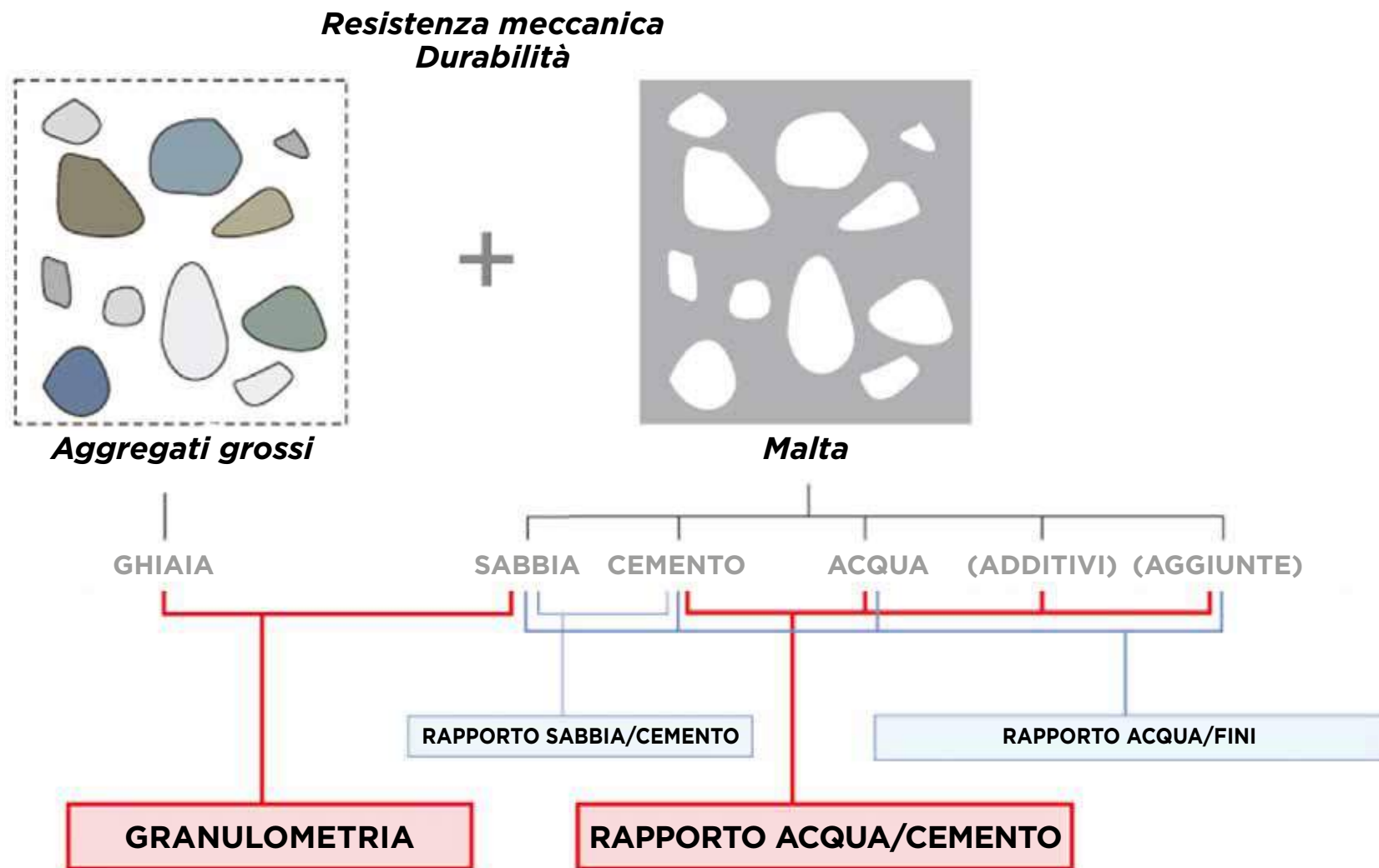
b - *PRATICA*

2b1 specifiche seguenti le norme

2b2 centrali di betonaggio

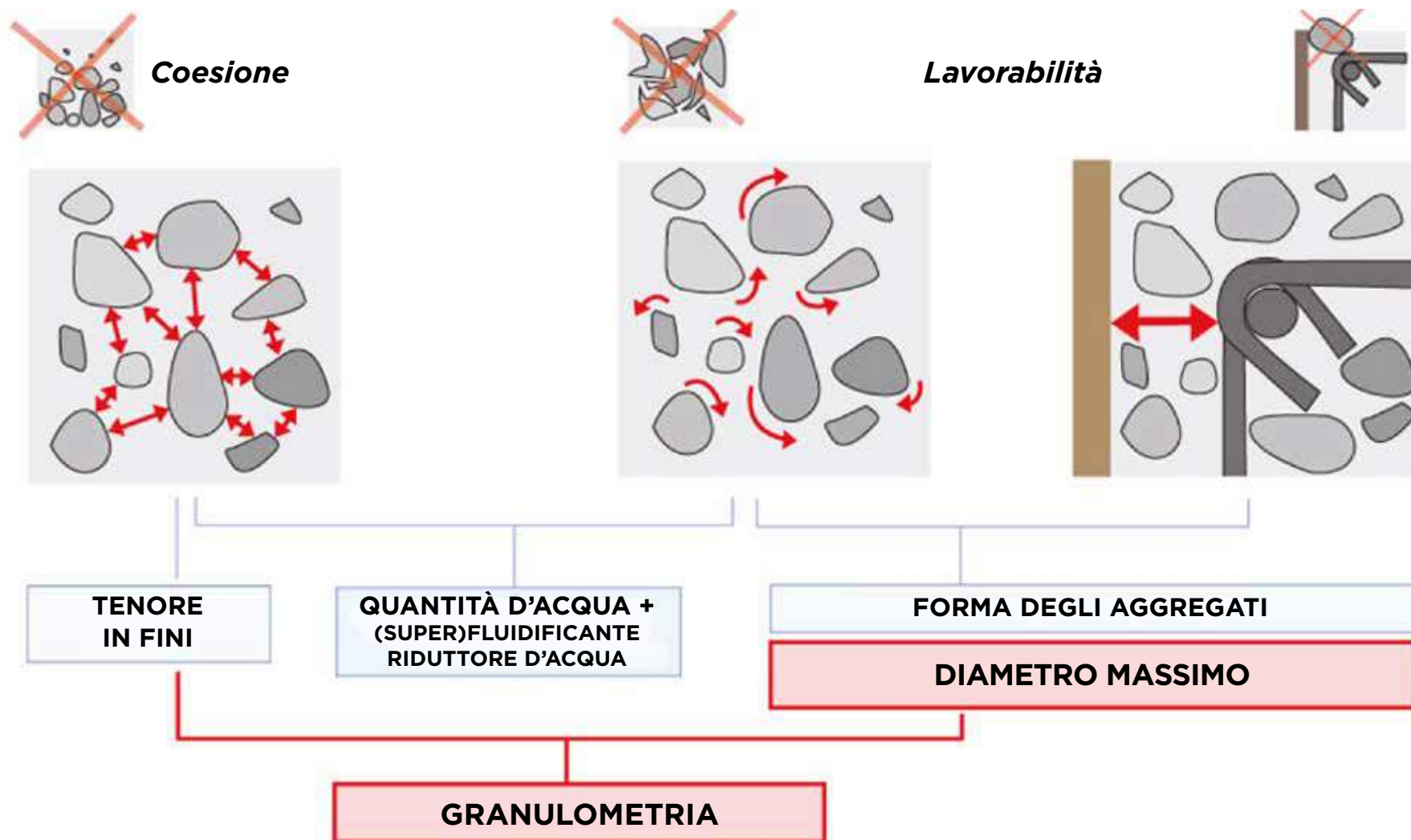
2b3 fabbrica di calcestruzzo
(prefabbricazione)

2b4 cantiere

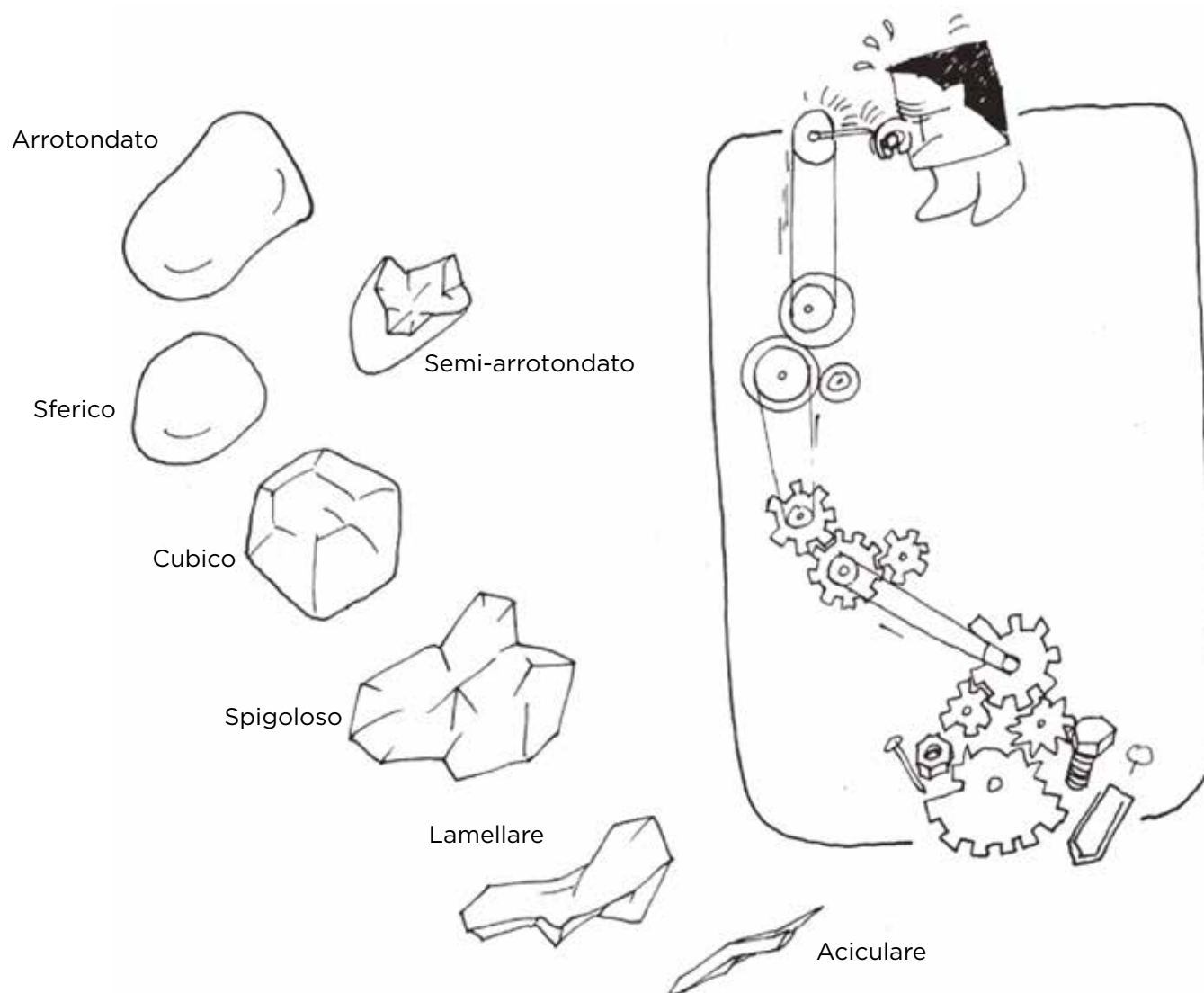


Le esigenze costruttive vertono principalmente sull'opera dopo il suo collaudo, e quindi sul calcestruzzo indurito: resistenza meccanica, resistenza al ritiro, al gelo e agli agenti aggressivi, permeabilità, resistenza al fuoco... Queste esigenze sono fissate dal progettista in accordo con il proprietario. Esistono innumerevoli composizioni di calcestruzzo. La scelta, il dosaggio e le caratteristiche di ciascuna delle componenti si trovano alla base della qualità finale del calcestruzzo. Tuttavia, queste componenti agiscono le une sulle altre. Per questo motivo, la messa a punto di una composizione corretta è generalmente un processo iterativo.

2a composizione del calcestruzzo | esigenze di messa in opera



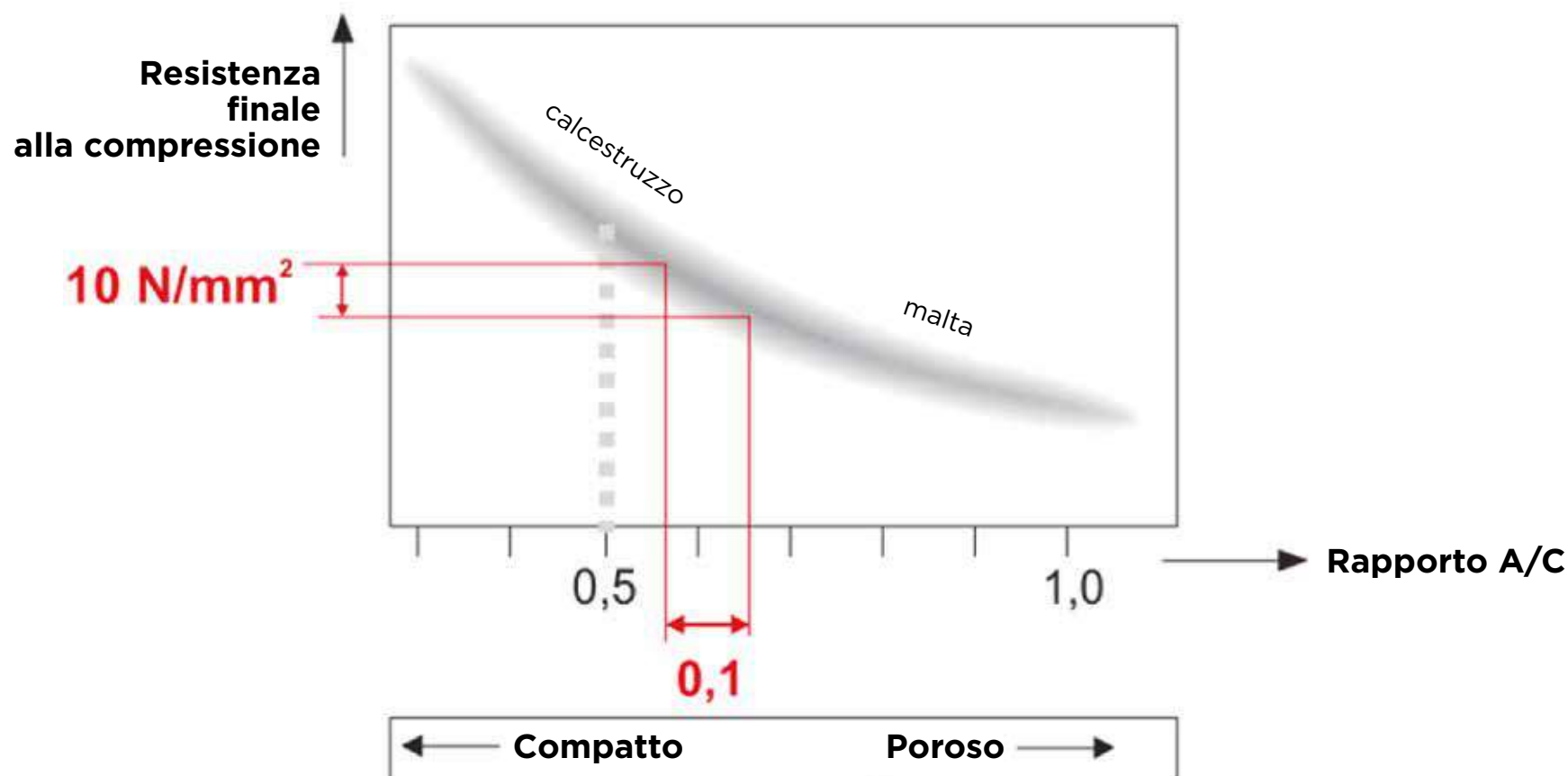
Le esigenze di messa in opera si rapportano al calcestruzzo fresco. Al momento della formulazione di un calcestruzzo, bisogna tener conto della forma della costruzione, della presenza di armature, delle circostanze sul cantiere ecc. A confronto con altri materiali da costruzione, la qualità finale di un calcestruzzo è ugualmente in gran parte tra le mani di colui che esegue il lavoro, ossia l'imprenditore e il suo personale.



La sabbia costituisce, con gli aggregati grossolani, lo “scheletro pietroso” del calcestruzzo indurito. Allo stadio di miscelazione e di messa in opera del calcestruzzo fresco, la sabbia e la pasta di cemento formano tuttavia la malta che svolge la funzione di lubrificante dell’aggregato grossolano.

2a composizione del calcestruzzo | rapporto a/c

! “il più basso possibile!”



La regola essenziale per un calcestruzzo di qualità!

Nella pratica, un rapporto A/C basso corrisponde, a grandi linee, a mezzo litro d'acqua per kilo di cemento, compresa l'umidità degli aggregati (sabbia!) e l'acqua contenuta negli eventuali additivi.

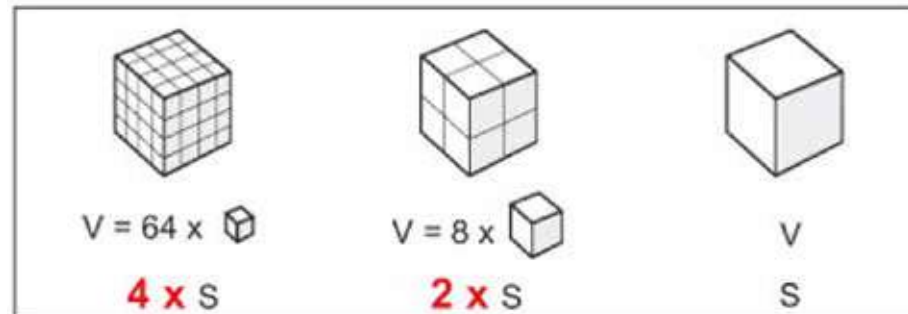
Circa il 28 % di quest'acqua sarà legata chimicamente al cemento, il resto sarà necessaria per facilitare la miscelazione e la messa in opera del calcestruzzo fresco. Qualsiasi eccesso d'acqua racchiuso nel calcestruzzo al momento dell'indurimento porta a una struttura meno compatta del materiale, e quindi a una riduzione delle sue prestazioni meccaniche e della sua resistenza agli agenti aggressivi.

A/C ⇒ il meno acqua possibile ⇒ attenzione alla sabbia fine

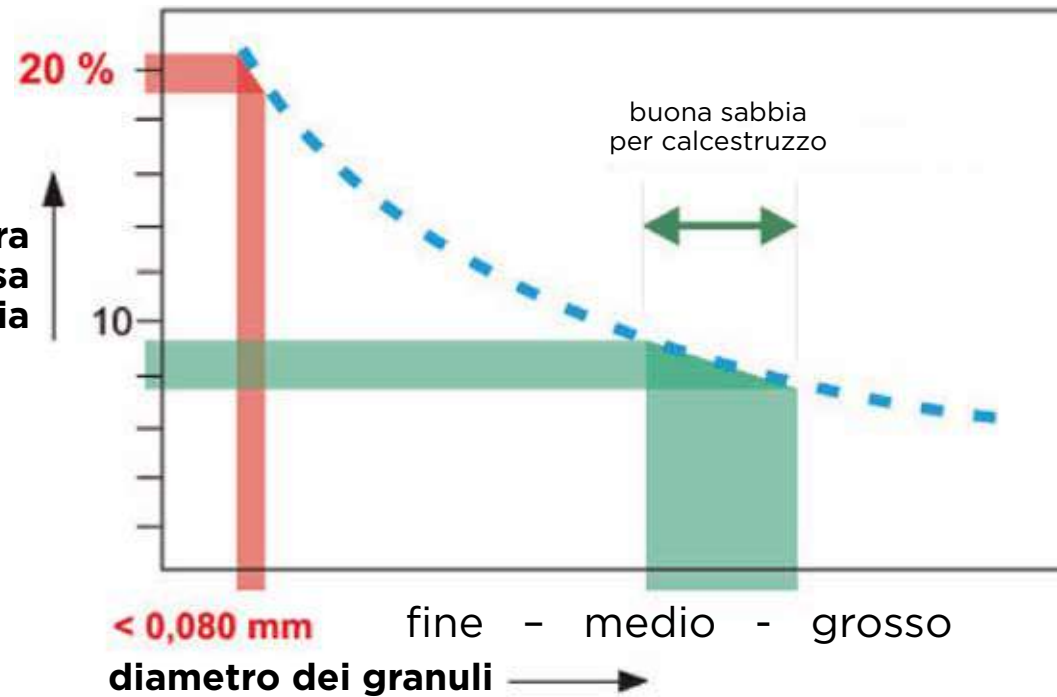


STESSO VOLUME:

SUPERFICIE DIVERSA:



**acqua di bagnatura
in % della massa
della sabbia**



1b

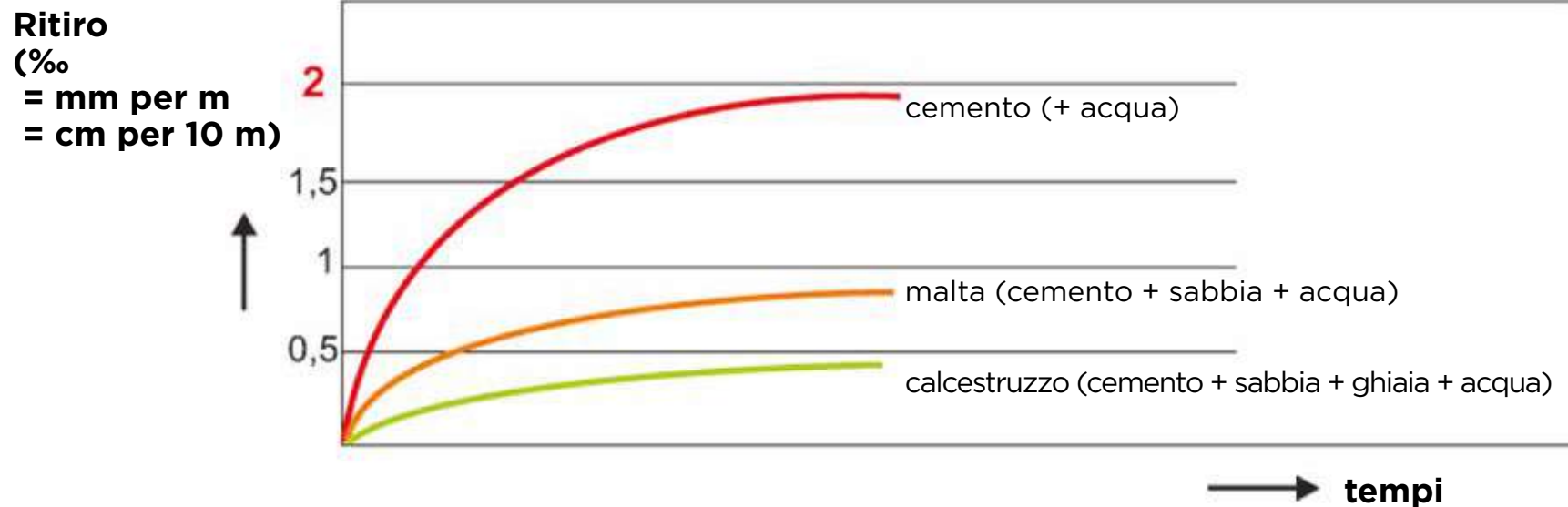
È difficile ottenere un rapporto A/C basso diminuendo la quantità di acqua quando la sabbia contiene molti fini. Infatti serve più acqua per bagnare sabbia fine di quanto ne serva per bagnare la stessa massa di sabbia grossolana.

2a composizione del calcestruzzo | rapporto a/c

$A/C \searrow \Rightarrow$ dosaggio sufficiente in cemento



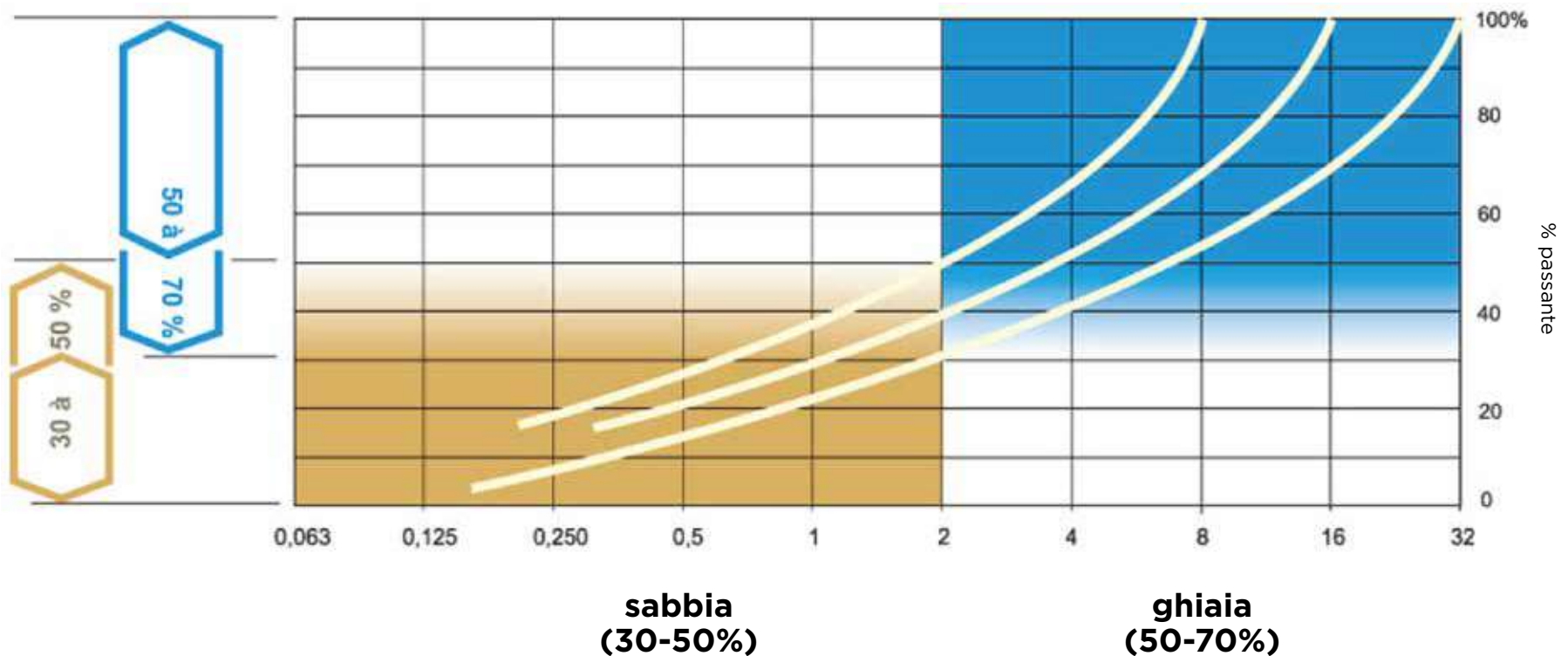
Evitare il sovradosaggio ($< 425 \text{ kg/m}^3$)



4b2

È possibile ottenere un rapporto A/C basso aumentando la quantità di cemento solamente in alcune circostanze, poiché un calcestruzzo con tenore in cemento molto elevato è più sensibile al ritiro.

! “continua e spalmata!”



1a

1b

Una granulometria continua e spalmata significa uno scheletro pietroso (aggregato grosso + sabbia) con:

- 1) Un minimo di vuoti da riempire tra i granuli, ossia una buona gradazione dei granuli, dal più piccolo al più grande;
- 2) Un minimo di superficie da bagnare e da avvolgere, ossia il più possibile di aggregati grossi e di forma compatta (cubo o sfera).

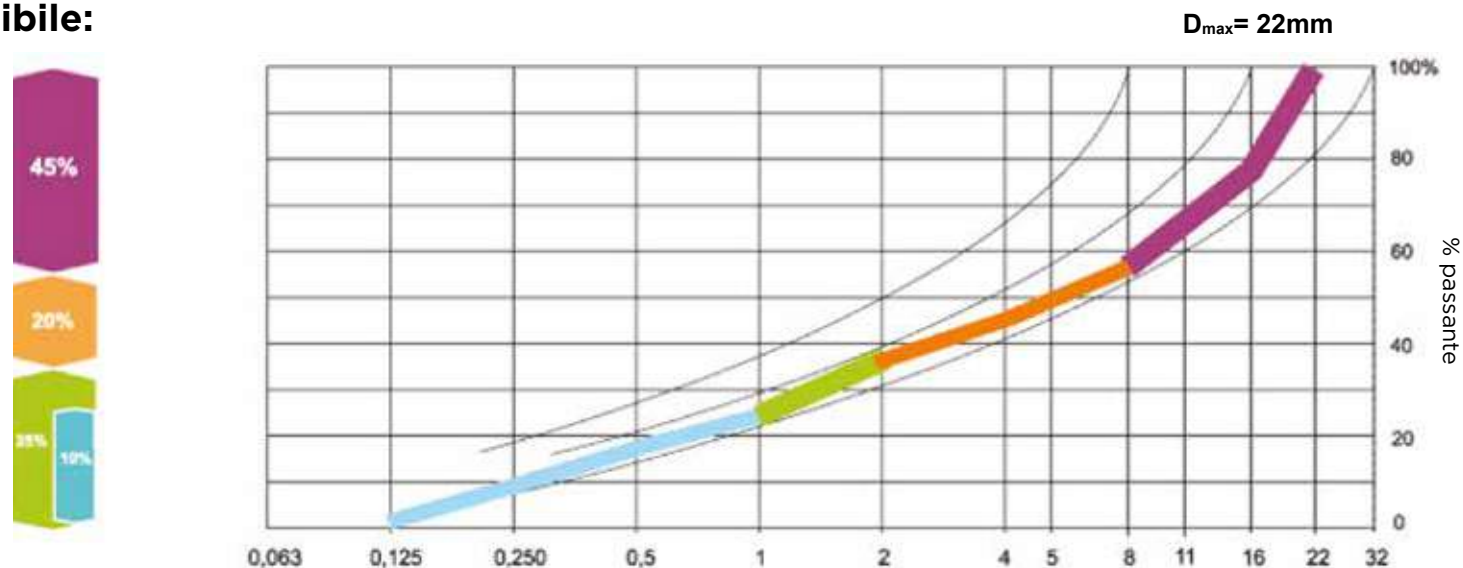
La figura mostra due curve di riferimento di 3 aggregati comuni, di cui il diametro massimo (Dmax) è di 8, 16, 32 mm. Più il Dmax cresce, più la quantità di sabbia (e quindi di malta) diminuisce.

2a composizione del calcestruzzo I granulometria - esempi

Ossia: 4 aggregati disponibili (0/1, 0/2, 2/8 e 8/22)
e loro rispettive curve granulometriche

Domanda: stabilire la granulometria per un calcestruzzo pompabile

Soluzione possibile:



(NB: un calcestruzzo pompabile sott'intende una granulometria continua)

In quest'esempio gli aggregati disponibili sono mescolati nelle proporzioni seguenti:

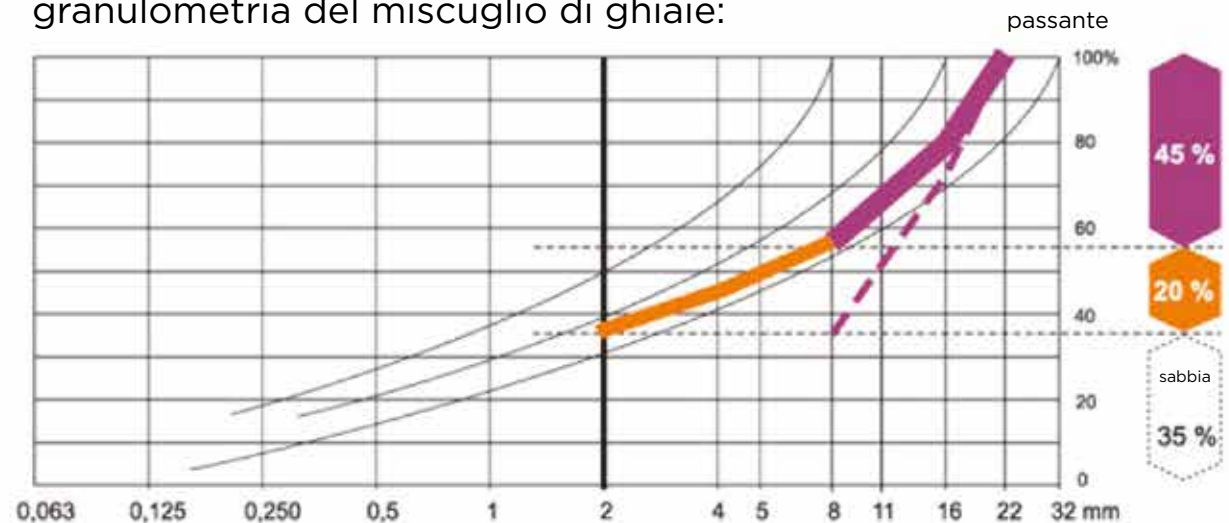
8/22:	45%
2/8:	20%
0/2:	25%
0/1:	10%

Questione classica in una centrale di betonaggio. La figura mostra unicamente una delle numerose soluzioni possibili. Il ragionamento per arrivare a questa soluzione è illustrato nelle pagine seguenti.

granulometrie
delle ghiaie disponibili:



granulometria del miscuglio di ghiaie:



--- ghiaie contenenti unicamente del 8/22
⇒ curva troppo ripida

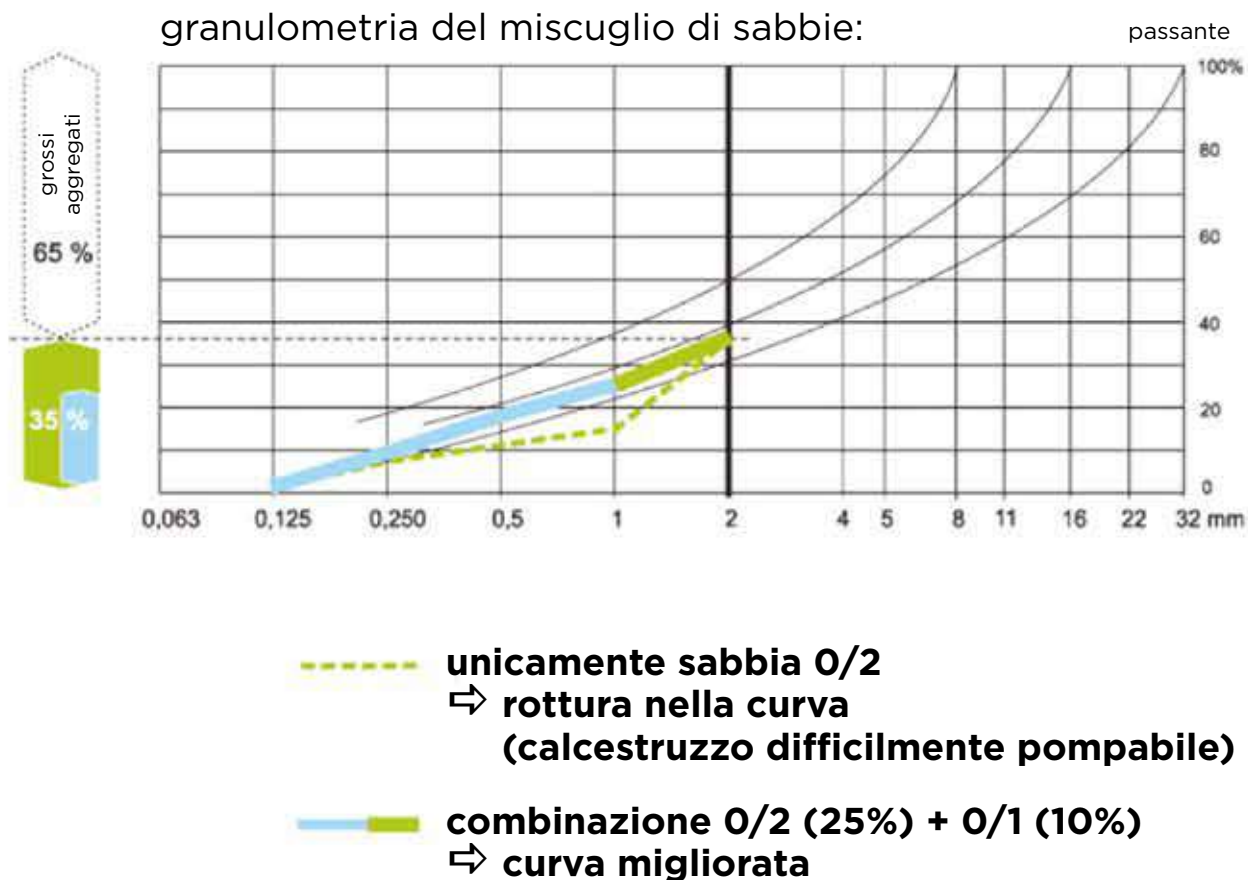
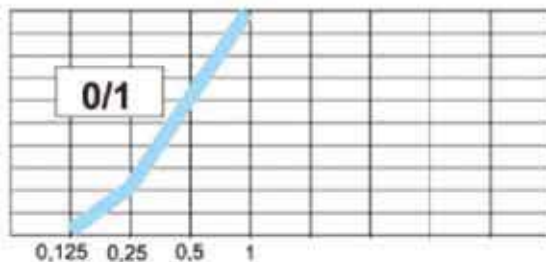
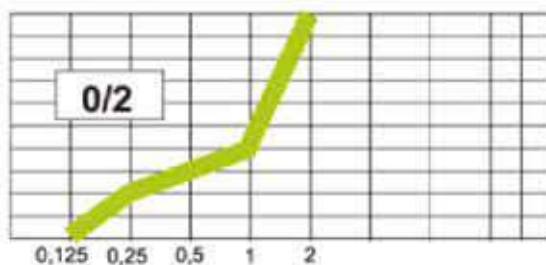
— miscuglio 8/22 + 2/8
⇒ curva migliorata

1a

La figura mostra la soluzione scelta per gli aggregati grossolani. La frazione più grossolana (8/22) è stata fissata a 45%. Così facendo, la combinazione del 2/8 e del 8/22 disponibili avvicina la curva di riferimento inferiore.

2a composizione del calcestruzzo I granulometria - esempi

granulometrie delle sabbie disponibili:



1b

Questa figura mostra la soluzione scelta per la frazione sabbia. La sabbia 0/2 si rivela troppo grossolana. La sua curva granulometrica non corrisponde alla curva di riferimento; la pompabilità del calcestruzzo non è assicurata. La granulometria può essere corretta sostituendo parzialmente la sabbia 0/2 con sabbia 0/1.

Su base di una

composizione

Per m³ di calcestruzzo fornire i dati seguenti:

... kg di aggregati .../...

... kg di sabbia .../...

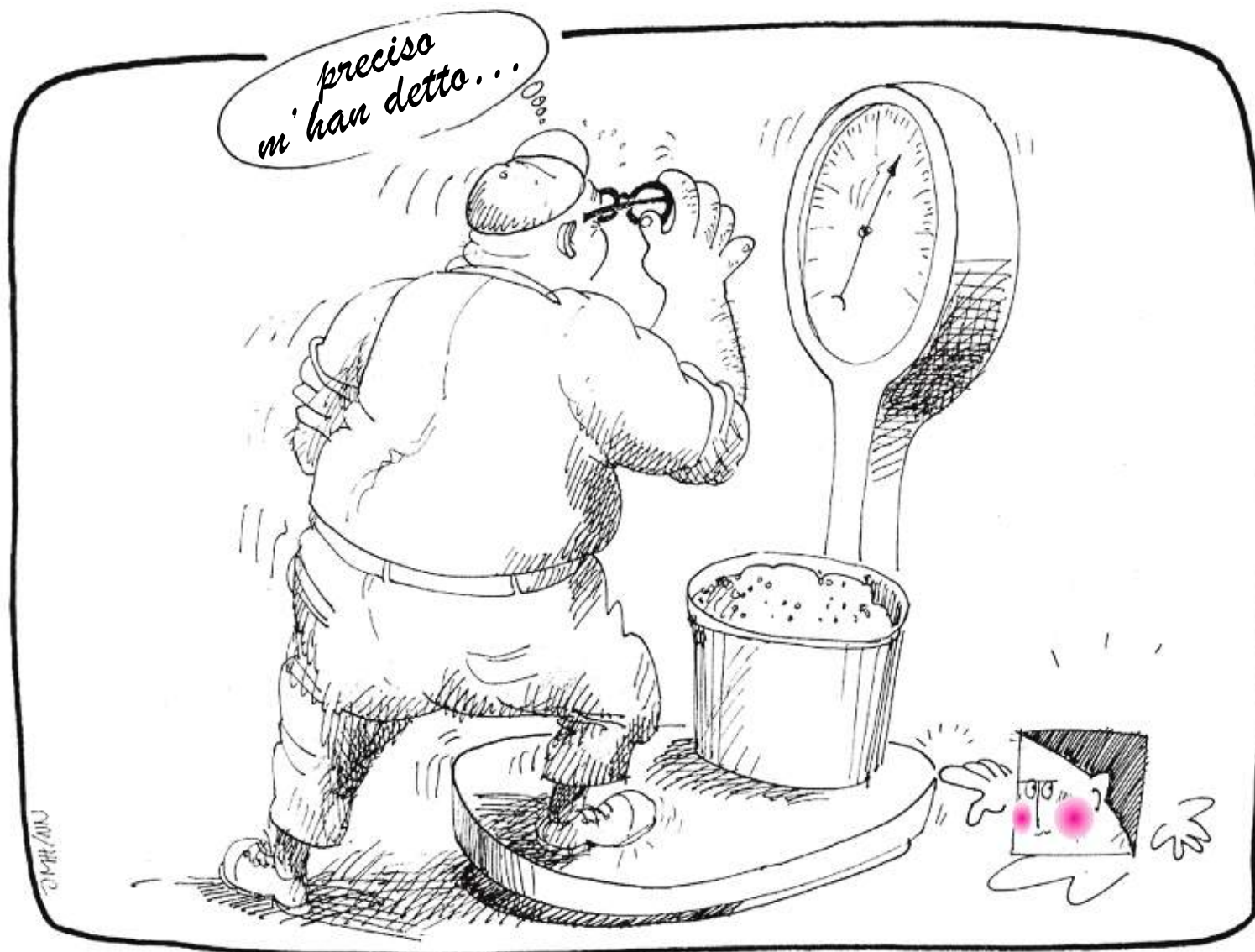
... kg di cemento ...

... litri d'acqua

... (milli)litri di (super)fluidificante....

ecc.

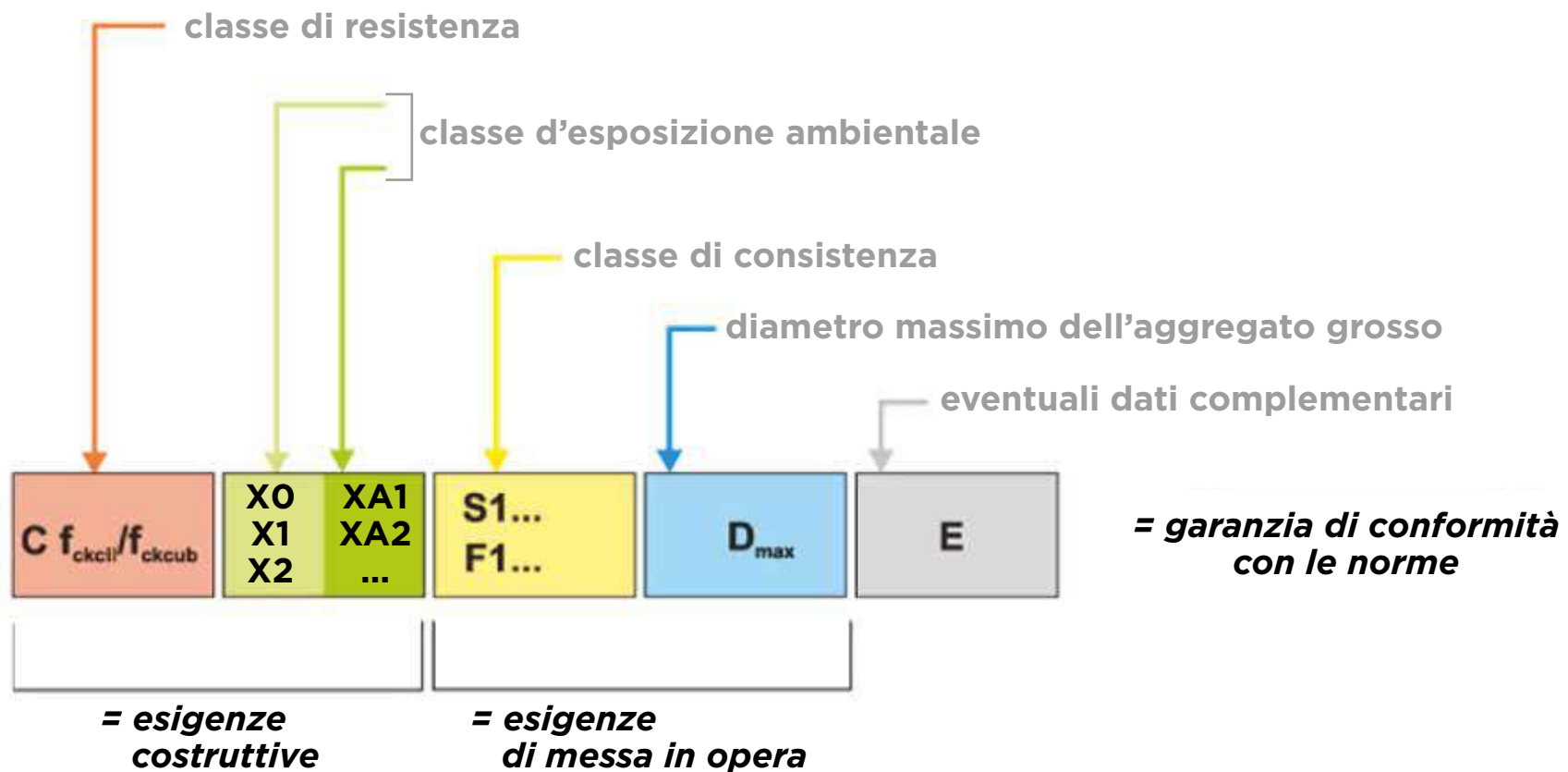
La norma prevede la possibilità di prescrivere un calcestruzzo specificando la sua composizione. In questo caso, il progettista/committente interviene come tecnologo del calcestruzzo, che – consapevolmente – sceglie gli aggregati, la sabbia, il cemento ed eventualmente gli additivi e le aggiunte. Calcola il dosaggio di ciascun componente per m³ di calcestruzzo, fissa il rapporto A/C, ecc. Eventualmente si tiene conto delle circostanze specifiche di messa in opera.



Prescrivere un calcestruzzo specificando la sua composizione - una questione d'esperienza e di savoir faire...

Sulla base di

prestazioni



Seguendo la norma, un calcestruzzo può essere prescritto indicando le prestazioni desiderate ("calcestruzzo a prestazione specifica"). Per fare questo, devono essere specificati quattro dati di base ed eventualmente dei dati supplementari.

2b1 prescrizione di un cls secondo le norme



indicare la
**CLASSE
DI RESISTENZA:**

C f_{ck,cil} / f_{ck,cub}



Resistenza caratteristica misurata
su provini:

- cilindrici o cubici
- dopo 28 giorni
- conservati a 20 ± 2 °C
- sott'acqua o con umidità relativa > 90%

Scegliendo tra le seguenti classi:

C 8/10
C 12/15

C 16/20 fondazioni leggere
C 20/25 fondazioni, non armate o armate leggermente
C 25/30 calcestruzzo armato (colonne, travi, plinti...)
C 30/37
C 35/45

casi più comuni

C 40/50
C 45/55
C 50/60
C 55/67

C 60/75
C 70/85
C 80/95
C 90/105
C 100/115

CAP - Calcestruzzo ad Alte Prestazioni

4b1

La resistenza a compressione “caratteristica” è un valore tratto dall’analisi statistica dei risultati di una prova a compressione: in meno del 95% dei casi, i risultati registrati sono superiori a questo valore. Ciascuna di queste due designazione è importante: la resistenza sul cilindro f_{ck} è utilizzata nel calcolo delle costruzioni in calcestruzzo, la resistenza sul cubo R_{ck} interviene nel controllo della qualità del calcestruzzo.

prescrizione di un cls secondo le norme **2b1**



	Classi di esposizione																	
	Nessun rischio di corrosione o attacco	Corrosione da carbonatazione				Corrosione da cloruri						Attacco gelo/disgelo				Ambienti chimici aggressivi		
						Acqua marina			Altri cloruri (diversi dall'acqua di mare)									
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2
Rapporto massimo a/c	-	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
Classe di resistenza minima	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
Contenuto minimo di cemento (kg/m³)	-	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
Contenuto minimo di aria (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0 ^{a)}	4,0 ^{a)}	4,0 ^{a)}	-	-	-
Altri requisiti												Aggregati in accordo alla EN 12620 con sufficiente resistenza al gelo/disgelo				Cemento resistente ai solfati ^{b)}		
a)	Quando il calcestruzzo non contiene aria aggiunta, le sue prestazioni dovrebbero essere verificate conformemente ad un metodo di prova appropriato rispetto ad un calcestruzzo per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo per la relativa classe di esposizione.																	
b)	Qualora la presenza di SO ₄ ⁻ comporti le classi di esposizione XA2 e XA3, è essenziale utilizzare un cemento resistente ai solfati. Se il cemento è classificato a moderata o ad alta resistenza ai solfati, il cemento dovrebbe essere utilizzato in classe di esposizione XA2 (e in classe di esposizione XA1 se applicabile) e il cemento ad alta resistenza, ai solfati dovrebbe essere utilizzato in classe di esposizione XA3.																	

1e

4b5

4b6

La norma identifica tipi di ambienti diversi. Ciascuno di questi corrisponde a una classe d'esposizione. Per ogni classe sono formulate le esigenze in materia di durabilità. Impongono importanti limitazioni che il calcestruzzo deve rispettare: rapporto A/C massimo, tipo di cemento, tenore in cemento minimo... Questi limiti portano alla formulazione di un calcestruzzo il più compatto possibile. Tale calcestruzzo resiste meglio al gelo e ai sali anti gelo, alla penetrazione degli agenti aggressivi, alla corrosione delle armature ecc.

2b1 prescrizione di un cls secondo le norme



Scegliere una classe:

terra umida	S1	10-40 mm	F1	≤ 340 mm	il caso più comune
semi plastica (soda)	S2	50-90	F2	350-410	
plastica	S3	100-150	F3	420-480	
fluida	S4	160-210	F4	490-550	
	S5	≥ 220	F5	560-620	
			F6	≥ 630	



aggiungere acqua in cantiere

3c1

In alcuni casi, la classe di resistenza e/o la classe d'esposizione necessitano di un basso rapporto A/C e un tenore elevato in cemento. Al fine di ottenere la lavorabilità desiderata, sarà necessario aggiungere un additivo, per esempio un superfluidificante.

prescrizione di un cls secondo le norme **2b1**

classe di resistenza

classe d'esposizione ambientale

classe di consistenza

diametro massimo dell'aggregato grosso

eventuali dati complementari

Scegliere il D_{max} nella serie:

In modo che:

$D_{max} \leq 0,20 \text{ a}$
 $\leq 0,20 \text{ b}$
 $\leq 0,75 \text{ c}$
 $\leq 0,25 \text{ d}$
 $\leq 0,40 \text{ e}$
 $\leq \text{f}$

(coperifero in caso di sali e/o agenti aggressivi: $\geq 40 \text{ mm}$)

(travi, colonne...)

(piastre)

(strato di compressione)

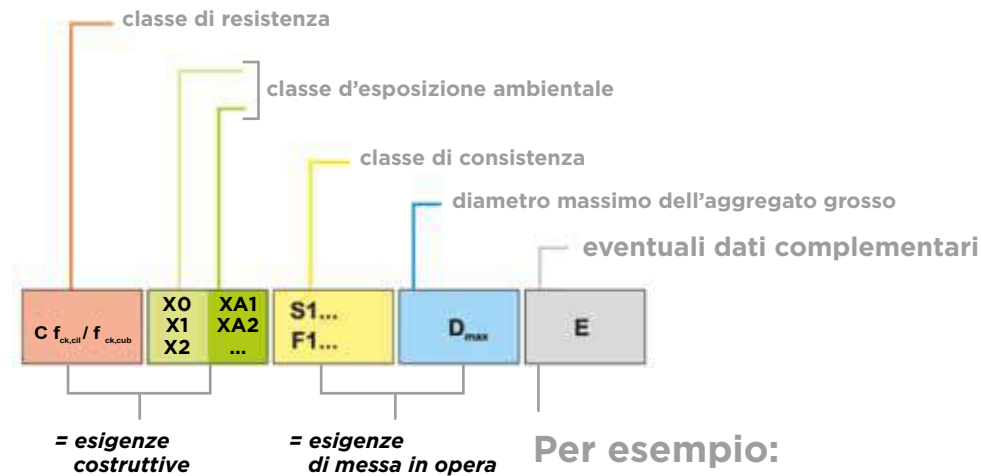
(palo murato nel terreno)

1a

4b4

Un D_{max} basso implica una quantità di malta importante e quindi un tenore in cemento elevato. Dunque, può succedere che il dosaggio in cemento sia più alto che quello che corrisponde alla classe di resistenza o alla classe d'esposizione.

2b1 prescrizione di un cls secondo le norme



Per esempio:

esigenze in rapporto con la **composizione**

- ☒ Tipo di cemento (p. es. cemento LA in caso di rischio di reazione alcali-silice)
- ☒ Tenore in cemento minimo
- ☒ Tipo di calcestruzzo con aerante (classe ambientale EE4, ES4, XF2, XF3, XF4)
- ☐ ...

Esigenze in rapporto con il **calcestruzzo fresco**

- ☒ Lavorabilità migliorata
- ☒ Accelerazione/rallentamento della presa del cemento
- ☒ Aumento del tenore d'aria
- ☐ ...

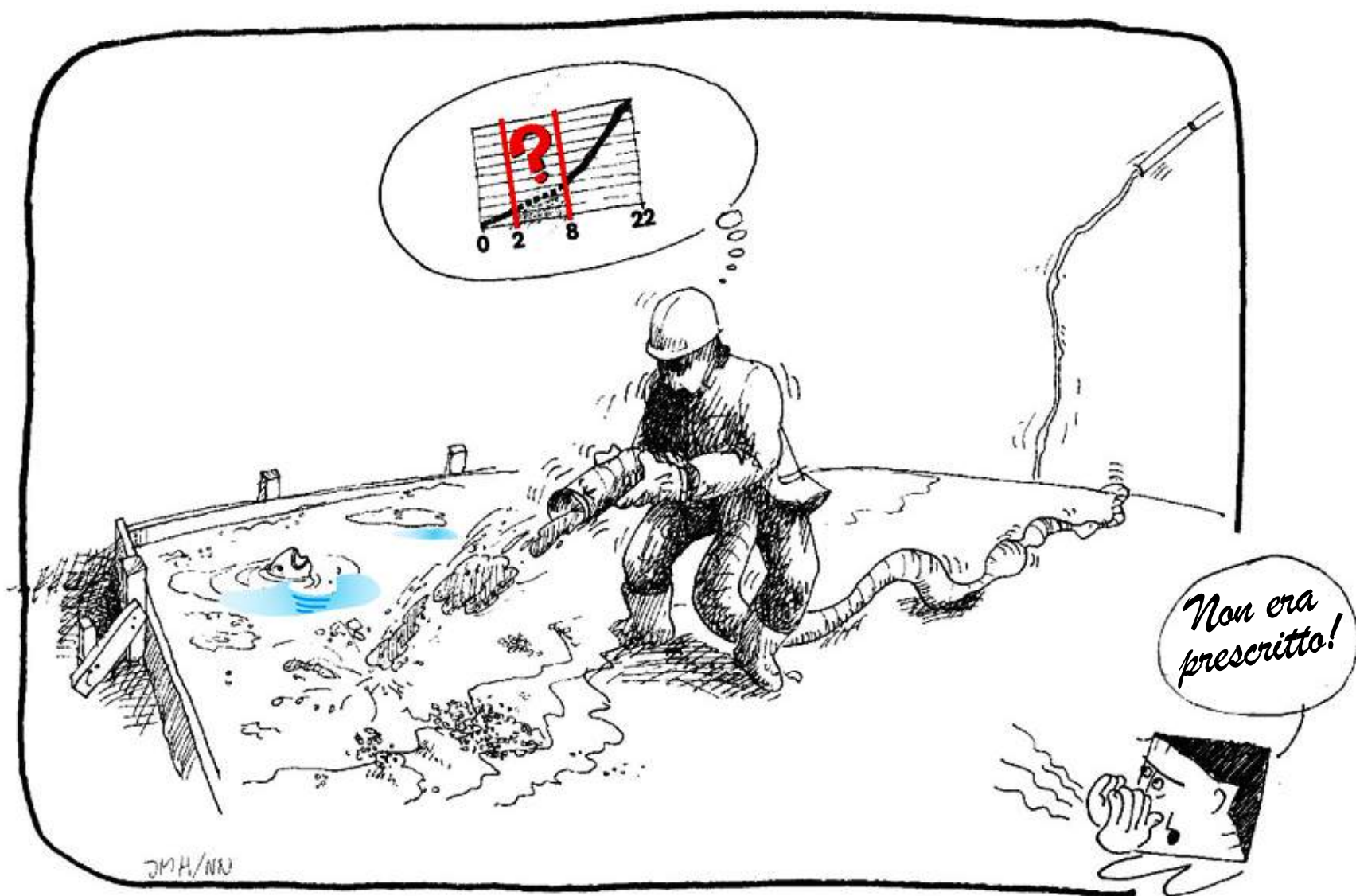
Esigenze in rapporto con la **messa in opera**

- ☒ Pompabilità
- ☐ ...

Esigenze in rapporto al **calcestruzzo indurito**

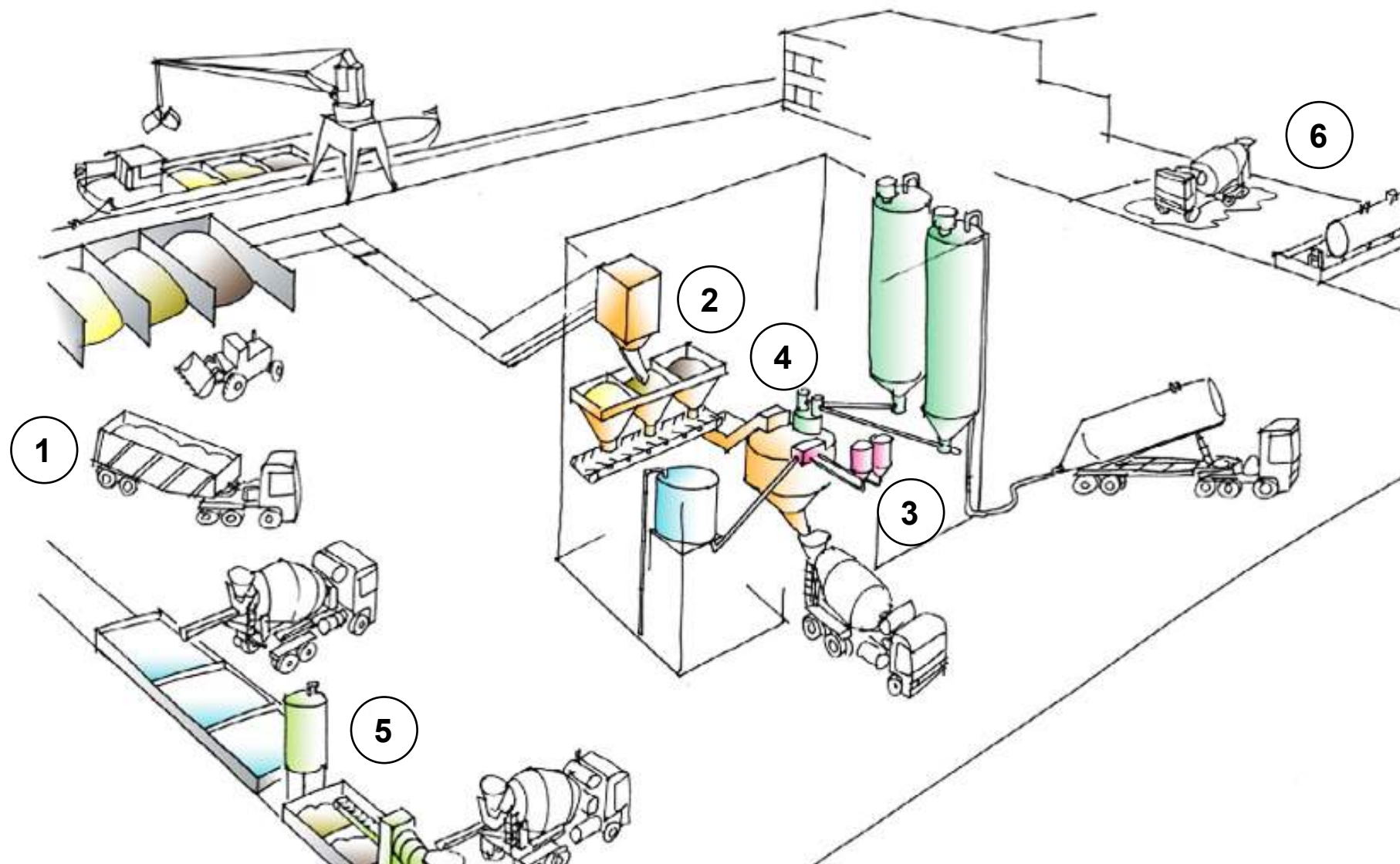
- ☒ Resistenza aumentata contro l'assorbimento dell'acqua
- ☒ Resistenza all'usura
- ☒ Impermeabilità migliorata
- ☐ ...

Esiste un'interazione tra la maggior parte delle esigenze. Il rispetto di ciascuna di esse deve portare a una definizione del calcestruzzo che le rispetti tutte.



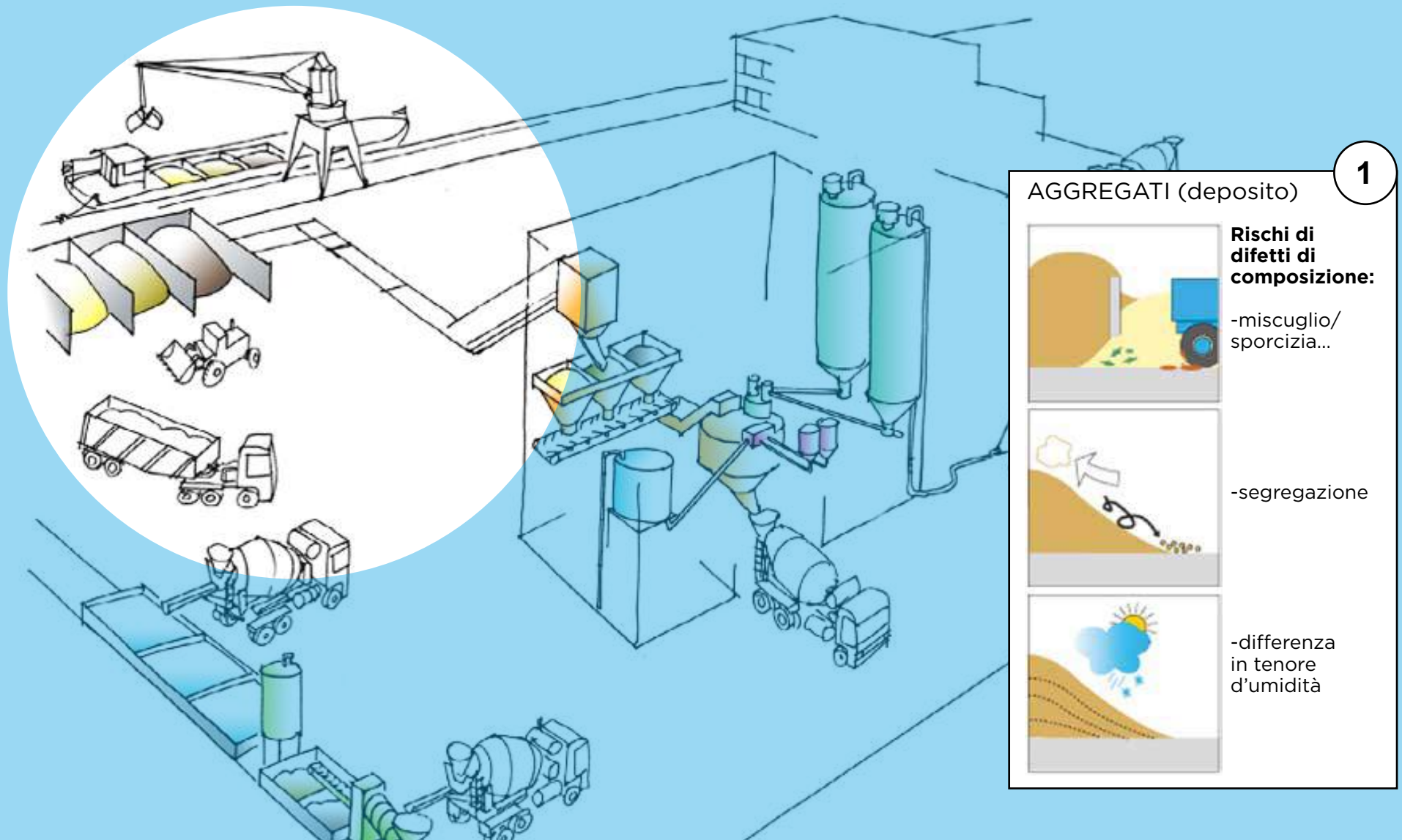
Per alcuni tipi di opere in calcestruzzo, devono essere imposte delle esigenze complementari. Riguardano o il calcestruzzo fresco o il calcestruzzo indurito.

2b2 centrale di betonaggio



Esempio di una centrale di betonaggio. Diverse varianti sono possibili. Tuttavia, le tappe di produzione seguenti si riscontrano in ogni centrale: stoccaggio e dosaggio degli aggregati (1/2) e d'altre componenti (cementi, acqua, additivi) (3), miscelamento, caricamento delle auto-betoniere (4). L'equipaggiamento per il riciclo del calcestruzzo residuo (5) e per la manutenzione del materiale (6) deve ugualmente essere disponibile.

(NB: il laboratorio non è ripreso in quest'immagine. È però indispensabile per il controllo della qualità: resistenza alla compressione, assorbimento d'acqua...)



La ghiaia, il frantumato e la sabbia sono portate via camion. Nella configurazione qui rappresentata, un nastro trasportatore è installato sotto i cumuli. In altre centrali di betonaggio, i differenti tipi di granulati sono disposti a forma di stella attorno alla centrale e sono introdotti nell'unità di dosaggio per mezzo di una "dragline".

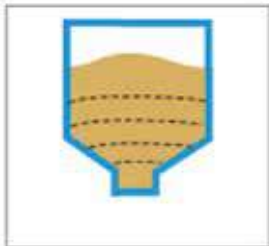
2

AGGREGATI (dosaggio)

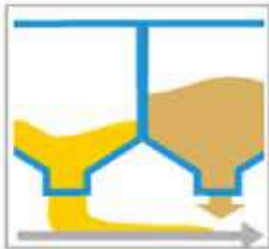


Rischi d'errore di pesatura:

-decompressione nel silo

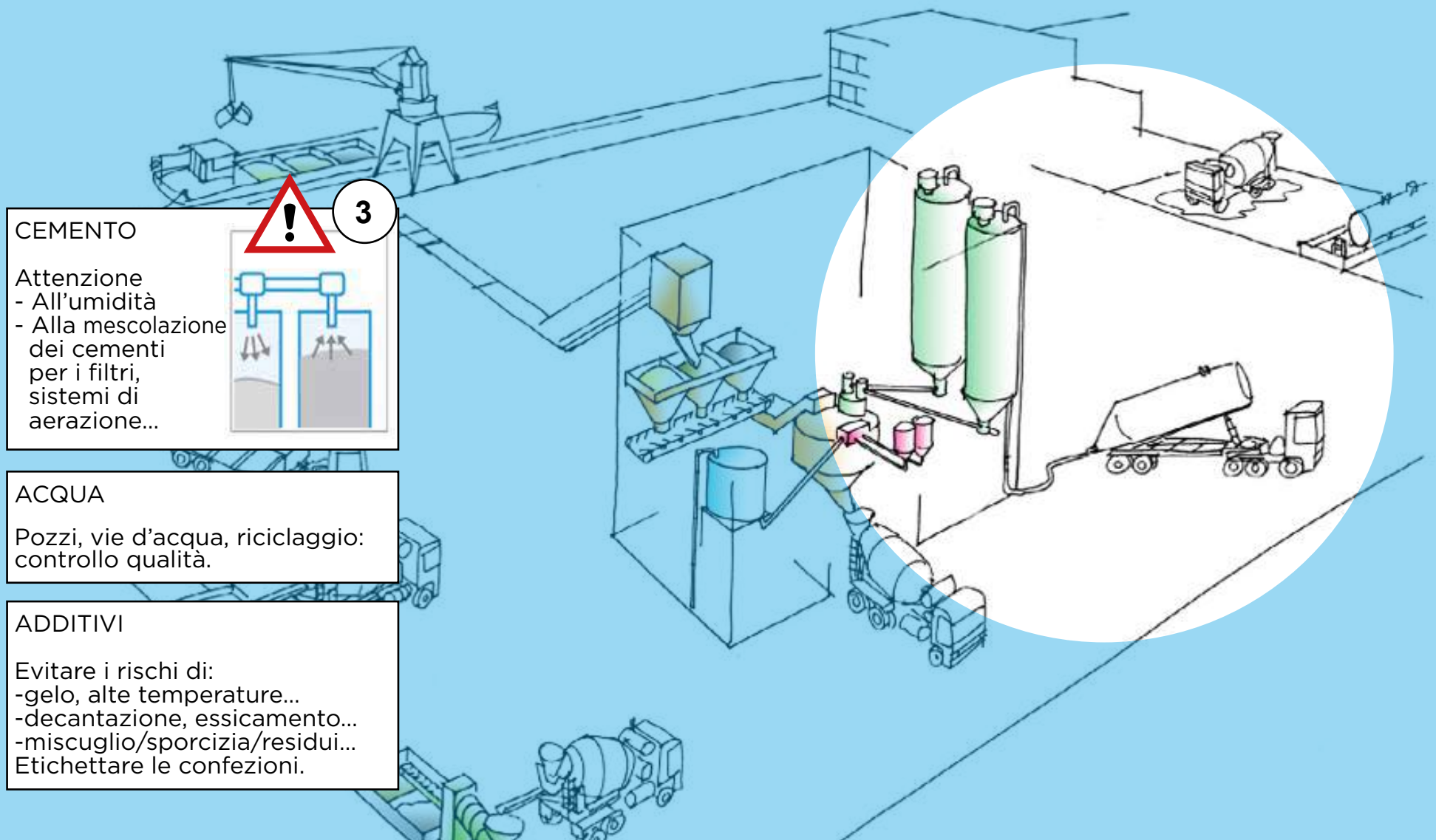


-differenze nel tenore di umidità



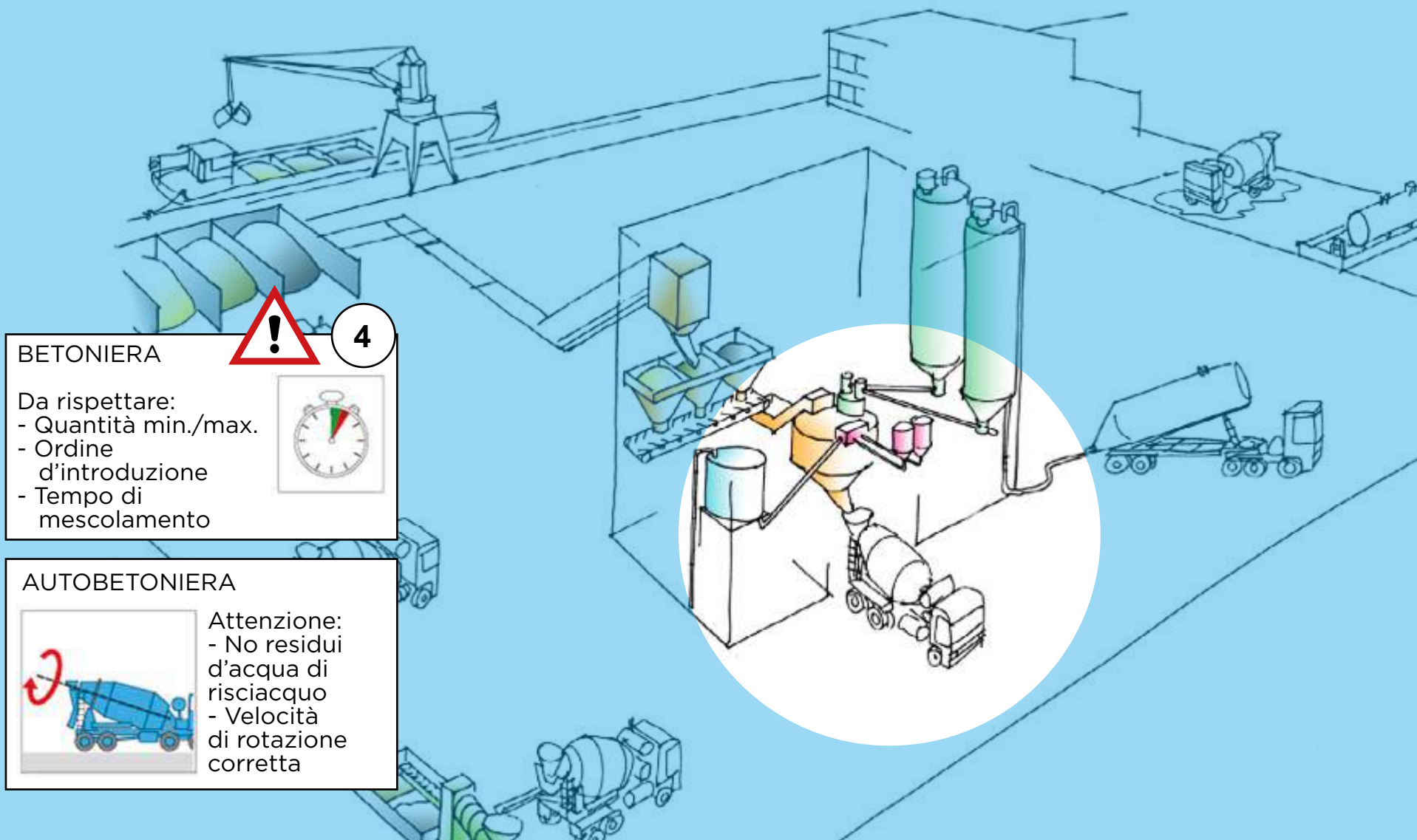
-miscuglio di calibri su nastro trasportatore

Qui, il dosaggio -solitamente in peso- della ghiaia e della sabbia si effettua a partire da silos. I materiali cadono su un nastro trasportatore munito di un dispositivo di peso. La conoscenza precisa del tasso di umidità degli aggregati è essenziale. Le installazioni automatiche devono essere controllate regolarmente.

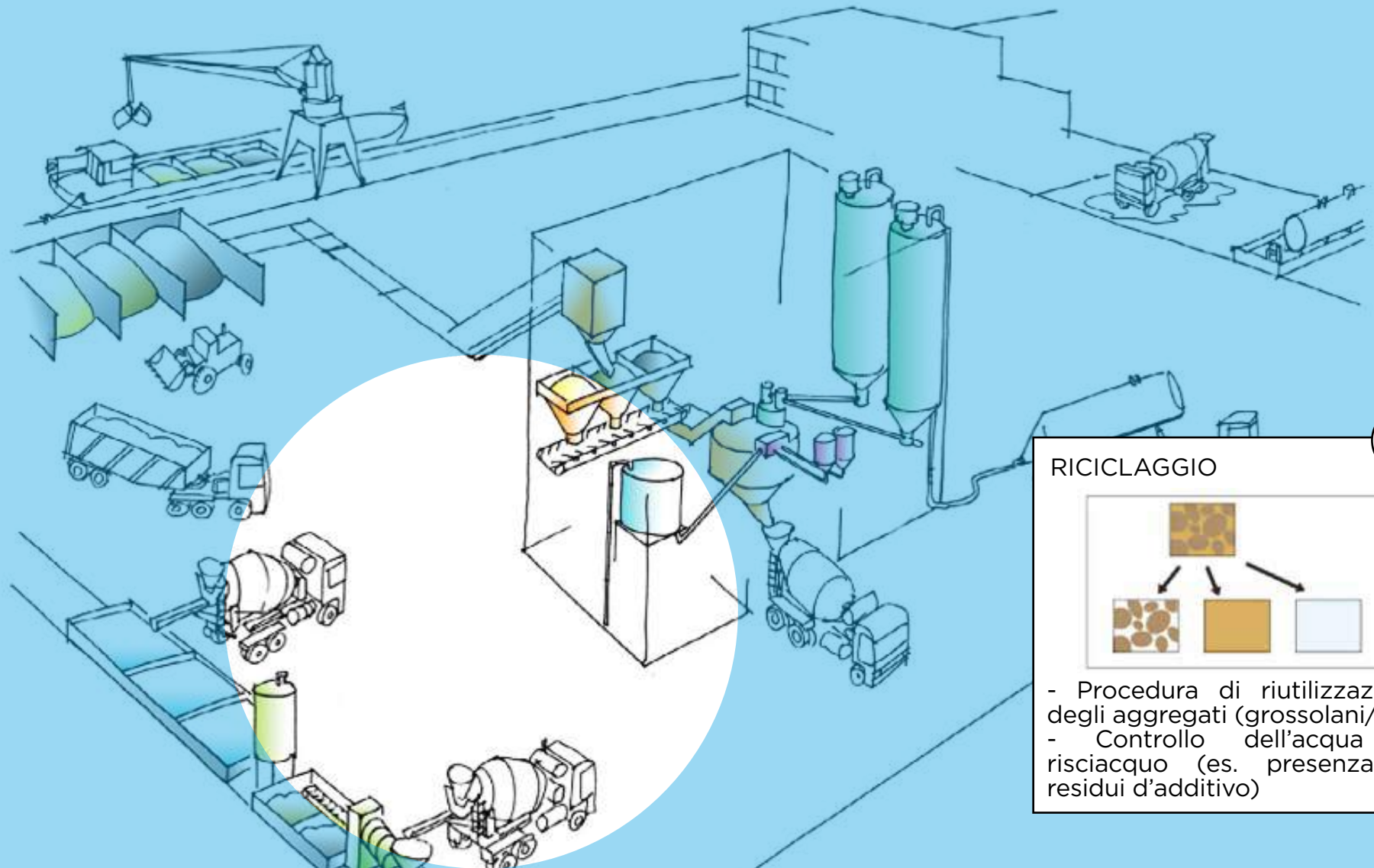


I silos di cemento sono riempiti per mezzo di un dispositivo pneumatico. La tramoggia pesante è alimentata da una coclea. Gli additivi sono solitamente stoccati sotto forma liquida in fusti, cisternette e/o cisterne.

2b2 centrale di betonaggio



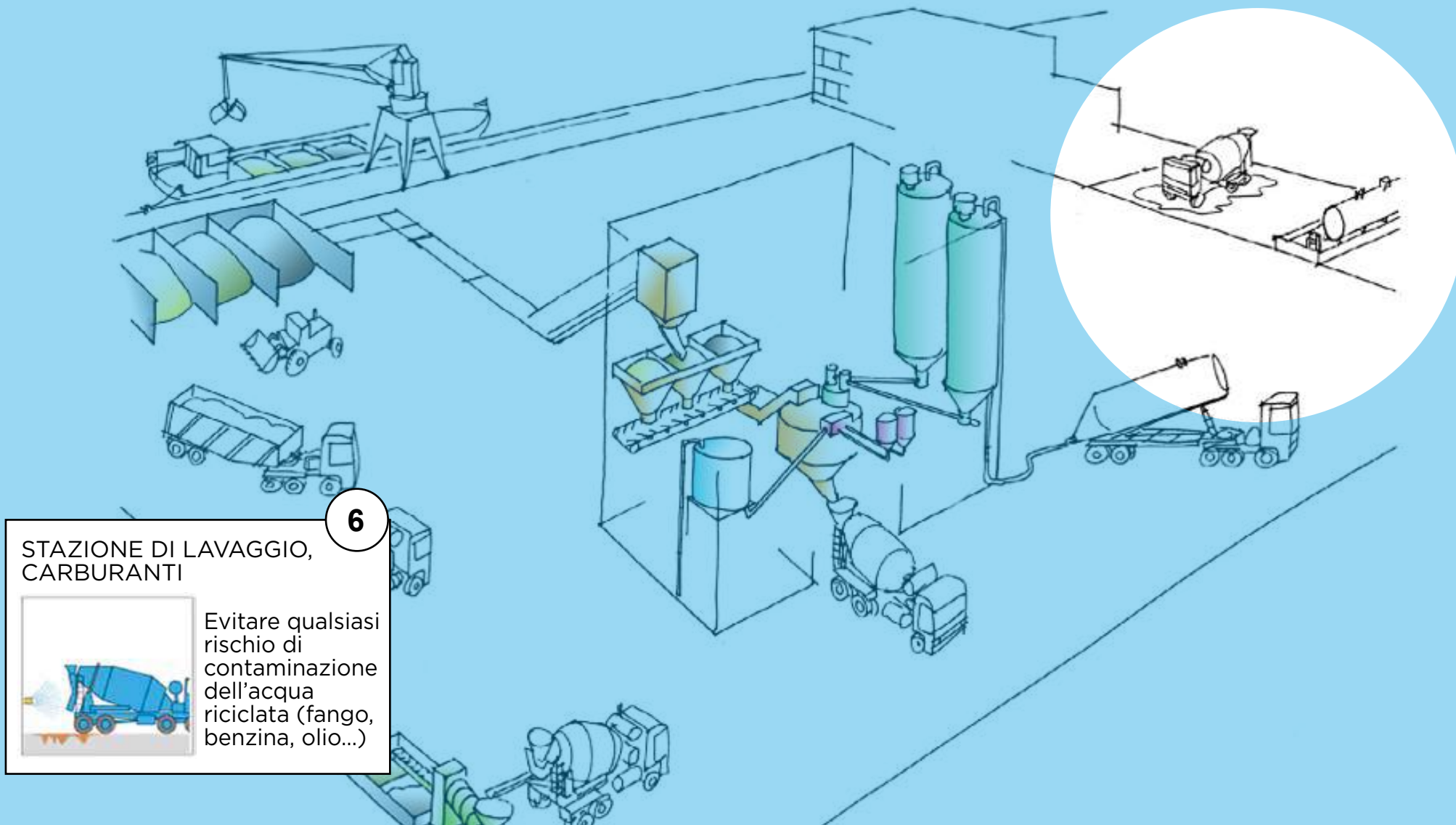
In funzione del tipo di betoniera, la capacità utile si situa tra i 50 e 75% del volume della curva. L'ordine d'introduzione è indicata dal fabbricatore della betoniera e deve essere scrupolosamente rispettato. La durata della mescolazione ideale è il tempo necessario all'ottenimento di un miscuglio omogeneo di calcestruzzo fresco. Questa durata dipende da diversi fattori, ad esempio il tipo di calcestruzzo e le sue componenti. La pulizia della botte e il grado d'usura delle pale giocano un ruolo fondamentale.

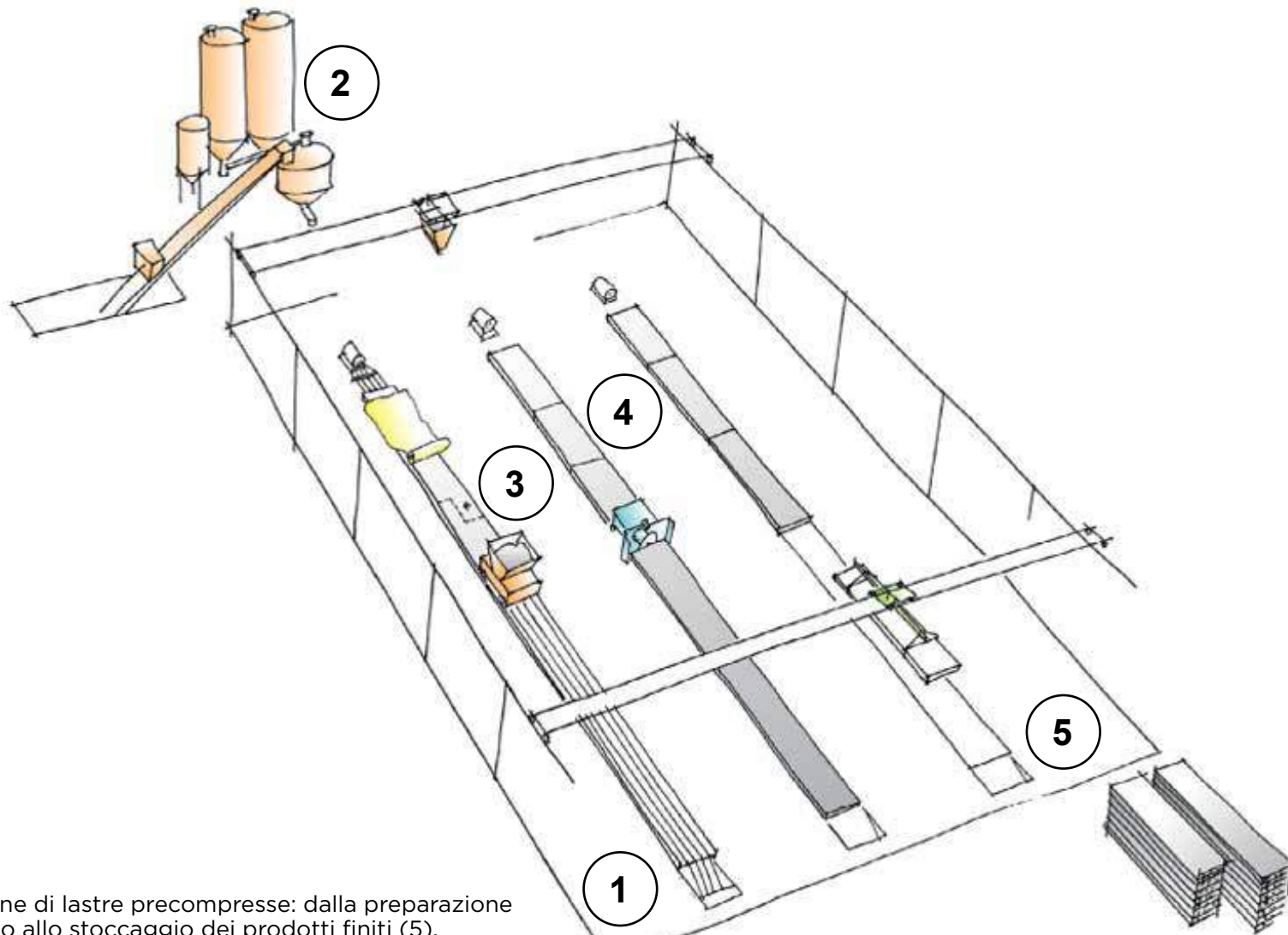


5

Al fine di poter riutilizzare le materie prime provenienti da calcestruzzi residuali queste devono essere identificate, smistate e stoccate. I residui d'additivi contenuti nell'acqua di riciclo possono provocare degli effetti secondari indesiderati.

2b2 centrale di betonaggio

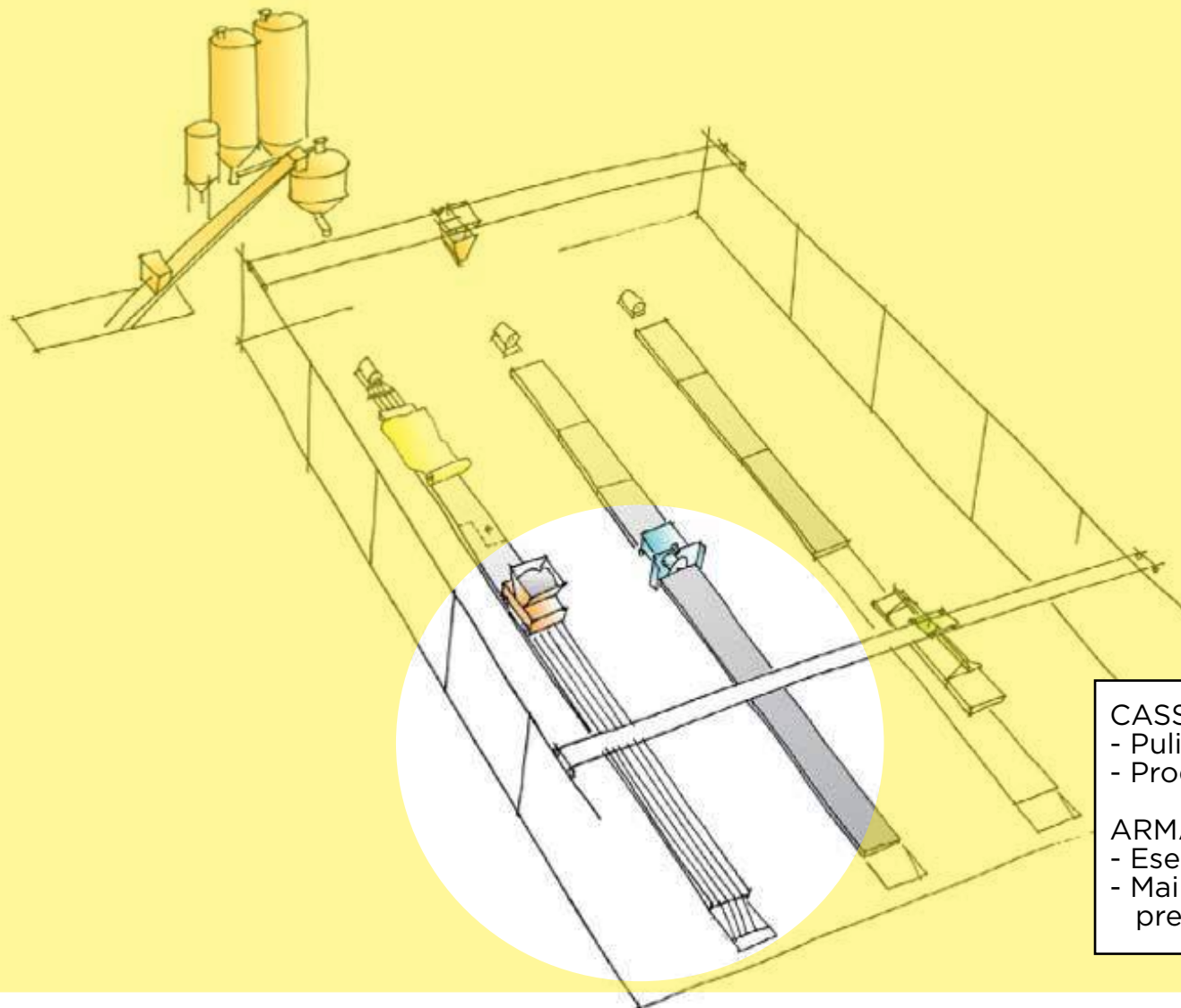




Unità di produzione di lastre precomprese: dalla preparazione del cassero (1) fino allo stoccaggio dei prodotti finiti (5).

Lo stabilimento dispone della sua propria centrale di betonaggio (2).

Le lastre sono gettate in continuo in casseri metallici, di lunghezza tra 120 e 150 m (3). Sono segate solamente dopo l'indurimento (4). Un ciclo, dal getto alla scasseratura, dura generalmente < 24 ore. La fabbricazione di travi e colonne precomprese si effettua con casseri più corti (es. 80m). Contrariamente alle lastre, questi elementi sono gettati separatamente: gli estremi delle colonne e delle travi sono delimitati attraverso l'impiego di interruzioni munite di guide attraverso le quali passano i cavi di precompressione (trefoli).

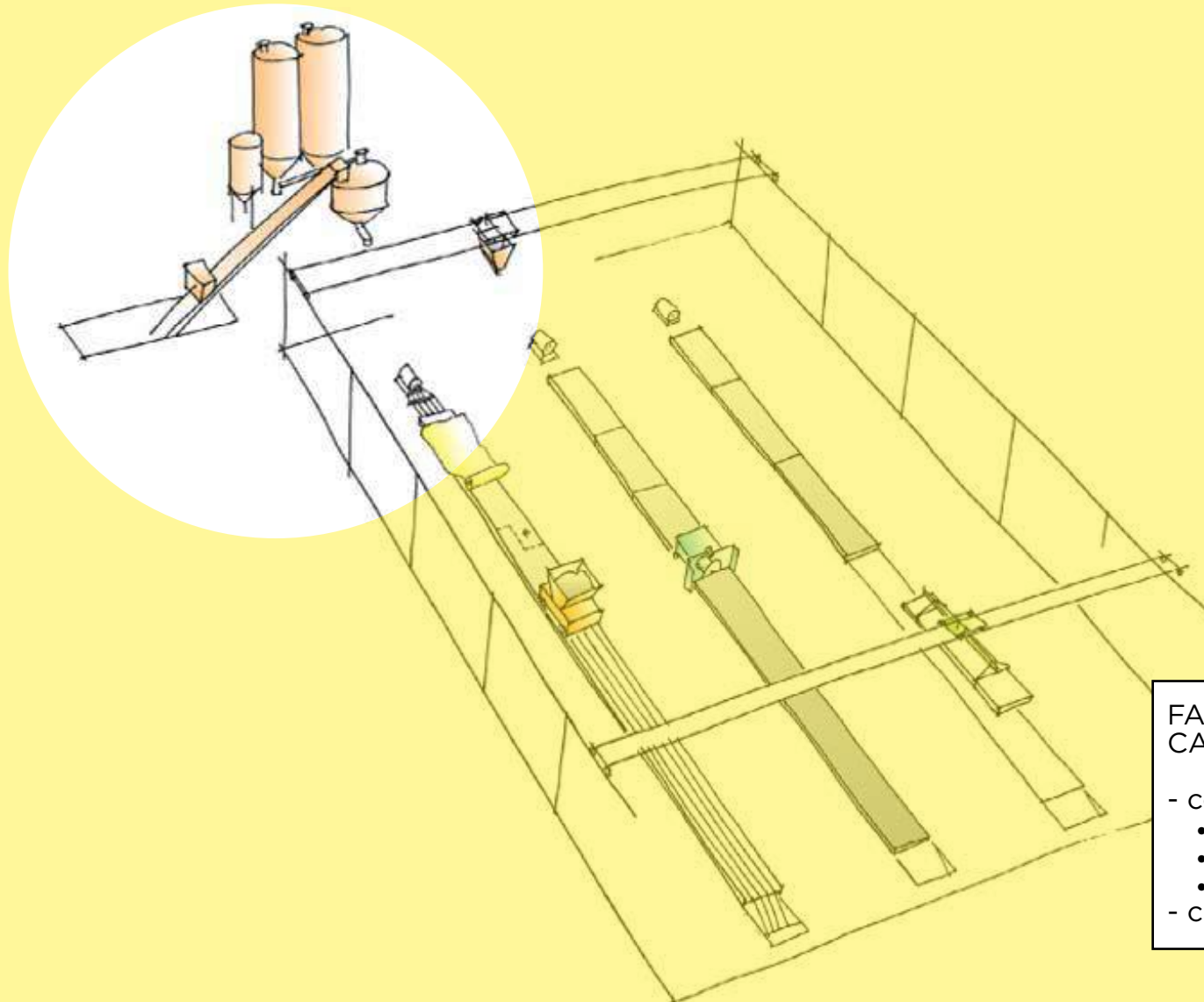


CASSERO
- Pulizia
- Prodotto per lo scassero

ARMATURA
- Esente da grasso/olio
- Mai saldare in caso di precompresso

Il cassero deve essere pulito ad aria compressa. Una macchina posa le armature e unge il fondo del cassero con un prodotto disarmante. Le armature sono tese con l'uso di martinetti, poi bloccati.

L'armatura delle colonne e delle travi include anche staffe. In più, per permettere il collegamento con altri elementi strutturali in cantiere, barre d'attesa, guaine, piastre di ancoraggio ecc. sono incorporate. Allo stesso modo, devono essere previsti per il trasporto e il montaggio dei ganci di sollevamento.

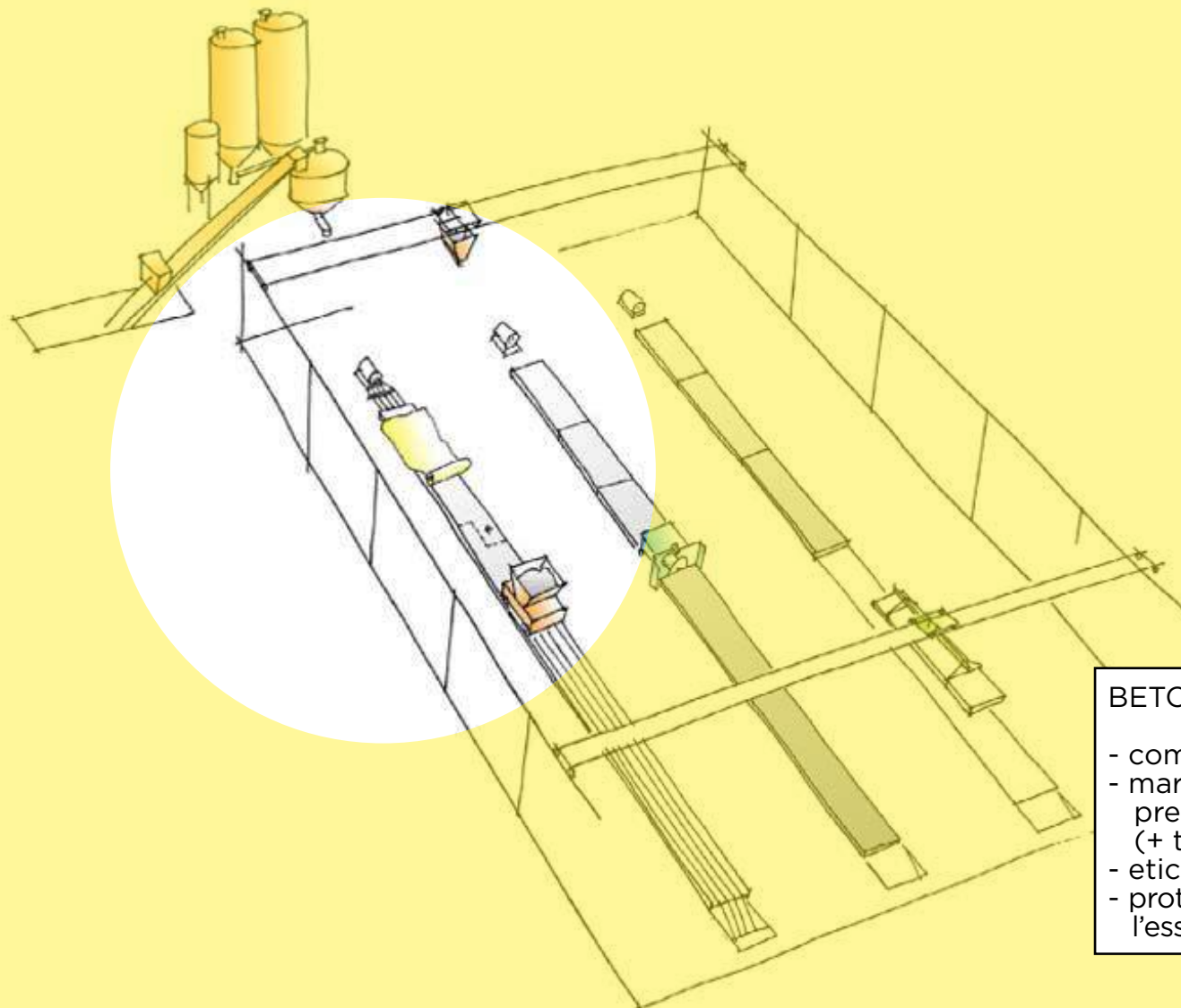


2

**FABBRICAZIONE DEL
CALCESTRUZZO**

- controllo della composizione:
 - componenti
 - granulometria
 - lavorabilità
- campioni (cubi/cilindri)

Il calcestruzzo impiegato è un calcestruzzo normale con resistenza a compressione relativamente alta, p. es. almeno 55 N/mm^2 . Grazie al suo rapporto A/C basso, il calcestruzzo mantiene la sua forma dopo la messa in opera.

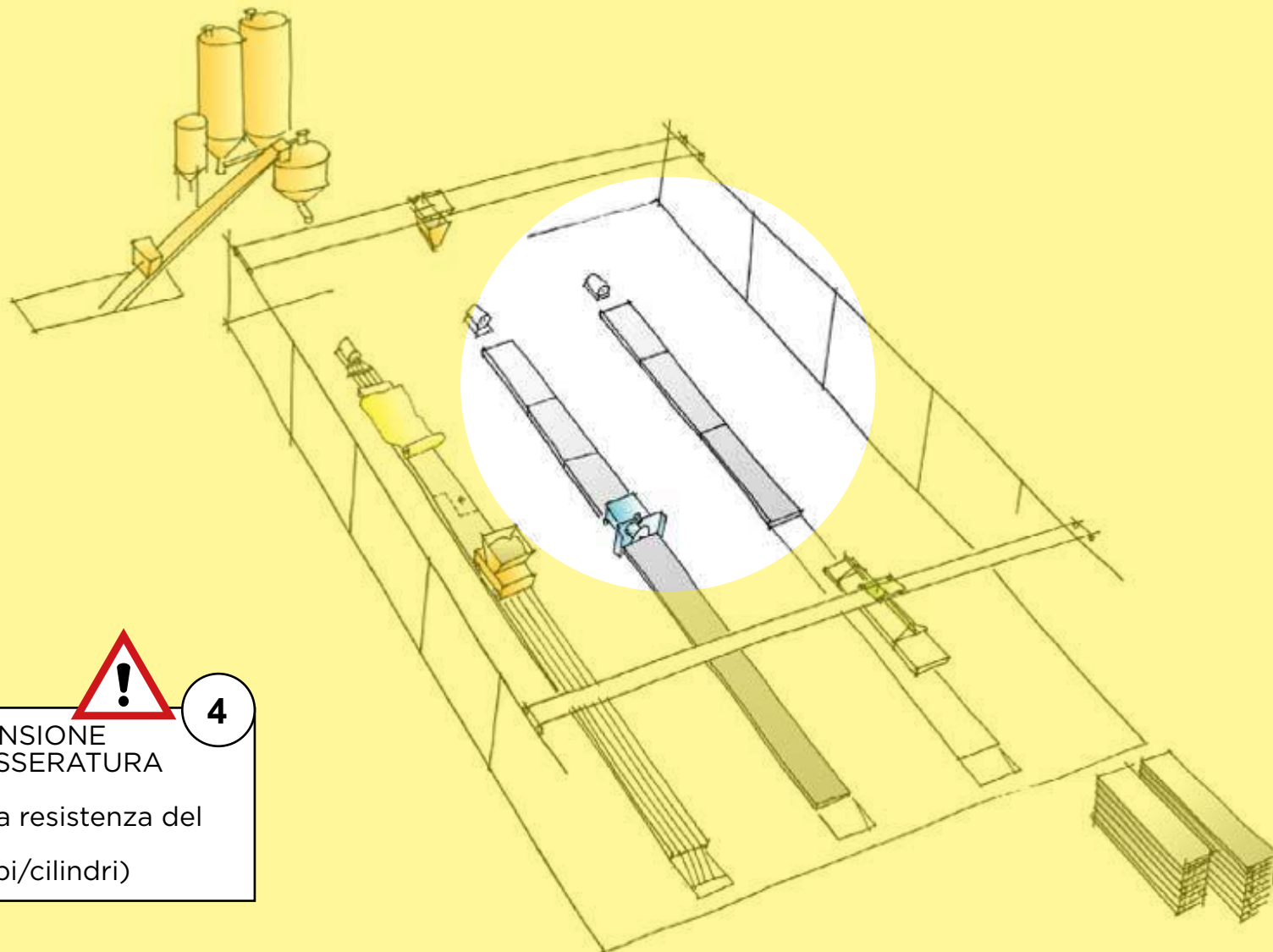


3

BETONAGGIO

- compattazione
- marcatura delle lunghezze, prenotazioni, dettagli... (+ tolleranze)
- etichettatura
- protezione contro l'essiccamento rapido

I bordi del cassero servono da rotaia sui quali la macchina da betonaggio avanza. Il calcestruzzo è messo in opera per pressione (estrazione). Il fondo del cassero può essere scaldato in modo da accelerare l'indurimento del calcestruzzo. Nel caso di colonne e travi, dei vibrator sono montati sulle facce laterali del cassero.

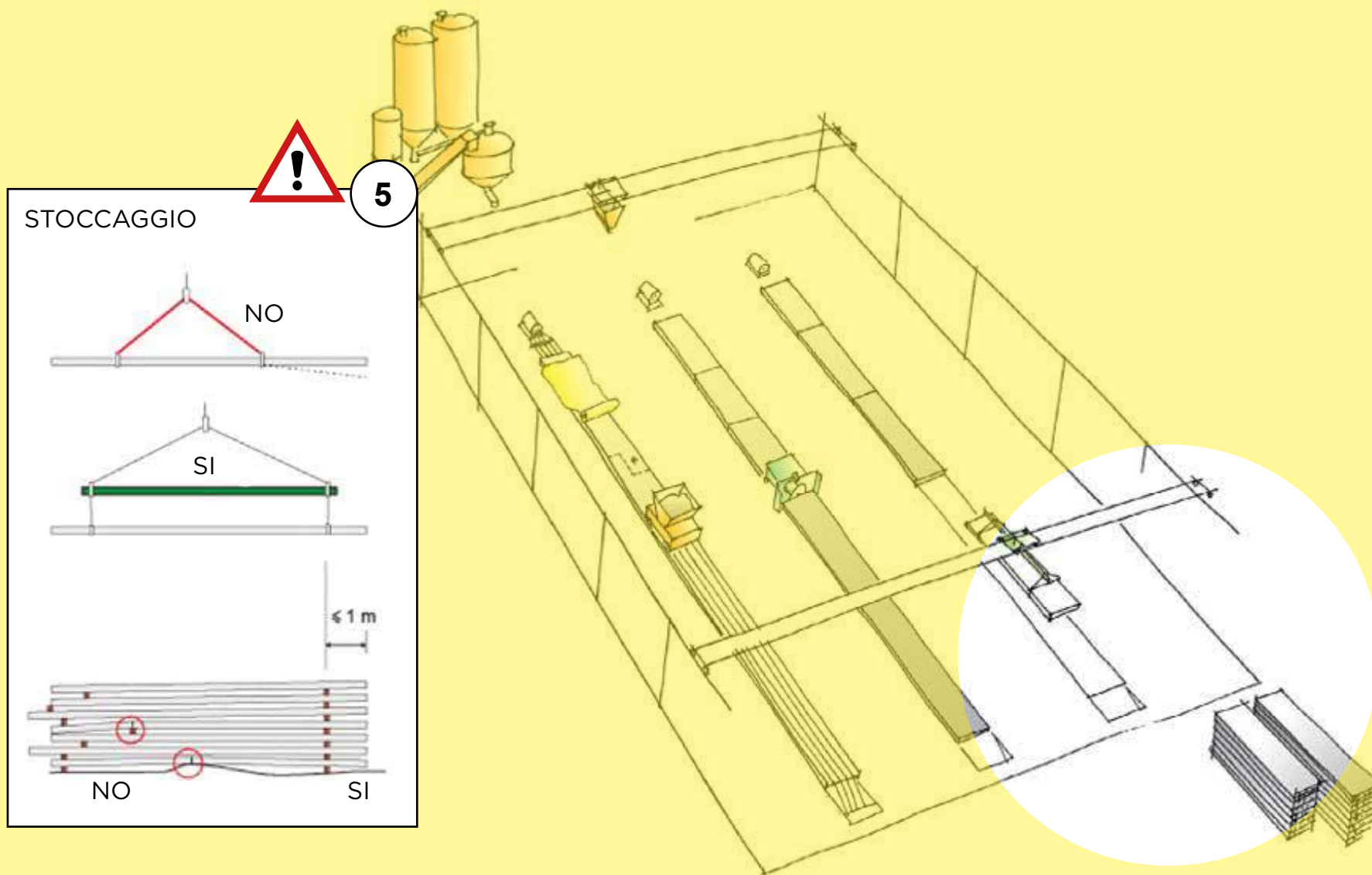


4

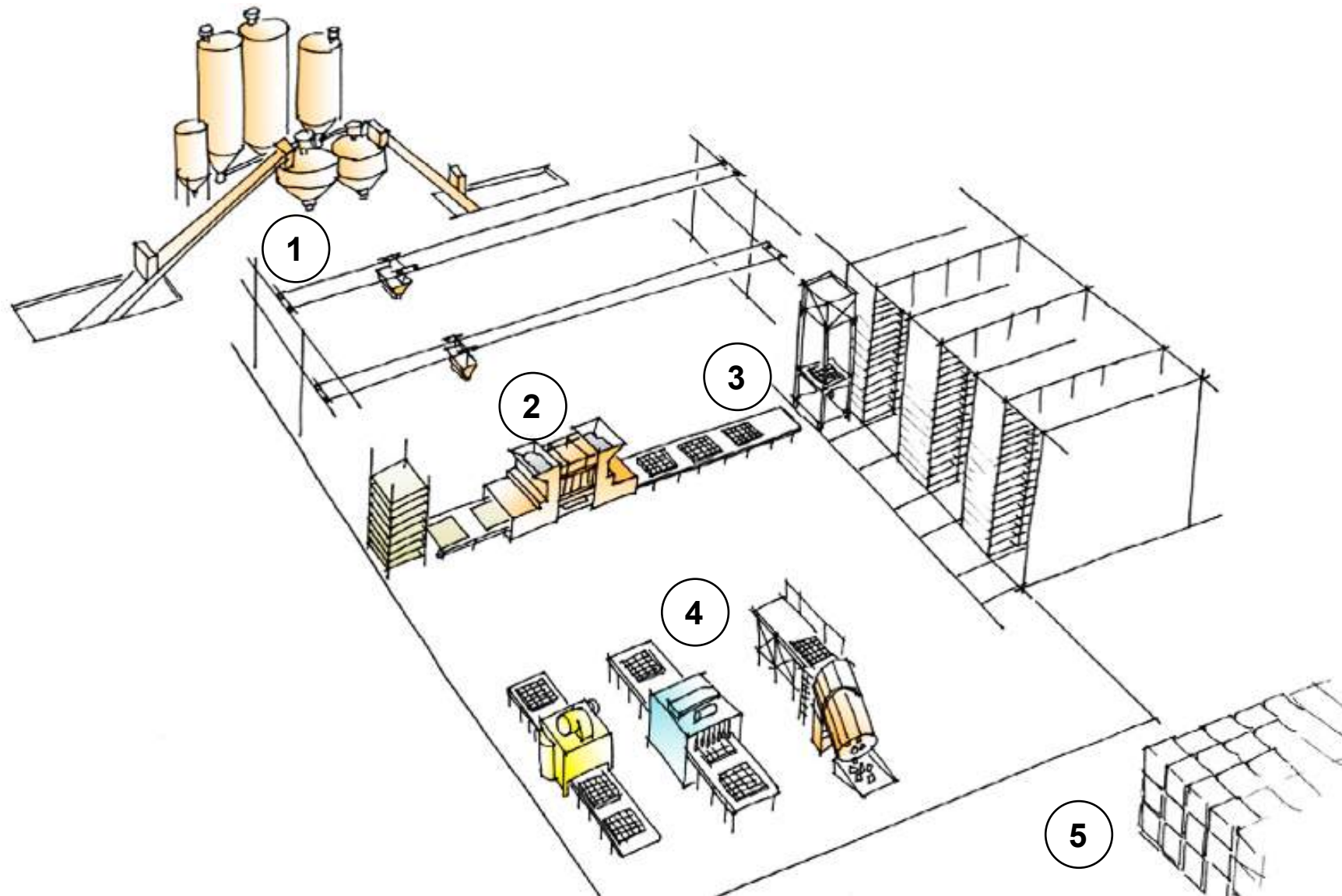
MESSA IN TENSIONE
TAGLIO/SCASSERATURA

controllo della resistenza del
calcestruzzo
(prove sui cubi/cilindri)

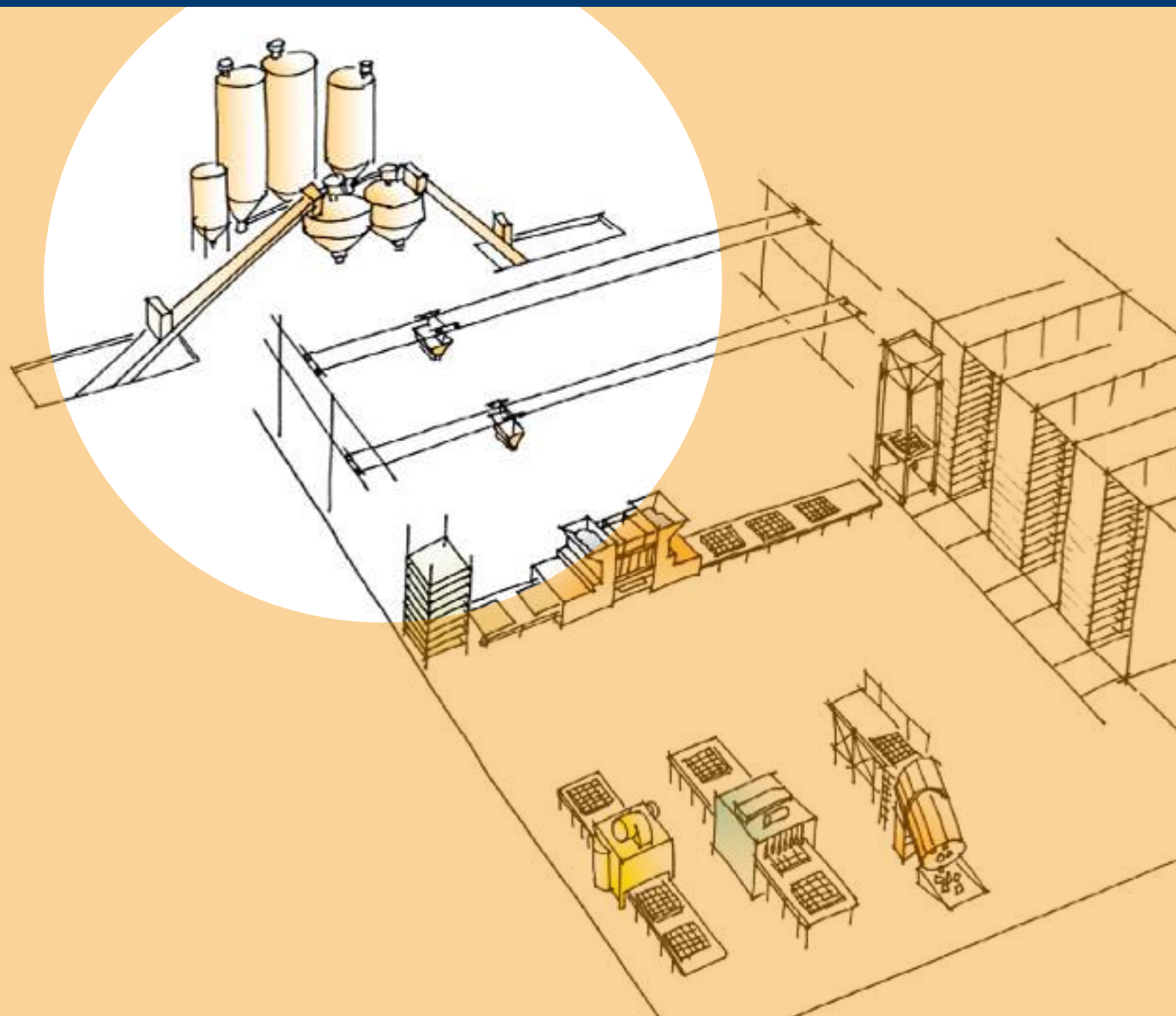
Quando le prove di compressione dimostrano che il calcestruzzo ha raggiunto una resistenza meccanica sufficiente, i martinetti sono allentati. La tensione è trasferita al calcestruzzo, che è così messo in precompressione. Successivamente gli elementi sono segati alle lunghezze desiderate.



Gli elementi sono sollevati dal cassero e stoccati fino al momento in cui saranno trasportati in cantiere.



Una fabbrica di pavè comprende una centrale di betonaggio (1), un impianto di betonaggio (2), uno spazio coperto nel quale i prodotti freschi possono indurire (3) e eventualmente diverse macchine per la finitura (4).
Dopo il loro confezionamento e palettizzazione, i prodotti possono essere stoccati all'aria aperta (5).



1

FABBRICAZIONE DEL CALCESTRUZZO

Consistenza “*terra umida*”:

a-prendere un po' di calcestruzzo fresco



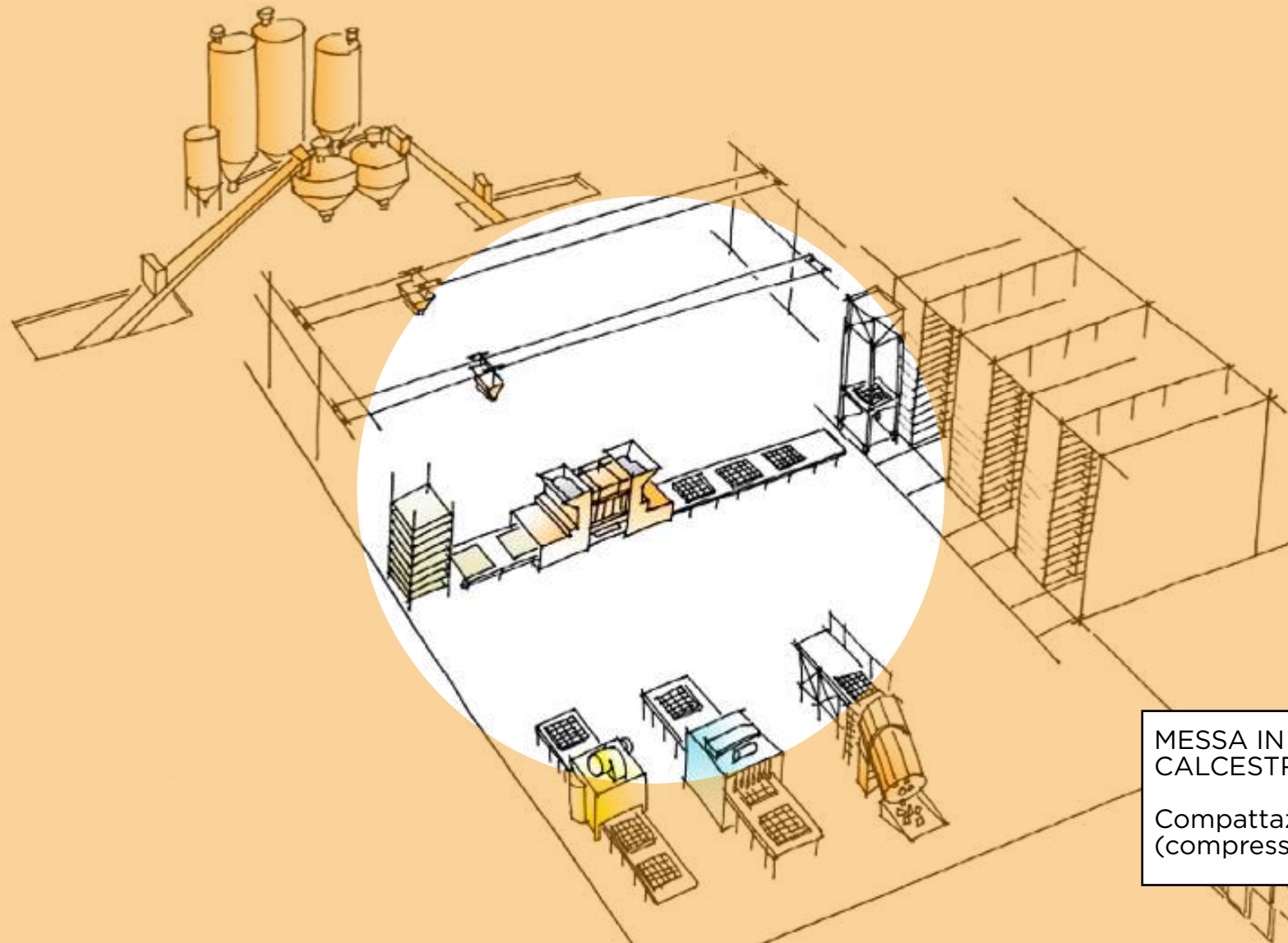
b-fare una pallina comprimendolo: l'acqua non sgocciola dal calcestruzzo



c-la pallina deve mantenere la sua forma, la mano è umida



Il calcestruzzo con consistenza terra umida presenta un rapporto A/C molto basso: è inferiore a 0,45 e scende in alcuni casi fino a 0,28. Un calcestruzzo del genere richiede molta energia di compattazione. Alcuni prodotti sono costituiti da due tipi di calcestruzzo: il nucleo è costituito da calcestruzzo ordinario, lo strato superficiale contiene per esempio granuli speciali, pigmenti, un altro tipo di cemento ecc.



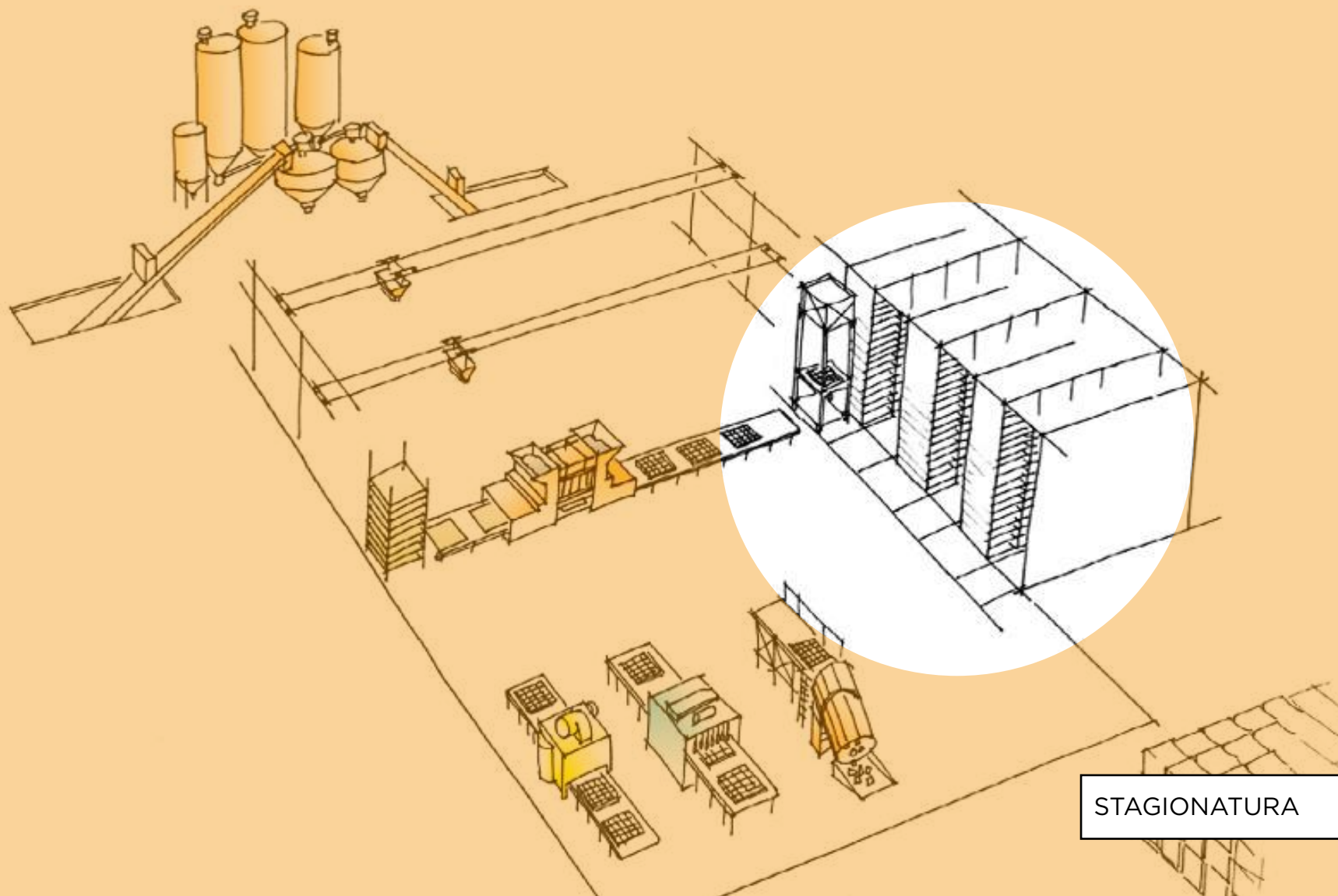
3b4

2

MESSA IN OPERA DEL
CALCESTRUZZO

Compattazione
(compressione/vibrazione)

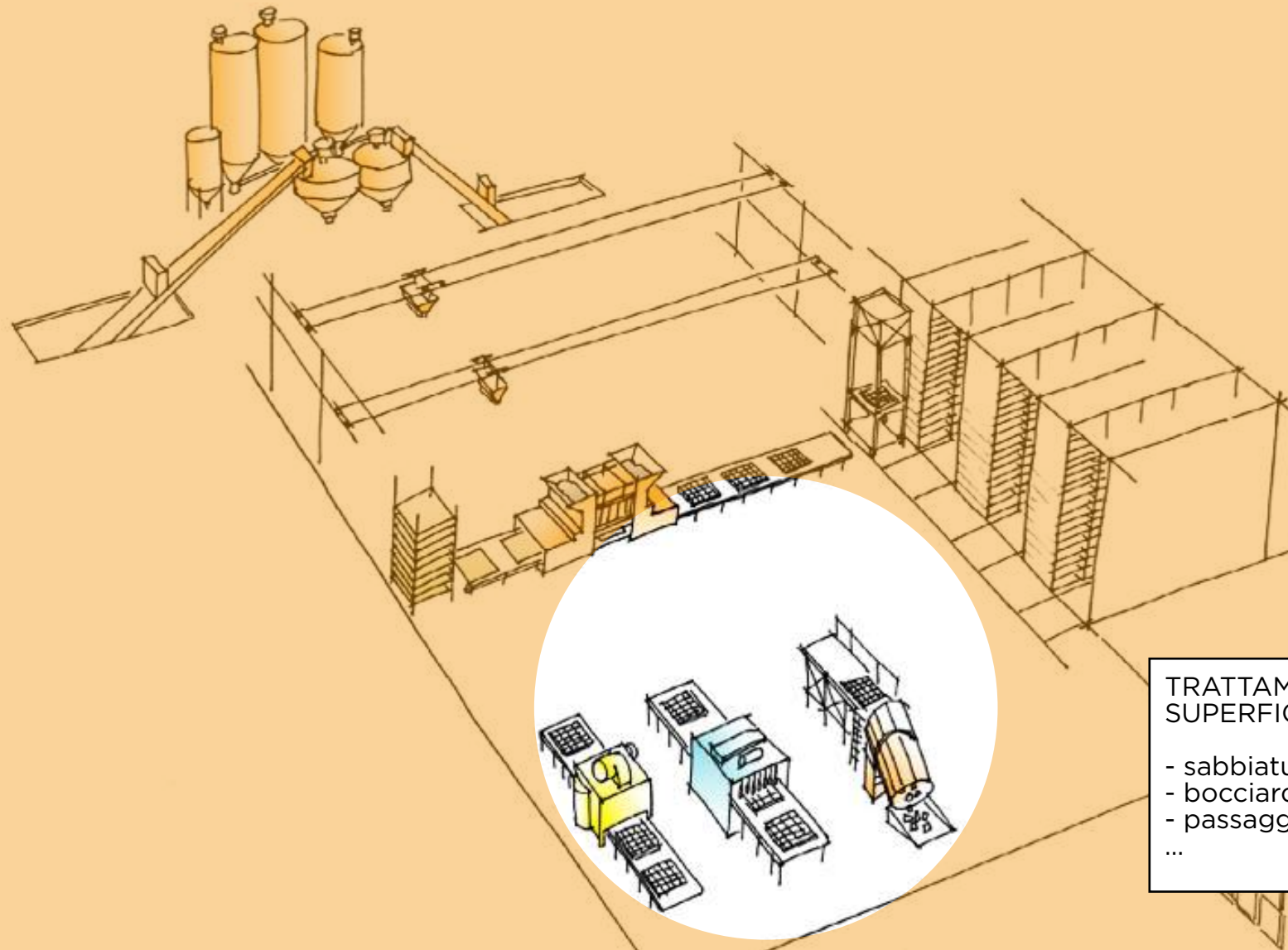
Il processo di fabbricazione è completamente automatizzato: lo stampo è posto su un vassoio e viene riempito; il calcestruzzo viene rasato dallo stampo. La compattazione si fa per vibrazione e compressione. Gli elementi sono scasserati immediatamente.



STAGIONATURA

3

I vassoi con i prodotti scasserati sono ordinati su delle mensole. In ragione del loro basso tenore in acqua, qualunque tipo di essiccazione del prodotto fresco deve essere evitata in questo stadio. Questo impedirebbe l'idratazione del cemento e porterebbe a una perdita di qualità: superficie sabbiosa, rottura degli angoli, materiale poroso... (NB: è sconsigliato innaffiare i prodotti con dell'acqua, poiché si rischia di provocare fuoriuscite di calce.)

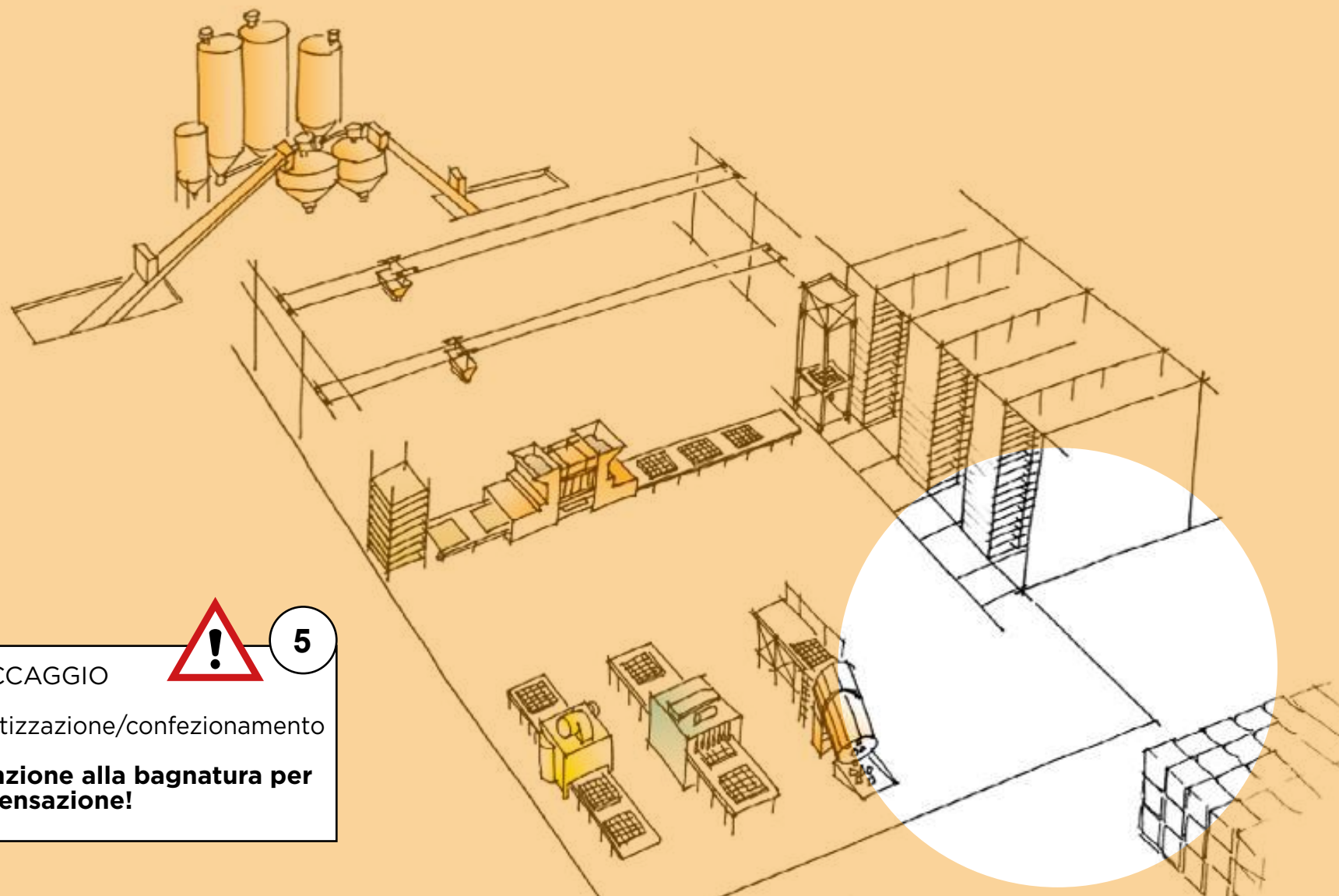


4

**TRATTAMENTO
SUPERFICIALE**

- sabbiatura
- bocciardatura
- passaggio nel tamburo
- ...

La sabbiatura, la bocciardatura, il passaggio nel tamburo sono delle tecniche di finitura avente come scopo di conferire ai pavè un aspetto artigianale, invecchiandoli artificialmente.



4c1



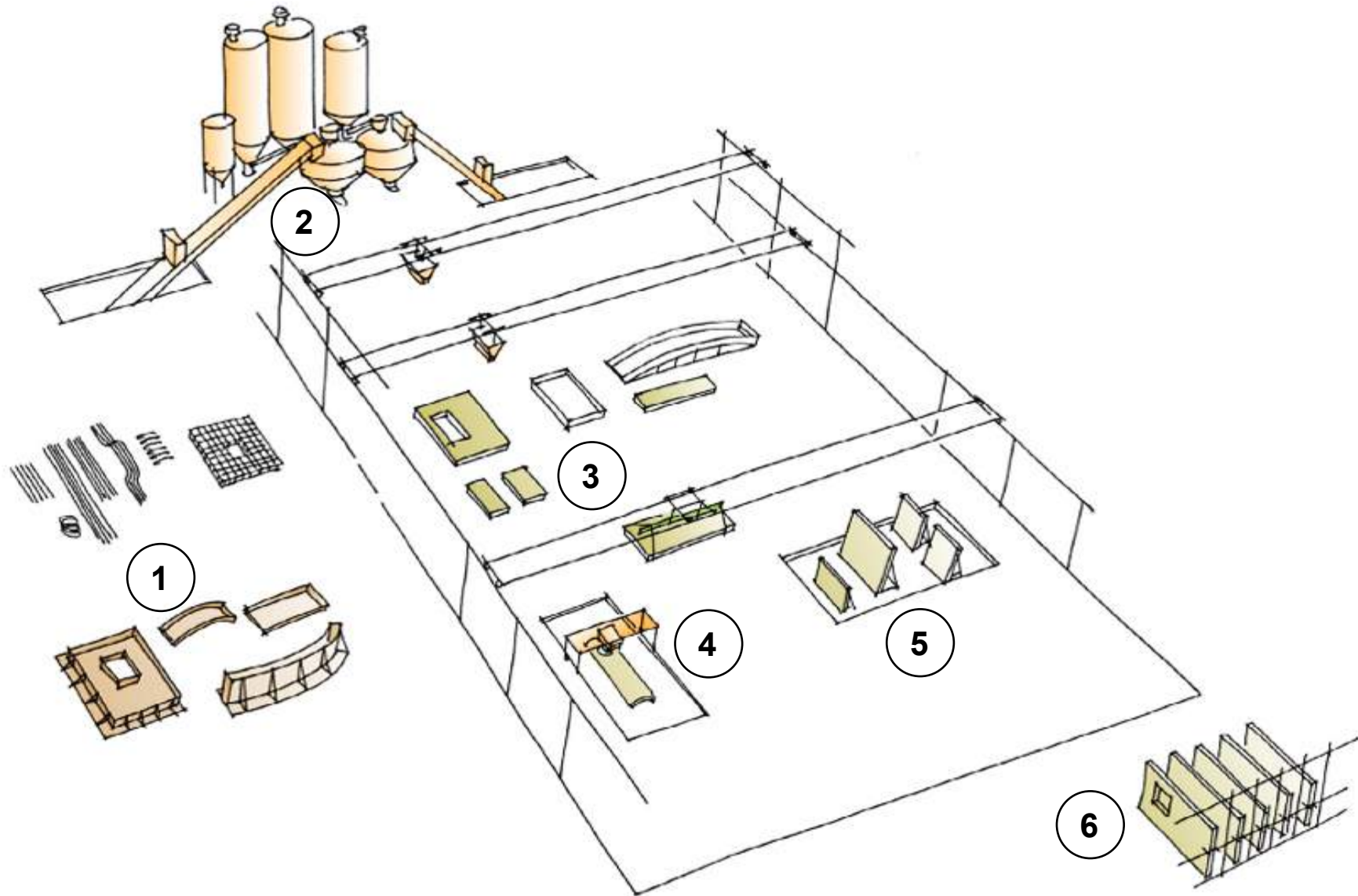
5

STOCCAGGIO

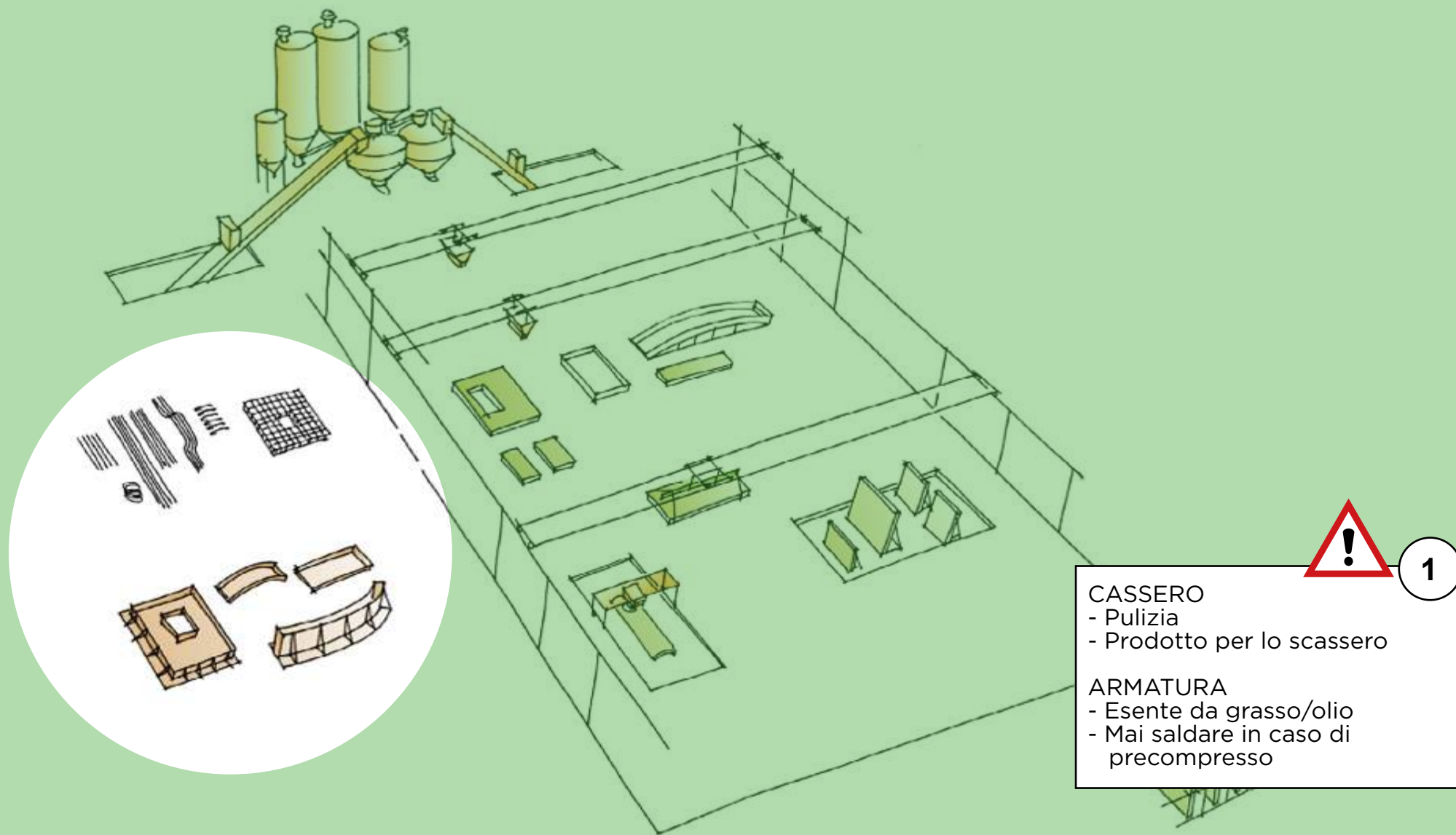
Pallettizzazione/confezionamento

Attenzione alla bagnatura per condensazione!

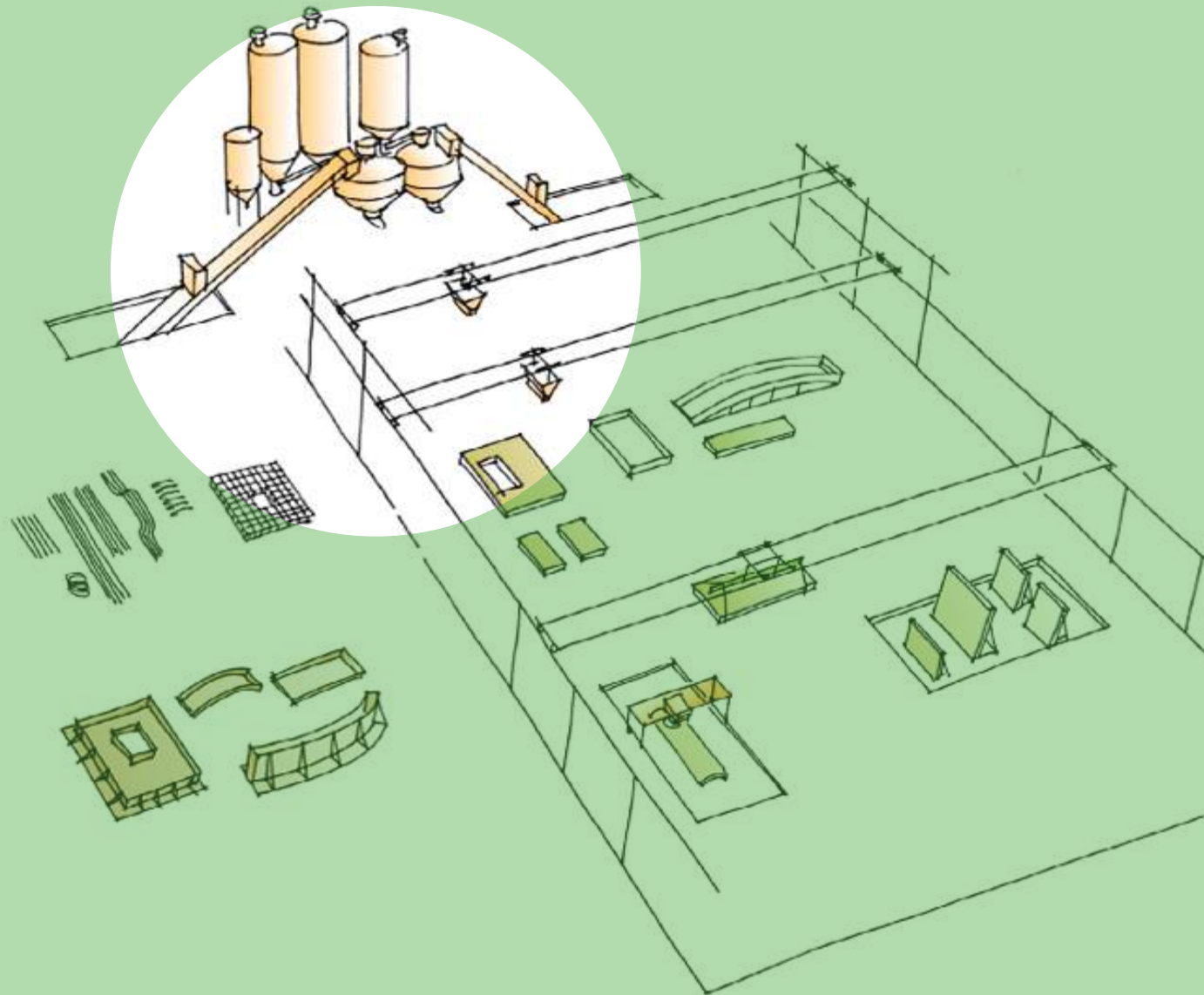
Il calcestruzzo giovane è sensibile alle essudazioni di calce. La superficie del calcestruzzo non deve essere bagnata dalla pioggia o dalla neve. Attenzione ugualmente in caso d'utilizzazione di teli in plastica: evitare ogni tipo di bagnatura per condensazione!



I calcestruzzi decorativi sono caratterizzati da forme, strutture e colori speciali. Questa figura dà una panoramica delle tappe di produzione classica: fabbricazione dei casseri e delle armature (1), confezione del calcestruzzo fresco (2), messa in opera del calcestruzzo (3), finitura della superficie del calcestruzzo (4/5), stoccaggio in attesa di trasporto e messa in opera (6).



A volte gli elementi in calcestruzzo decorativo richiedono dei casseri e delle armature con forme complesse, per es. per le scale, i pannelli di facciata, i cornicioni... Le parti del cassero devono essere assemblate in un ordine tale che possano essere smontate facilmente al momento della scasseratura, e senza che gli stampi si rompano.

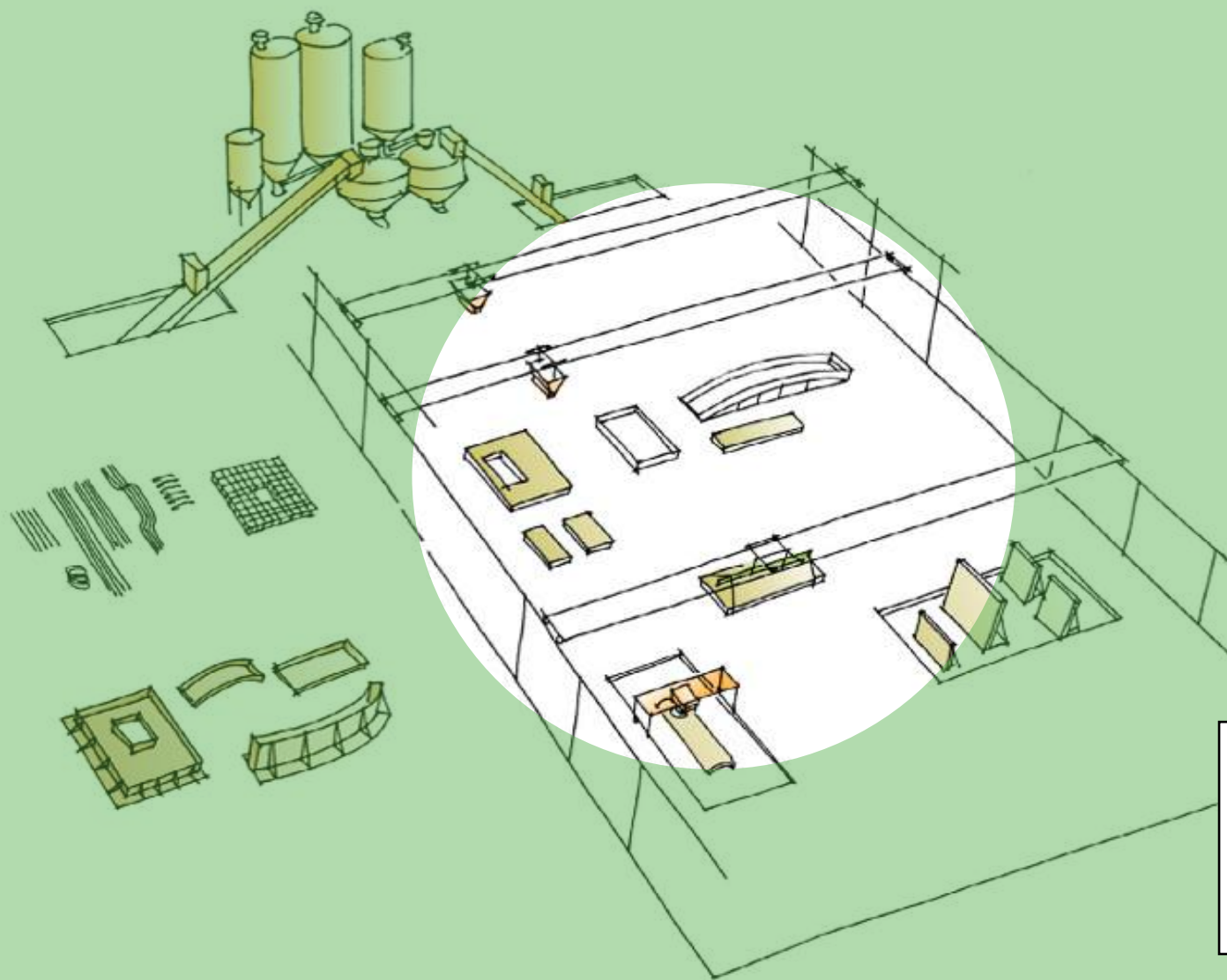


2

FABBRICAZIONE DEL CALCESTRUZZO

- controllo della composizione:
 - componenti (aggregati colorati, pigmenti...)
 - granulometria
 - lavorabilità
- campioni (cubi/cilindri)

Le formulazioni di calcestruzzi speciali possono essere messe a punto in accordo con il progettista/proprietario. L'utilizzazione di materie prime provenienti da diverse forniture può dare luogo a diversità di tonalità sulla superficie dei prodotti finiti.



3b4

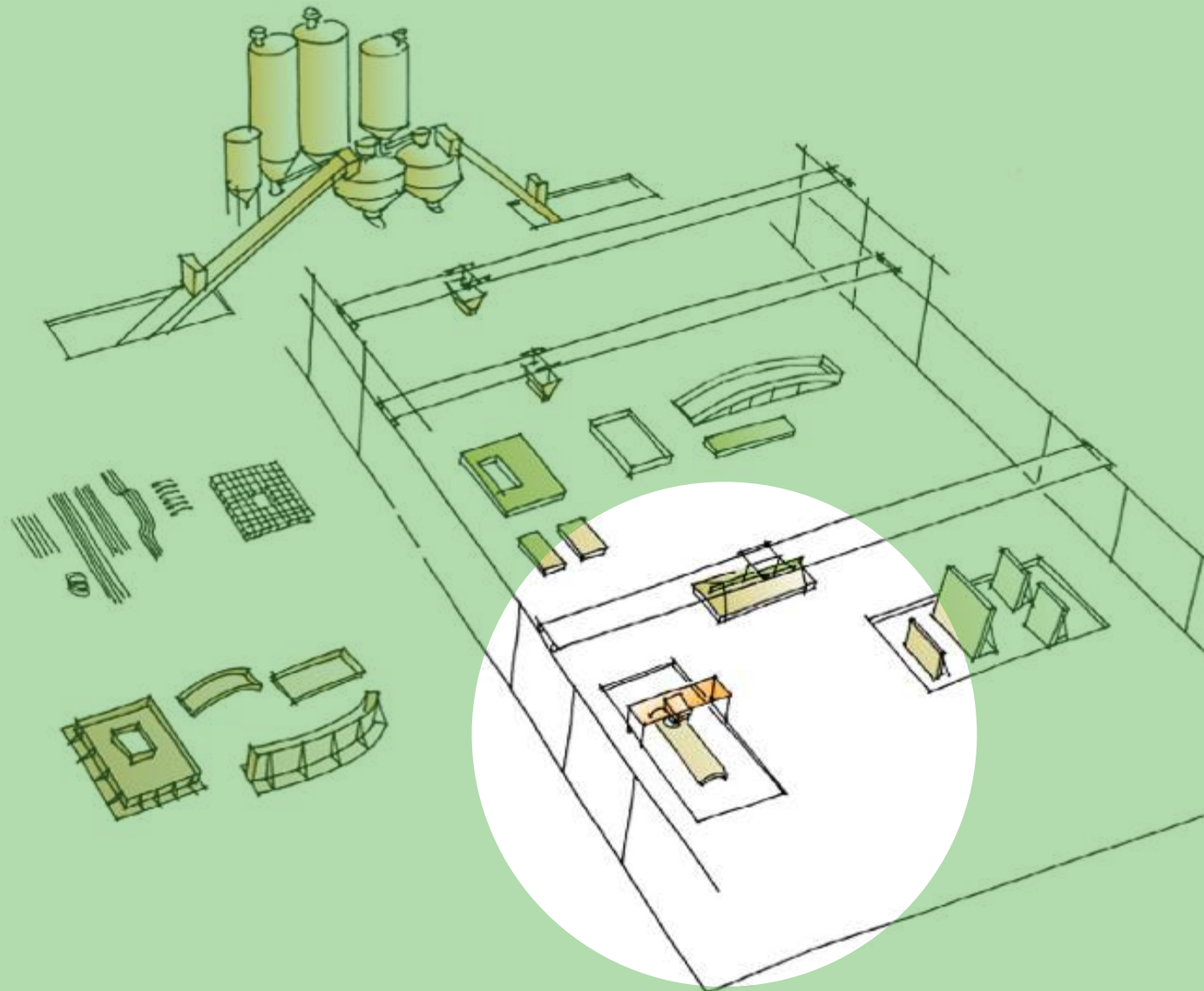


3

MESSA IN OPERA DEL CALCESTRUZZO

- compattazione
- dettagli, etichettatura...
- protezione contro l'essiccamento

Il betonaggio deve essere accuratamente preparato. Per esempio, un pannello sandwich comprende un foglio esterno, uno strato d'isolamento e un foglio esterno. I due fogli esterni contengono delle armature e sono ancorate l'una all'altra. Il foglio interno è inoltre munito di barre d'attesa, ganci per il sollevamento ed eventualmente di guaine e guide per condotti, cavi, prese... Il foglio esterno è generalmente costituito di un nucleo e di uno strato superficiale fatto di un altro tipo di calcestruzzo (vedere un altro materiale, per esempio pietra naturale, mattone...)



4c1

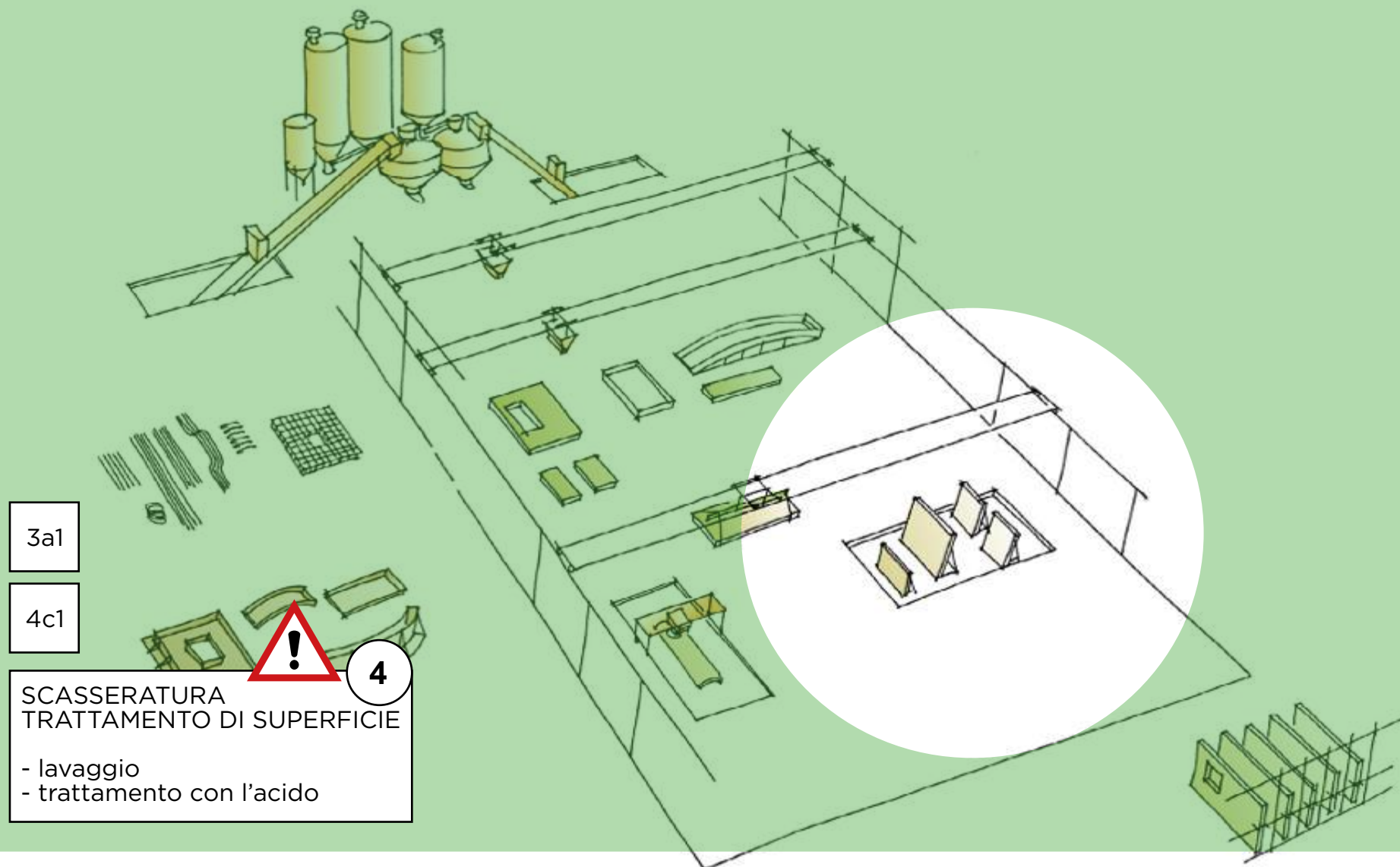
4

**SCASSERATURA
TRATTAMENTO DI SUPERFICIE**

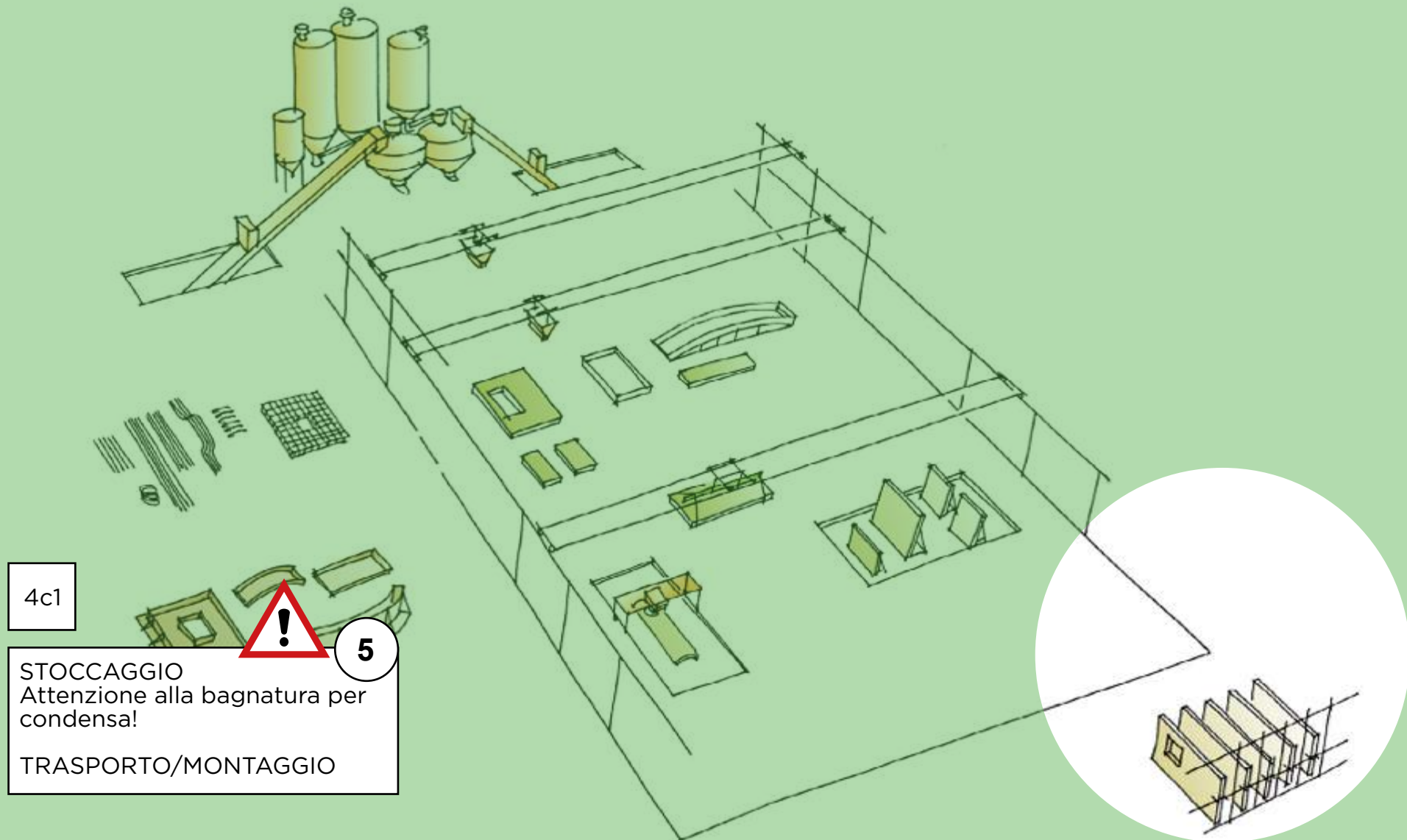
- levigatura

-

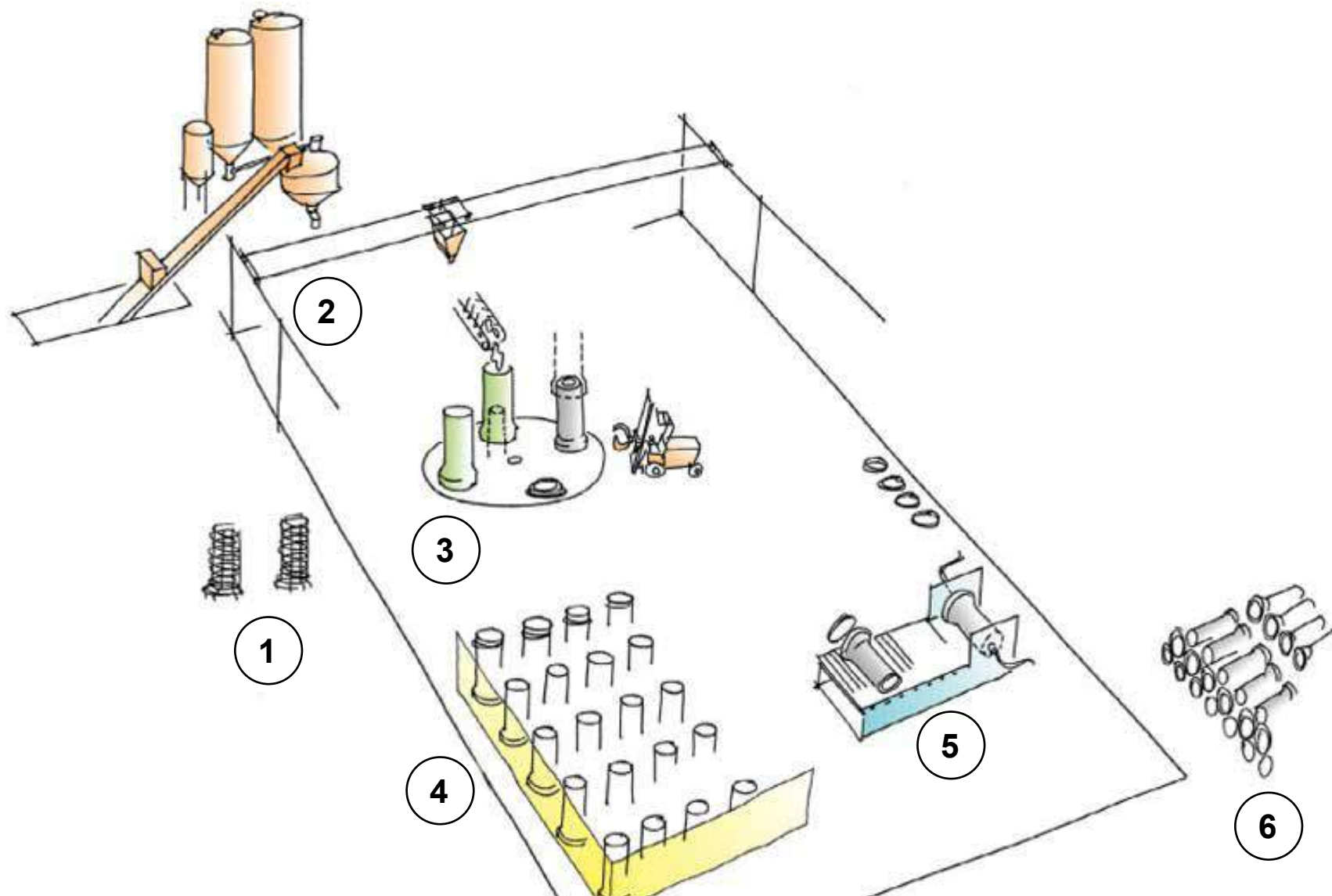
In alcuni casi, la levigatura è effettuata in un'installazione controllata via computer, per esempio per realizzare superfici piane o cilindriche. Le forme più complesse sono levigate manualmente.



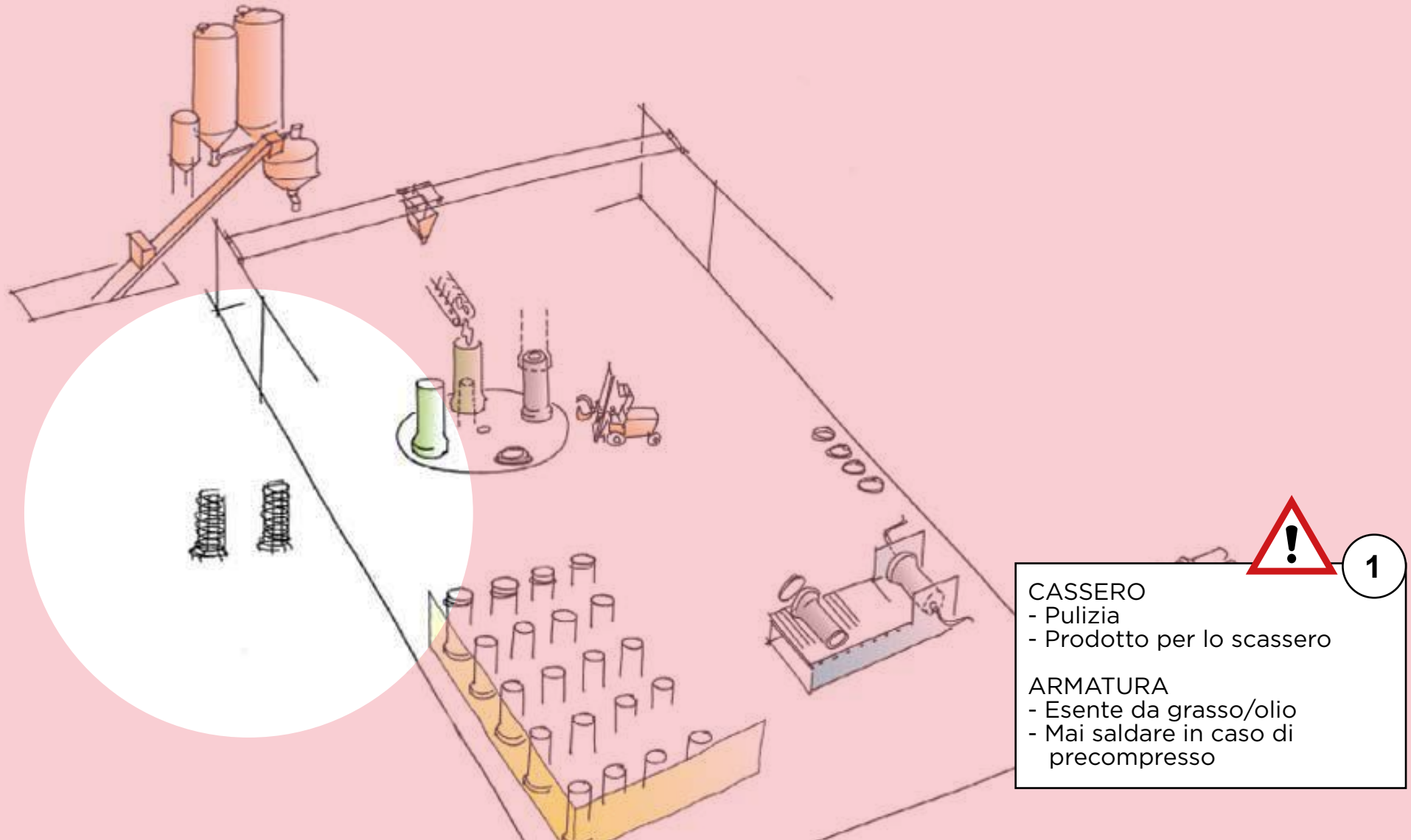
Per realizzare una superficie in calcestruzzo lavato, l'interno del cassero è cosparso con un prodotto ritardante prima della messa in opera del calcestruzzo. Dopo la scasseratura, lo strato superficiale non idratato è rimosso con un getto d'acqua, in modo da rivelare gli aggregati grossolani. Applicando una pasta acida, la pelle del cemento si dissolve parzialmente. In seguito l'elemento deve essere sciacquato abbondantemente. La superficie così ottenuta è opaca. Un aspetto ugualmente opaco, ma più rugoso, è ottenuto con la sabbatura.



Al momento dello stoccaggio, del trasporto e del montaggio, importa prendere tutte le misure necessarie per impedire il degrado e lo sporcarsi degli elementi. Il calcestruzzo giovane è sensibile alle essudazioni della calce. Per questo motivo non deve essere bagnato dalla pioggia, neve, acqua di condensa... Gli elementi di facciata sono generalmente trattati con un prodotto protettivo (idrofugo, anti graffiti...).

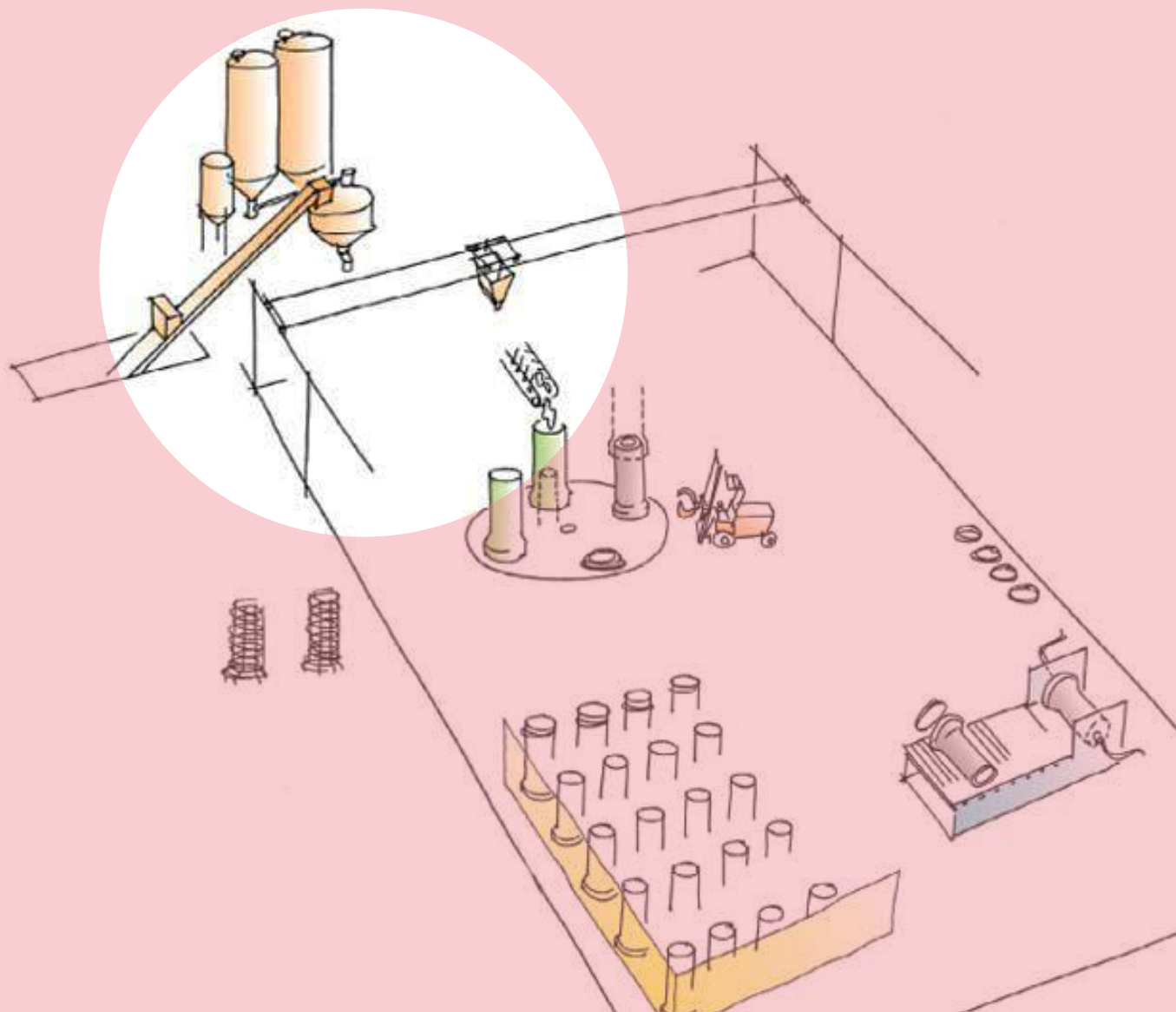


In funzione del tipo di tubo (dimensioni, settore di applicazione...), sono possibili diversi metodi. La figura mostra le tappe di produzione di tubi armati, fabbricati verticalmente: assemblaggio delle gabbie d'armatura a spirale (1), confezione del calcestruzzo fresco (2), betonaggio (3), stoccaggio temporaneo e finitura (4), controllo di qualità (5), stoccaggio (6). Per ogni tipo di tubo, esistono inoltre pezzi accessori, come dei manicotti, raccordi, ...



I tubi con piccolo diametro e che non sono esposti a sollecitazioni meccaniche importanti, sono ugualmente fabbricati in calcestruzzo non armato. Per alcune applicazioni, esistono anche tubi in calcestruzzo armato di fibre d'acciaio.

2b3 stabilimento di prefabbricazione I tubi

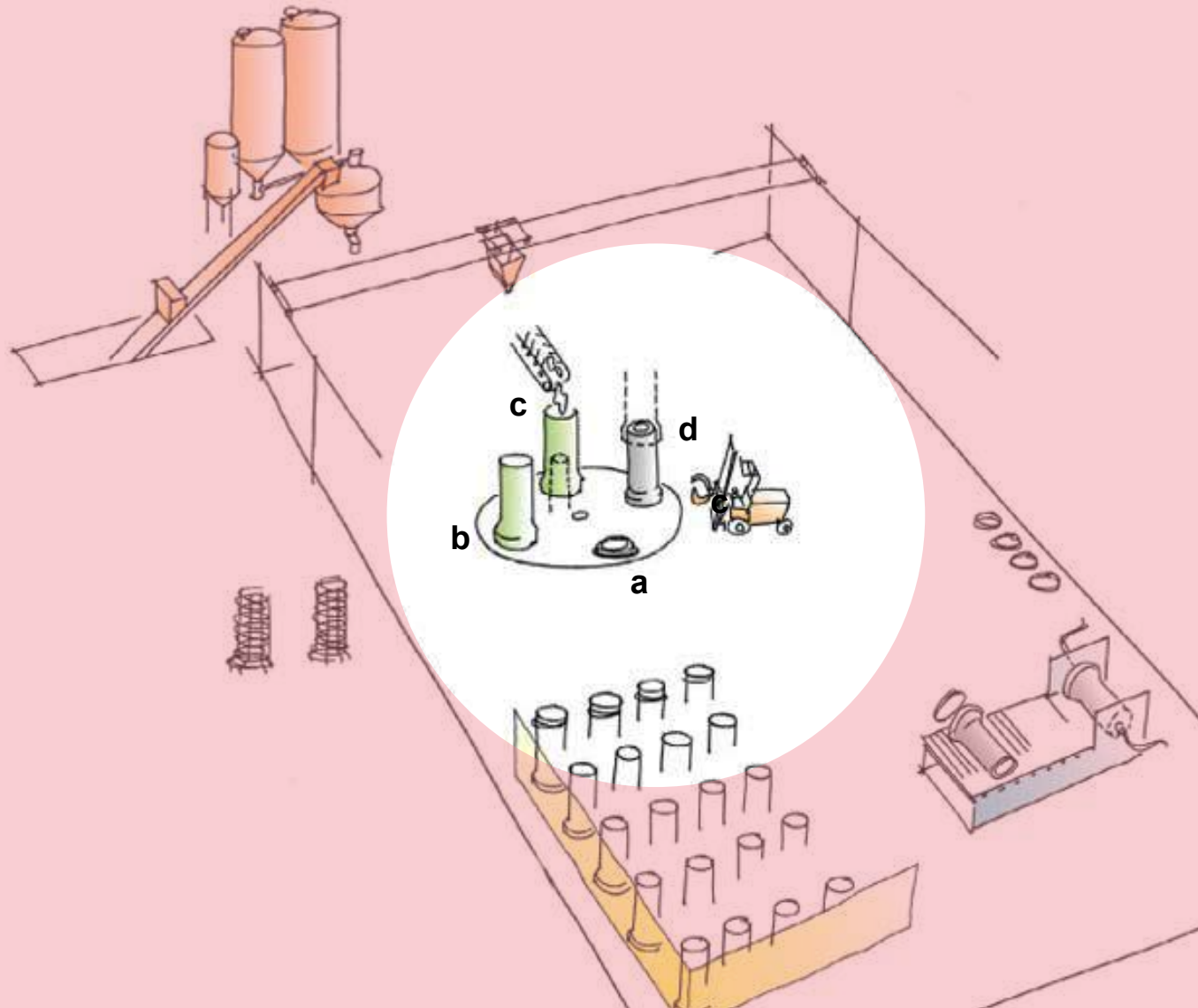


2

FABBRICAZIONE DEL CALCESTRUZZO

- controllo della composizione:
 - componenti (per es. cementi speciali, fibre...)
 - granulometria
 - lavorabilità
- campioni (cubi/cilindri)

Per ciascun tipo di tubo è messa a punto una composizione di calcestruzzo. Il calcestruzzo utilizzato per i tubi che saranno esposti agli agenti aggressivi, deve rispondere a severi criteri riguardo alla granulometria, tipo di cemento e tenore in cemento. Per ottenere un calcestruzzo compatto, il rapporto A/C deve essere il più basso possibile.



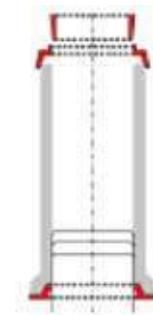
3b4



3

MESSA IN OPERA DEL CALCESTRUZZO

- tecniche di compattazione: compressione, laminazione, vibrazione, centrifugazione
- evitare qualsiasi tipo di deformazione delle estremità (maschio/femmina)

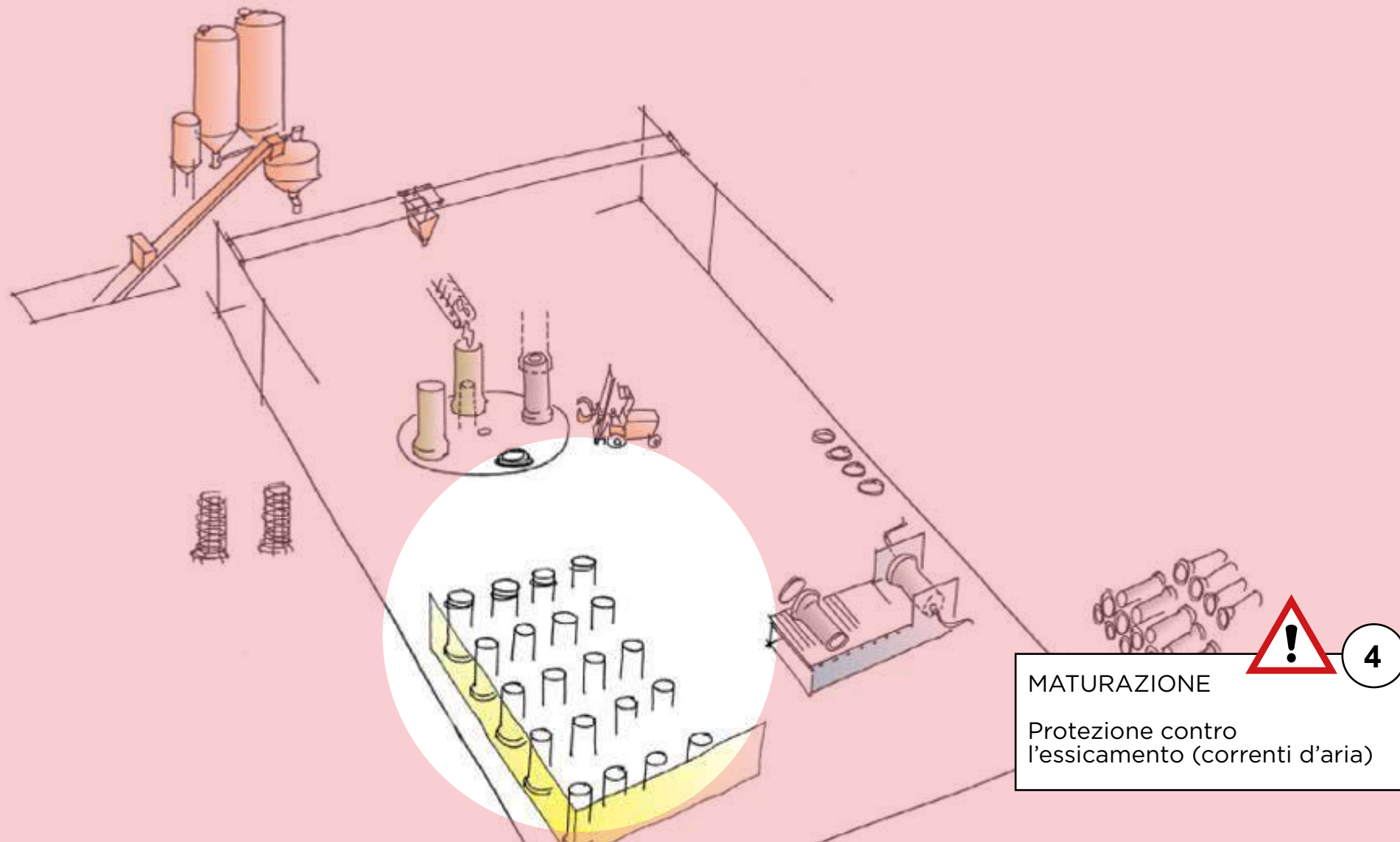


Anello di protezione

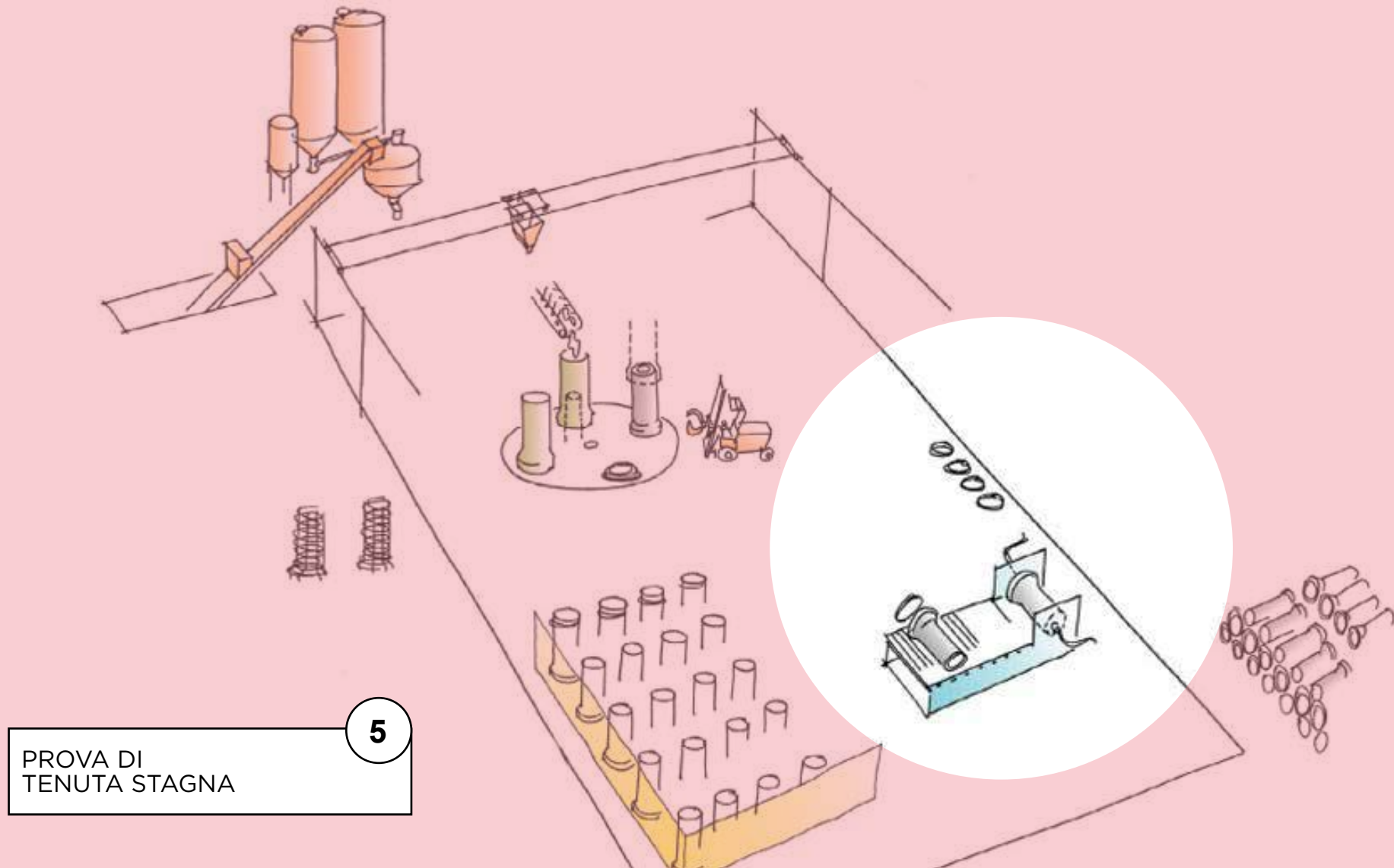
Anello inferiore/
giunto di tenuta
stagna

Esempio di dispositivo per fabbricare tubi. Sono messe in posto (a) prima l'anello inferiore - con giunto in caucciù - e l'armatura (non riportata in figura). Poi è calato lo stampo esterno (b). Durante il getto del calcestruzzo, lo stampo interno sale girando (c). È munito di vibratori. Finalmente lo stampo esterno è estratto (d). Le bavature eventuali sono eliminate. La forma esatta dell'estremità maschio è assicurata tramite un anello di protezione in acciaio.

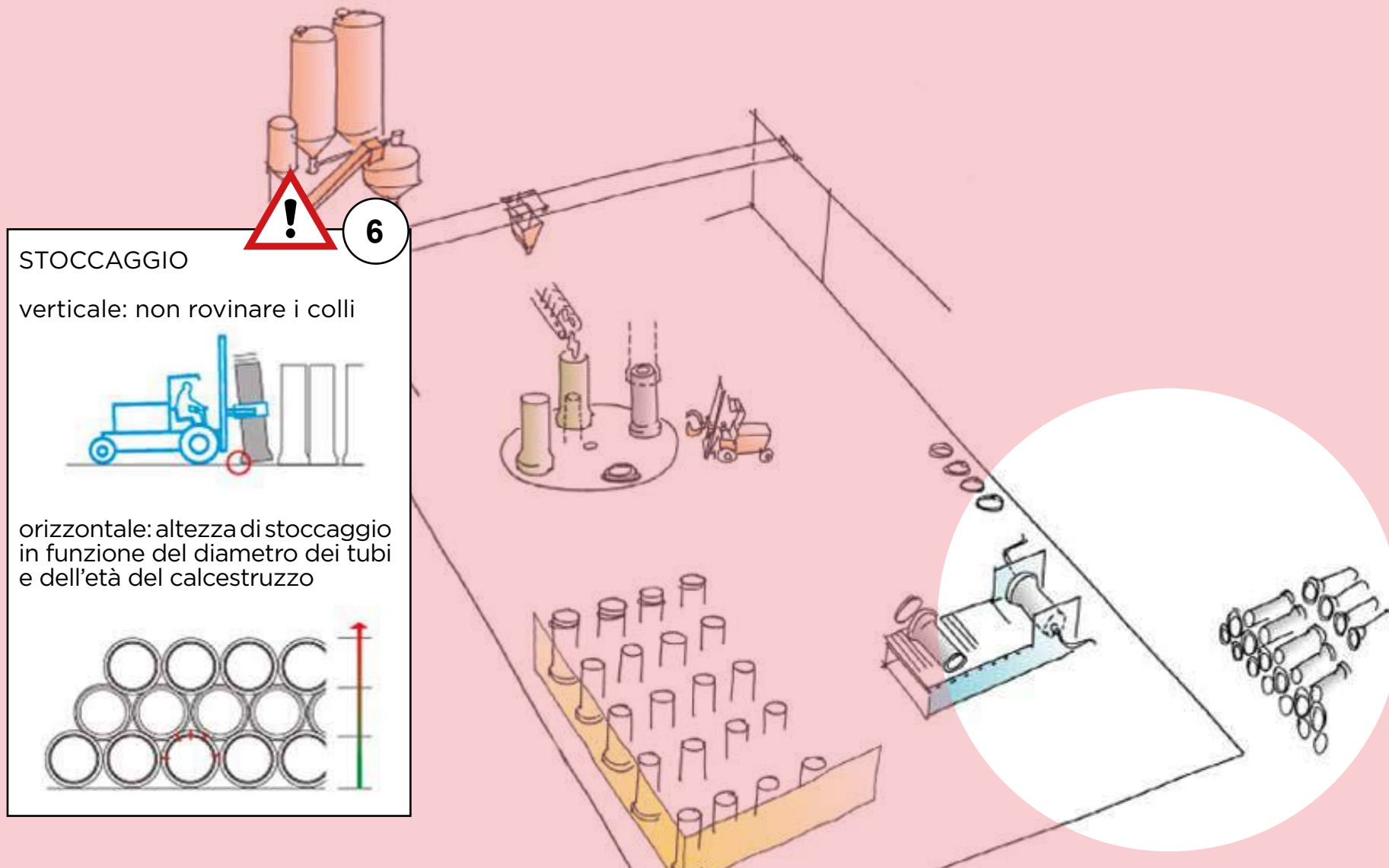
2b3 stabilimento di prefabbricazione I tubi



I tubi scasserati da poco sono ordinati verticalmente in uno spazio al coperto. Al momento della manipolazione, ogni tipo di danneggiamento delle estremità va evitato. Al fine di evitare l'evaporazione dell'acqua di impasto, può essere utile polverizzare un prodotto per la cura sui tubi. Dopo 24 ore, ossia quando il calcestruzzo è sufficientemente indurito, gli anelli possono essere rimossi. Prima di essere riutilizzati, devono essere puliti e le loro forme e dimensioni controllate.



I tubi sono sottoposti a una prova di tenuta stagna sotto vuoto.



L'accumulo di tubi troppo giovani in strati può provocare fessure.



dosaggi a titolo d'esempio e solamente per piccole quantità!

Destinazione del calcestruzzo		Pietrisco scelto	Numero di volumi per 1 volume di cemento			Volumi
			Numero di litri (kg) per 50 kg di cemento			Litri (kg)
			pietrisco	sabbia del Reno	acqua	Calcestruzzo fresco
CALCESTRUZZI STRUTTURALI (ARMATI E NON)	Qualità superiore (calcestruzzo esposto a pioggia e/o gelo)	4/32	2 3/4 volume 110 litri (180 kg)	1 volume 45 litri (75 kg)	1/2 volume 20 litri	3 1/4 volume 135 litri
		4/14 o 6/20	2 1/2 100 (160)	1 45 (75)	1/2 20	3 120
		2/8	1 3/4 75 (105)	1 45 (75)	1/2 20	2 1/2 105
	Qualità ordinaria (calcestruzzi protetti dalla pioggia e dal gelo)	4/32	3 130 (205)	1 1/2 60 (100)	2/3 25	3 3/4 160
		4/14 o 6/20	2 3/4 115 (160)	1 1/2 60 (100)	2/3 25	3 1/3 140
		2/8	2 85 (120)	1 1/2 60 (100)	2/3 25	3 125
FONDAZIONI	Con sabbie del Reno	4/32 o 6/20	3 3/4 155 (220)	2 80 (130)	3/4 30	4 1/3 180
	Con sabbie fini	o 2/8	3 1/2 145 (200)	2 85 (110)	3/4 30	4 165



La SABBIA UMIDA rigonfia: aumentare la quantità di sabbia e utilizzare meno acqua!

“Piccole quantità”, vale a dire meno di un m³ di calcestruzzo. Detriti e sabbia devono essere stoccati su una superficie pulita e rigida, e coperti con un telo. Sacchi di cemento devono essere conservati in un luogo asciutto.

(pietrisco, vedere:)

1a

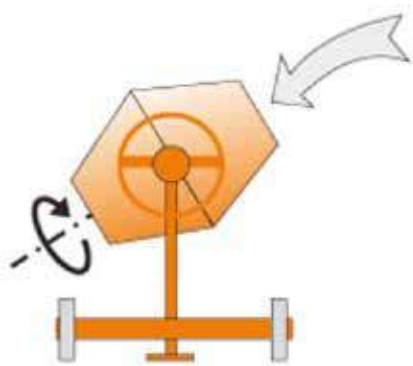
(scelta del cemento, vedere:)

1c

2b4 fare calcestruzzo in cantiere | mescolamento

(0= accendere la betoniera!)

Introdurre



1- la metà del pietrisco + una parte dell'acqua



2- il cemento

mai cominciare con il cemento!!!

3- la sabbia + il resto del pietrisco

4- l'acqua necessaria per una "consistenza plastica"

5- proseguire con il mescolamento per 2-3 minuti

6- svuotare la botte + gettare il calcestruzzo

(7- pulire attentamente la betoniera a fine lavoro!)

Quando il cemento è introdotto per primo nella betoniera si ha formazione di grumi.



Troppo bagnato...
(rischio di segregazione)

aggiungere cemento



Troppo secco...
*(poco lavorabile, rischio di
cavità, nidi di ghiaia)*

aggiungere acqua



“Plastico”
(lavorabile, senza rischi di segregazione)



rapporto acqua/cemento: tra 0.4 (qualità superiore) e 0.6 (calcestruzzo di fondazione)

Norme e Prescrizioni Tecniche:

UNI EN 206-1:2001 Cemento - Parte 1: Specifiche, prestazioni, produzione e conformità
Bruxelles: IBN, 2001

1

componenti del calcestruzzo

2

fare calcestruzzo

3

il calcestruzzo fresco

4

il calcestruzzo indurito

a - PREPARAZIONE

3a1 cassero

3a2 armatura

b - MESSA IN OPERA

3b1 mescolazione

3b2 trasporto

3b3 messa in opera

3b4 compattazione

3b5 protezione

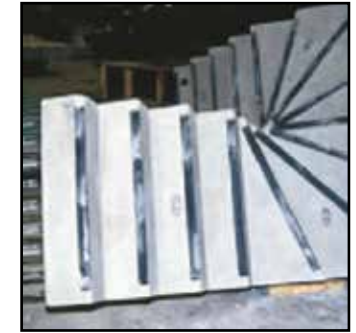
c - CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO FRESCO

3c1 consistenza

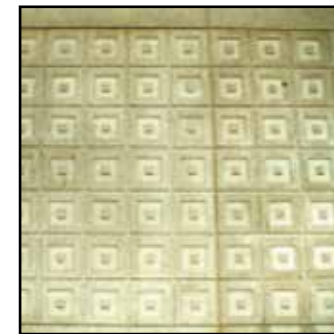
3c2 stabilità

3c3 maturazione

Liscio

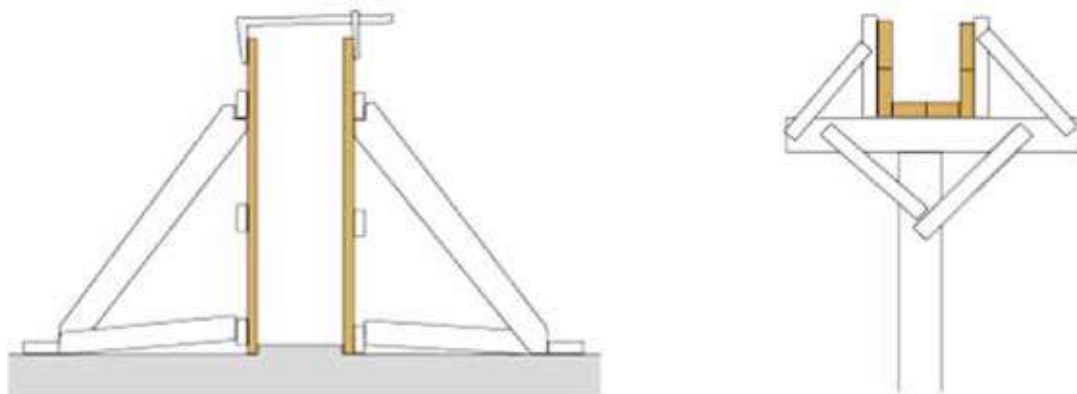


Strutturato

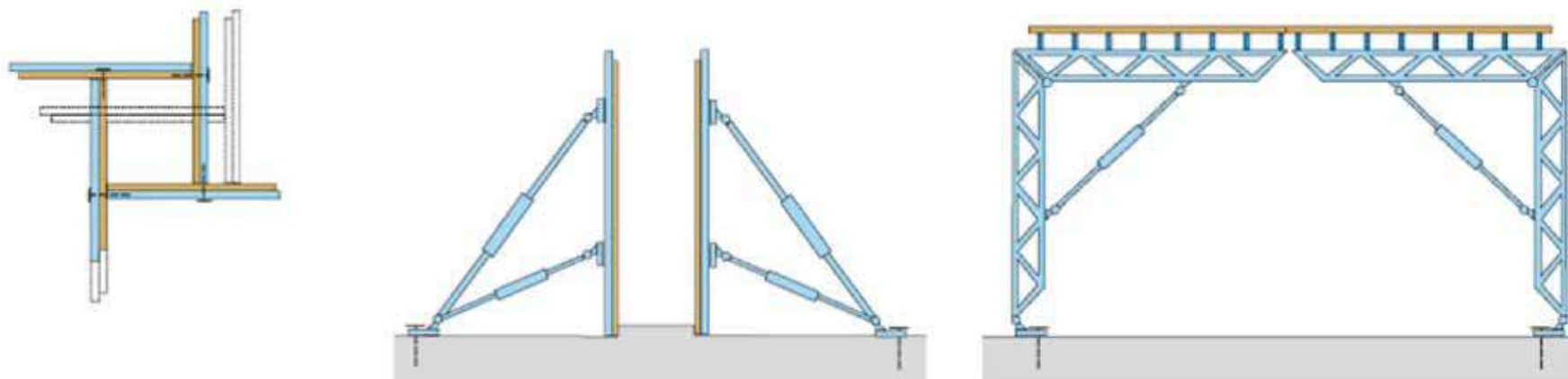


Le superfici lisce sono realizzate per mezzo di pannelli di cassetteria in multiplex (“bakelizzato” o ricoperto da uno strato di materiale sintetico), o di casseri in acciaio. Il disegno delle nervature dei pannelli di legno grezzo costituisce una tessitura “classica”. Ogni rilievo, disegno o motivo può però essere riprodotto in caucciù-silicone. Questo rivestimento flessibile serve come pelle nel cassero.

Casseri tradizionali

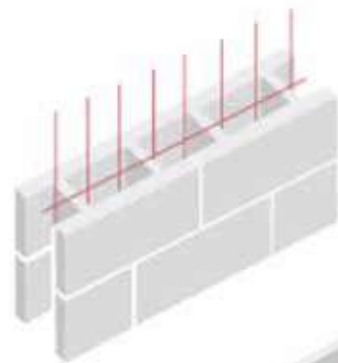


Casseri industriali

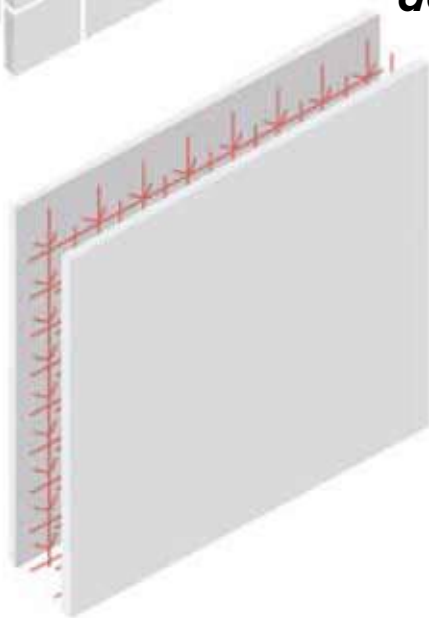


I casseri tradizionali in pannelli sono sempre più spesso sostituiti con dei sistemi di casseri industriali. Questi sono regolabili e meno deformabili, richiedono meno mano d'opera e puntellamento, portano meno detriti e possono essere riutilizzati.

Casseri non recuperabili (“a perdere”)



blocchi cavi



doppia parete

tubi



travetto intermedio



lastre



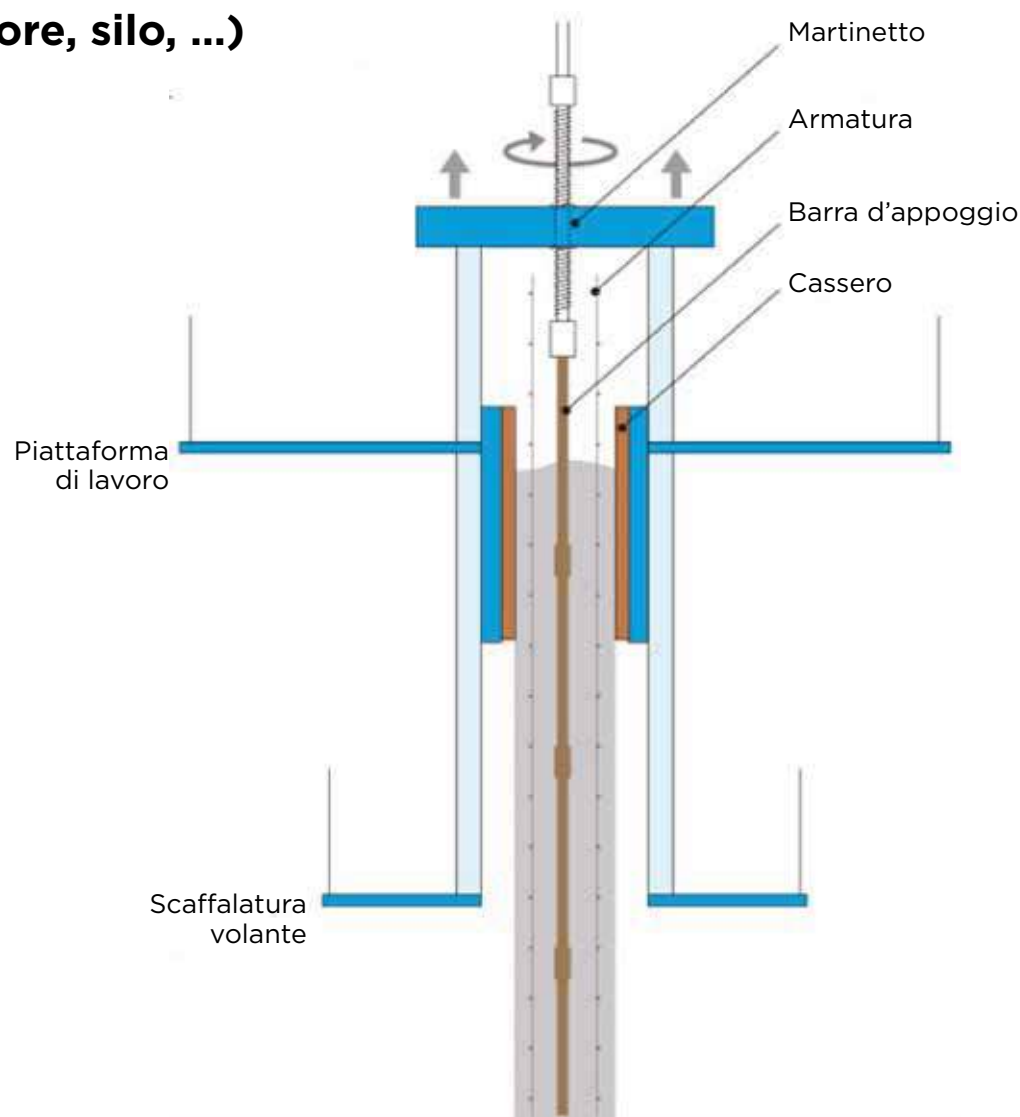
predalle



profilati metallici

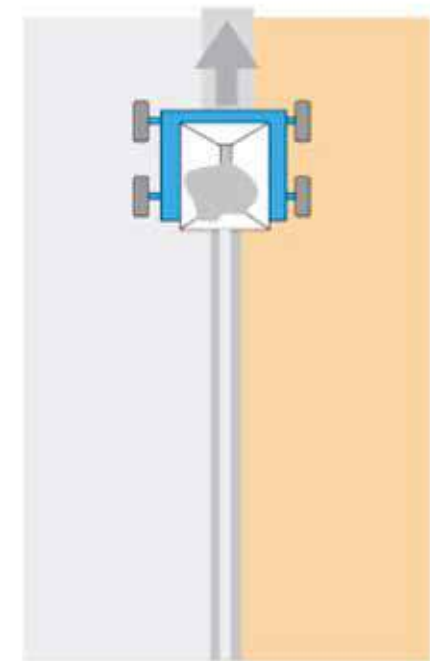
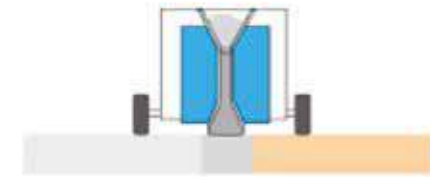
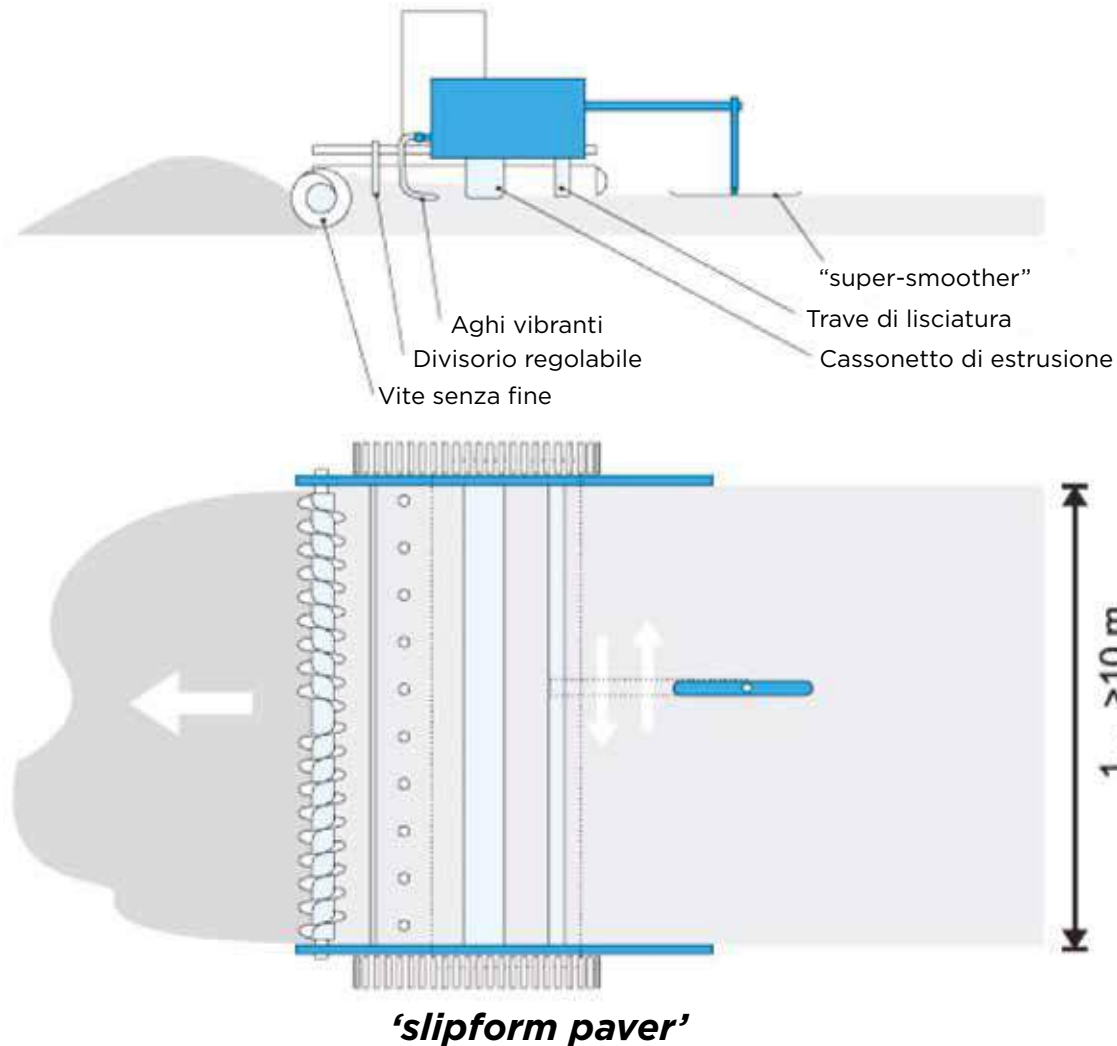
I casseri a perdere restano incorporati nella costruzione dopo l'indurimento del calcestruzzo. Gli elementi in calcestruzzo prefabbricato sono i casseri a perdere più comuni. Le forme in materiale sintetico servono d'isolamento termico e/o rendono la costruzione più leggera.

Casseri a scivolo (gabbia d'ascensore, silo, ...)



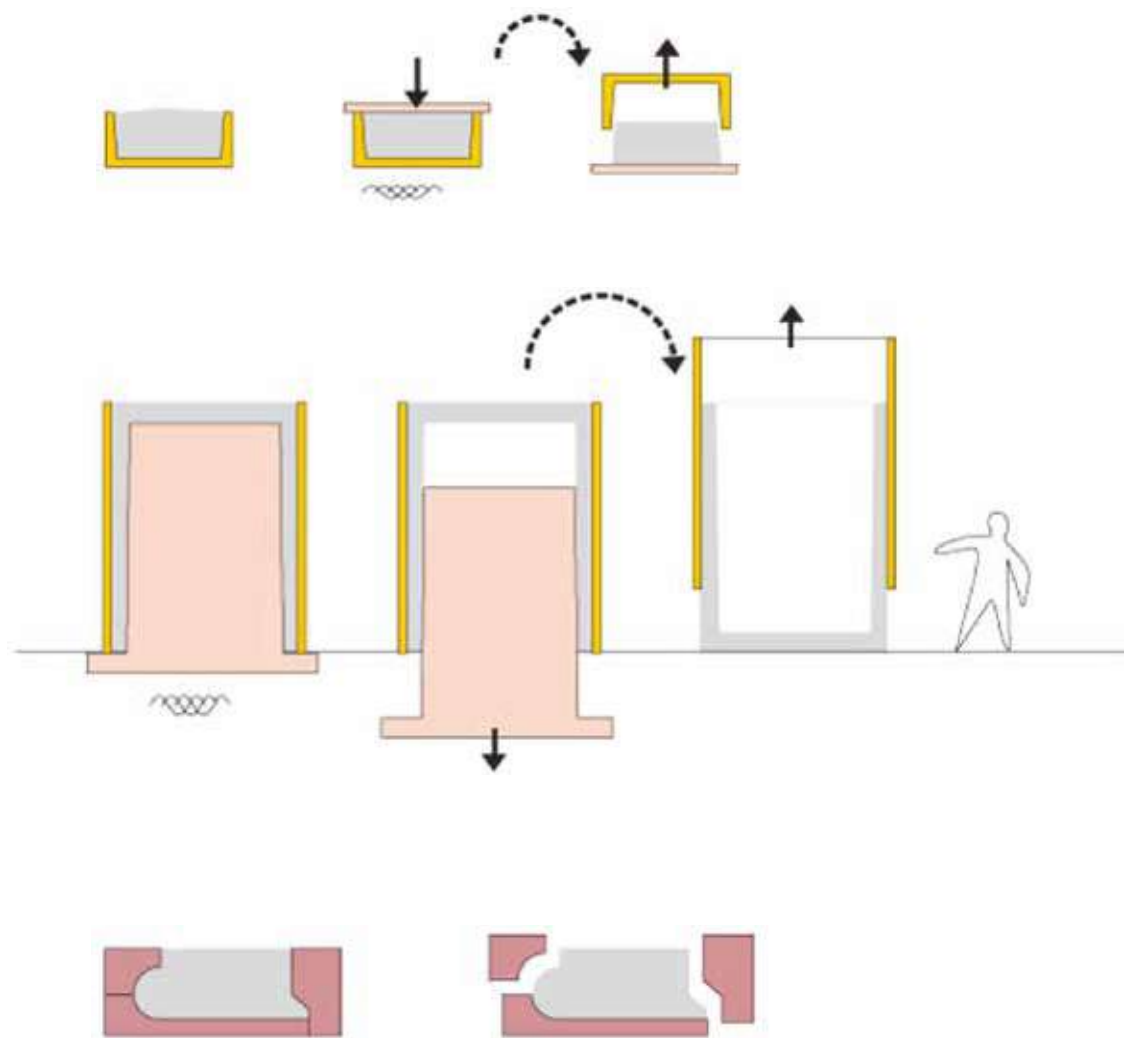
Principio di un cassero a scivolo verticale (Slipform). Durante il getto del calcestruzzo, le pareti del cassero salgono lentamente con un movimento continuo. Non ci sono dunque giunti di ripresa, contrariamente al cassero rampante dove il calcestruzzo è messo in opera per tappe. Nel caso di un cassero a scivolo, la velocità di getto può raggiungere i 6m ogni 24ore. Le esigenze in termini di ritmo d'approvvigionamento e di lavorabilità del calcestruzzo sono tuttavia molto severi.

Casseri a scivolo (costruzione di strade)



barriere 'new jersey'

Esempi di casseri a scivolo – nella “slipform paver” si trova il “super-smoother”. Si tratta di una trave lisciante che si sposta trasversalmente seguendo un movimento regolare di va e vieni.



- classe di consistenza
- compattazione
- scasseratura

3b4

Esempi di casseri utilizzati nella prefabbricazione. Il calcestruzzo per pavé, blocchi di muratura, piastrelle ecc. è di una consistenza molto bassa. Infatti i prodotti possono essere scasserati immediatamente. Per quanto riguarda invece le piastre, i pannelli, le travi e le colonne, la scasseratura avviene quando il calcestruzzo è abbastanza indurito. Gli stampi che devono essere riutilizzati più di una volta sono in acciaio.

I casseri per elementi in calcestruzzo architettonico sono realizzati in legno, con la stessa precisione che si usa per la costruzione di mobili.

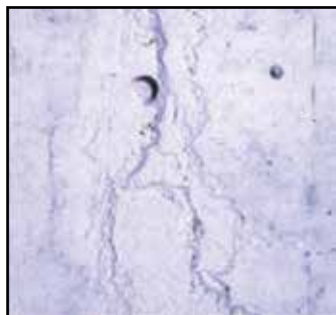
Problema



tonalità diverse

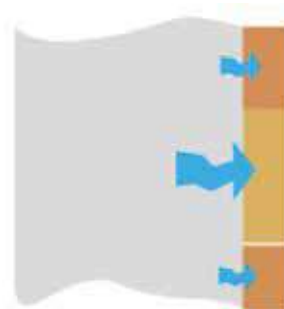


nido di ghiaia



strisciate di sabbia

Cause



cassero
più assorbente
= A/C più basso
= tinta più scura



fughe al livello
dei punti di
giunzione
del cassero



getto su
calcestruzzo
segregato

Precauzioni

- materiale del cassero omogeneo
- applicazione del disarmante sul cassero prima di gettare il calcestruzzo

- materiale del cassero adatto
- rigidità del cassero
- applicazione del disarmante sul cassero prima di gettare il calcestruzzo

- composizione corretta del calcestruzzo
- compattazione adatta

Questi errori frequenti possono essere evitati facilmente

Problema



bolle d'aria

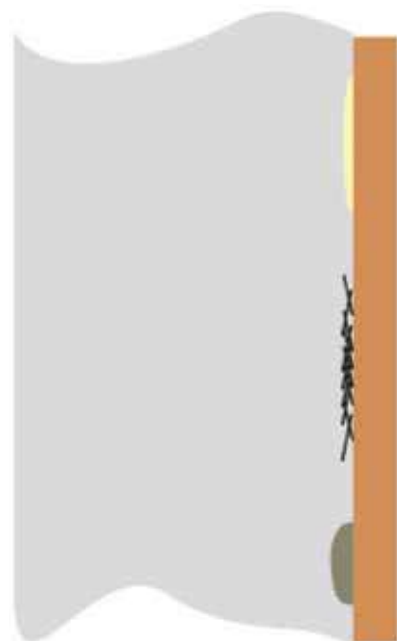


*differenza di tinta,
disuguaglianze,
sporcizia, ...*

Causa



disarmante
inadeguato su
un cassero liscio



ghiaccio, gelo

sporcizia, ruggine

terra...

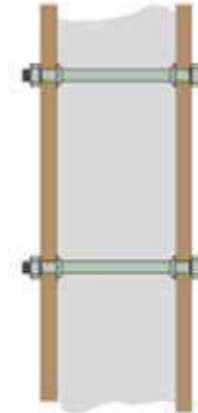
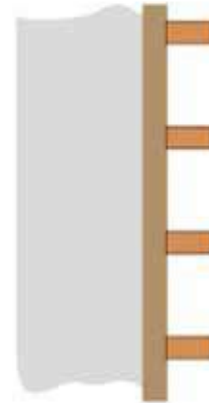
Precauzioni

scelta del prodotto disarmante,
della tecnica di compattazione

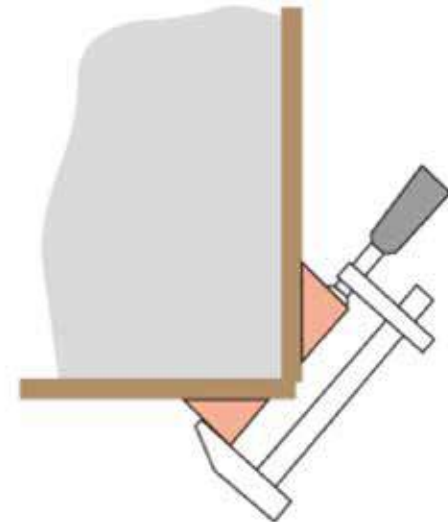
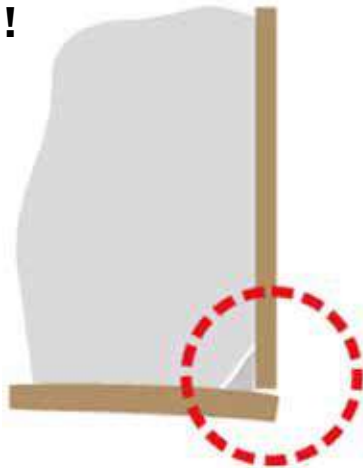
ispezione del cassero prima di gettare
il calcestruzzo

Anche questi difetti possono essere facilmente evitati...

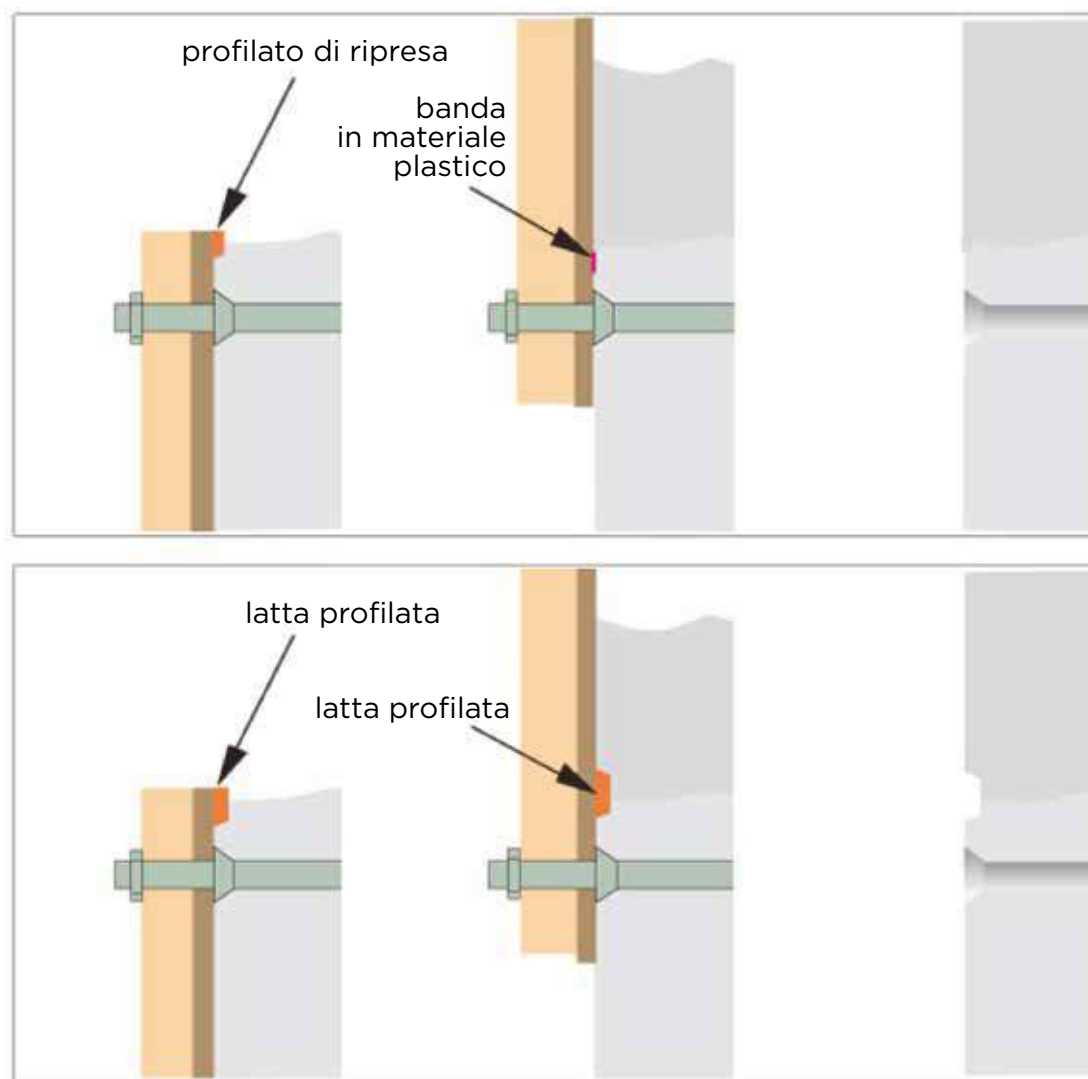
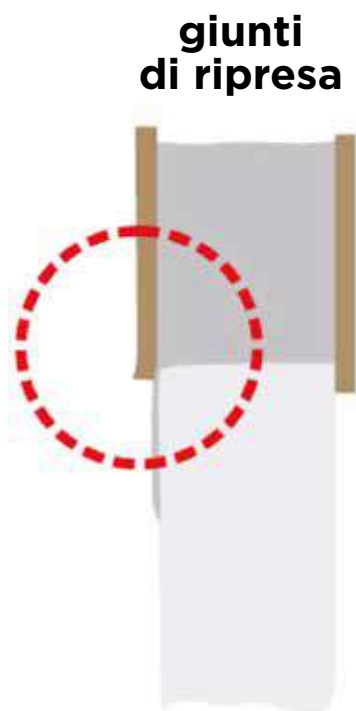
**Cassero
insufficientemente
rigido**



Spigoli !



La rigidità del cassero e la tenuta stagna degli spigoli e dei giunti sono criteri tanto più importanti quanto il calcestruzzo è più fluido (pressione laterale più forte nella parte inferiore del cassero).



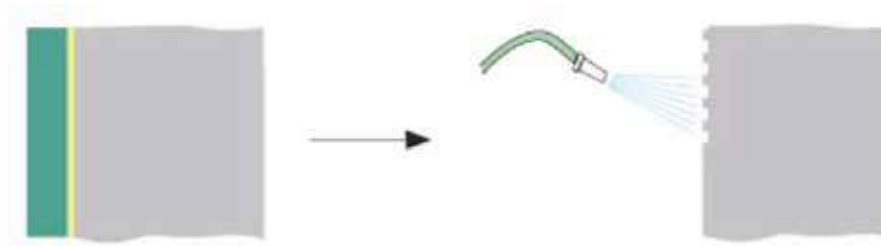
I buchi dei tiranti nel calcestruzzo indurito permettono di stringere il cassero dello strato successivo e di evitare così le fughe (figura in alto). I giunti di ripresa si distaccheranno probabilmente dalla superficie dopo lo scasso del calcestruzzo. Il progettista può evitare questo suddividendo la superficie seguendo un certo modulo. I giunti di ripresa possono essere dissimulati per mezzo di finti giunti (figura in basso). In tale modo, le eventuali leggere differenze di tonalità con le gettate successive saranno meno evidenti.

Casseri/stampi in metallo, plastica, multiplex, legno bakelizzato...

- oli (minerali o vegetali, greggio o in emulsione)



- ritardante



- cera (tappa-pori)



Il prodotto deve aderire al cassero al momento del getto di calcestruzzo

I prodotti disarmanti impediscono che il calcestruzzo aderisca al cassero. Le barre dell'armatura devono rimanere esenti da qualsiasi prodotto disarmante! I casseri saranno dunque trattati prima della messa in opera delle armature.

Cassero in legno grezzo

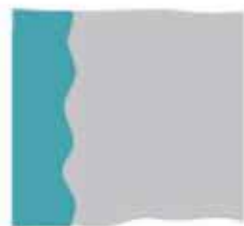


inumidire il cassero

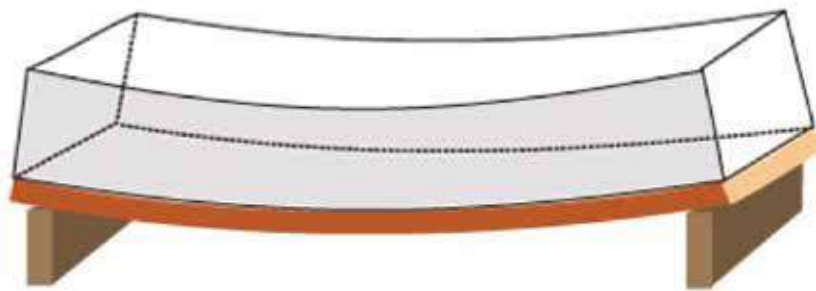
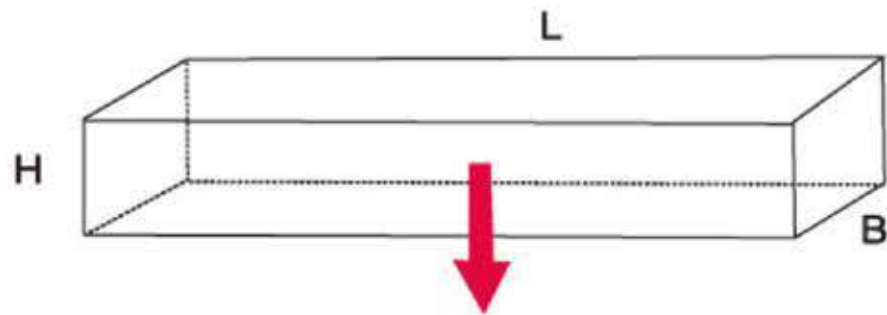


Stampi in silicone, caucciù

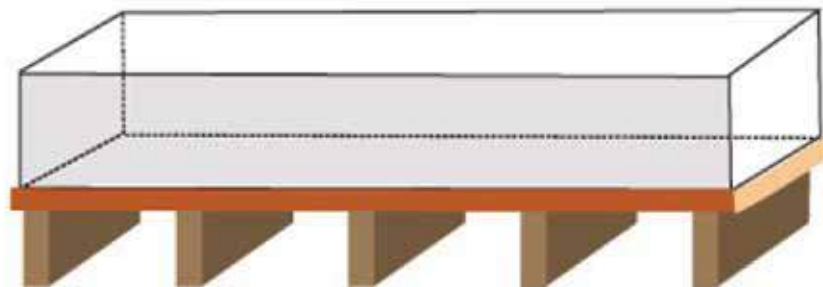
Prodotto di scasseratura
non necessario



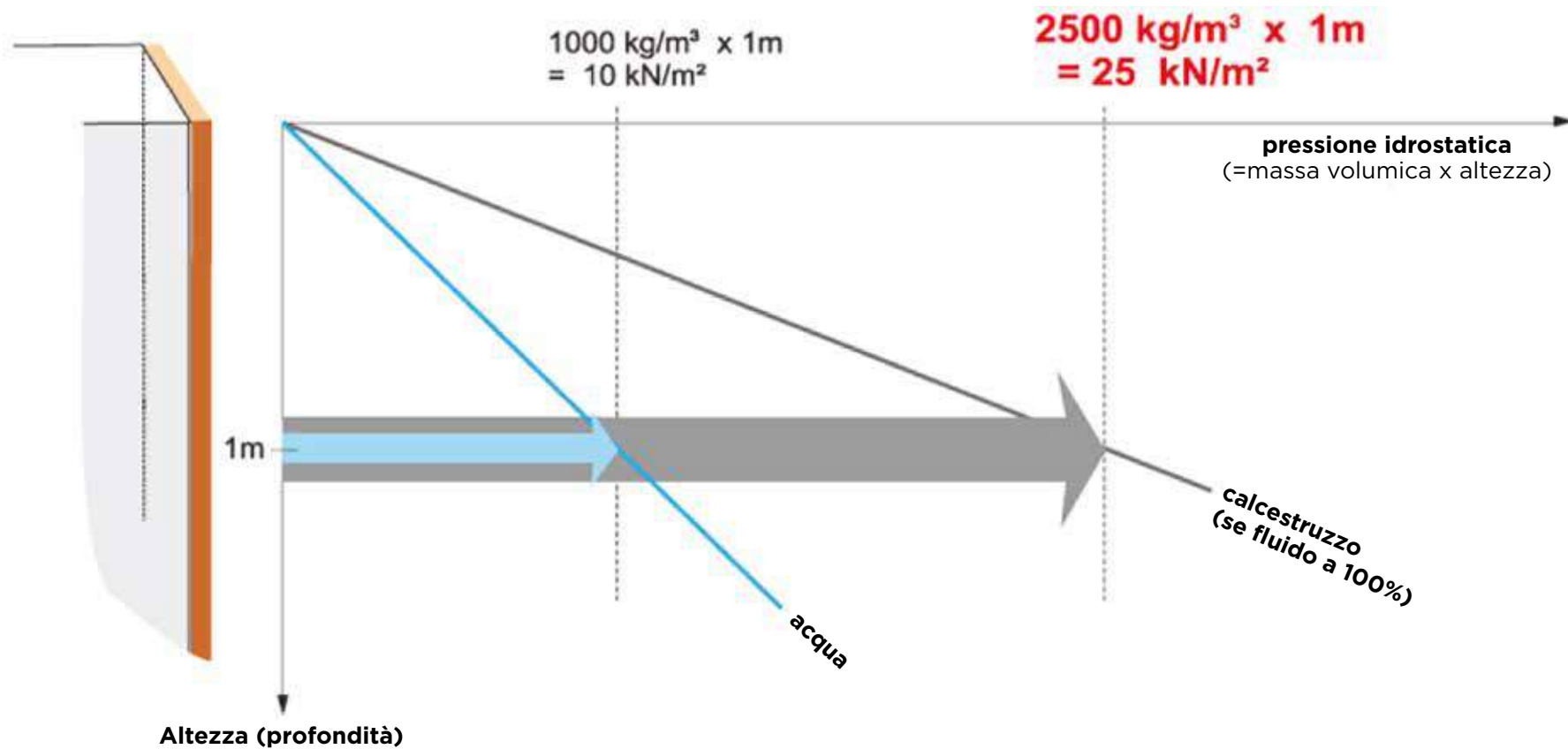
L'umidificazione dei listelli impedisce che il cassero assorba l'acqua d'impasto. Allo stesso tempo fa' rigonfiare il legno prima del getto, riducendo così il rischio di perdita di boiaccia e di deformazione dei listelli durante il getto.



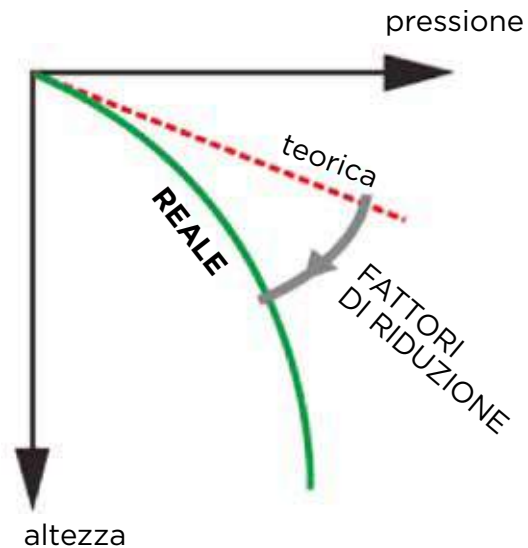
$L \times B \times H \times 2500 \text{ kg/m}^3$!



I casseri tradizionali richiedono un puntellamento adeguato.



Dopo l'uscita di calcestruzzi molto fluidi - "calcestruzzi auto livellanti" o "self compacting concrete (SCC)" - questo non è più un caso teorico!



- **CONSISTENZA**

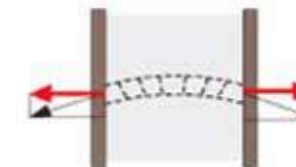
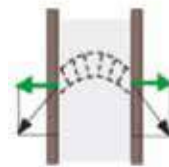
pressione
più debole:



pressione
più elevata:



- **EFFETTO DI VOLTA DEL SILO**



- **FRIZIONE (IN FUNZIONE DELLA RUGOSITÀ DEL CASSERO)**



- **VELOCITÀ DI BETONAGGIO, D'ASCENSIONE**



litri/h

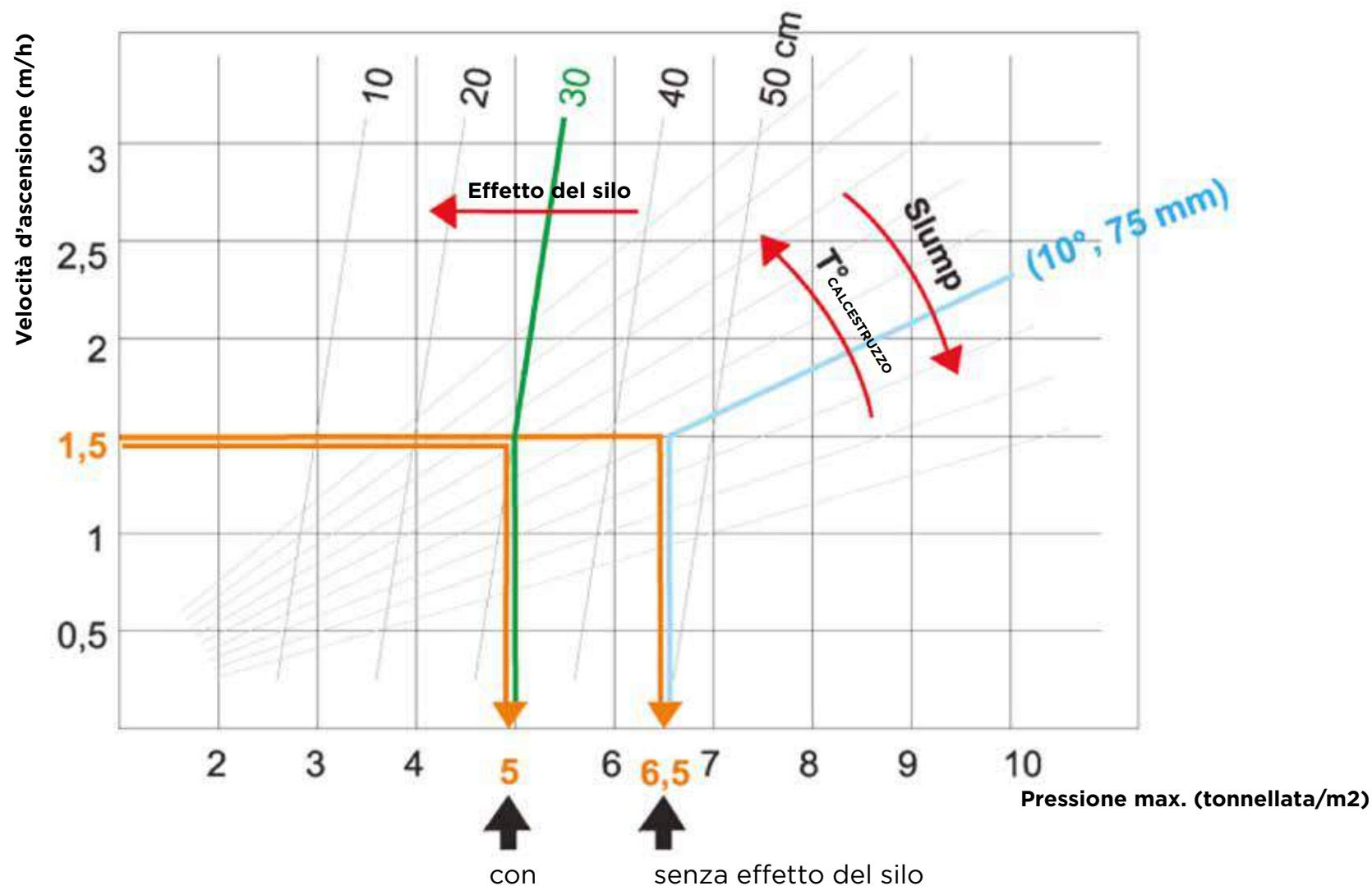


m³/min.

- **RITARDO DELL'INDURIMENTO (IN FUNZIONE DELLA T°)**

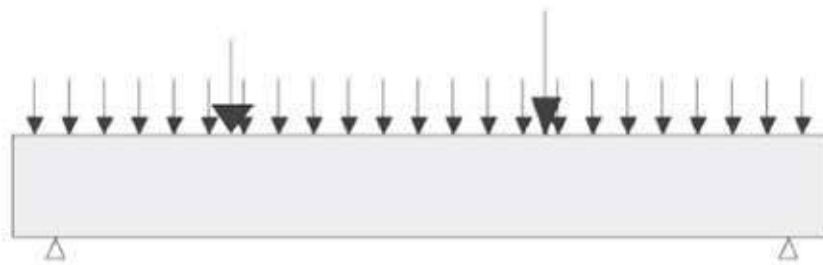


I fattori di riduzione trasformanti la linea dritta teorica in una curva, sono validi solo per un calcestruzzo normale – più precisamente un calcestruzzo a base di aggregati e sabbia correnti, cemento di Portland, ma senza additivo – e non per un calcestruzzo auto livellante!



Considerando un cassero per un muro di 30 cm di spessore, una temperatura del calcestruzzo di 10°C , uno spandimento ("slump") di 75 mm, ovvero una classe di consistenza S2, e una velocità d'ascensione di 1,5 m per ora. La pressione di cui bisognerà tener conto è la più piccola dei 3 valori seguenti (vedi figura):

- 65 kN/m² partendo dalla coppia temperatura-spandimento (10°C , 75 mm);
- 50 kN/m² su base dello spessore del muro (30 cm);
- la pressione idrostatica massimale, ossia $(h \times 24)$ kN/m².



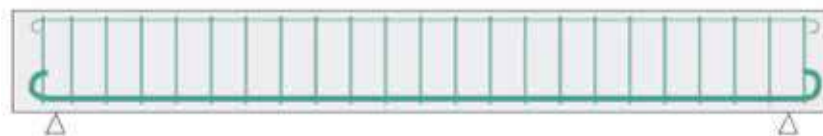
PESO PROPRIO
CARICO UTILE
COEFFICIENTI DI SICUREZZA



Senza armatura:
FISSURAZIONE
FLESSIONE + rottura



ARMATURA (**TEORICA**)
CALCESTRUZZO = COMPRESSIONE
ARMATURA = TRAZIONE

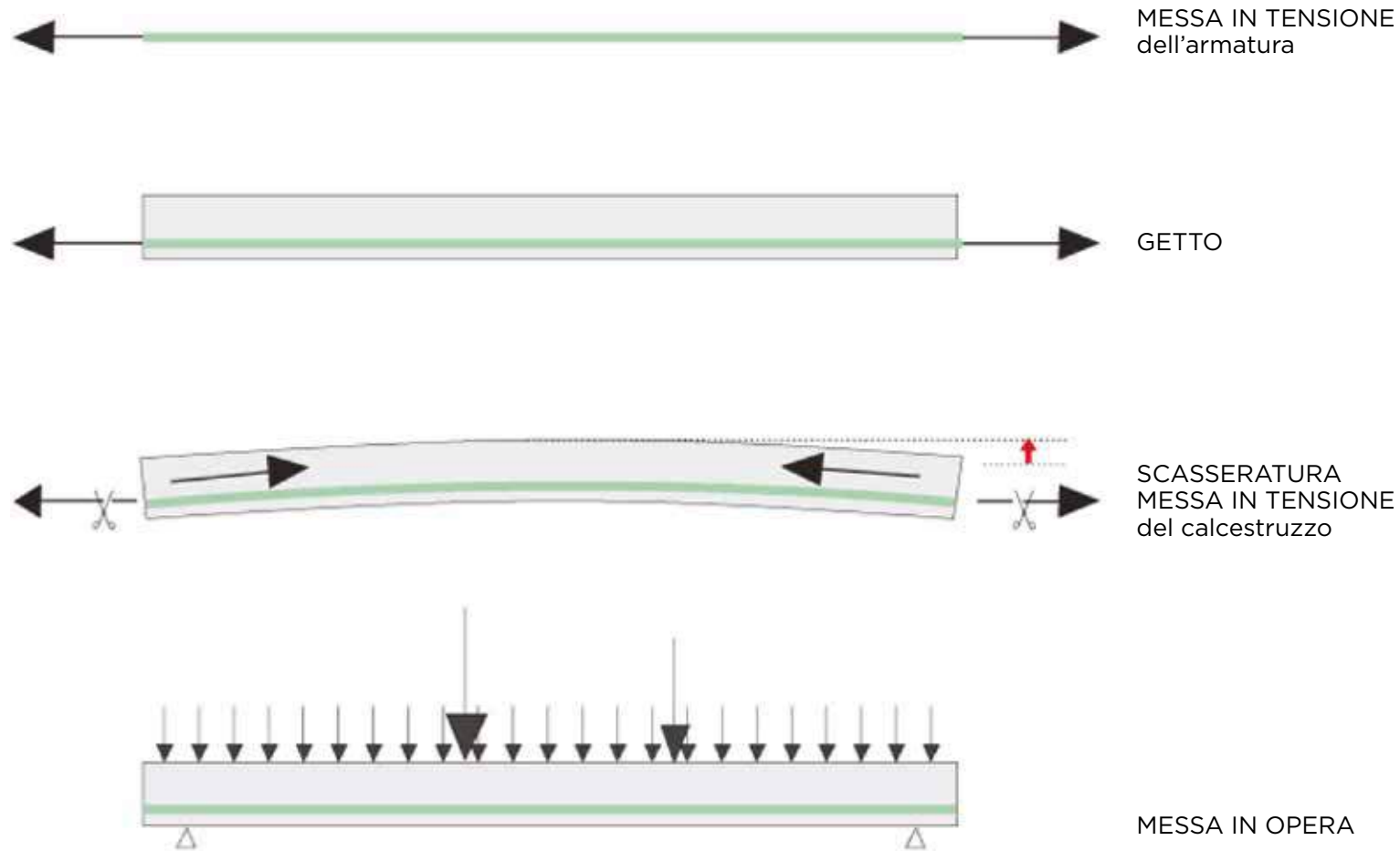


ARMATURA (**PRATICA**)



**SBALZO
BALCONE...**

Il principio di base del calcestruzzo armato: il calcestruzzo è capace di sostenere gli sforzi di compressione elevati, ma vi è bisogno di un'armatura per resistere a degli sforzi di trazione. Le barre sono legate o saldate per formare un insieme rigido (traliccio, gabbia). Così l'armatura può essere posizionata correttamente nel cassero.



2b3

Al momento del trasporto e della messa in opera, gli elementi del pavimento precompresso devono essere sollevati correttamente, per evitare che non si rompano.

● FIBRE D'ACCIAIO

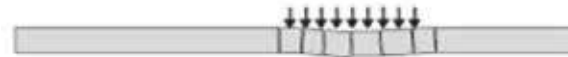
tipi (esempi):



$L = 30 - 100 \text{ mm}$
 $\varnothing = 0,1 - 1 \text{ mm}$

funzione:

migliorano il comportamento del calcestruzzo indurito



non armato: fessurazione su tutto lo spessore



calcestruzzo armato
con fibre: fessurazione
rallentata e controllata

*applicazioni
(esempi):*



pavimenti industriali



tubi



tunnel
(calcestruzzo proiettato)



opere resistenti
alle esplosioni

dosaggio:

$\approx 30 \text{ kg per m}^3$ di calcestruzzo (≈ 30 fibre per $10 \times 10 \text{ cm}^2$ di superficie di fessurazione)



- monitorare la ripartizione omogenea delle fibre nella massa di calcestruzzo
- la lavorabilità del calcestruzzo diminuisce $\Rightarrow$ adattare la composizione del calcestruzzo ($D_{max} \searrow$)

Le fibre d'acciaio debbono essere immesse nell'impasto in modo regolare su una nastro trasportatore, o proiettate nella betoniera o nell'autobetoniera per mezzo di un dosatore a vibrezione. Aumentano la duttilità di un calcestruzzo allo stato indurito e riducono così l'apertura delle fessure. Sui pavimenti industriali, l'applicazione di uno strato di finitura ("topping") deve essere preso in considerazione per evitare le macchie di ruggine.

● FIBRE SINTETICHE (POLIPROPILENE, NYLON...)

tipi (esempi):



per fibrillazione



monofilamento

L = 10 - 40 mm
Ø = 20 - 600 µm

	calcestruzzo fresco/giovane	calcestruzzo allo stato indurito
<i>funzione:</i>	riprendono gli sforzi di trazione al momento del ritiro plastico ⇒ meno rischi di fessurazione ⇒ migliore qualità del calcestruzzo di superficie (migliore resistenza al gelo, agli agenti aggressivi...)	migliore resistenza al fuoco senza fibre: vapore rinchiuso ⇒ scoppio del calcestruzzo con fibre: le fibre si sciolgono ⇒ rete di piccoli canali ⇒ il vapore può fuoriuscire
<i>applicazioni</i>	-rivestimenti stradali -pavimenti industriali	strutture in calcestruzzo ad alte prestazioni (BHP)
<i>dosaggio:</i>	0,6 - 1 kg per m³ di calcestruzzo (>20 000 fibre per 10x10cm² di superficie di fessurazione)	> 2.5 kg per m³ di calcestruzzo (fibre monofilamento)

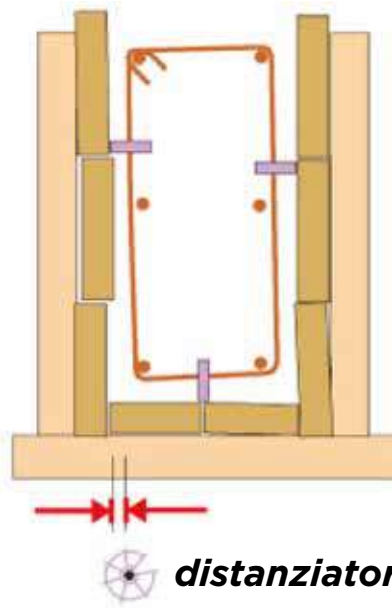
3b5

Le fibre in materiale sintetico limitano la formazione di fessure dovute al ritiro plastico e hanno quindi indirettamente un effetto favorevole sulla durabilità del calcestruzzo indurito.

progettazione



messa in opera



distanziatore

Copriferro minimo richiesto (mm)							
Classe strutturale	Classi di esposizione ambientale						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

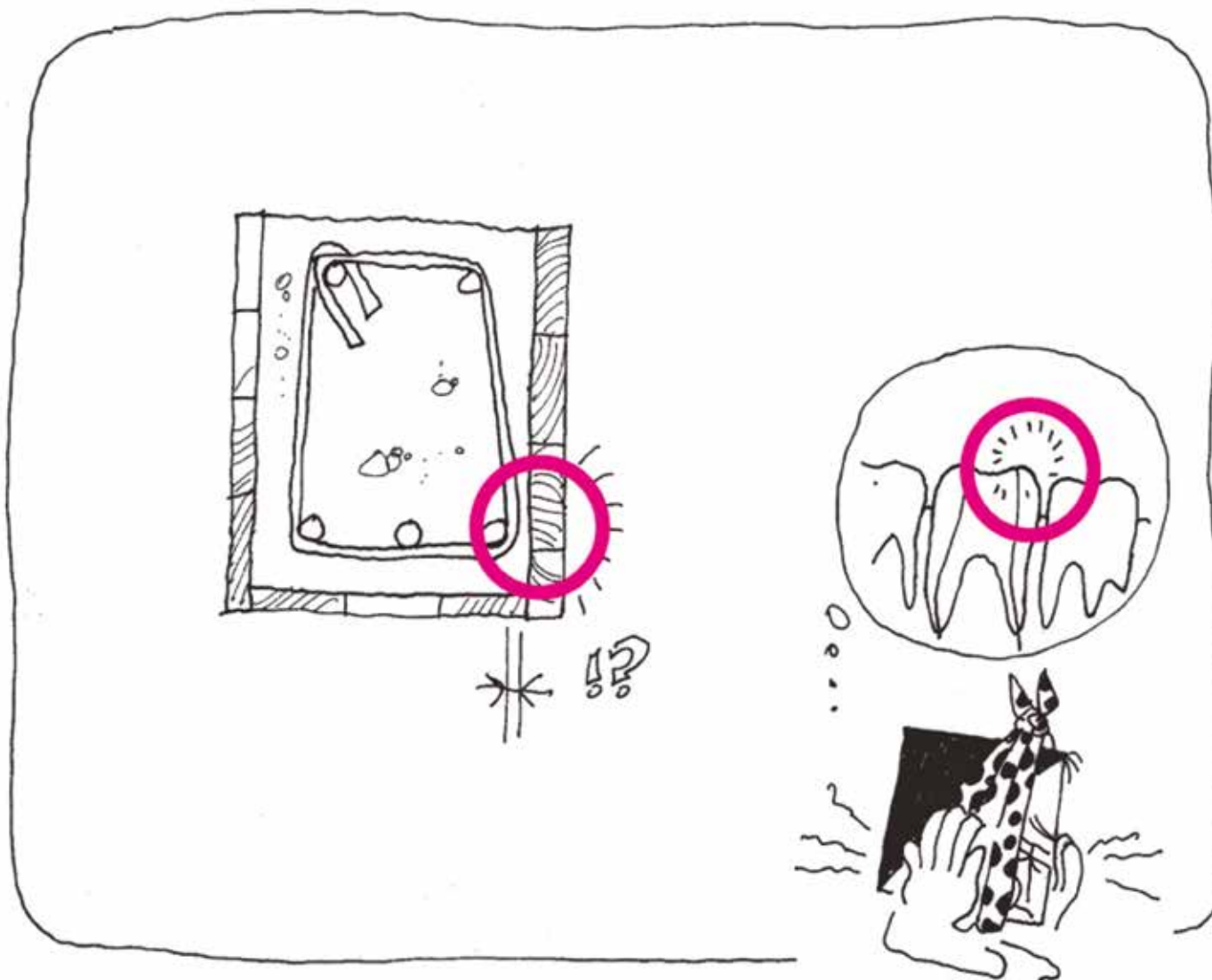
Copriferro minimo.....

2b1

Corrosione.....

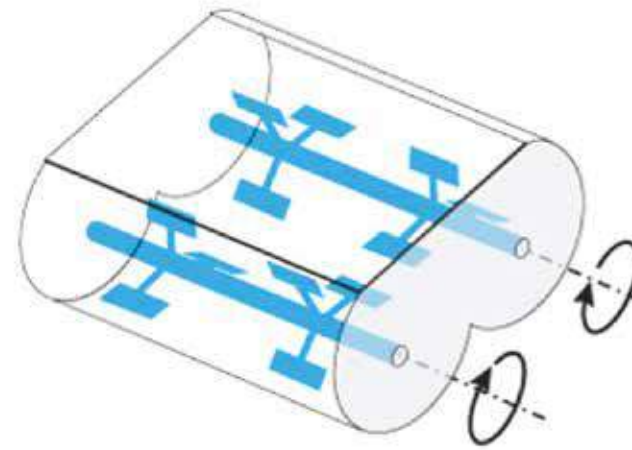
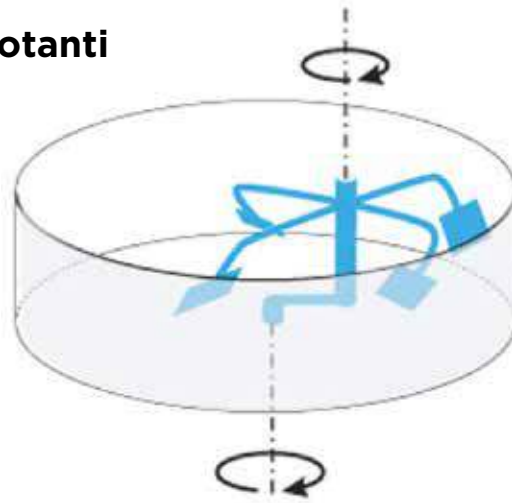
4b4

La normativa indica il copriferro minimo in funzione della classe di esposizione. Distanziatore= ricoprimento minimo + tolleranza. Le tolleranze sono più basse nel caso di un calcestruzzo prefabbricato: tra 0 e 5 mm. (NB: Esistono anche dei nastri per assicurare un avvolgimento continuo.)

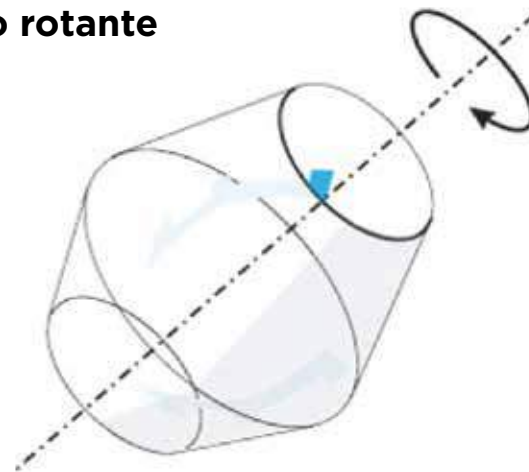


Copriferro insufficiente: spesso il punto nevralgico...

Pale rotanti

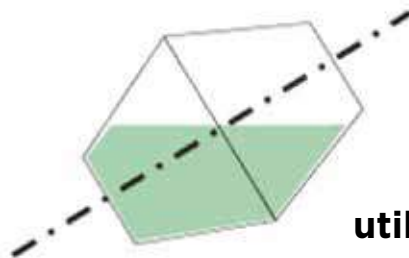


Tamburo rotante



In un miscelatore-agitatore (fig. in alto a sinistra), le pale si trovano su un asse verticale. Alcuni tipi dispongono di una botte ruotante. I miscelatori a vite (in alto a destra) hanno una botte doppia fissa e due assi orizzontali muniti di pale. La capacità dei miscelatori-agitatori o a vite è limitata, ma la miscelazione – anche per miscele relativamente asciutte – è molto intensa. Riempimento e svuotamento si fanno attraverso dei portelli. In un miscelatore a tamburo, le pale sono fissate alla botte. La miscelazione viene fatta per gravità, lo svuotamento per ribaltamento del tamburo e/o inversione del senso della rotazione. La capacità di questo tipo di mescolatore è grande. È soprattutto impiegato per calcestruzzi con consistenza plastica o fluida.

capacità

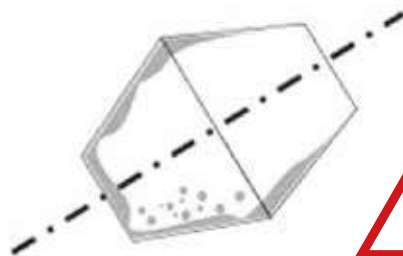


utile (≈50% della capacità totale)

durata



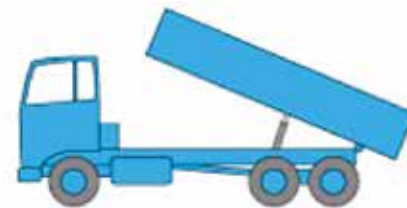
ordine



mai iniziare dal cemento (grumi...)

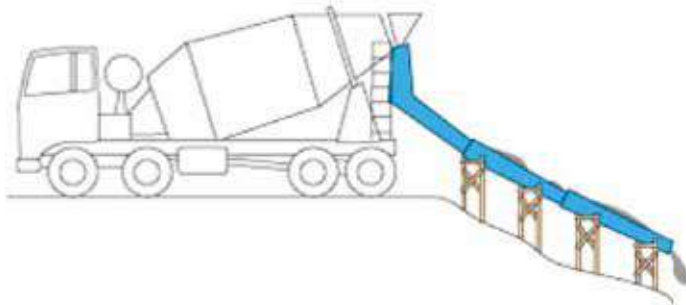
In funzione del tipo di miscelatore e del tipo di calcestruzzo, sono possibili diverse sequenze di introduzione. Ad esempio, prima i materiali asciutti, poi l'acqua. Oppure, prima la sabbia, il cemento e l'acqua e poi dopo gli aggregati più grossi... Il tempo di mescolamento cambia ogni volta, la velocità di rotazione delle pale e/o della botte deve essere regolata.

strada



**rischio di
segregazione**

cantiere



max. 45°



centrale



La norma impone le seguenti esigenze per il trasporto del calcestruzzo per strada:

- durata (= tra l'aggiunta d'acqua e lo scarico del calcestruzzo): max. 100 minuti; - temperatura del calcestruzzo: max. 30°C.

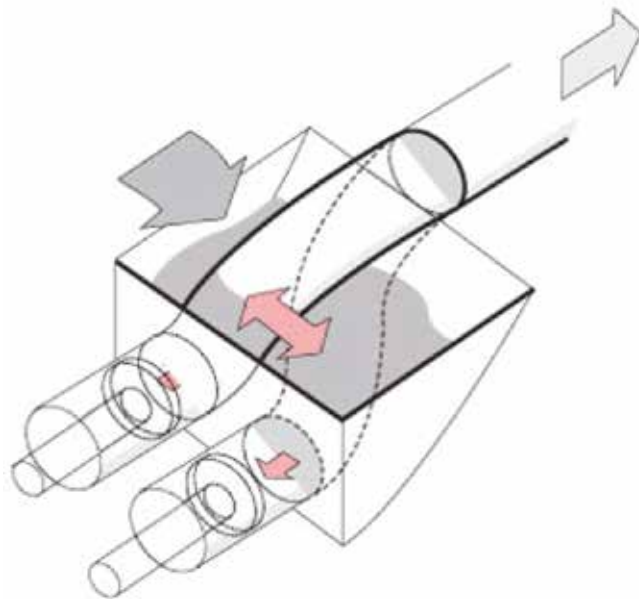
Autobetoniera: al momento dell'arrivo in cantiere, non è possibile aggiungere fibre e/o un superfluidificante nella botte, si andrebbe ad alterare la composizione in bolla di consegna comunque si rischia una dispersione delle aggiunte non omogenee nell'intero impasto. (NB: la velocità di rotazione verrà aumentata durante quest'operazione.) Autocarro: solamente per le miscele relativamente asciutte, consigliato nel caso di calcestruzzo stradale. Con tempo secco o in caso di piogge, la benna sarà coperta da un telo.

pompe per il calcestruzzo

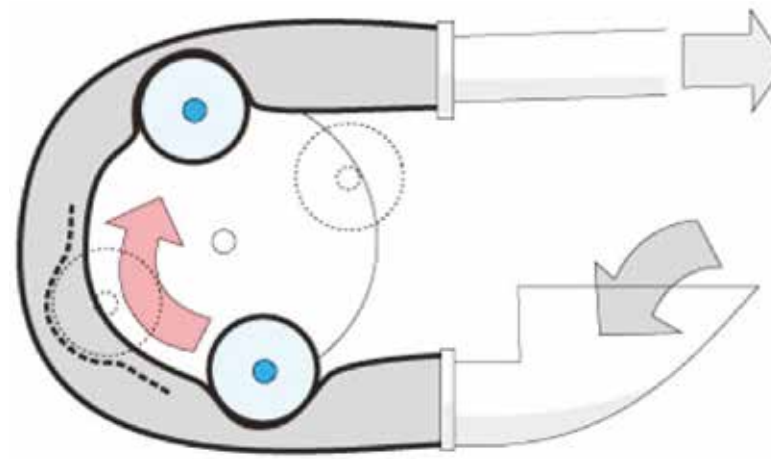
Portata = 20-80 m³/h

L: Fino a 300 m

H: Fino a 100 m



pistoni



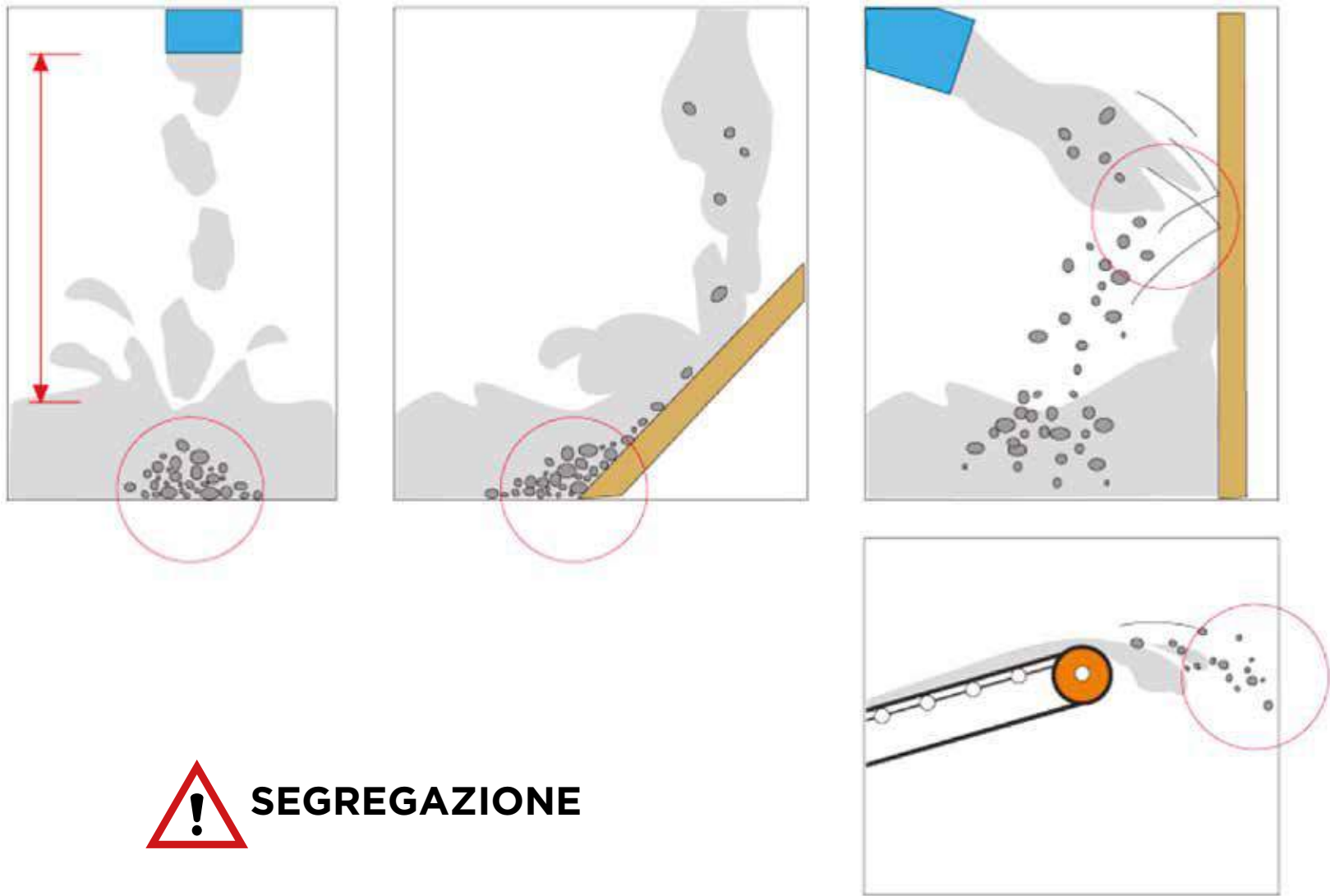
'peristaltica'



Calcestruzzo pompabile =
-granulometria continua
-tenore sufficiente di fini

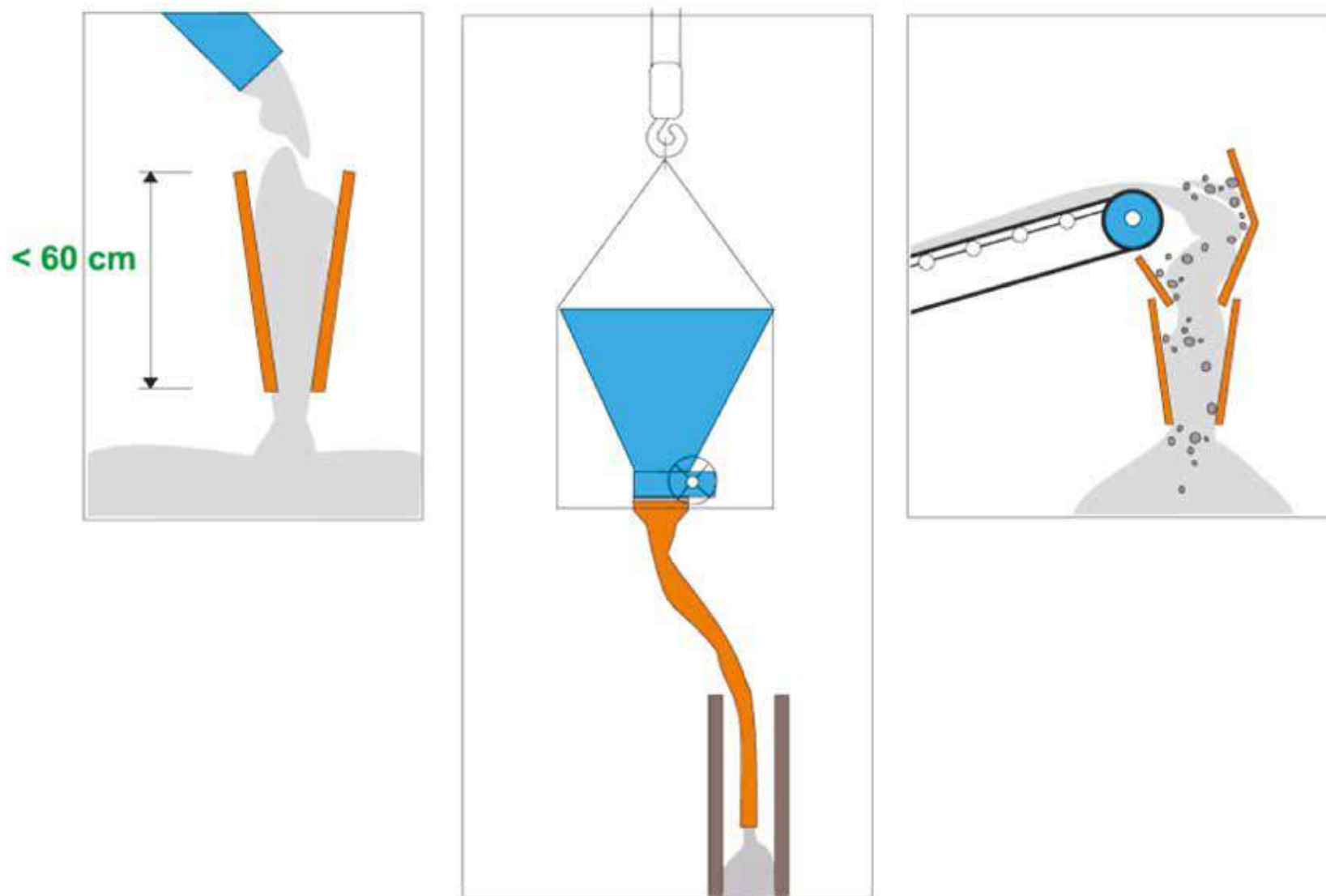
2b1

Una granulometria continua e un tenore sufficiente in fini (cementi + particelle fini + sabbia 0,08/0,25) impediscono la segregazione e diminuiscono l'attrito facilitando il pompaggio.

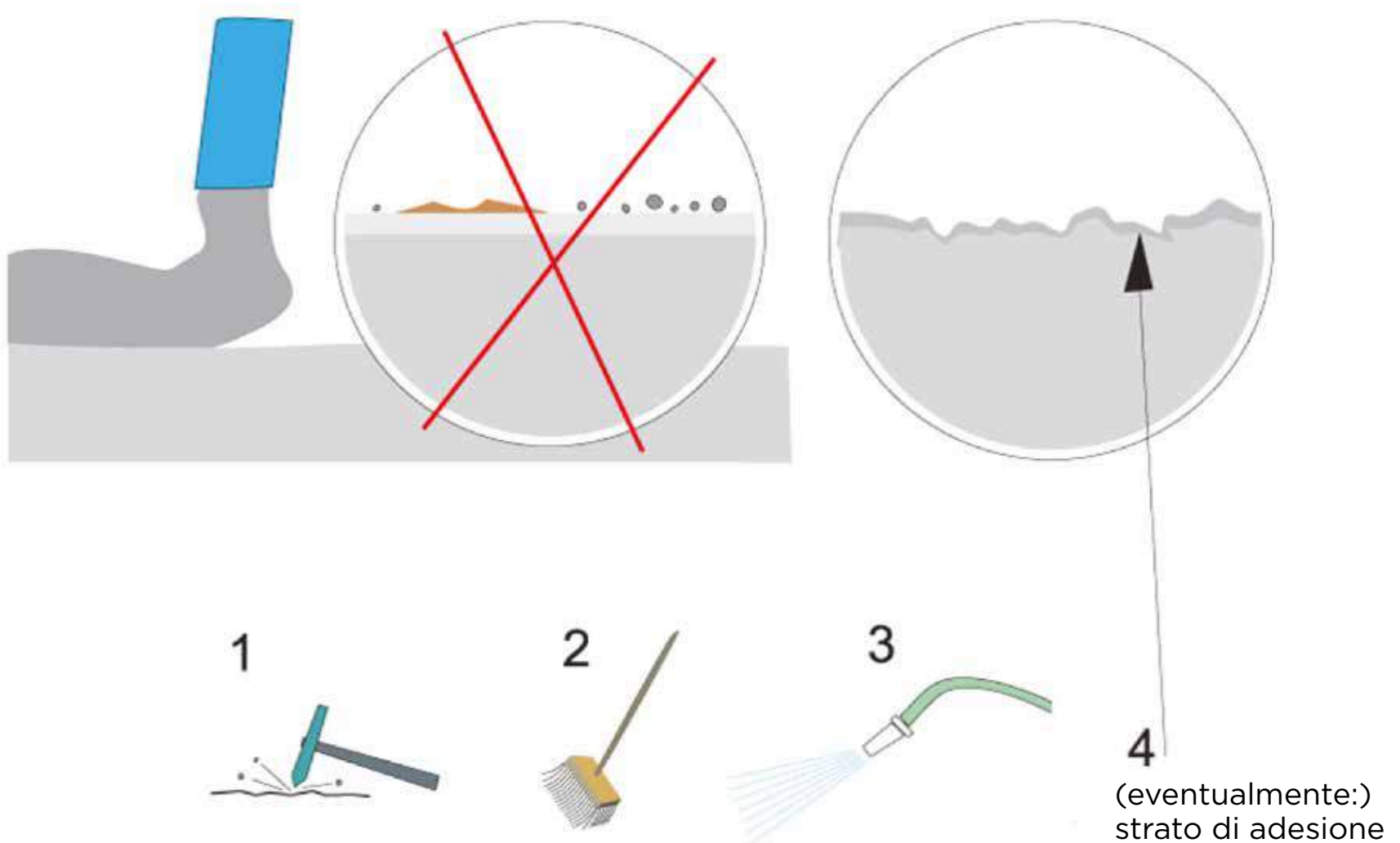


SEGREGAZIONE

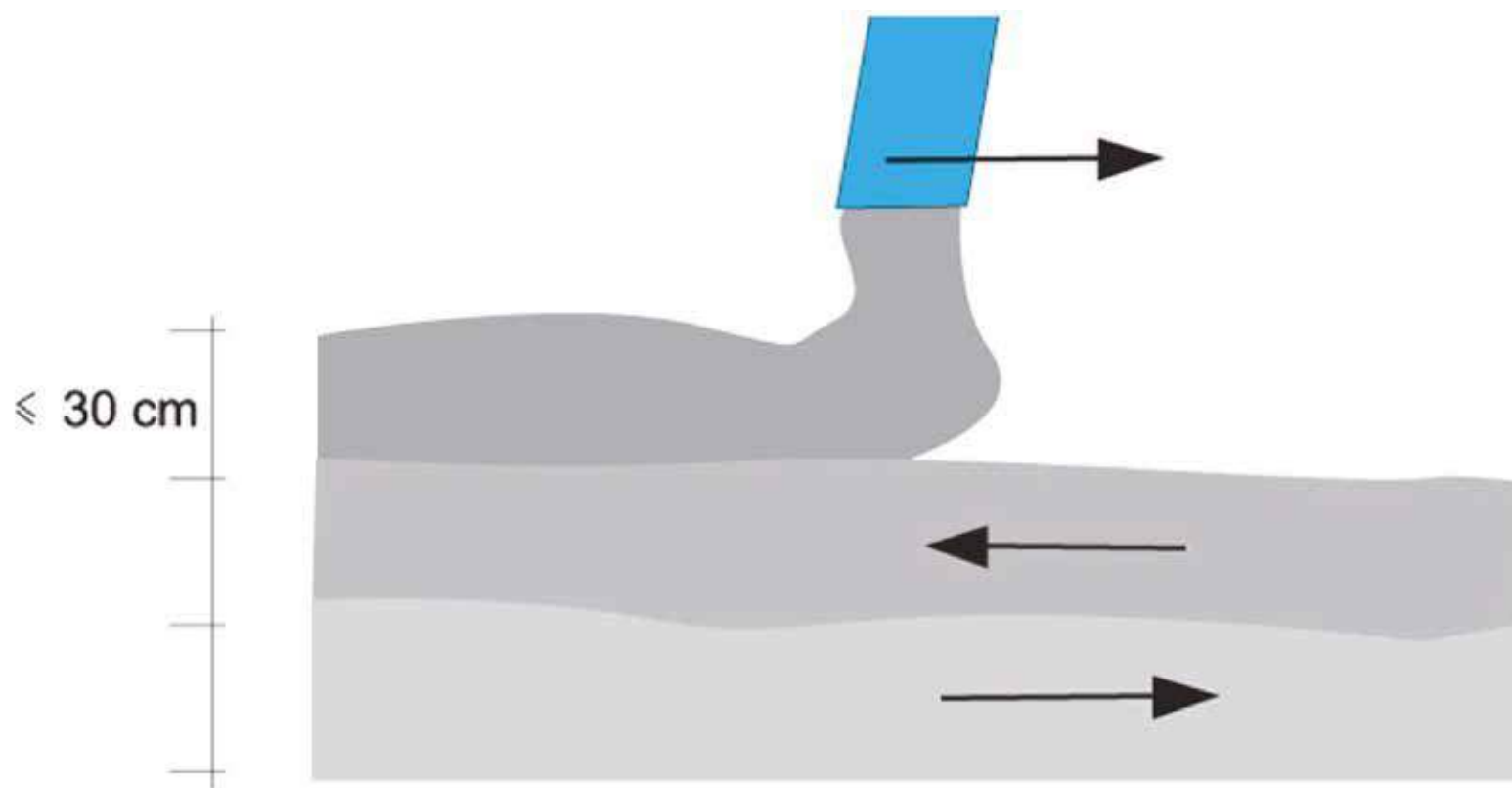
Gli aggregati grossi e la malta non hanno la stessa inerzia e si comportano dunque diversamente al momento dell'impatto contro le pareti del cassero, in caso di getto cinto con un piano inclinato.



Limitazione dell'altezza di caduta libera al momento del versamento.



Al fine di garantire l'adesione del calcestruzzo allo strato già indurito, la superficie sarà prima di tutto resa rugosa, successivamente pulita e infine inumidita. L'umidificazione impedisce che lo strato indurito assorba una parte dell'acqua d'impasto della miscela fresca, che comprometterebbe l'idratazione del cemento nella zona di contatto.

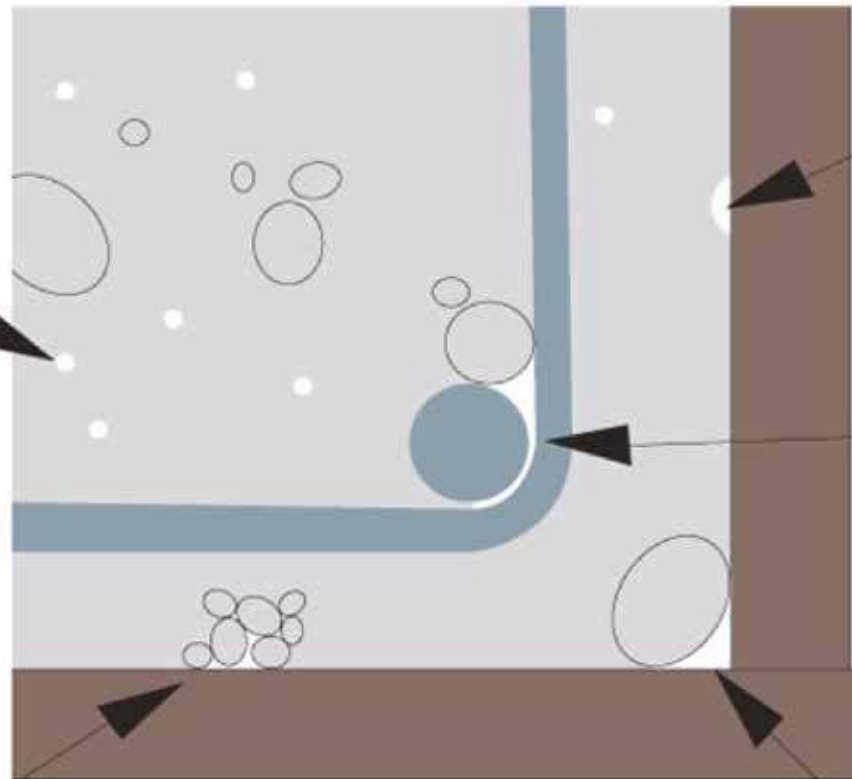


Una parete in calcestruzzo ordinario non viene gettata a partire da un solo punto fisso, ma in strati successivi. Il calcestruzzo può ugualmente essere versato ad intervalli di distanza ridotti (da 1 a 1,5 m).



**calcestruzzo
non compatto =**

... 15 a 20% d'aria



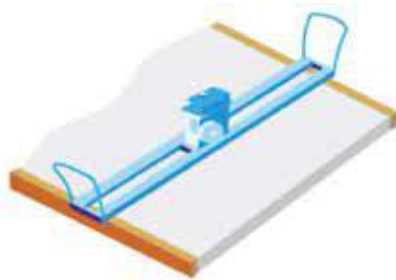
... bolle d'aria
sul cassero

... armature non
avvolte

... aggregati non avvolti

... angoli non riempiti

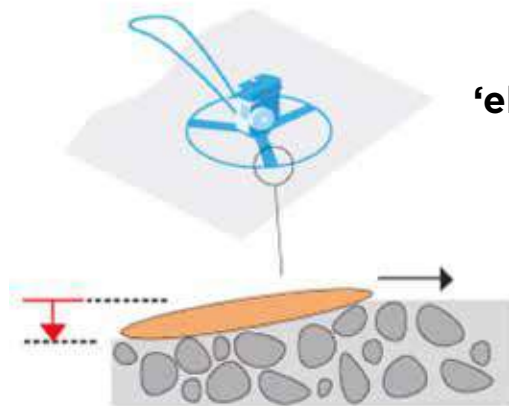
Un calcestruzzo appena gettato non è mai compatto e deve essere compattato. (Eccezione: il calcestruzzo auto livellante.)



Trave vibrante

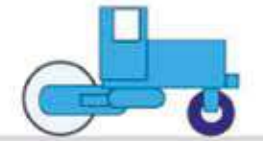


Piastra vibrante

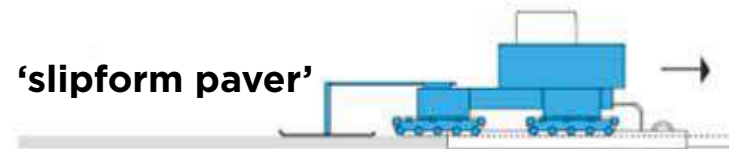


'elicottero'

Rullo compressore

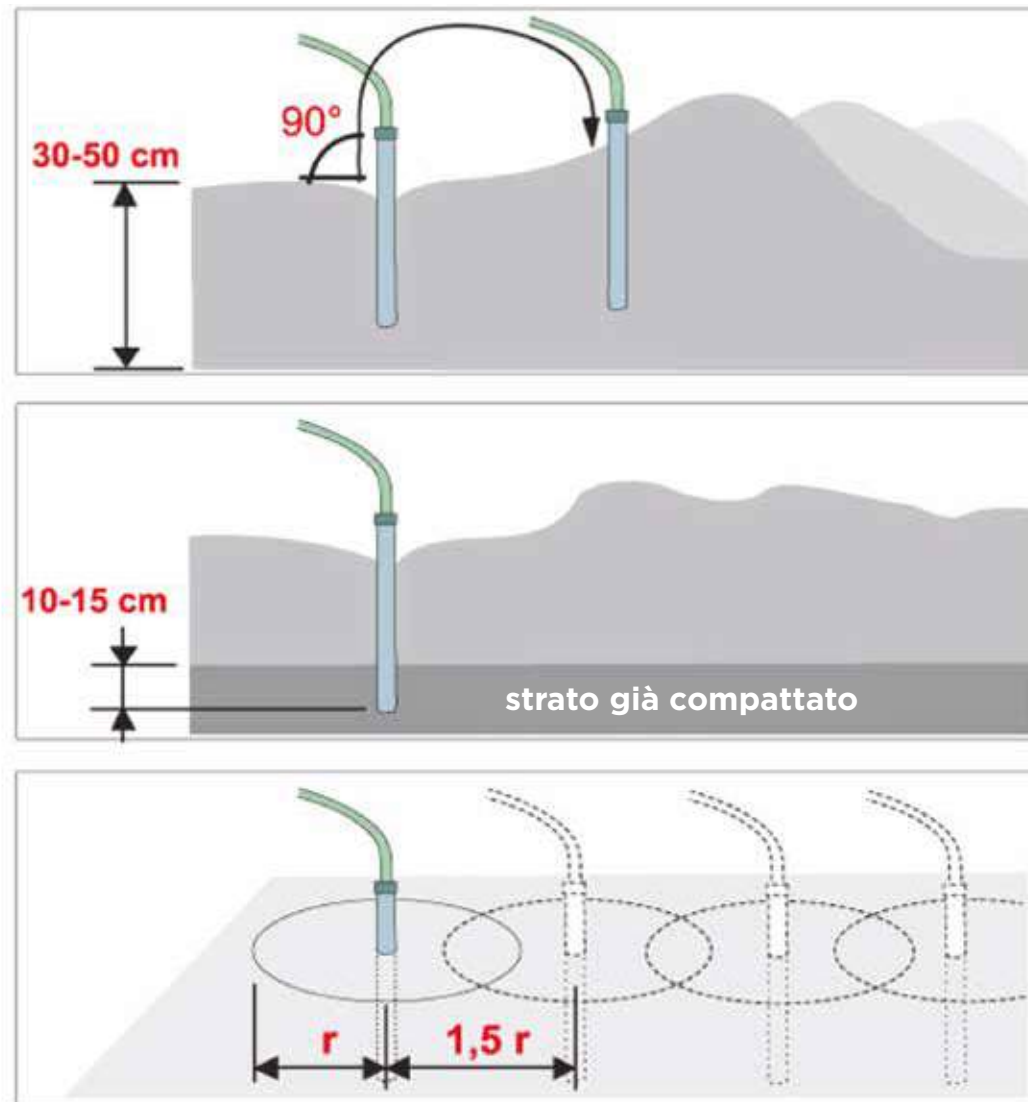
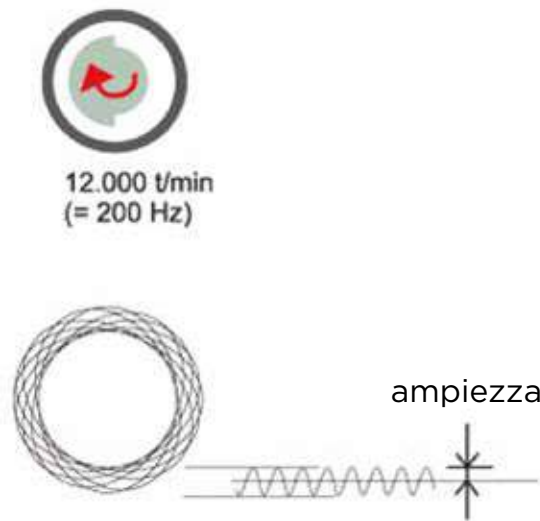


'slipform paver'



Materiale di compattazione utilizzato nella costruzione di strade e per i pavimenti industriali. Le travi vibranti, le piastre vibranti e gli “elicotteri” sono dei vibratori superficiali. La loro efficacia in profondità è limitata. Sono utilizzati per compattare strati da 10 a 15 cm di spessore. Le miscele asciutte, per esempio per le fondazioni, sono compattate per rotolamento e vibrazione. Una “slipform paver” o macchina per casseri a scivolo combina diverse tecniche di compattazione (aghi vibranti, trave vibrante...)

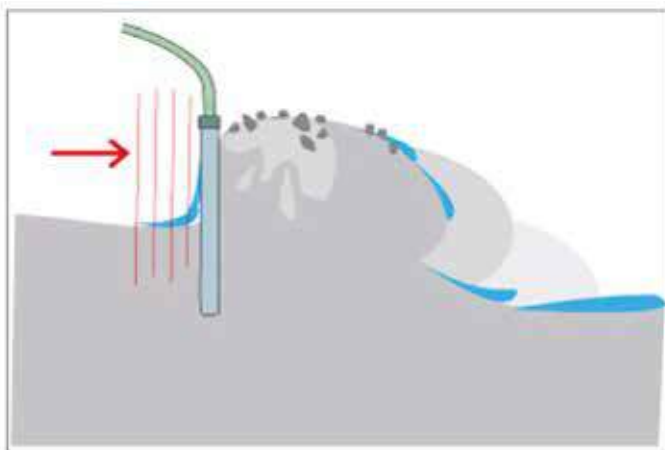
Ago vibrante



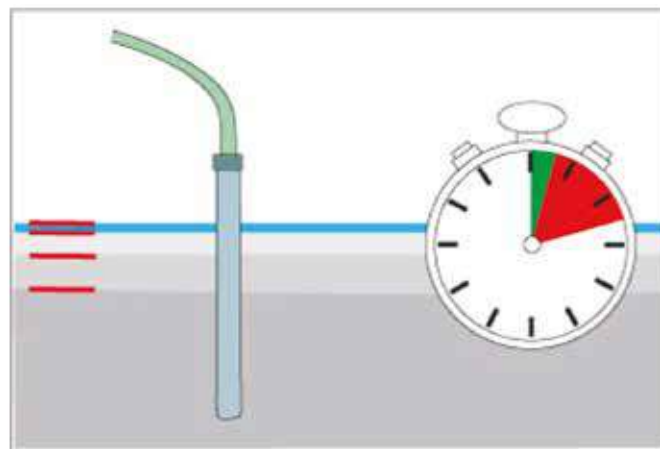
Ago vibrante: principio di funzionamento e istruzioni d'uso. L'ago viene immerso rapidamente alla profondità voluta e ritirato lentamente. Vibrazioni eccessivamente prolungate possono provocare segregazione. Le zone vibrato devono ricoprirsi, tanto orizzontalmente che verticalmente.



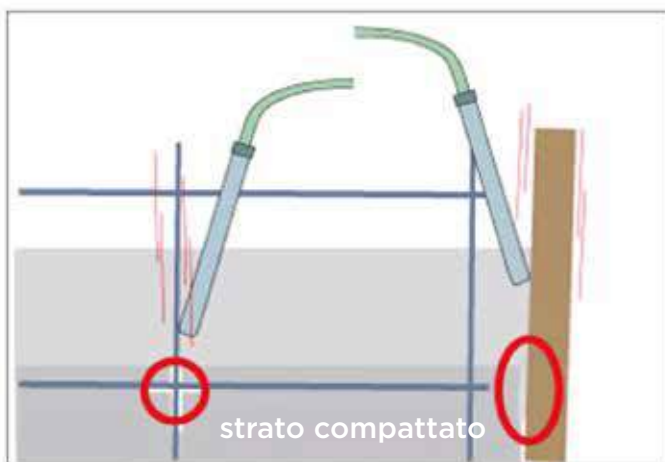
Ago vibrante



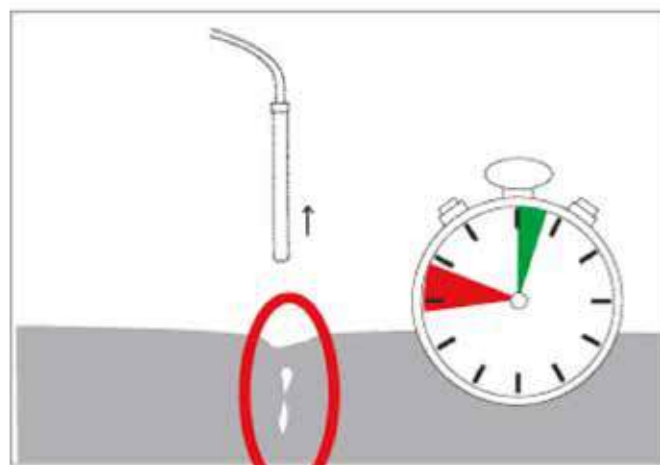
L'ago vibrante non serve a stendere il calcestruzzo...



Durata troppo lunga = segregazione...



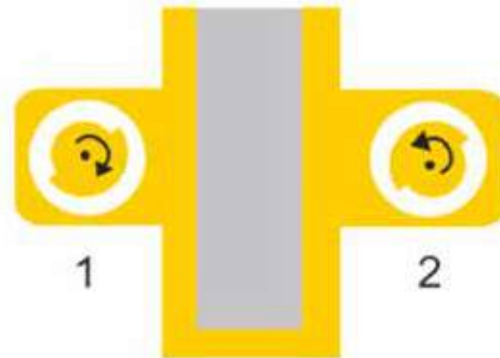
Non vibrare le armature: perdita di solidità...
Non vibrare il cassero: perdite...



Non vibrare calcestruzzo indurito: segni...

Ago vibrante: da evitare...

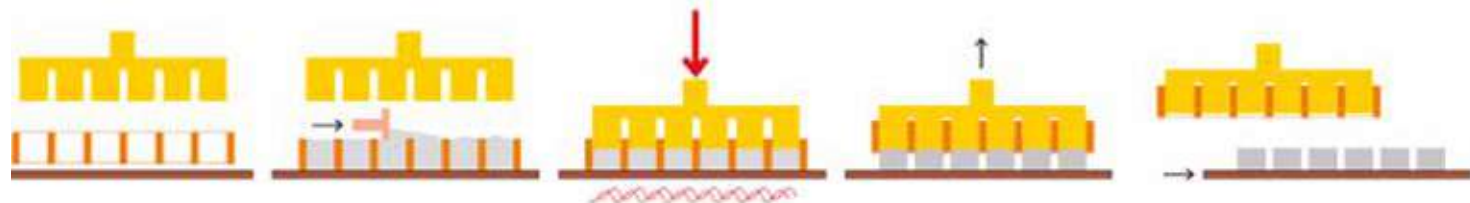
Vibratori di cassero



Tavole vibranti



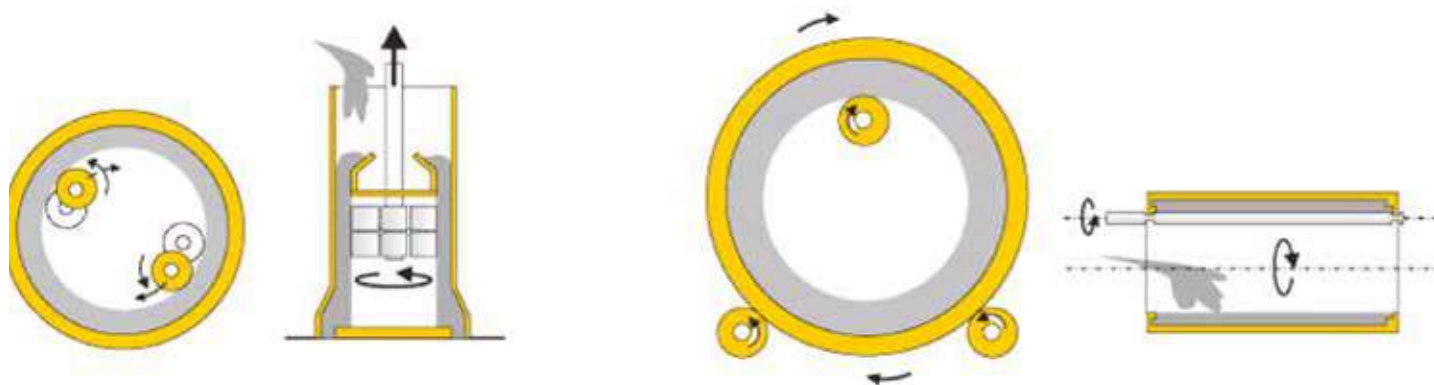
Presse



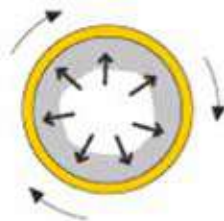
Tecniche di compattazione nel settore del calcestruzzo prefabbricato:

- colonne, travi: vibratori (alte frequenze, bassa ampiezza)
- grandi pannelli: tavole vibranti (basse frequenze, ampiezza di circa 1 mm)
- blocchi, piastrelle: compressione e vibrazione simultanee (unicamente per miscele molto asciutte)

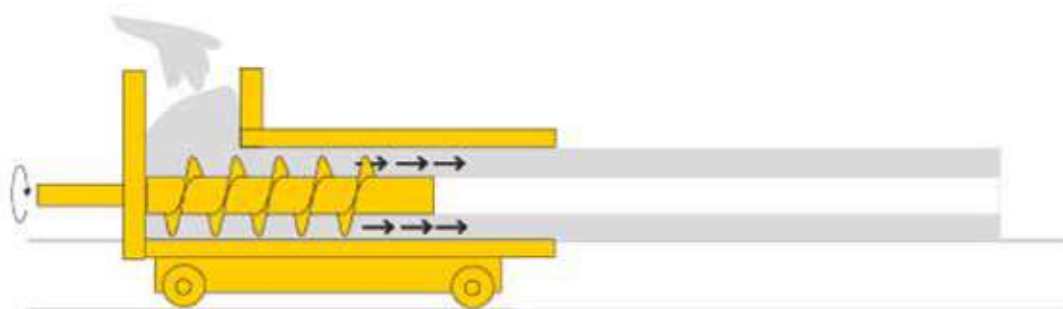
Laminazione



Centrifugazione



Estrusione

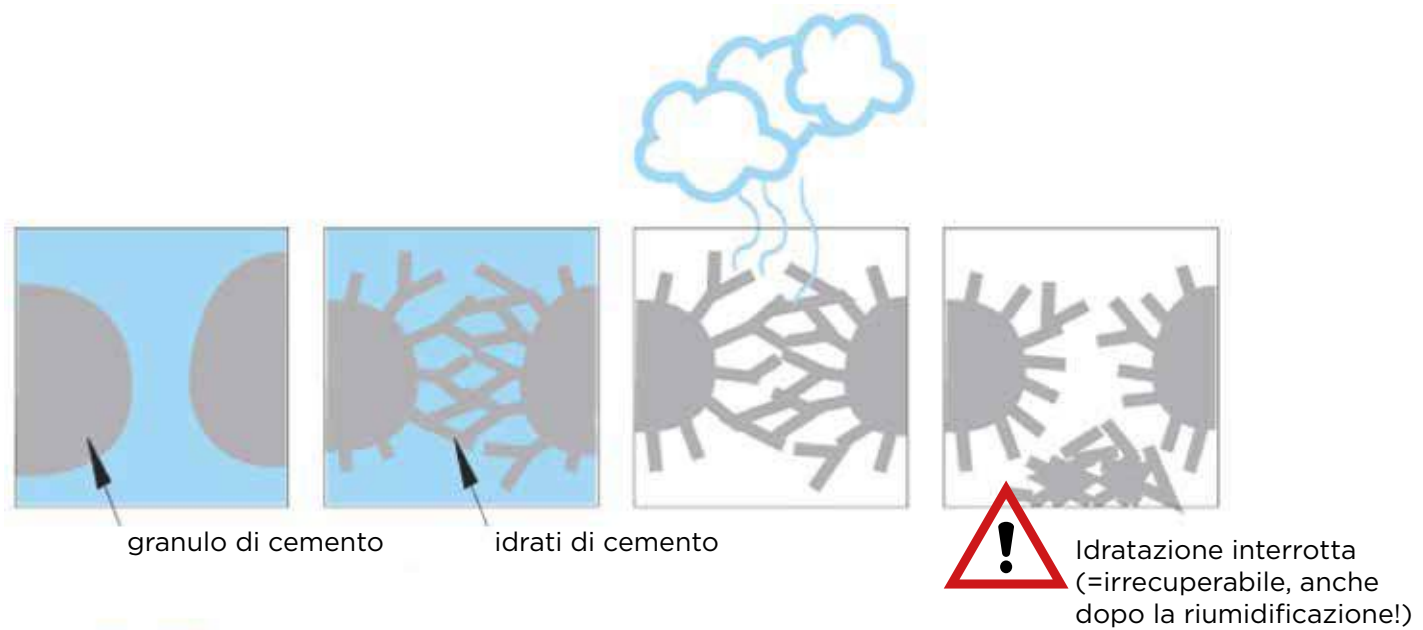


Tecniche di compattazione nel settore del calcestruzzo prefabbricato:

- tubi: laminazione (asse orizzontale o verticale)
- pali, piloni: centrifugazione
- elementi di pavimento a nido d'ape: estrusione

altrimenti...

superficie
"a griglia"

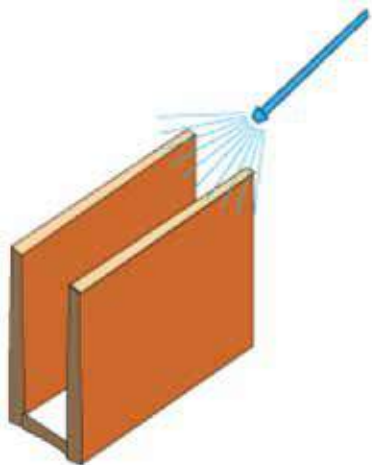


"ritiro plastico"

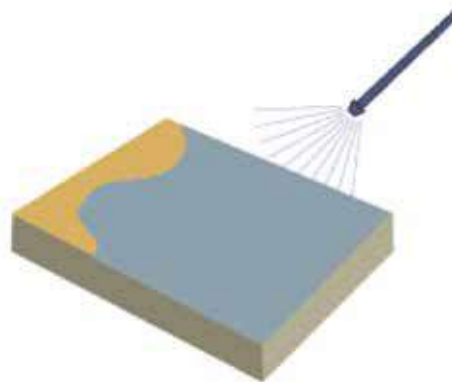


L'acqua può evaporare dal calcestruzzo fresco appena gettato o all'inizio dell'indurimento per suzione del cassero poroso, ma soprattutto per evaporazione: fino a 2 litri per m² e per ora, in caso di vento asciutto e di irraggiamento diretto! Il ritiro plastico del calcestruzzo è comparabile a quello di un'argilla che si disidrata.

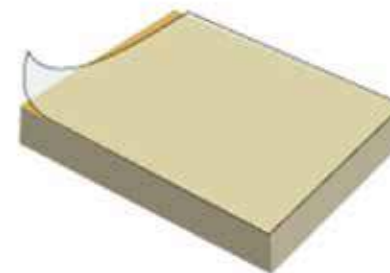
Prima della messa in opera del calcestruzzo:



inumidire il cassero



emulsione bituminosa



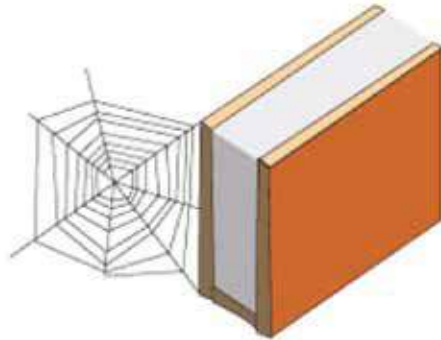
foglio in plastica

no aderenza con
lo strato inferiore

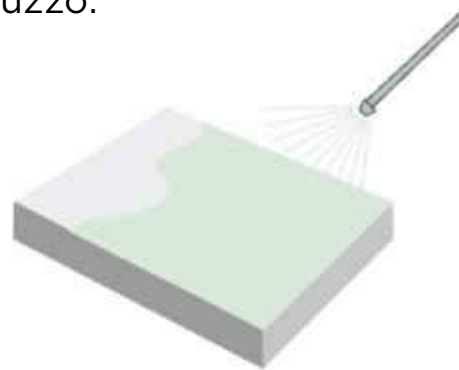


Queste misure di precauzione devono impedire il cassero (o il substrato) di assorbire l'acqua d'impasto.

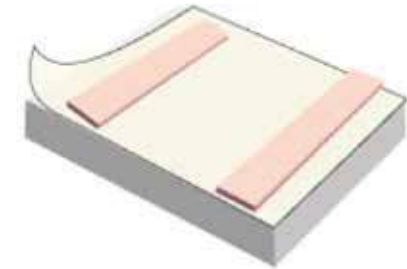
Dopo la messa in opera del calcestruzzo:



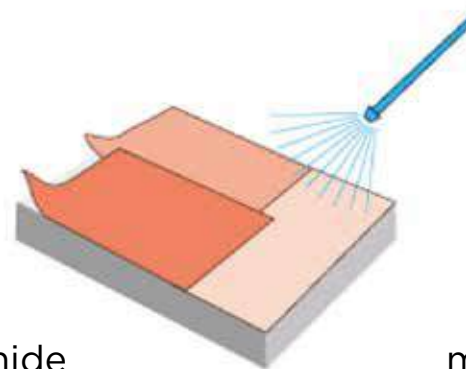
tempi di scasseratura
sufficientemente lunghi



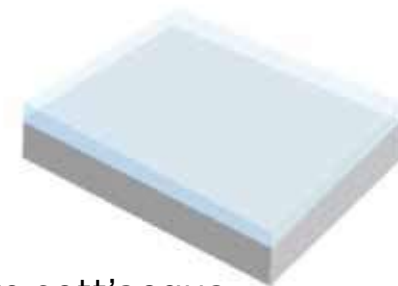
“curing compound”



foglio in plastica



teli, coperture umide



mettere sott'acqua

non rovinare la
superficie del
calcestruzzo



Figura in alto a sinistra: è inoltre consigliato coprire il cassero.

Un 'curing compound' riveste con una pellicola più o meno impermeabile al vapore d'acqua. La tinta chiara (pigmentazione del prodotto) riflette i raggi solari e permette di visualizzare quali zone non sono ancora state trattate.

Dopo la messa in opera del calcestruzzo:

durata minima di protezione/cura in giorni

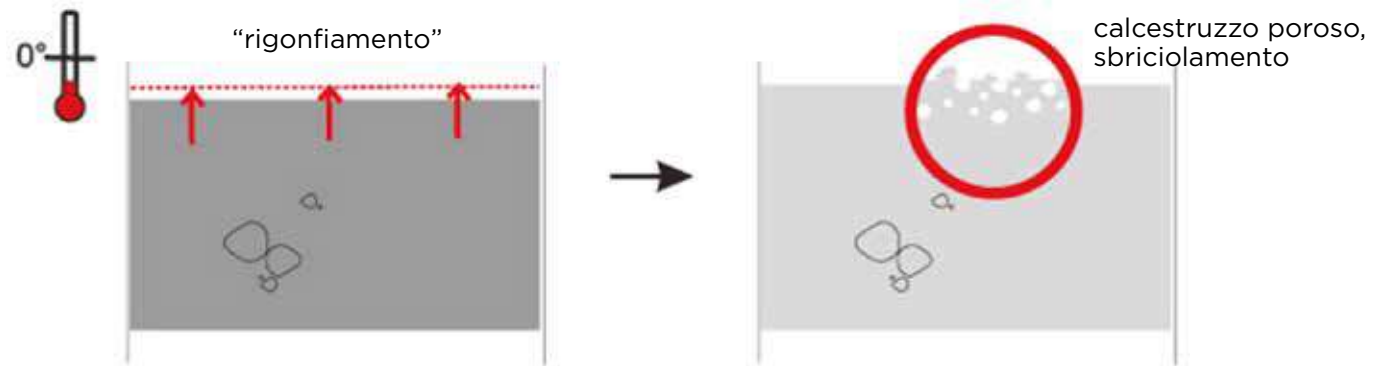
Sviluppo della resistenza	rapida			media			lenta		
Classe di resistenza del cemento	42,5 - 52,5			42,5			32,5 - 42,5		
Rapporto A/C	<0,5			0,5 < A/C < 0,6			> 0,6		
Temperatura del calcestruzzo ≥ ... °C	5	10	15	5	10	15	5	10	15
 Assenza di sole U.R. ≥ 80%	2	2	1	3	3	2	3	3	2
 Sole e/o vento moderato (o U.R. ≥ 50%)	4	3	2	6	4	3	8	5	4
 Sole e/o vento forte (o U.R. < 50%)	5	4	3	8	6	5	10	8	5



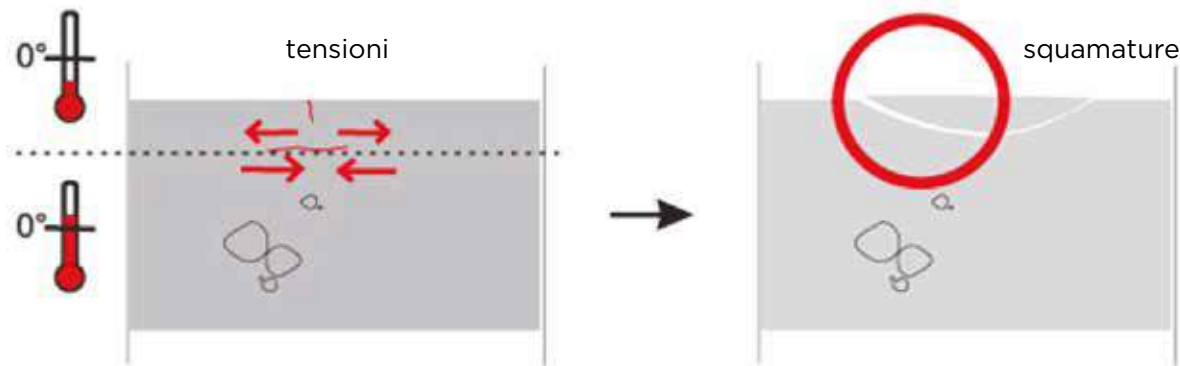
+2 giorni per i calcestruzzi che saranno esposti al gelo, agli agenti aggressivi...

In pratica una protezione di 2 giorni, anche in condizioni favorevoli, diventa pane quotidiano. Il mezzo di protezione utilizzato importa poco.

Calcestruzzo FRESCO



Calcestruzzo GIOVANE



Gelo e calcestruzzo indurito

4b5

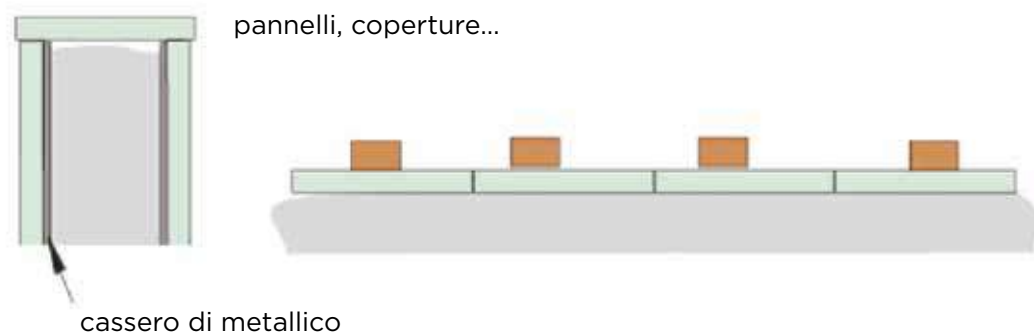
Calcestruzzo fresco: in funzione dell'intensità di gelo, l'acqua d'impasto gelerà fino ad una certa profondità. L'idratazione del cemento è interrotta. Il calcestruzzo verrà perso.

Calcestruzzo giovane: la resistenza sviluppata è troppo debole perché il calcestruzzo possa sostenere gli sforzi di trazione provocati dalla differenza di temperatura tra la superficie e l'interno. La superficie si squamerà (fenomeno di "scaling").

- coprire



- coprire + isolare



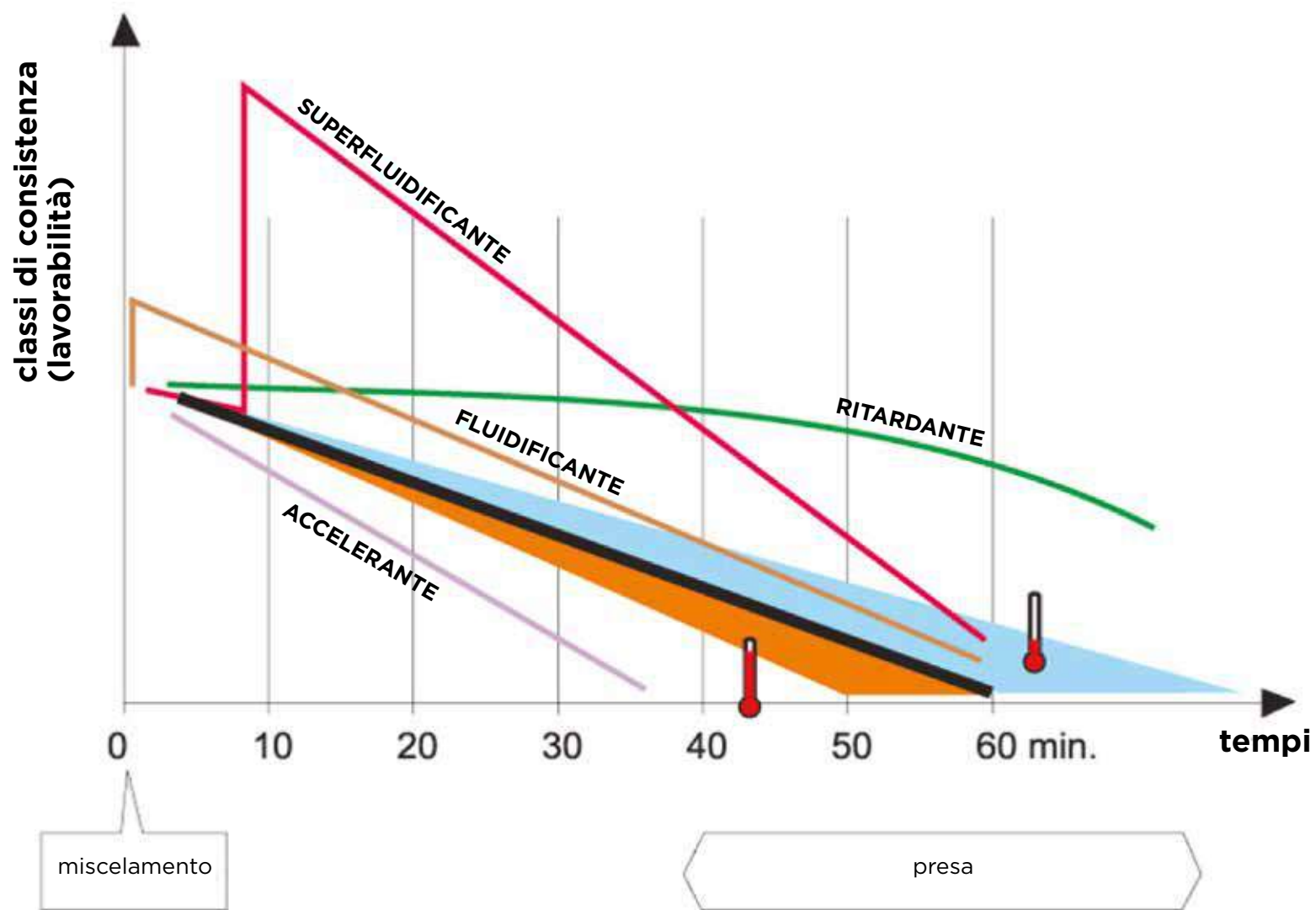
- scelta del cemento: classe di resistenza 52.5 (R)

- additivi: accelerante di presa

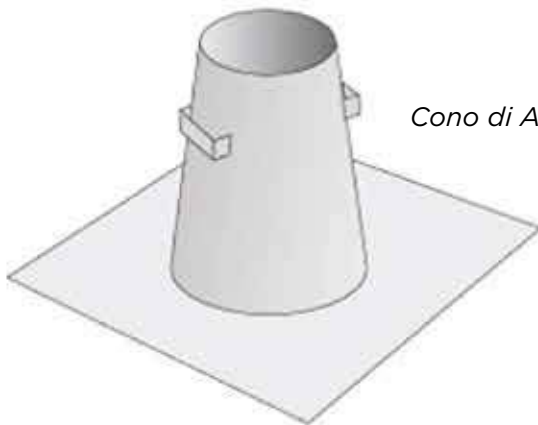
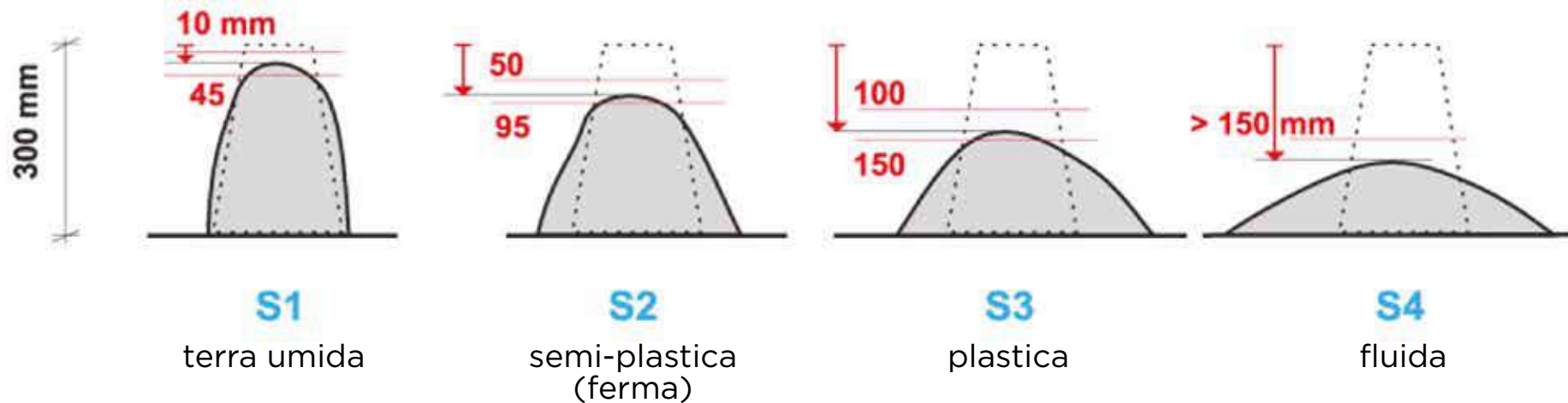
1c

1e

Durante i 3 giorni seguenti il getto, la temperatura della superficie esposta non deve scendere al disotto dei 5°C. l'idratazione del cemento sviluppa calore. Ma questa non basta sempre. Eccezionalmente, oltre alle misure prese nella figura sopra riportata, può rivelarsi necessario pre-riscaldare l'acqua d'impasto (ed eventualmente gli aggregati).



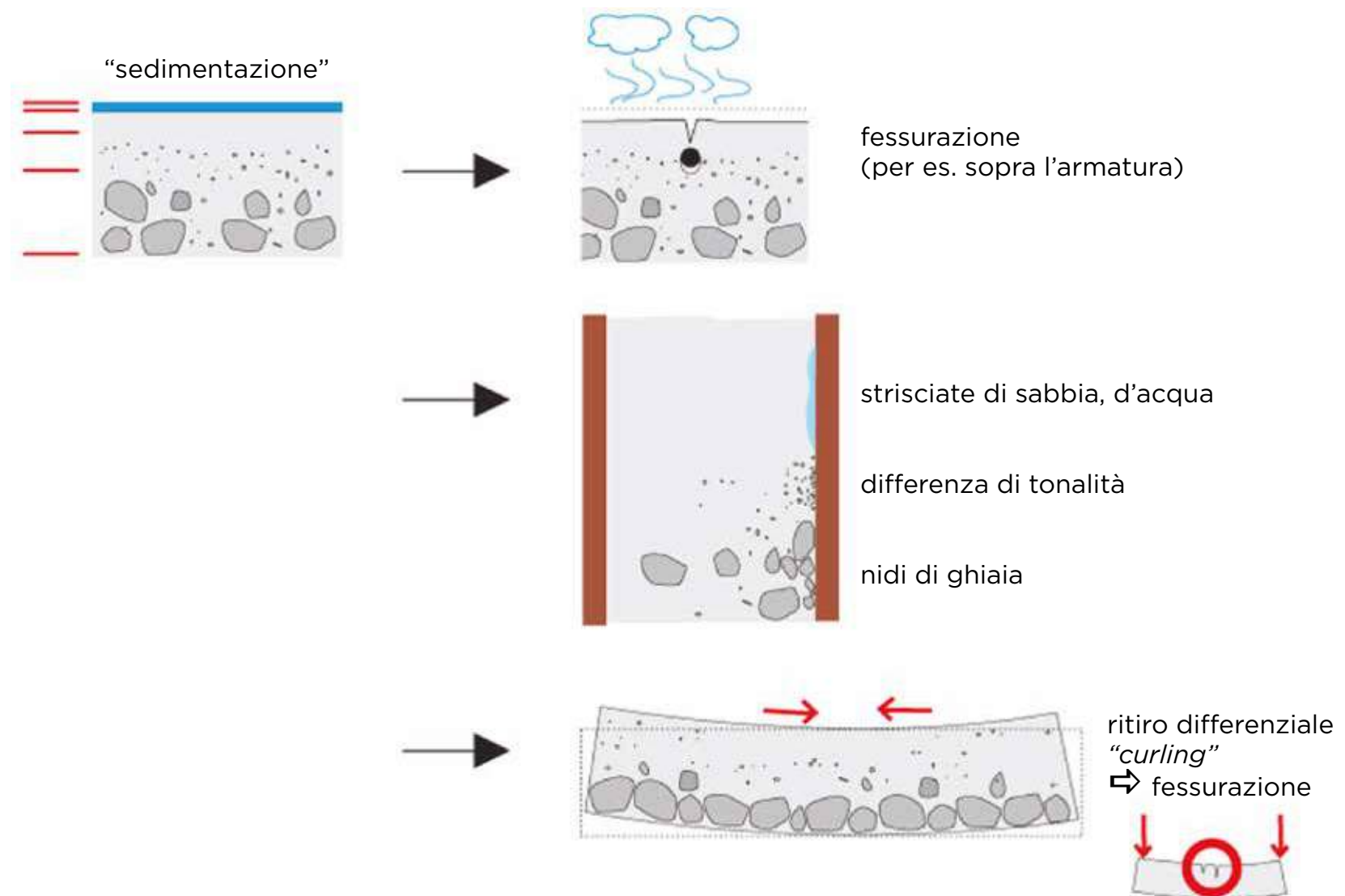
La lavorabilità è un fenomeno evolutivo nel tempo che finisce con la presa del cemento (linea nera). Questa evoluzione è funzione della temperatura di miscelazione e del tipo di cemento, essendo le due caratteristiche interattive. L'impiego di additivi permette di modificare sensibilmente il processo: acceleranti, ritardanti, fluidificanti, superfluidificanti.

spandimento (“slump”)*Cono di Abrams*

2b1

Con un tenore in cemento di 300 kg/m^3 e una classe di consistenza S2. Come si aumenta la sua lavorabilità?

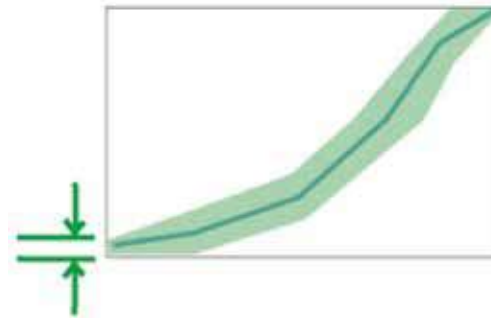
- 1° opzione: aggiungere 30 litri d'acqua. La lavorabilità passa da S2 a S3. Il rapporto A/C aumenta tuttavia di 0,1, con un crollo delle resistenze di 10 N/mm^2 . Per mantenere il rapporto A/C, bisogna aggiungere 50 kg di cemento e allo stesso tempo ridurre il tenore in sabbia.
- 2° (e migliore) opzione: aggiungere un additivo. Il rapporto A/C non cambia, la lavorabilità salirà:
 - di una classe (da S2 a S3), con l'aggiunta di un fluidificante
 - di due classi (da S2 a S4), con l'aggiunta di un superfluidificante.



La segregazione può essere causata da una cattiva composizione del calcestruzzo (per es. troppa acqua d'impasto), un trasporto non adeguato (per es. trasportare un calcestruzzo fluido in un'autobetoniera su una lunga distanza), o ancora una messa in opera inadeguata (per es. pompaggio di un calcestruzzo non progettato per quest'uso). La segregazione influisce non solo sulla struttura del materiale (ritiro, fessure...), ma anche sul suo aspetto.

- granulometria continua

quantità sufficiente di fini



- rapporto acqua-cemento sufficientemente basso

- copriferro sufficiente



- tempi di compattazione limitato



La curva granulometrica non deve presentare discontinuità (lacune tra le differenti frazioni). Più il D_{max} diminuisce, più la necessità di fini cresce: per un D_{max} che passa da 30 a 10 mm, il tenore minimo in fini sale da 350 a 500 kg/m³. (NB: fini = cemento + ceneri volanti + fillers...) Gli aeranti e gli addensanti sono esempi di additivi utilizzati per migliorare la stabilità della miscela fresca.

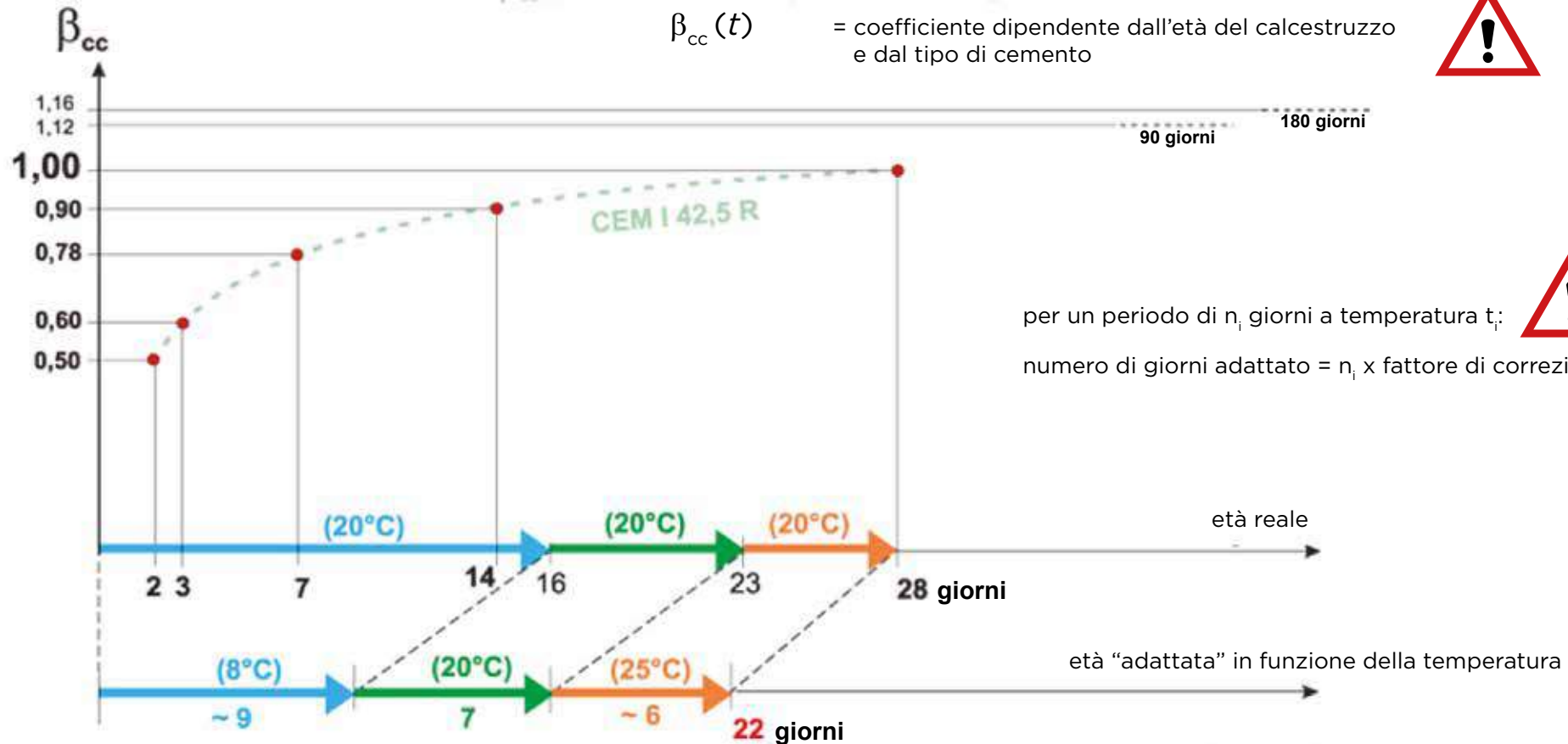
$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \cdot f_m$$

f_{cm} = resistenza media alla compressione a 28 giorni

$f_{cm}(t)$ = resistenza media a t giorni

$\beta_{cc}(t)$ = coefficiente dipendente dall'età del calcestruzzo e dal tipo di cemento

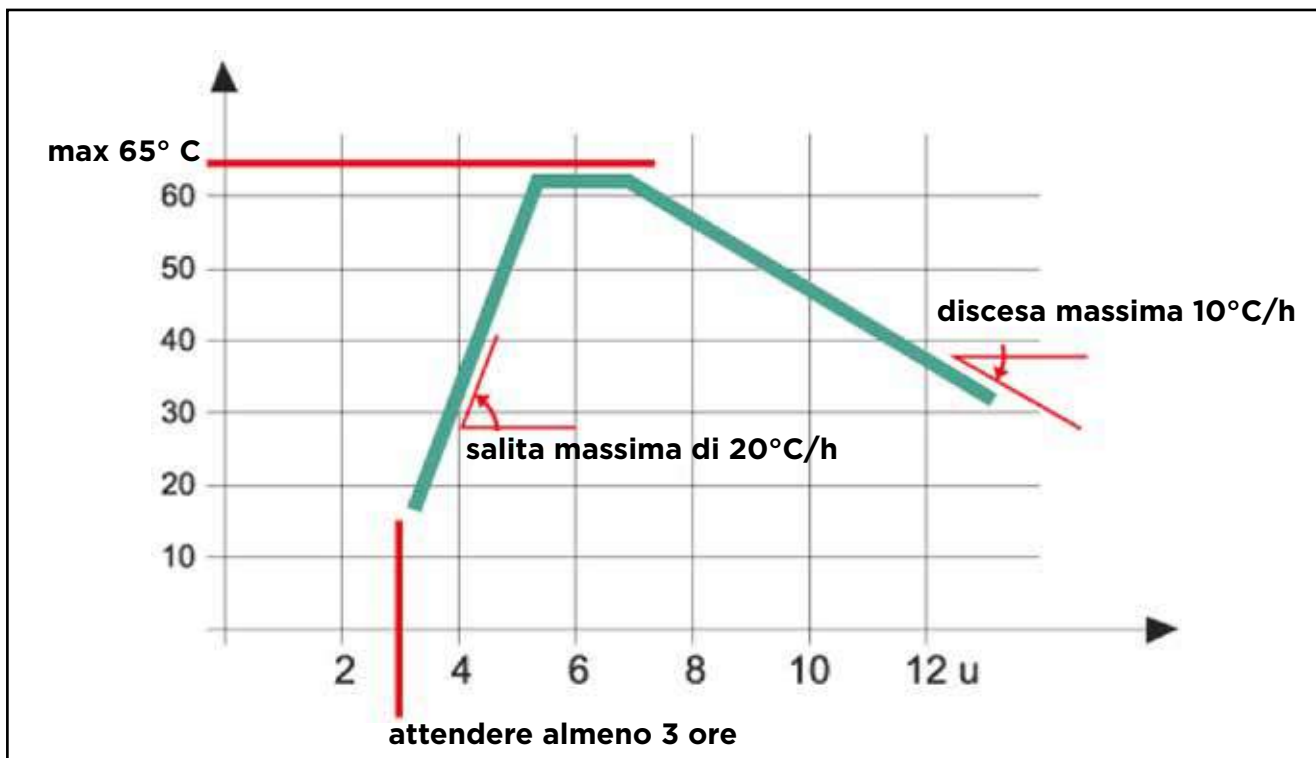
esempio:



Il calcestruzzo   un materiale che “matura” con il passare del tempo e in funzione della temperatura.   stato convenuto come valore di orientamento la resistenza alla compressione a 28 giorni misurata su campioni conservati a 20 C e almeno 90% di umidit  relativa (U.R.). La normativa indica un metodo per stimare –per tipo di cemento– la resistenza alla compressione a un’altra et  (coefficiente β_{cc}) e un’altra temperatura del calcestruzzo (fattore di correzione). Nell’esempio, l’et  “adattata”   stata calcolata per un cemento CEM I 42.5 R e dopo 3 periodi di temperature medie differenti: 16 giorni a 8 C, seguiti da 7 giorni a 20 C e finalmente 5 giorni a 25 C. L’et  reale   di 28 giorni, l’et  adattata solo di 22...

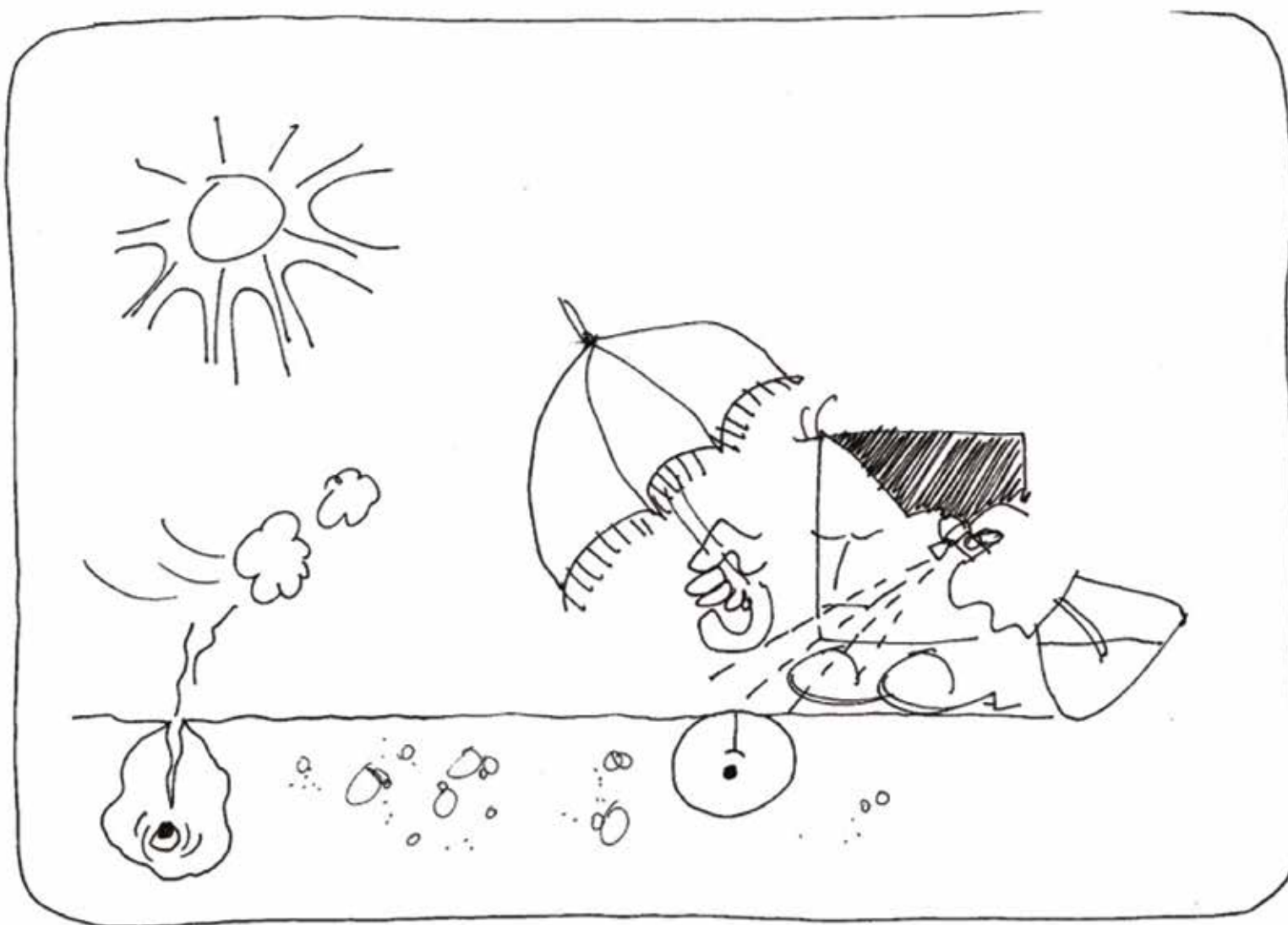
t° ↗

- scaldare l'acqua d'impasto
- utilizzare un cemento R
- utilizzare un accelerante di presa
- isolamento, vapore, autoclave



Attenzione in caso di costruzioni massicce

Accelerando la presa del cemento, la resistenza alla deformazione e alle sollecitazioni dannose al calcestruzzo è più elevata allo stadio iniziale. L'idratazione del cemento sprigiona calore. Questa attiva a sua volta accelera il processo di idratazione. Per accelerare la presa del cemento, il calcestruzzo dovrà esser dunque riscaldato in maniera controllata, o protetto contro il raffreddamento. Lo svolgimento del trattamento termico (vedi grafico) è definito dalla norma.



Calcestruzzi durevoli... la protezione del calcestruzzo fresco è essenziale!

1

componenti del calcestruzzo

2

fare calcestruzzo

3

il calcestruzzo fresco

4

il calcestruzzo indurito

4 calcestruzzo indurito (a partire dalla messa in opera)

a - CALCESTRUZZO, MATERIALE ETEROGENEO

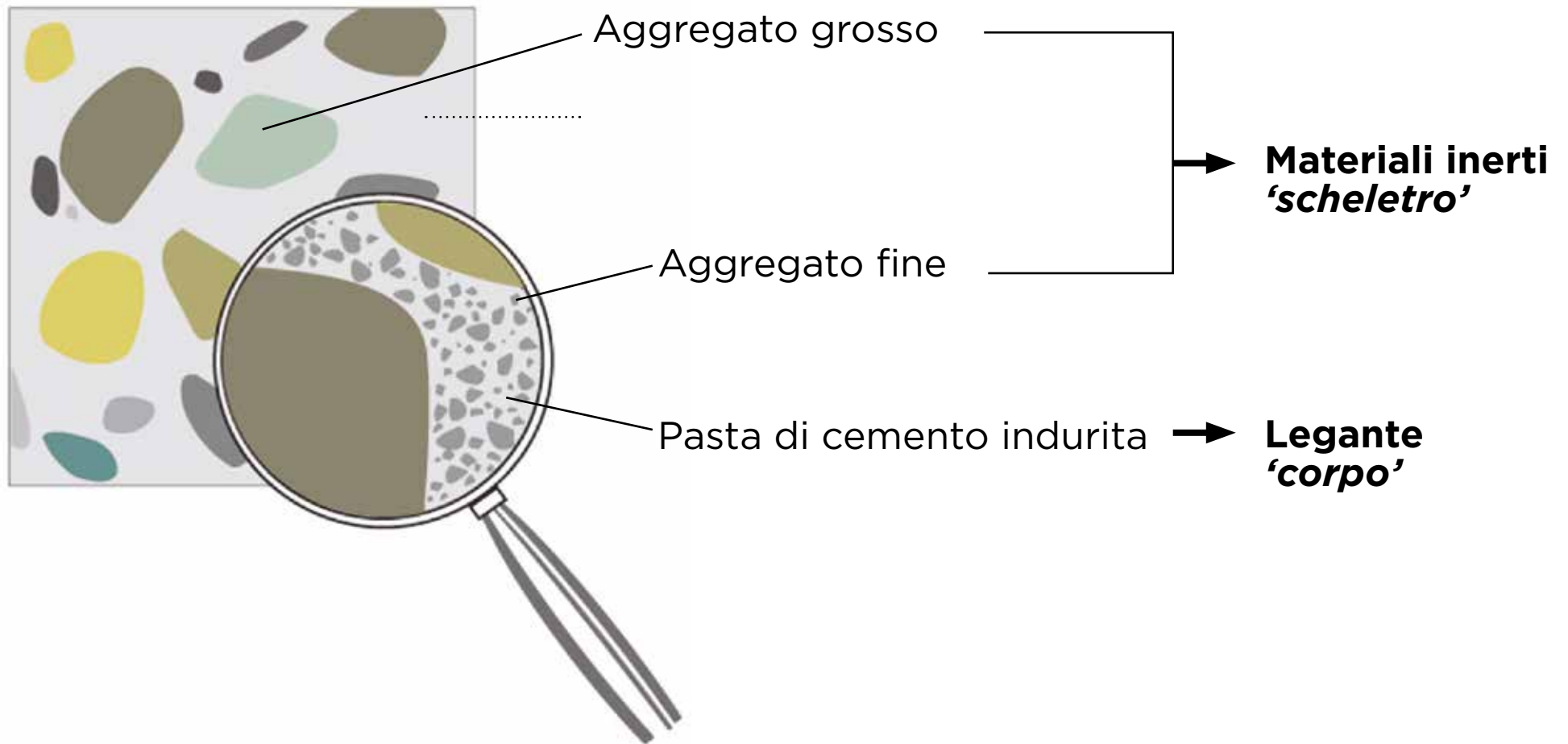
- 4a1** componenti inerti e legante
- 4a2** pasta di cemento indurita
- 4a3** tempi e temperature
- 4a4** campionatura

b - CARATTERISTICHE LEGATE ALLA DURATA DI VITA

- 4b1** resistenza meccanica
- 4b2** deformazione
- 4b3** calcestruzzo e acqua
- 4b4** carbonatazione
- 4b5** calcestruzzo e gelo
- 4b6** calcestruzzo e agenti aggressivi
- 4b7** calcestruzzo e reazione alcali-silice
- 4b8** calcestruzzo e fuoco

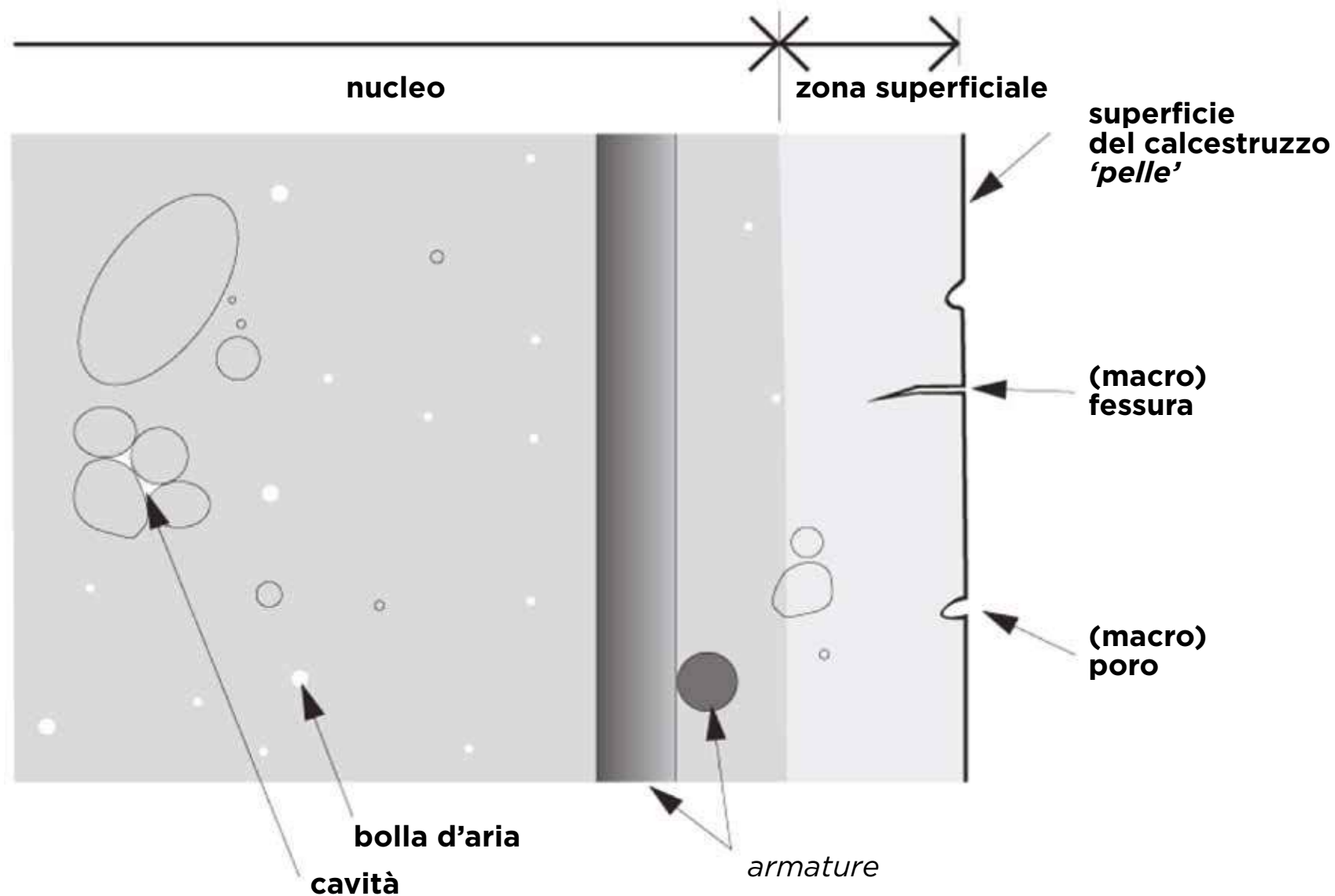
c - CARATTERISTICHE LEGATE AL CONFORT

- 4c1** aspetto
- 4c2** caratteristiche termiche
- 4c3** caratteristiche acustiche



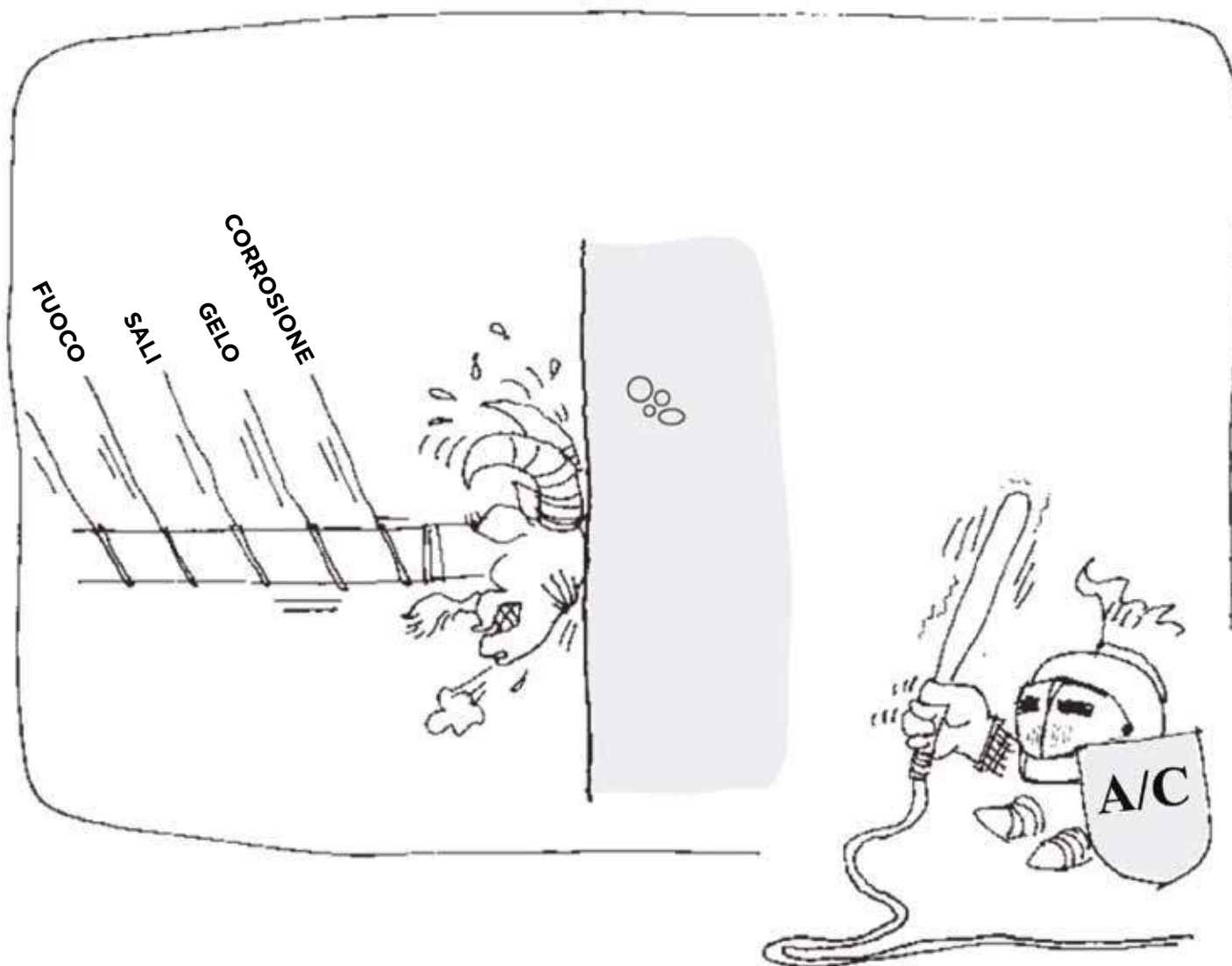
Il calcestruzzo indurito è un materiale eterogeneo: uno “scheletro” di aggregati grossolani e fini legato da un “tessuto” di fibre di idrati di cemento. La qualità del calcestruzzo allo stato indurito dipende dalle caratteristiche dello scheletro costituito da aggregati (inerti), dalla pasta di cemento indurita e dall'adesione tra i due. L'ottenimento delle prestazioni teoricamente possibili del calcestruzzo è determinato in grande parte dalla sua corretta messa in opera.

4a1 componenti inerti e legante



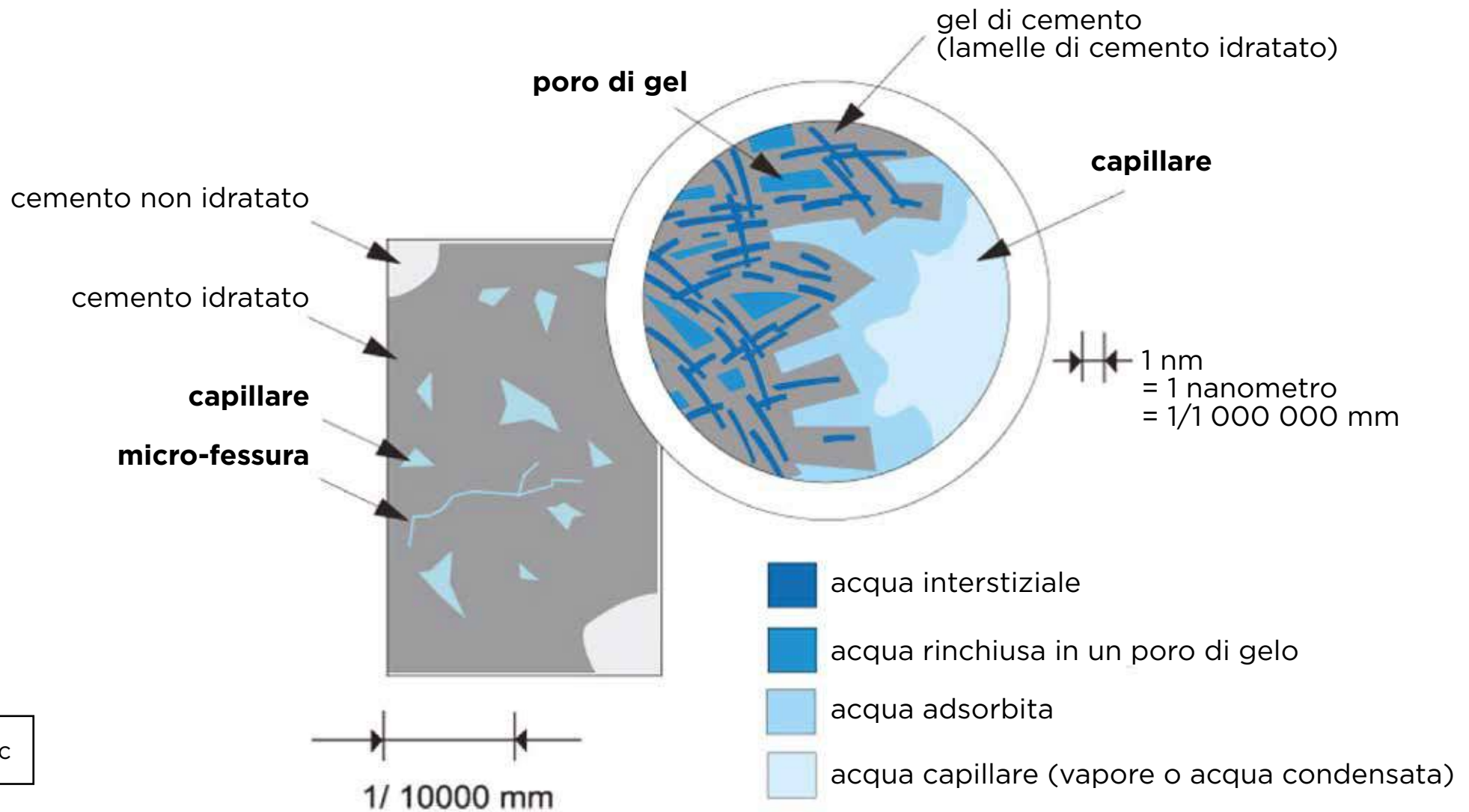
3b4

Dopo l'indurimento, la "pelle" del calcestruzzo è composta principalmente da cemento idratato. Rispetto al nucleo, la zona superficiale del calcestruzzo fresco appena gettato contiene meno aggregati grossi, ma più sabbia, più granuli di cemento e più acqua. La qualità di questa zona, di cui lo spessore corrisponde a circa la metà del D_{max} , è essenziale per la durabilità del calcestruzzo.



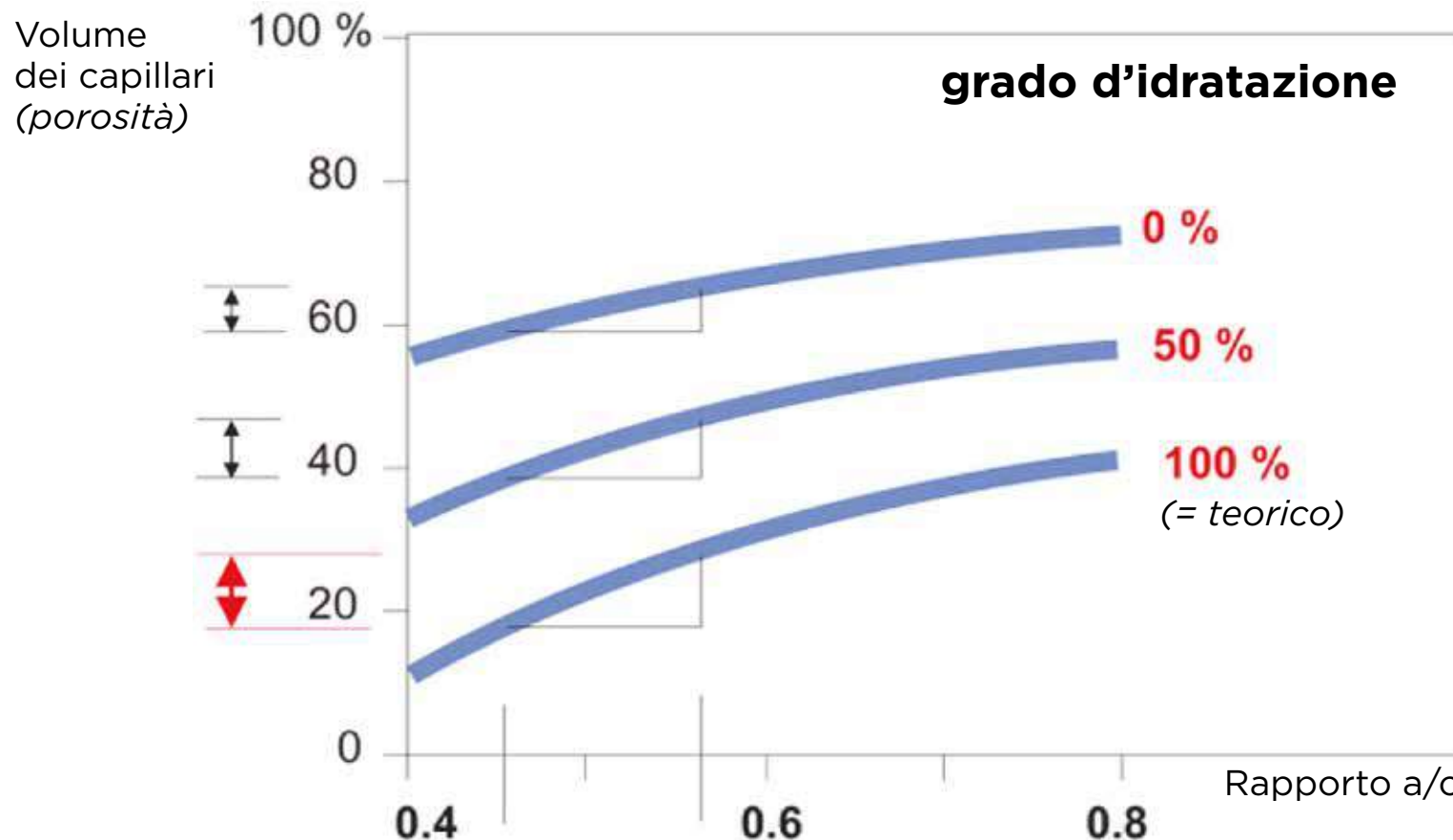
Un calcestruzzo compatto, ossia di cui il rapporto A/C è il più basso possibile e che è stato compattato a regola d'arte, resisterà più a lungo alle diverse aggressioni.

4a2 pasta di cemento indurita



Nei processi chimici e fisici che influiscono sulla durabilità, il trasporto d'acqua, il vapore acqueo e i materiali disciolti (per es. i sali) all'interno del calcestruzzo giocano un ruolo fondamentale. La velocità, l'ampiezza e l'effetto di questo trasporto dipendono soprattutto dalla struttura dei pori capillari della pasta di cemento indurita. L'evaporazione dell'acqua dei capillari porta al ritiro del calcestruzzo (ritiro idraulico o di essiccamento). L'umidificazione rallenta l'evaporazione e quindi i ritiri del calcestruzzo, ma senza che raggiunga il suo volume originale. L'acqua che si trova nei pori e tra le lamelle degli idrati (acqua interstiziale) viene espulsa solo ad alte temperature.

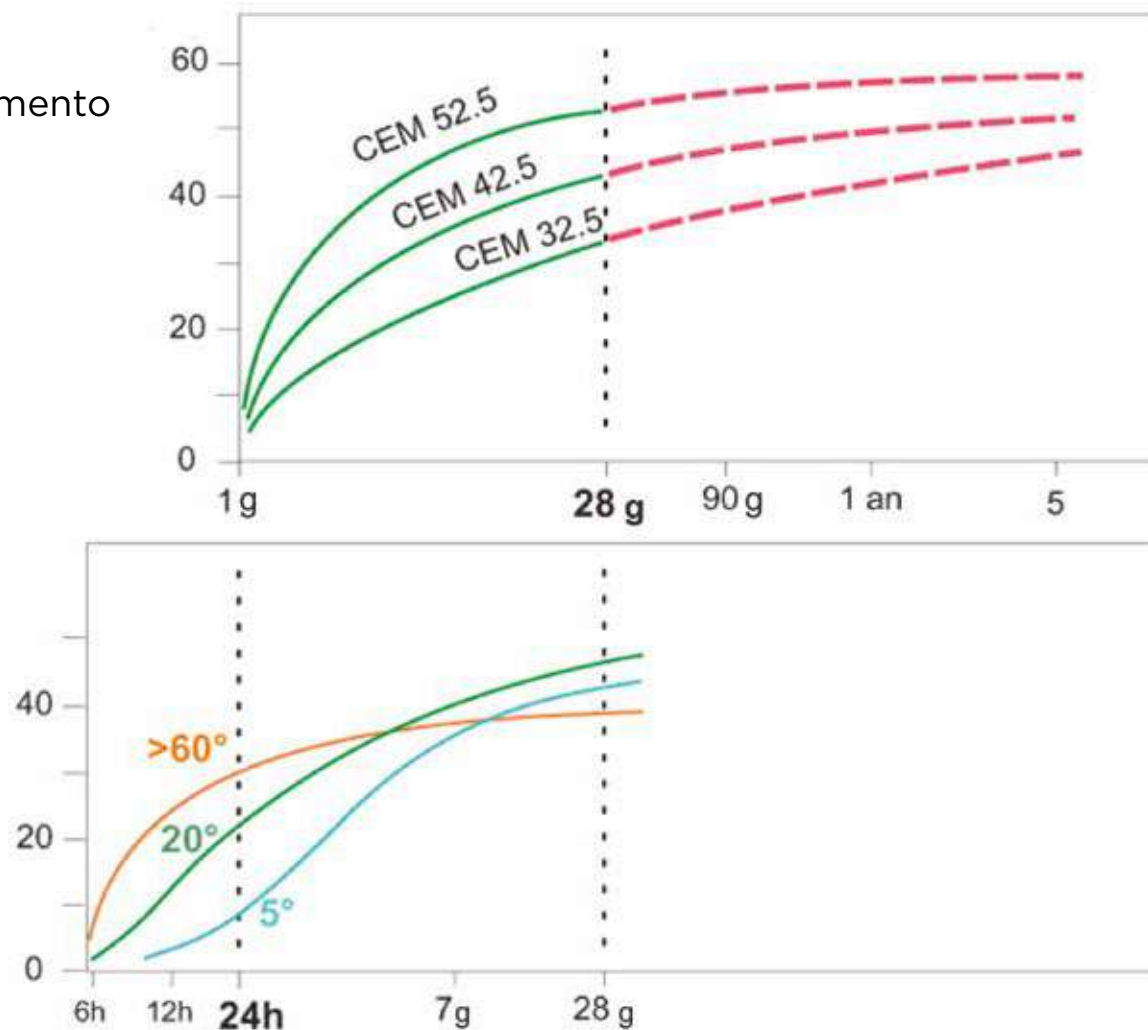
Relazione tra porosità e rapporto A/C per diversi gradi di idratazione:
più l'idratazione avanza e più l'influenza di A/C cresce



Il numero di capillari diminuisce mano a mano che l'idratazione progredisce: la circolazione d'acqua e di vapore acqueo (diffusione) diventano sempre più difficili. Per un A/C di 0,4 non rimangono praticamente più capillari continui dopo l'idratazione del cemento. A partire da 0,7 i pori formano una rete continua, anche dopo l'idratazione completa.

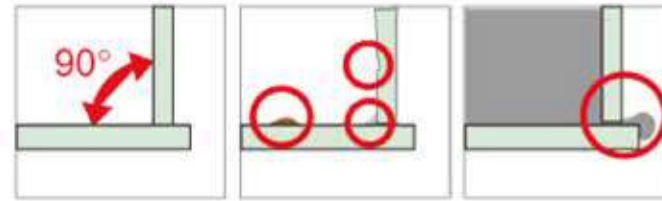
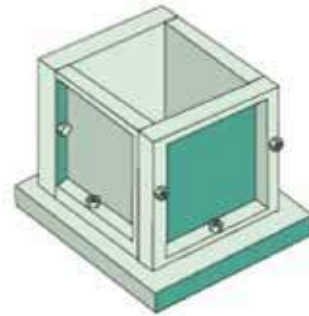
4a3 tempi e temperature

Resistenza alla compressione della pasta di cemento (N/mm^2)

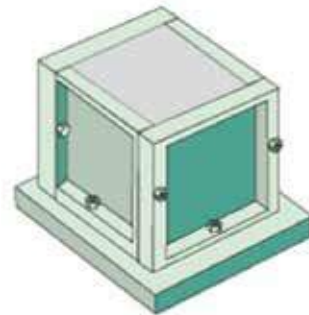


3c3

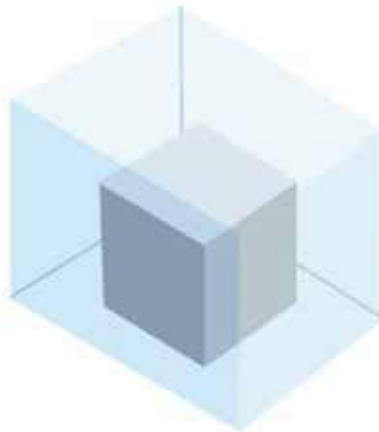
L'idratazione del cemento ha necessità di tempo. La velocità d'idratazione è tra l'altro determinata dal tipo di cemento e dal rapporto acqua/cemento. La resistenza a compressione a 28 giorni serve come punto di orientamento, ma l'idratazione - in particolare dei più grossi granuli di cemento - prosegue per mesi e aumenta la resistenza. Soprattutto durante le prime ore e i primi giorni, la temperatura del calcestruzzo (ossia all'interno della massa) è un dato importante. Una temperatura troppo elevata provoca l'indurimento "precipitoso" della pasta di cemento, che si traduce con una riduzione della resistenza finale. (NB: il tempo è indicato su una scala logaritmica.)



controllare lo stampo



riempire, compattare e lasciare indurire
a una temperatura di $20 \pm 4 \text{ } ^\circ\text{C}$



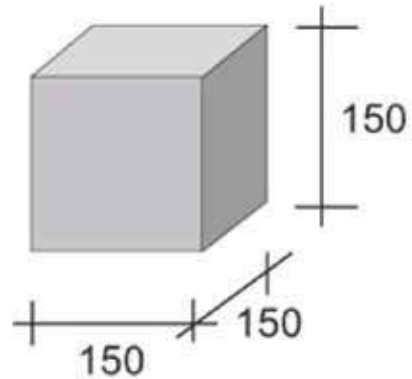
rimuovere dallo stampo e conservare
sott'acqua a temperatura di $20 \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$

3b4

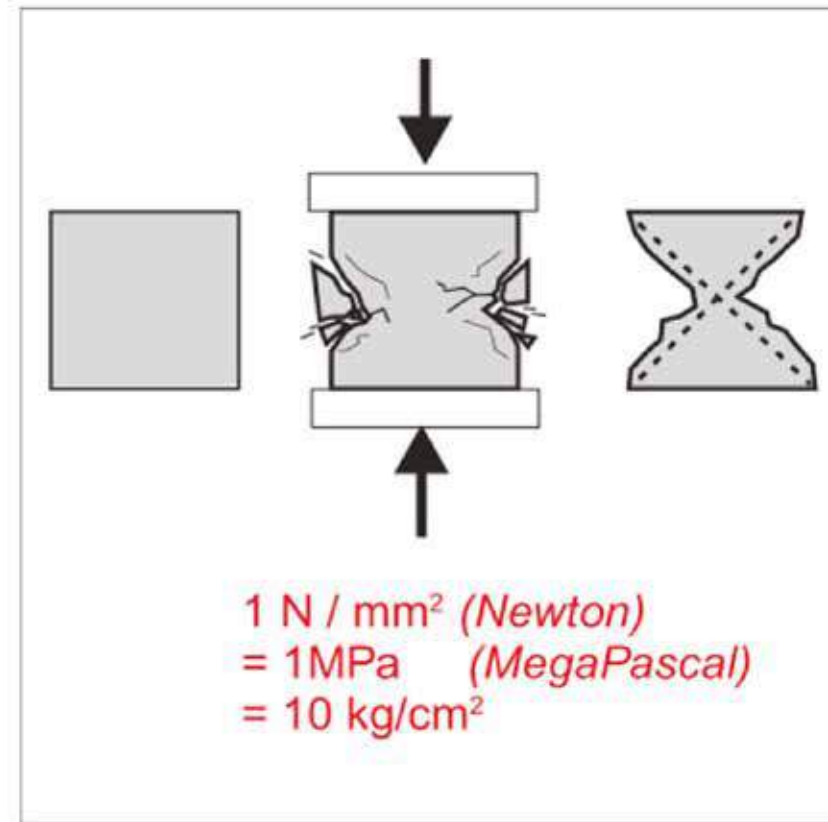
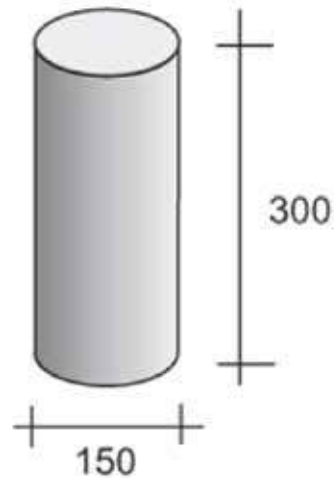
I campioni sono confezionati al fine di poter controllare le caratteristiche del calcestruzzo con delle prove in laboratorio. I risultati di queste prove – per es. la massa volumica, la resistenza a compressione, l'assorbimento d'acqua...- sono sottoposti ad un'analisi statistica. Il campionamento del calcestruzzo fresco è generalmente effettuato per mezzo di stampi di forma cubica. Il carotaggio (estrazione di provini cilindrici) serve a prelevare campioni di un'opera esistente, come ad esempio un rivestimento stradale.

4b1 resistenza meccanica I resistenza alla compressione

$f_{c \text{ cubo}}$



$f_{c \text{ cil}}$



1c

2a

2b1

I provini sono posizionati tra due piastre di una pressa idraulica e compressi fino alla loro rottura. Questa rottura non si opera per schiacciamento, ma per taglio su delle facce inclinate a 45° . Provini piccoli e compatti necessitano una pressione più importante che i provini grandi e sottili. Dei fattori di conversione permettono di confrontare i risultati delle prove per diversi formati e forme di provini, per es. $f_{c \text{ cub } 150} = f_{c \text{ cil } \varnothing 150 \text{ h } 300}$

Prova di compressione su cubo:

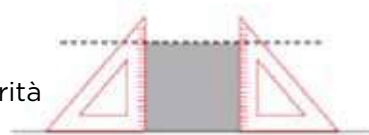
- conservare i campioni sotto l'acqua



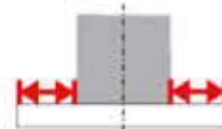
- asciugare



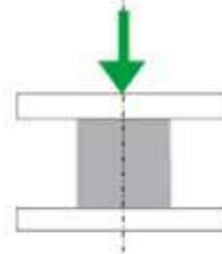
- misurare/controllare la planarità



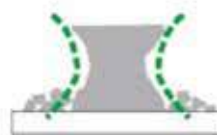
- posizionare nella pressa e centrare



- aumentare gradualmente lo sforzo di compressione (ossia con una velocità di salita costante)

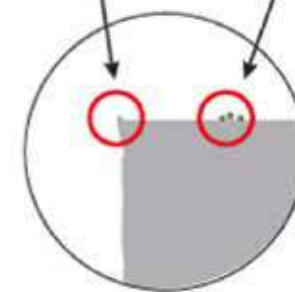


- notare la forza applicata, valutare la forma di rottura



rimuovere le sbavature

ripulire la superficie da sporcizie



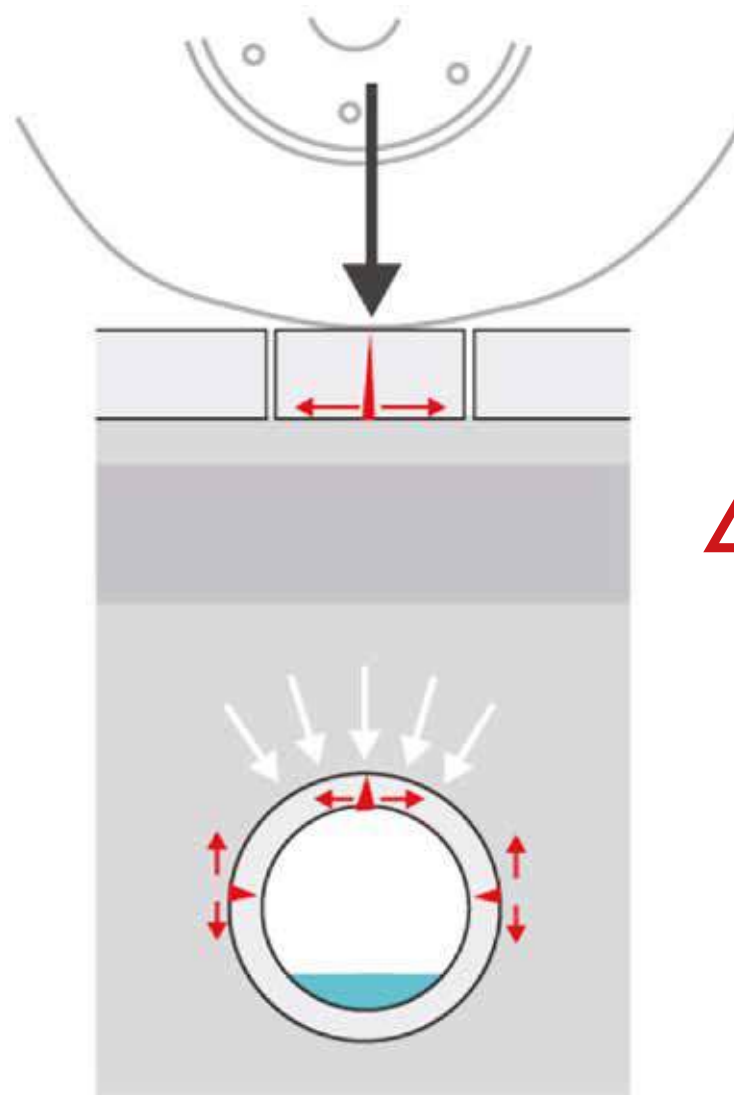
verso del getto

90°

verso dello sforzo di compressione



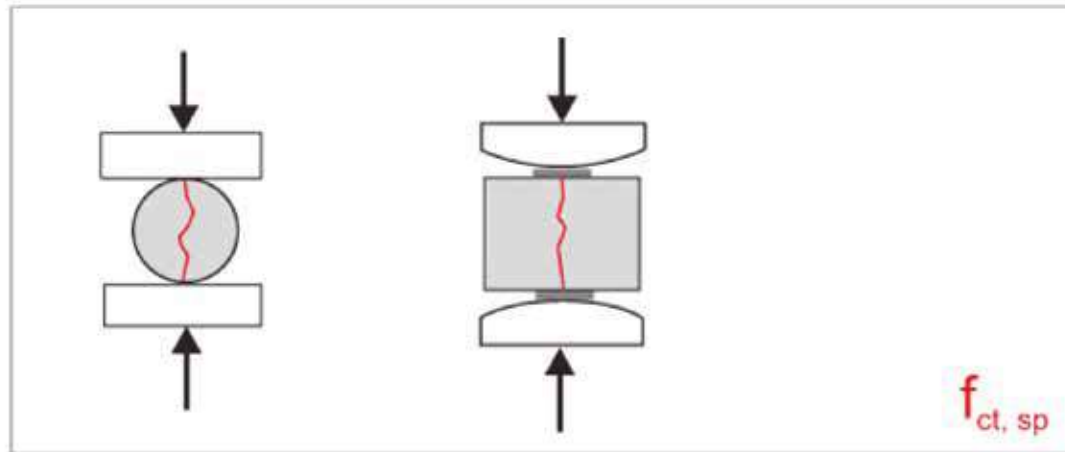
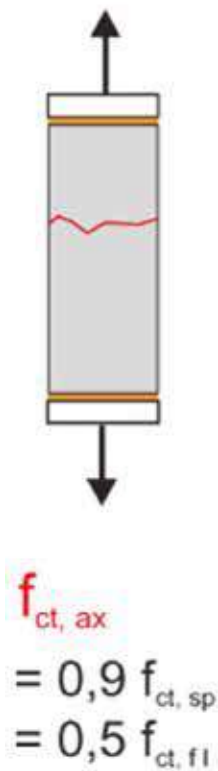
Dopo il riempimento dello stampo, questo viene rasato. La faccia superiore del cubo dunque non è perfettamente piana e liscia. È per questo motivo che il cubo viene appoggiato di lato nella pressa. Se il provino cede seguendo una geometria inusuale, il valore misurato non sarà preso in considerazione. È tuttavia utile trovare la causa dell'anomalia, per es. una sbagliata composizione del calcestruzzo, un mescolamento o compattazione insufficiente, la preparazione poco curata del provino...



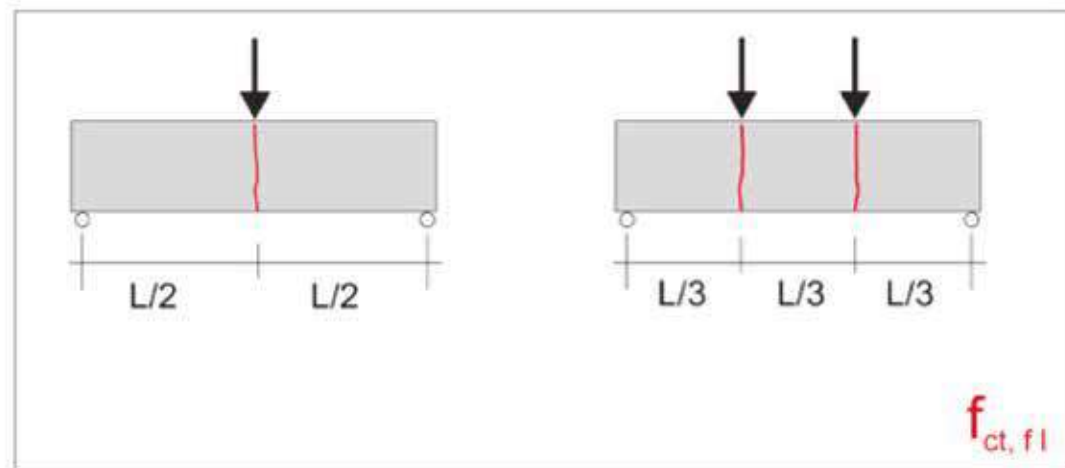
calcestruzzo non armato

3a2

Il calcestruzzo è un materiale pietroso. Senza armatura non è capace di sostenere forze di trazione importanti. Alcuni prodotti non armati devono tuttavia resistere a sforzi di trazione: pavé, margini, tubi...



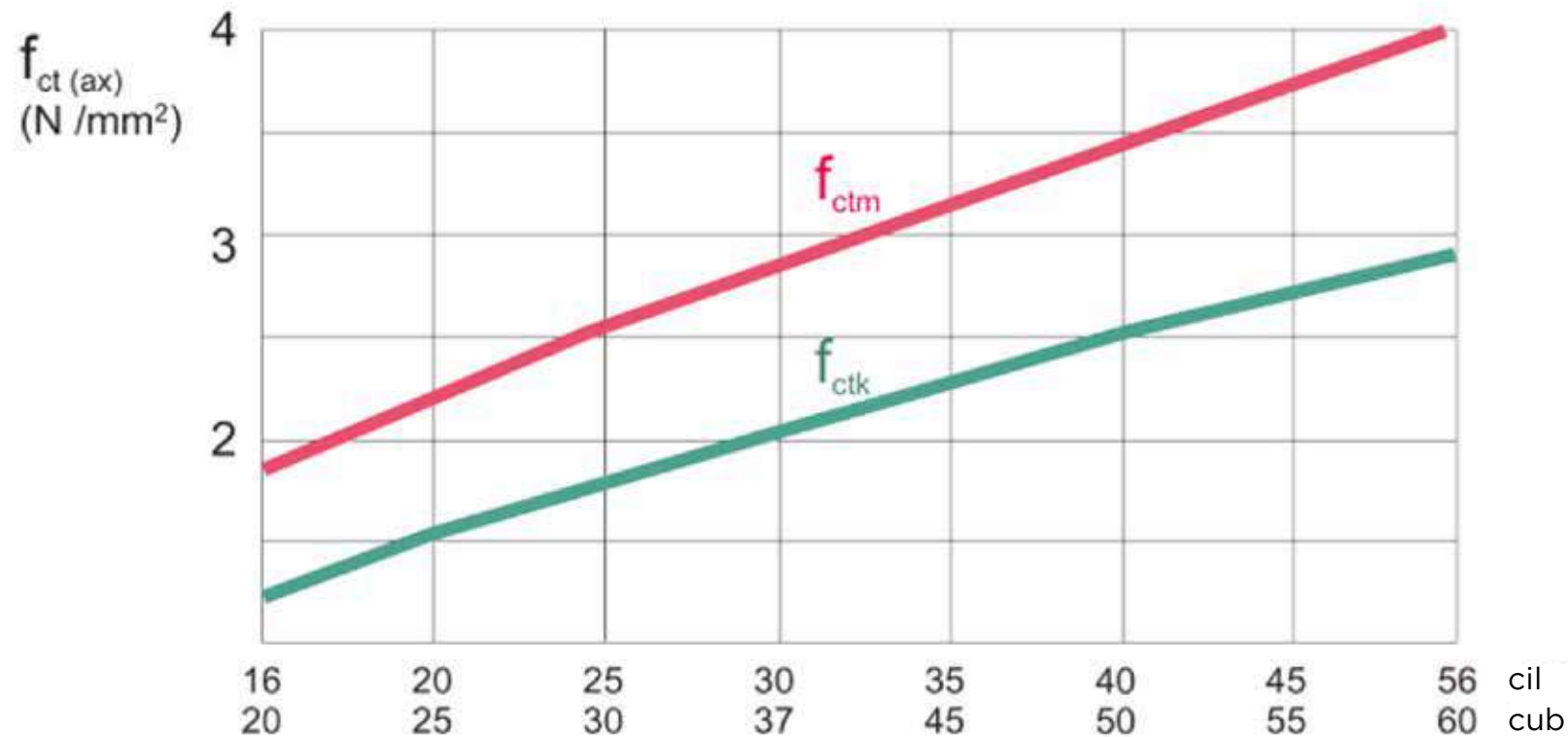
resistenza alla trazione per rottura (prova "brasiliiana")



resistenza alla flessione

La resistenza alla trazione pura è raramente determinata per trazione diretta su provini cilindrici, essendo la prova troppo delicata da condurre. Per questo motivo, è dedotta, o dalla resistenza alla trazione per rottura (prova brasiliiana), o dalla resistenza a flessione. Queste prove sono realizzate su provini cilindrici o prismatici.

4b1 resistenza meccanica I resistenza alla trazione



f_{ctm} = media

f_{ctk} = caratteristica

f_{ck} (N/mm²)

resistenza caratteristica
alla compressione

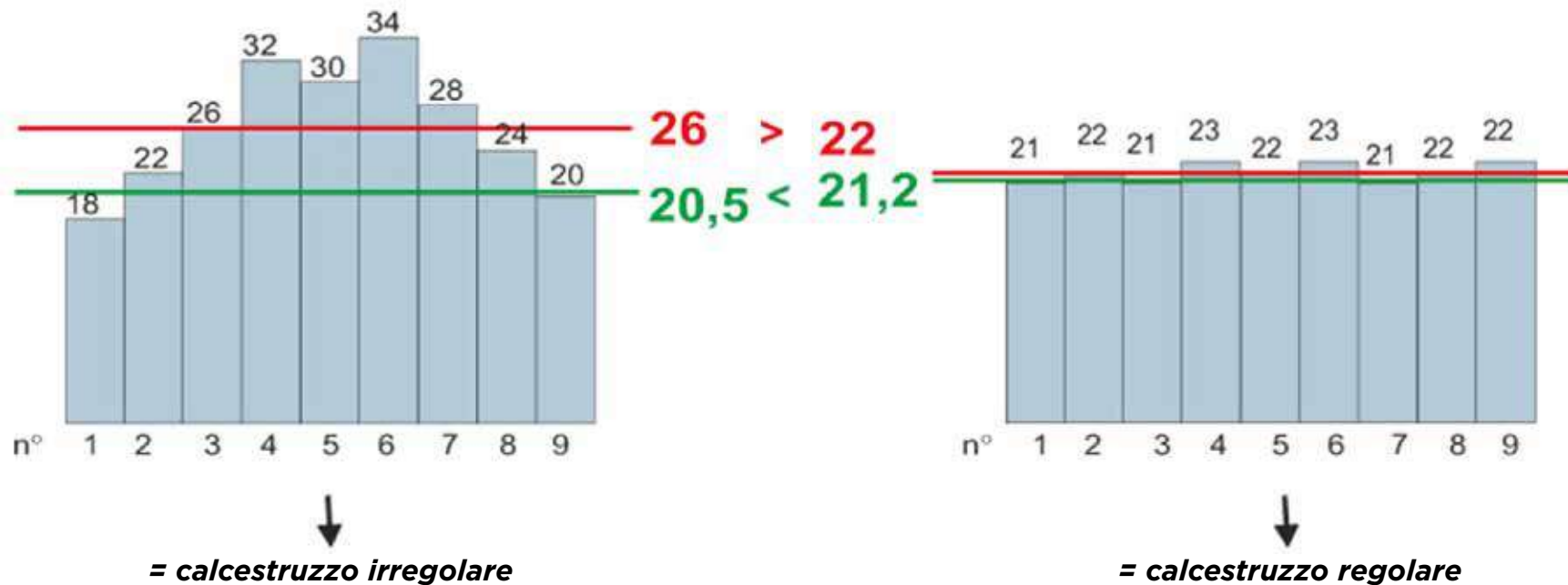
In assenza di prove di trazione, la resistenza alla trazione (media e valore caratteristico) può essere stimata alla partenza dalla resistenza caratteristica alla compressione.

(esempio: confronto e interpretazione di 2 campioni di 9 risultati ciascuno)

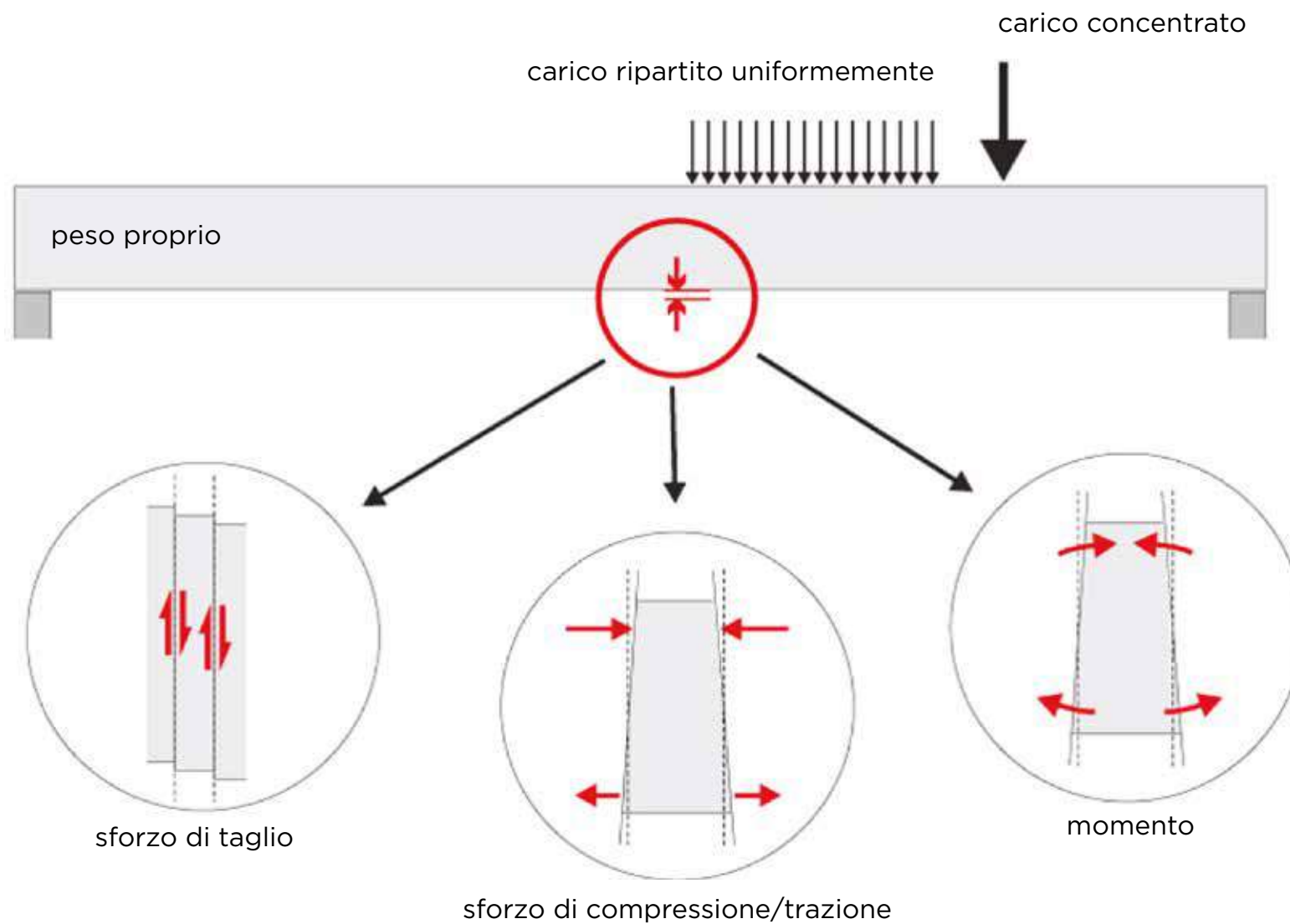
media = f_{cm}

caratteristica = f_{ck}

$$= f_{cm} - 1,64 s \quad (s = \text{scarto tipo})$$

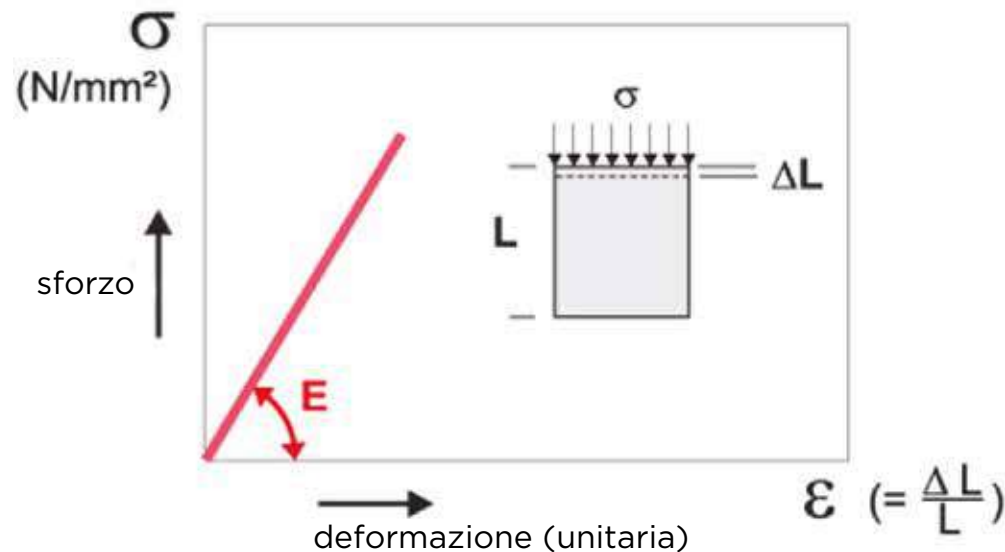


Se il livello di resistenza del calcestruzzo è importante, la regolarità di questa caratteristica lo è altrettanto, se non di più. La resistenza media f_{cm} del calcestruzzo, anche elevata, non saprebbe caratterizzare un buon calcestruzzo, se gli scarti tra i risultati estremi e questa media sono elevati. Per questo motivo, la resistenza richiesta e prescritta è quella detta "caratteristica" (f_{ck}). Nel 95% dei casi, la resistenza misurata deve essere superiore a f_{ck} . Più la resistenza caratteristica è bassa, più la dispersione dei risultati è grande, e più il rischio di un difetto locale è alto.

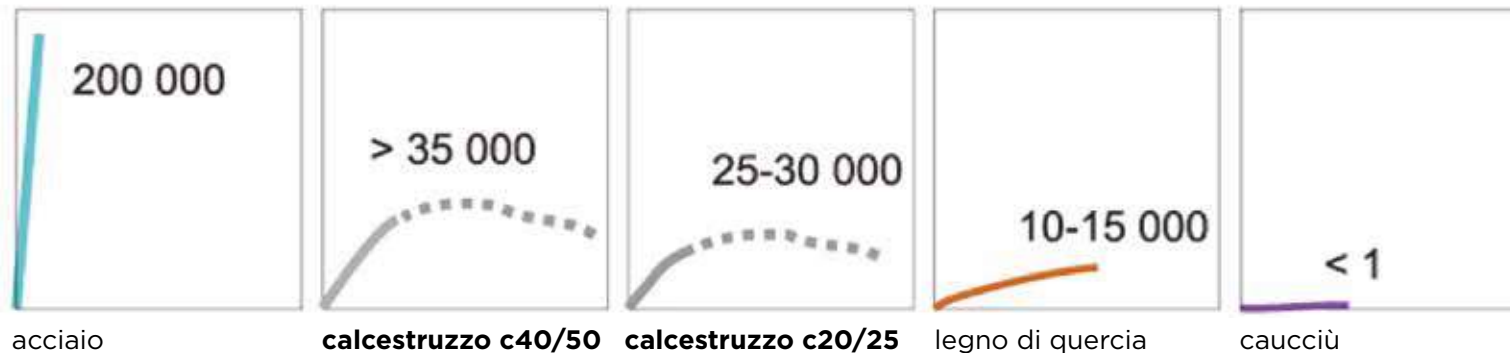


3a2

Un elemento di struttura, per es. una trave in calcestruzzo, si deforma poiché è soggetta a forze, come la gravità e altri tipi di sollecitazioni. Queste forze portano sforzi di compressione, trazione, taglio e momenti di flessione.



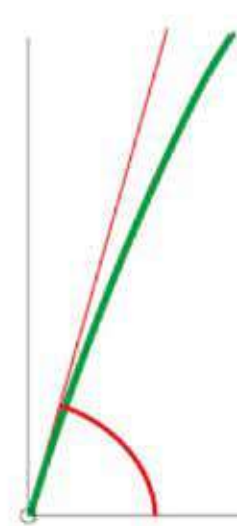
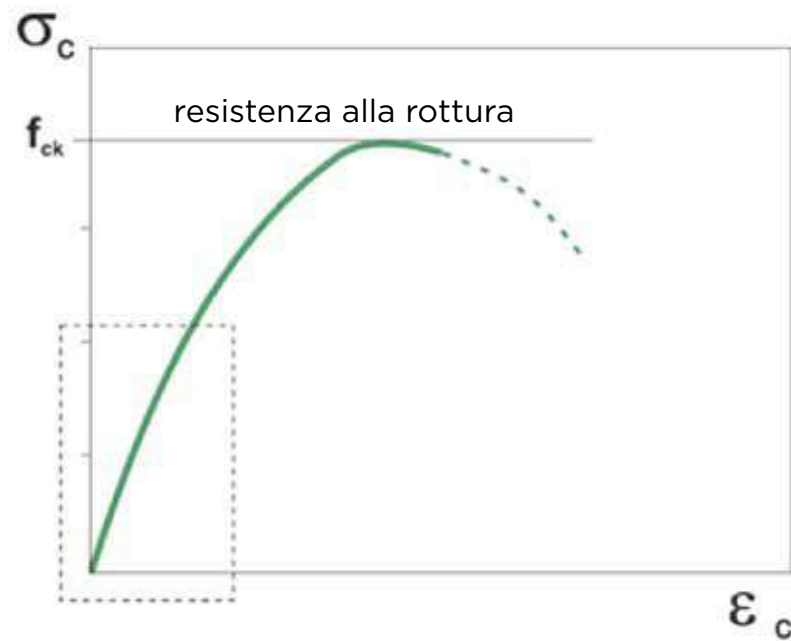
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$



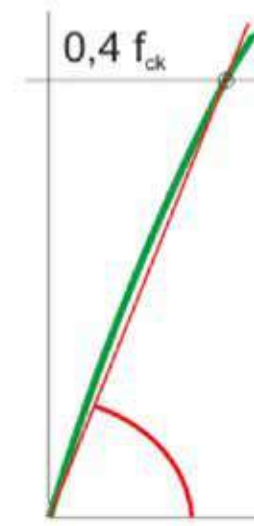
Il modulo di elasticità E di un materiale (o modulo di Young) esprime il rapporto tra lo sforzo e la deformazione unitaria. Più E è elevato, e più il materiale sarà duro, poco deformabile. Per alcuni materiali, quali l'acciaio, il modulo d'elasticità è una costante. Nel caso del calcestruzzo, E varia:

- Secondo la qualità: più la resistenza a compressione è grande, più E è alto;
- In funzione del livello di sforzo: la deformazione si accelera nel momento in cui lo sforzo cresce. In effetti, l'inclinazione della tangente alla curva diventa meno ripida.

4b2 deformazione I modulo d'elasticità E (calcestruzzo)



modulo
d'elasticità tangente



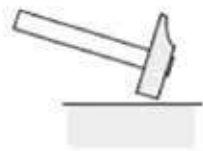
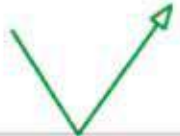
modulo
d'elasticità secante

La norma sceglie convenzionalmente un modulo di elasticità secante. Questo è un compromesso tra il modulo di elasticità tangente all'origine e quello diritto dove il calcestruzzo è sollecitato al 40% della sua rottura (sollecitazione di servizio).

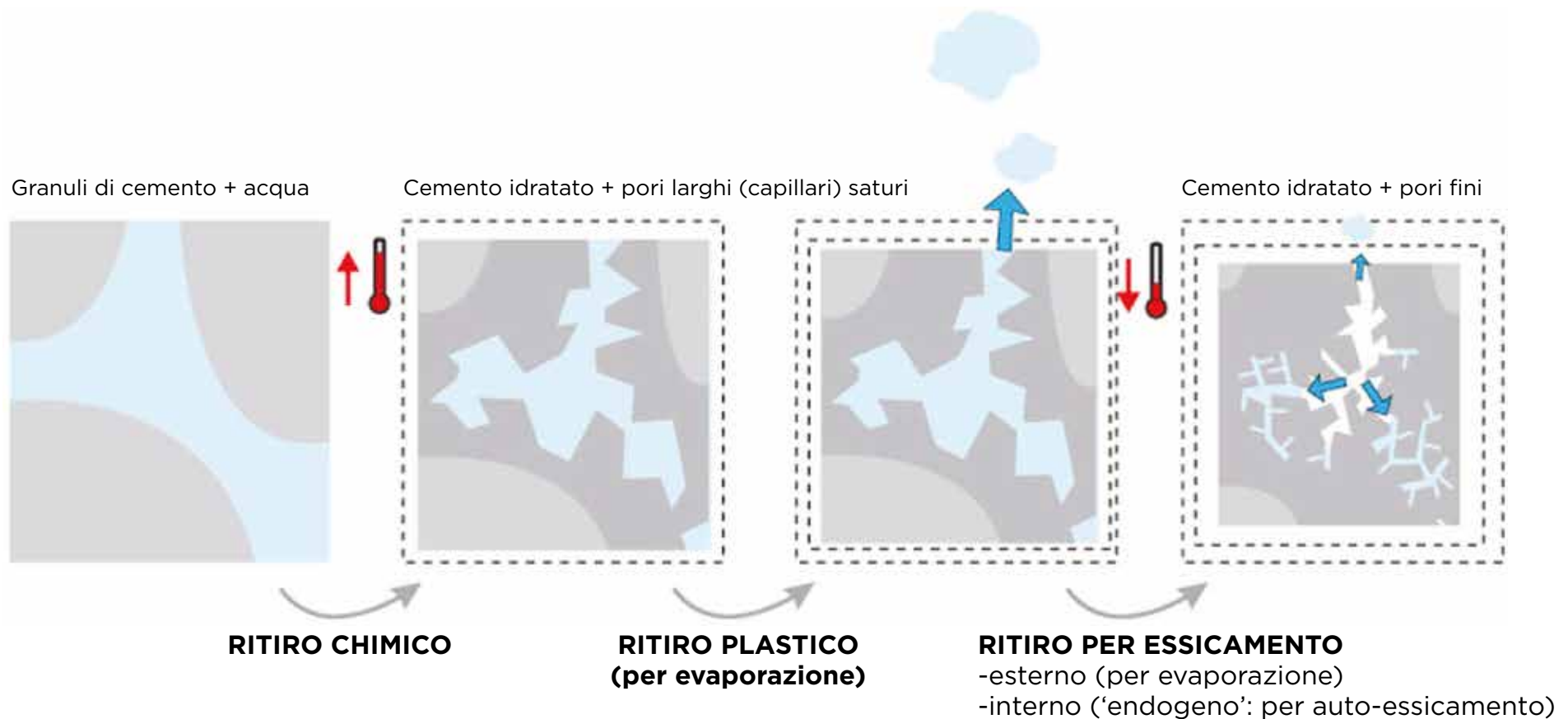
formula:

$$E_c = 9\,500 \sqrt[3]{f_{c\,cyl} + 8}$$

misura:

	E elevato	E basso
		
Propagazione del suono 	 Propagazione rapida	 Lenta
Frequenza propria 	 Frequenza alta	 Bassa
Durezza superficiale (indice sclerometrico) 	 Superficie dura	 Molle

Dato che la determinazione di E_c per prove è complessa, si è convenuto calcolarlo seguendo la formula seguente. Al fine di valutare la regolarità delle caratteristiche di un calcestruzzo, o loro evoluzione nel tempo, esistono prove non distruttive relative alla rigidità del calcestruzzo: velocità del suono, frequenza di risonanza, durezza superficiale. Queste prove procedono per confronto con un calcestruzzo di riferimento con stessa composizione e di caratteristiche note.



+ RITIRO TERMICO

Ritiro finale= funzione di A/C, dell'umidità relativa, della forma

In media:

- clima interno: ≈ 0.5 mm per m
- clima esterno: ≈ 0.3 mm per m

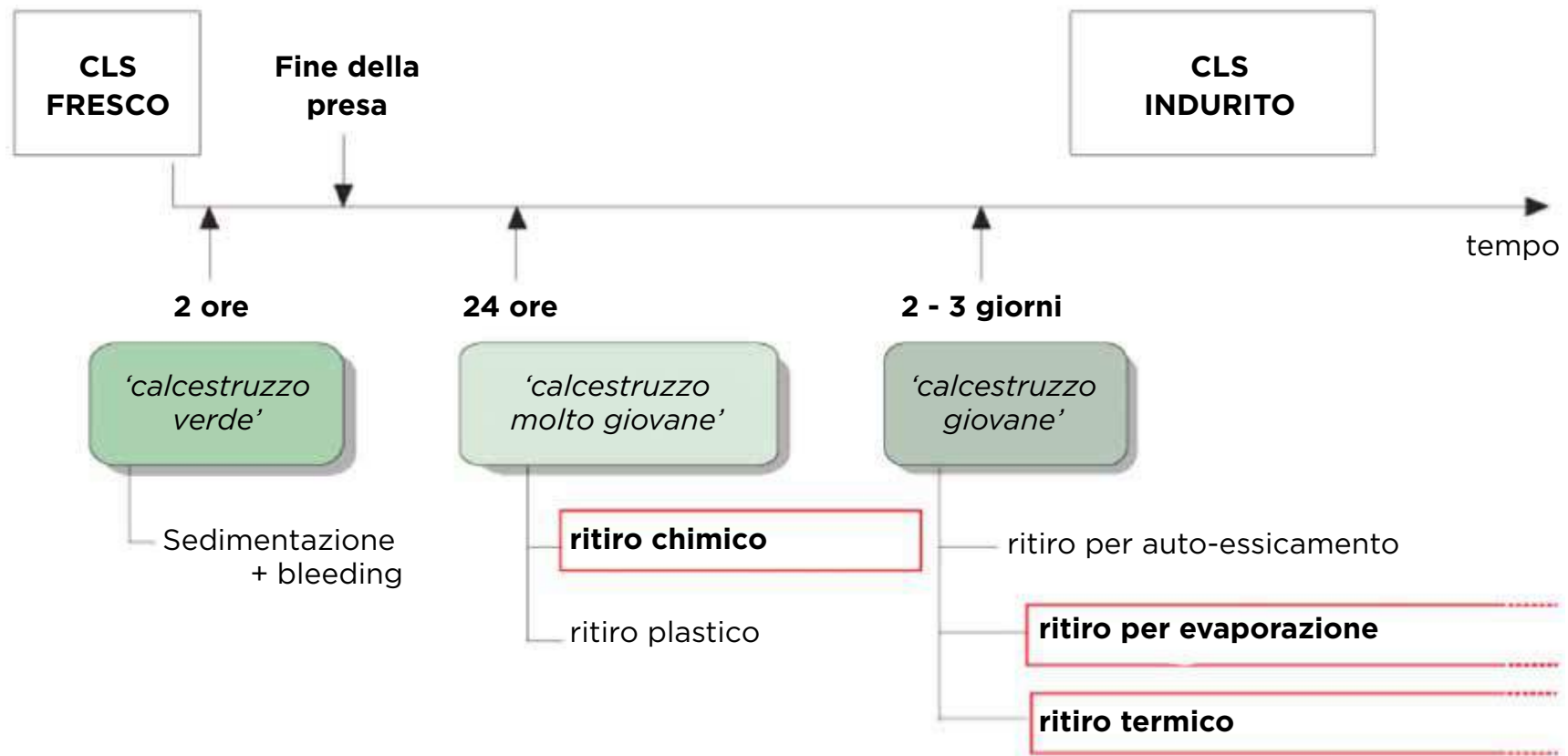
1c

2a

3b5

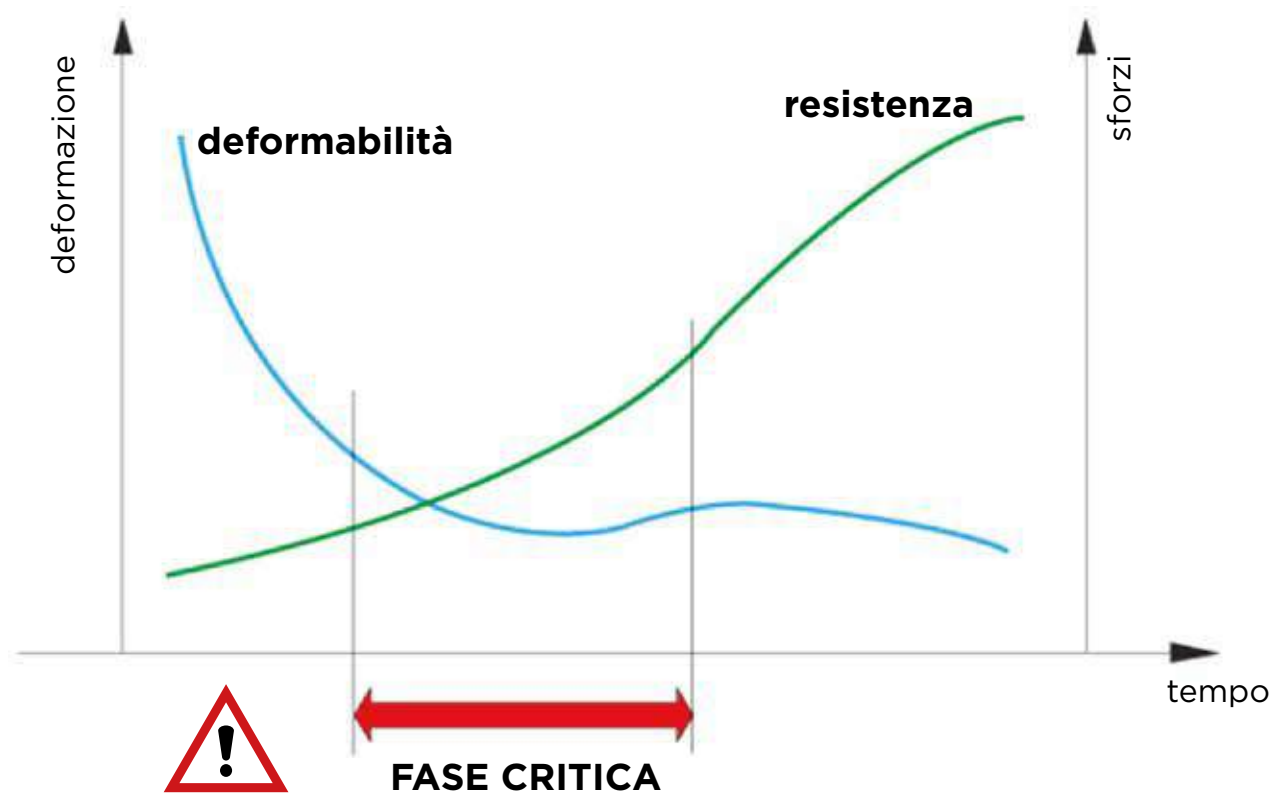
3c2

Il ritiro chimico è dovuto al fatto che il cemento idratato occupa un volume più piccolo della somma dei volumi di cemento e acqua. Il ritiro plastico è causato dall'evaporazione dell'acqua d'impasto. Il ritiro per essiccamento (ritiro idraulico) risulta dall'evaporazione dell'acqua dai pori del calcestruzzo indurito seguita dalla contrazione dei pori per le forze capillari. Il ritiro endogeno (ritiro per auto-essiccamento) interviene nel momento in cui i pori sempre più fini estraggono l'acqua dai pori più grandi, provocando la contrazione di quest'ultimi. Questo fenomeno è importante solo nel caso in cui calcestruzzi con rapporto A/C $< 0,45$ e tenore elevato in cemento, come il calcestruzzo ad alte prestazioni (CAP).



2a	3b5	3c2
----	-----	-----

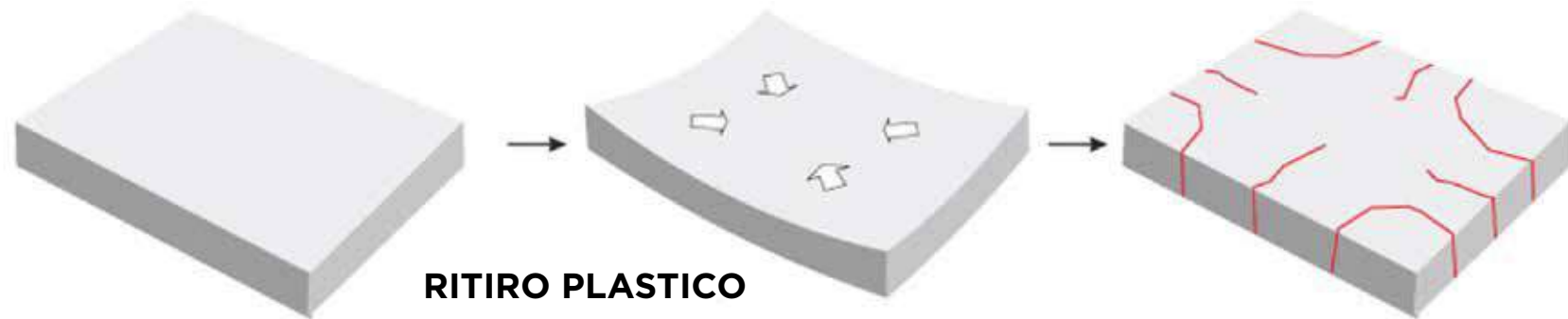
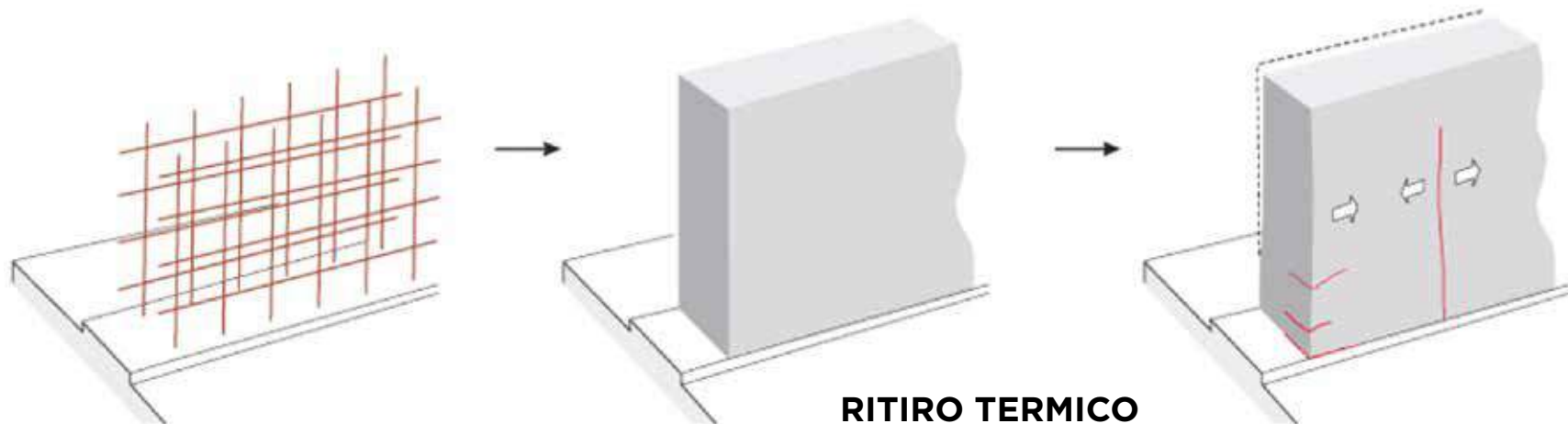
Situazione nel tempo di diversi fenomeni di ritiro.



Deformabilità decrescente + resistenza poco sviluppata = rischio di fessurazione

3b5

Deformabilità e resistenza meccanica durante la prima fase dell'idratazione.

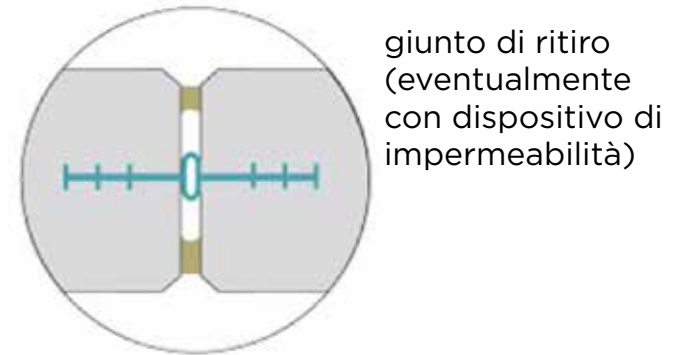
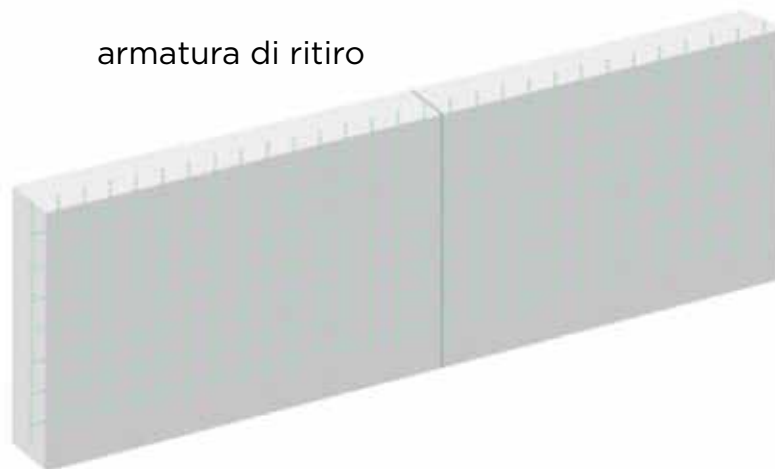
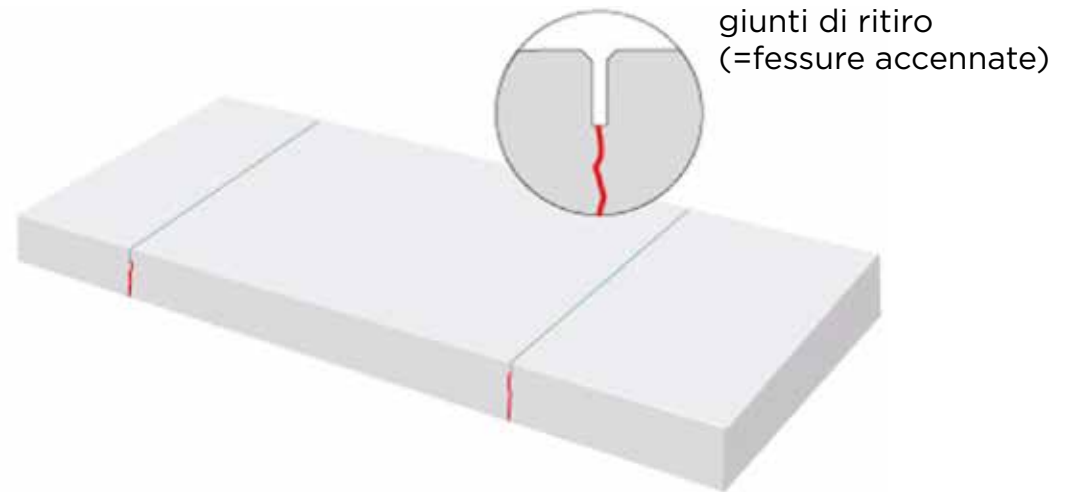
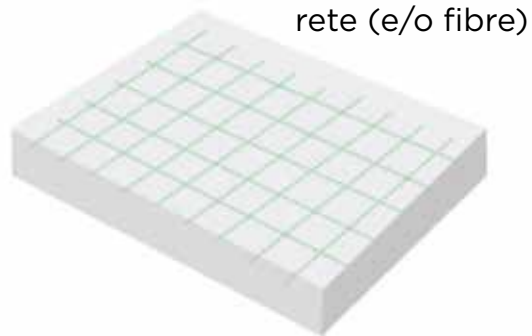

RITIRO PLASTICO

RITIRO TERMICO
(‘ritiro impedito’)

3c2

La faccia superiore della piastra si ritrae maggiormente della faccia inferiore, provocando il sollevamento degli angoli della piastra- fenomeno di “curling” – e la sua fessurazione. L'idratazione del cemento sviluppa calore. Dopo l'indurimento, il calcestruzzo si raffredda. Tuttavia, l'ancoraggio nella fondazione impedisce che il ritiro si ripartisca uniformemente sull'insieme dell'opera, provocando sforzi di trazione. Quando queste diventano troppo importanti, compaiono delle fessure (figura in basso).

Come prevenire?

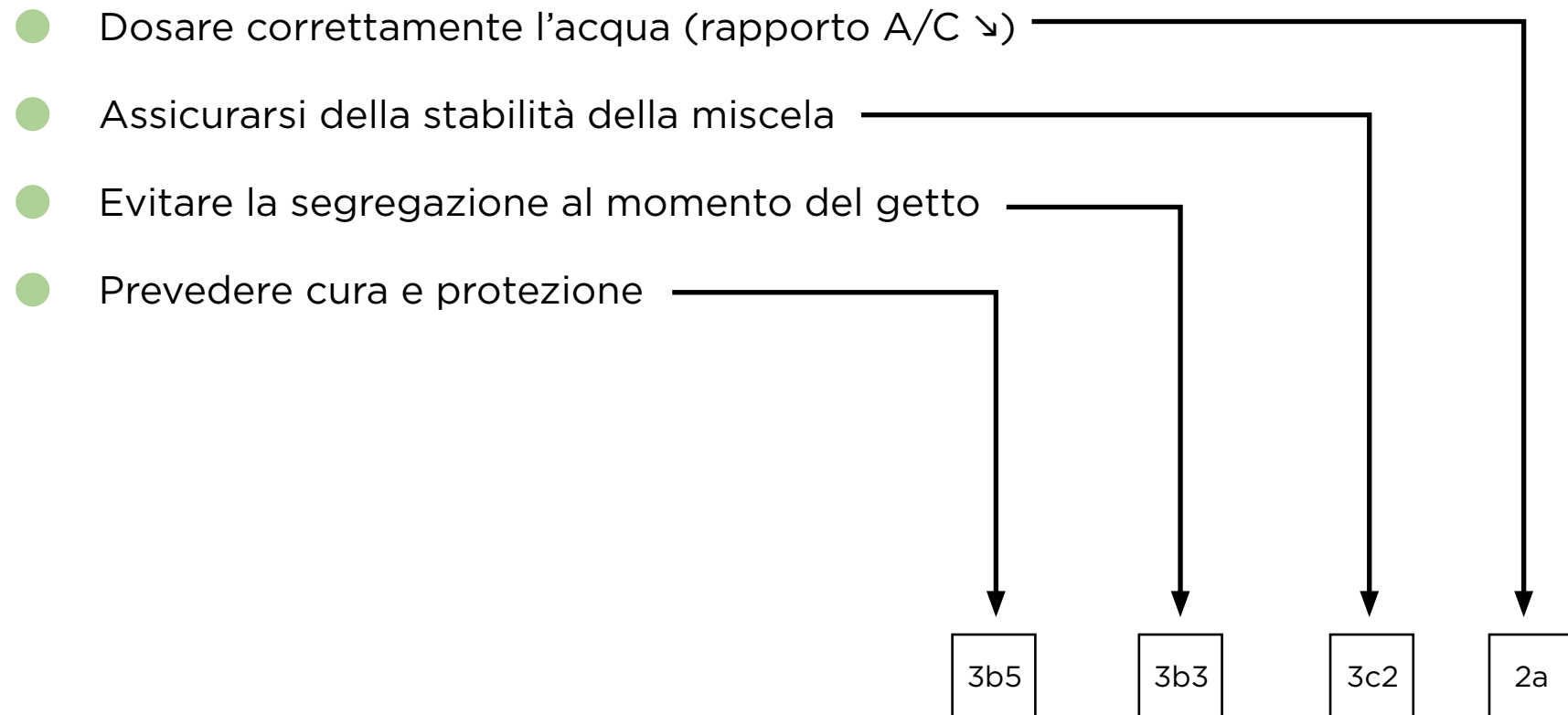
-in fase di progettazione



Rivestimenti di pavimenti: con il taglio di giunti, la fessurazione si adopera in modo controllato. Parete: il fenomeno di ritiro impedito richiede un'attenzione particolare al momento della costruzione di cantine, cisterne, ecc. di cui l'impermeabilità deve essere garantita. Al fine di anticipare la fessurazione eventuale per ritiro impedito, l'opera sarà divisa e deve essere prevista un'armatura di ritiro.

Come prevenire?

-allo stadio di formulazione e della messa in opera del calcestruzzo



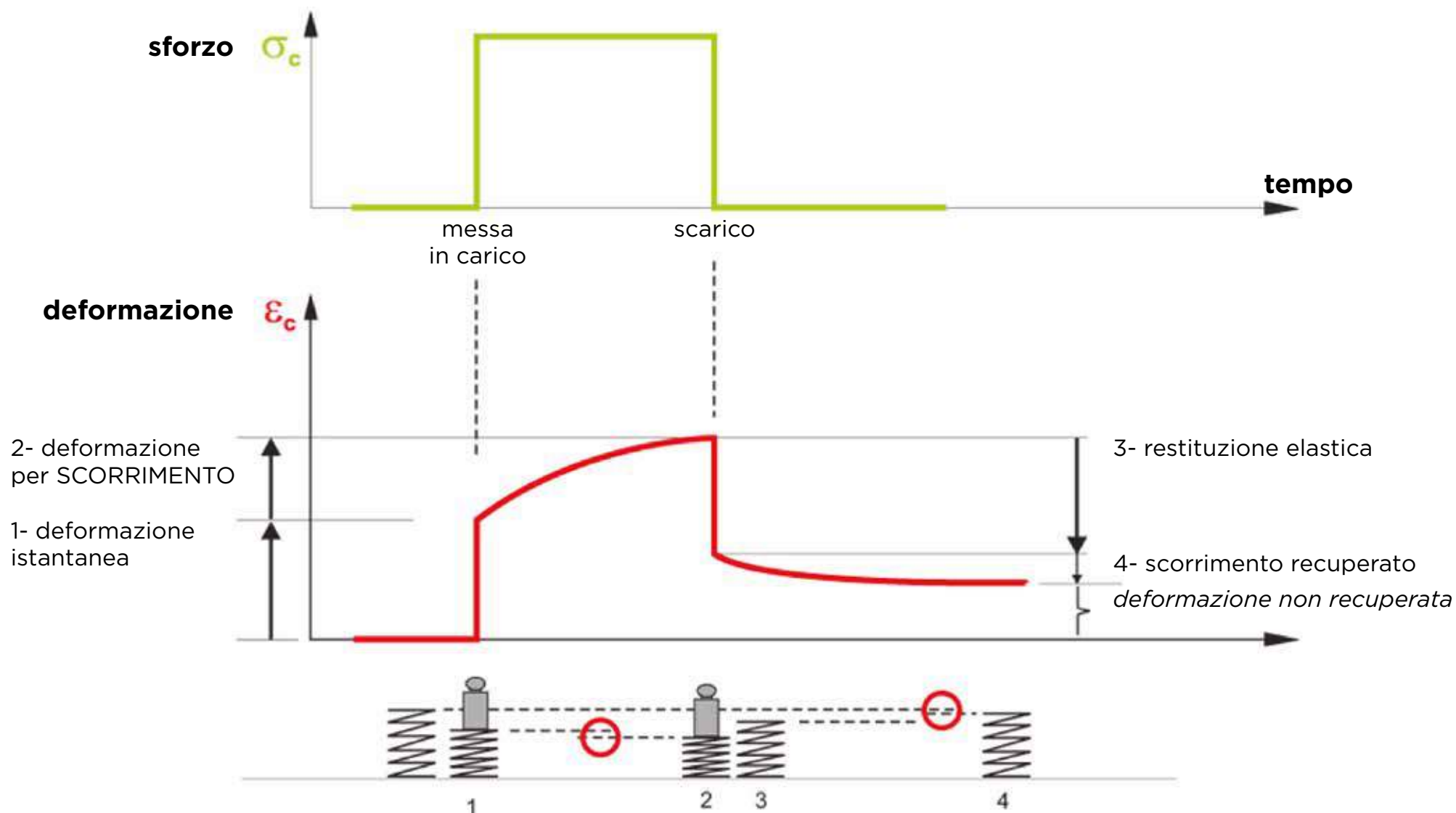
Rapporto acqua-cemento: il più basso possibile.

Stabilità della miscela: granulometria continua, dosaggio di fini corretto, tenore in cemento sufficiente.

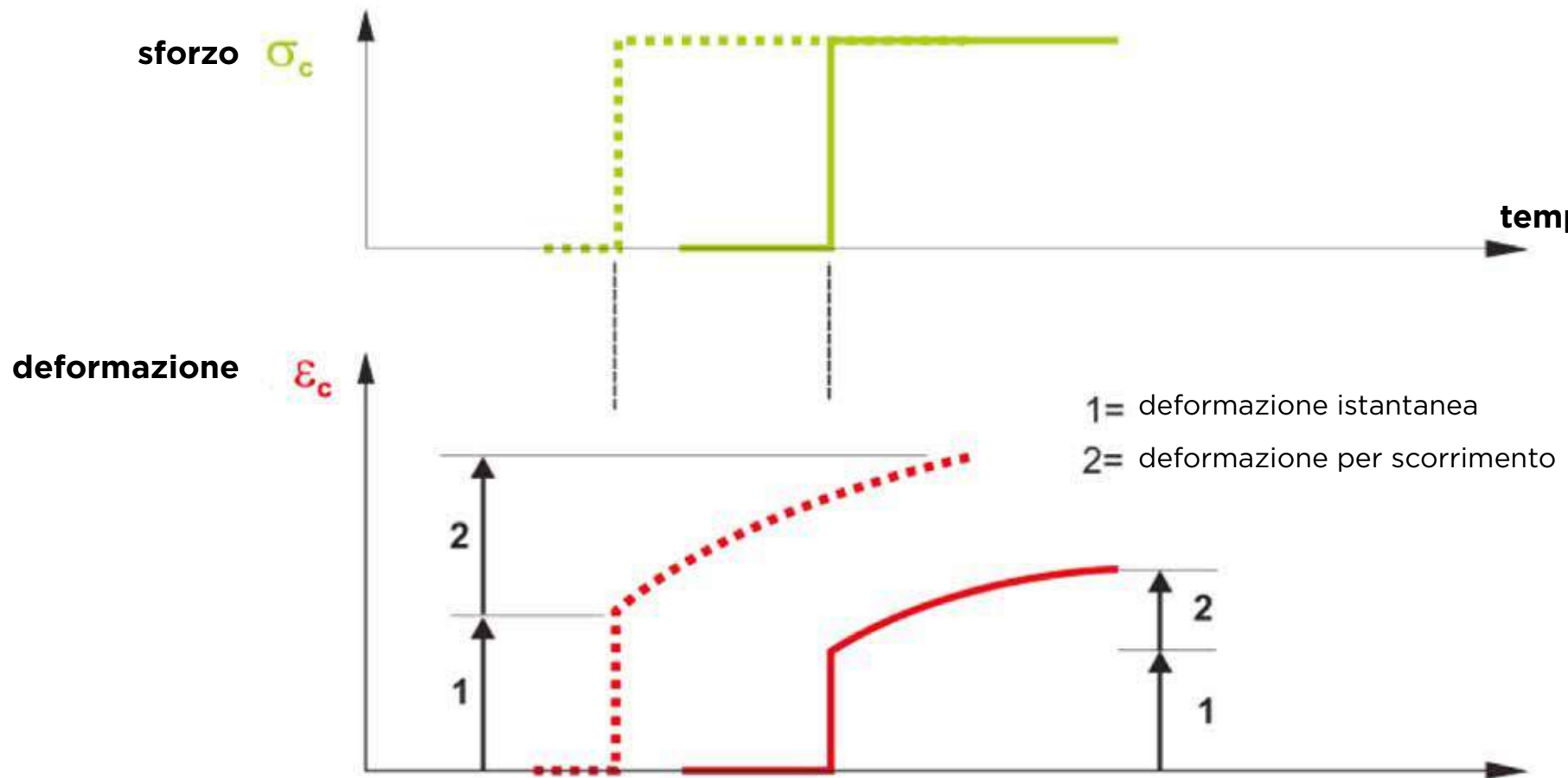
Omogeneità della miscela, no segregazione: metodi di trasporto e di compattazione adeguati.

Protezione/trattamento: fare soprattutto attenzione in caso di clima caldo e asciutto e in presenza di molto vento (evaporazione rapida dell'acqua d'impasto), ma ugualmente per tempi freddi (idratazione più lenta).

4b2 deformazione I ritiro e fessurazione



Sotto carico di compressione costante, il calcestruzzo persegue la sua deformazione primaria (detta istantanea) durante un tempo più o meno lungo. Questo fenomeno si chiama scorrimento. Quando il carico è rimosso, il calcestruzzo si "ricompone", neutralizzando la deformazione istantanea. Una parte della deformazione dovuta allo scorrimento rimane tuttavia irreversibile.

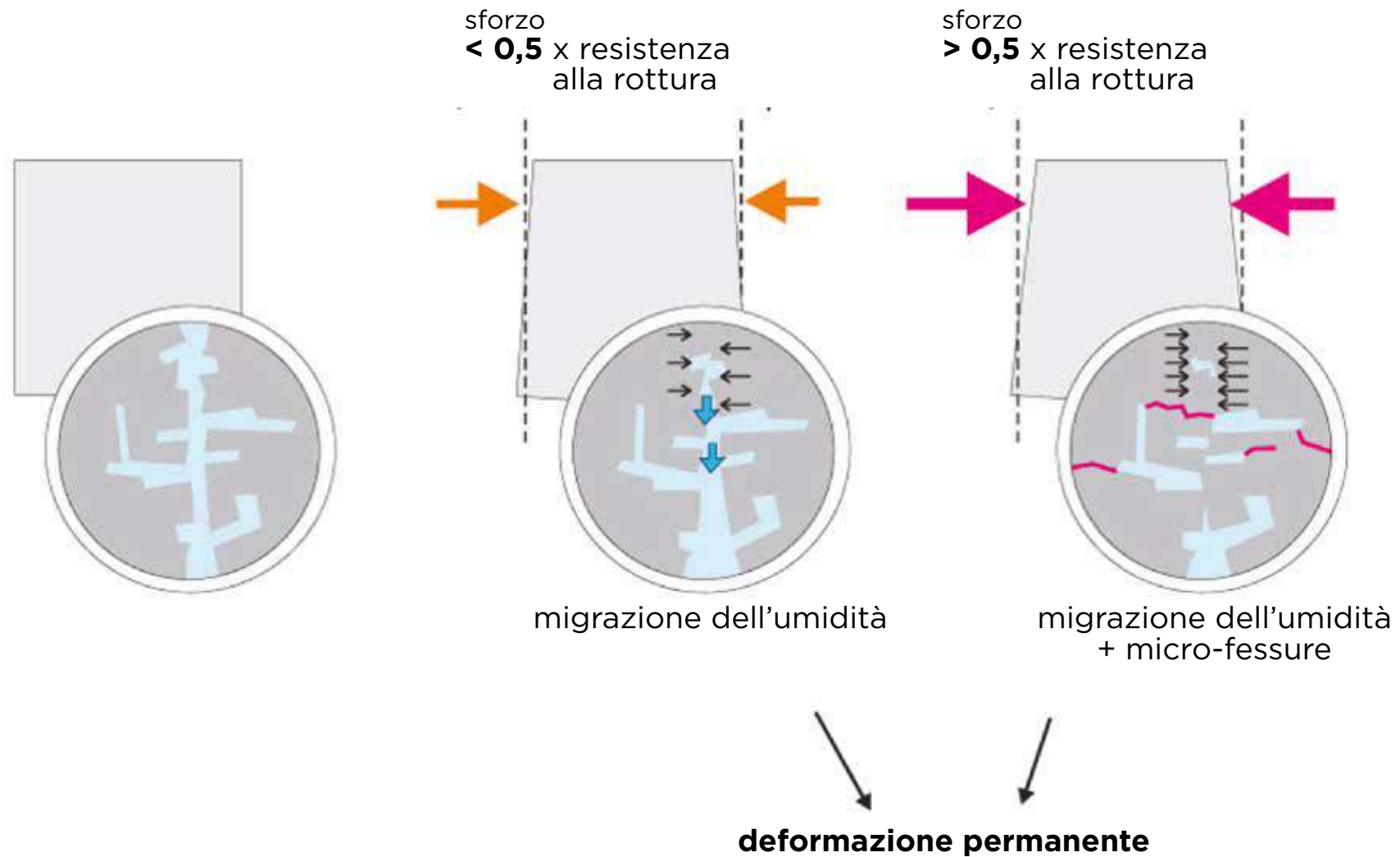


Deformazione per scorrimento = deformazione istantanea x coefficiente di scorrimento
 Coefficiente di scorrimento = funzione di A/C, dell'umidità relativa, della forma, dell'età del calcestruzzo al momento del caricamento

In media:

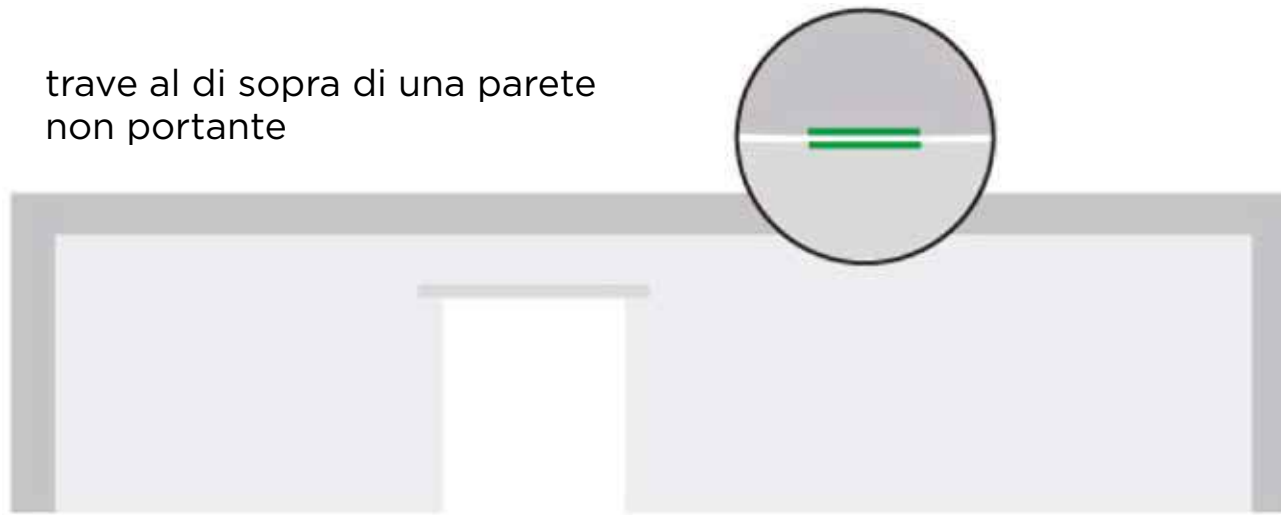
- clima interno: $\approx 2,5$ (calcestruzzo giovane: $>5!$)
- clima esterno: $\approx 1,5$ (calcestruzzo giovane: $>3!$)

Le medie indicate danno solamente un'idea dell'ordine di grandezza del coefficiente di scorrimento. Il momento di messa sotto carico è un fattore molto importante: più il calcestruzzo è giovane, più lo scorrimento sarà importante. Il coefficiente di scorrimento è tanto più basso quanto la resistenza alla compressione del calcestruzzo aumenta e quanto la sezione dell'elemento è più compatta.

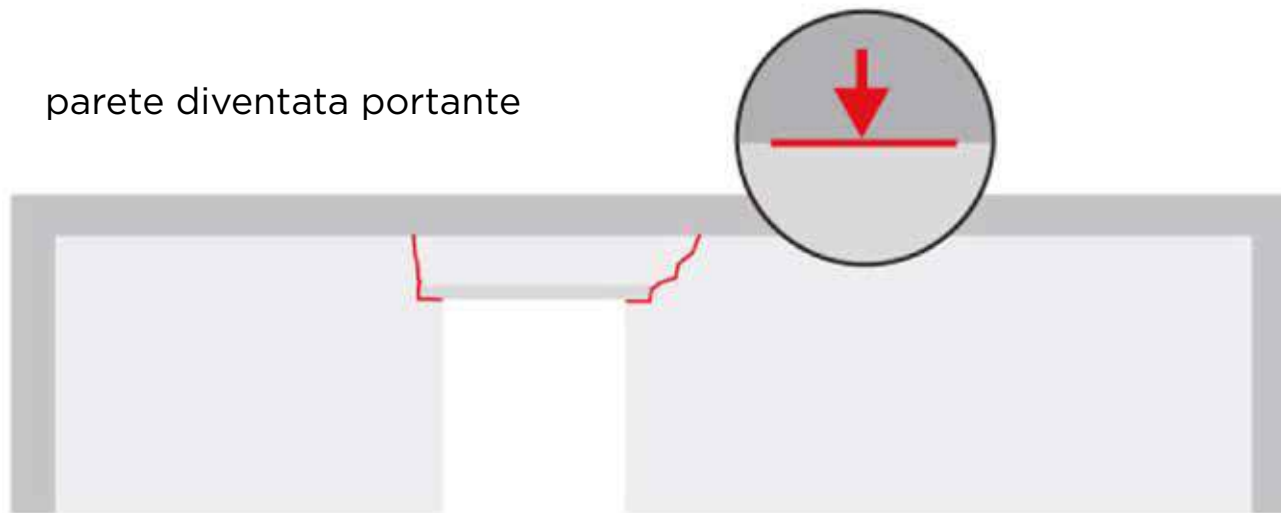


Il fenomeno di scorrimento risulta in primo luogo da una migrazione d'umidità (simile al ritiro idraulico). In caso di carico più importante, delle micro-fessure si sviluppano nella pasta di cemento indurita. Un calcestruzzo giovane è più sensibile allo scorrimento poiché la struttura del materiale resiste meno bene agli sforzi di compressione e di trazione interni.

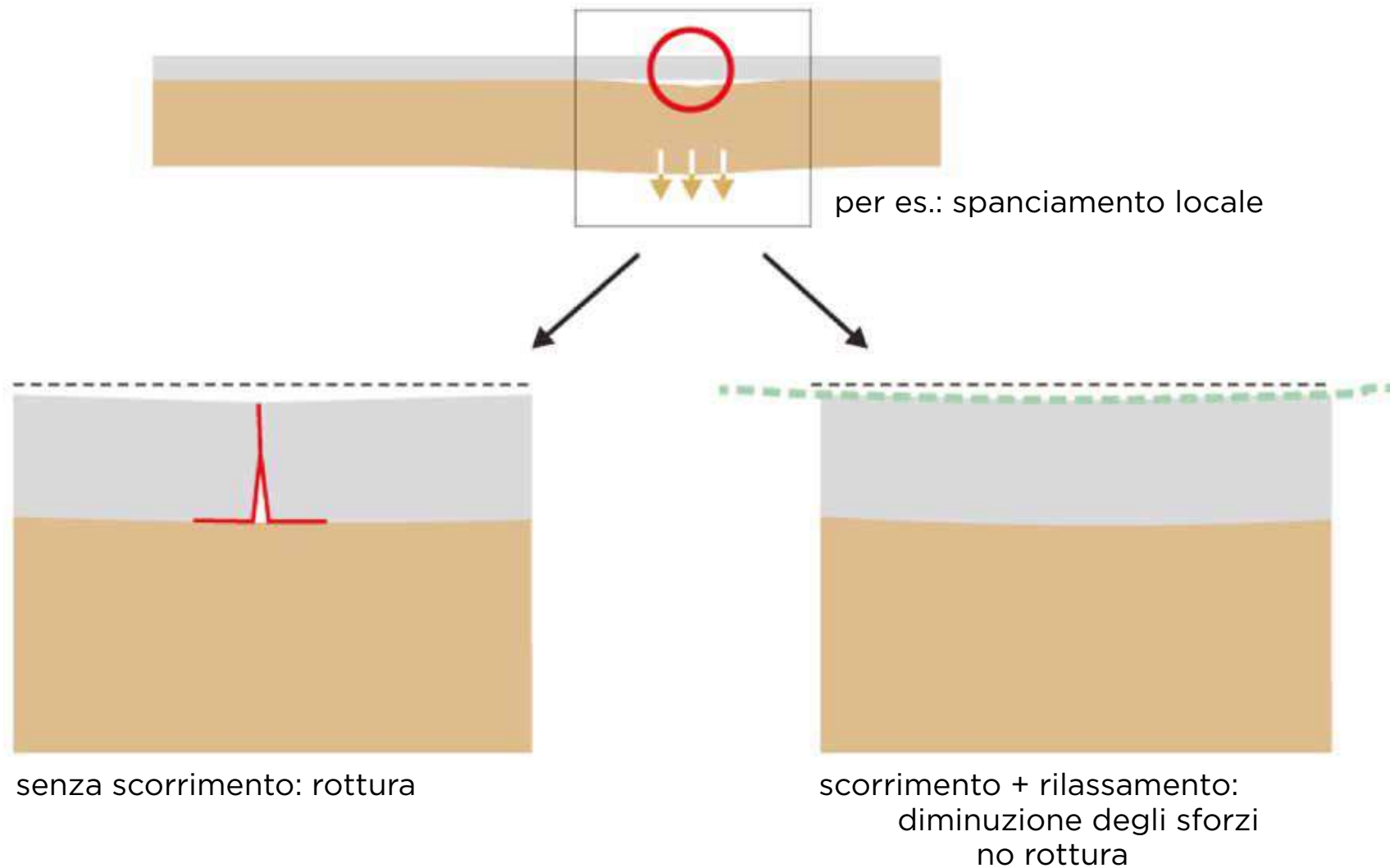
trave al di sopra di una parete
non portante



parete diventata portante



In seguito allo scorrimento, una trave o un pavimento possono finire per sollecitare un muro che non è stato concepito per questo scopo, provocandone il degrado. Per anticipare questo fenomeno e prima di erigere muri non portanti sotto un pavimento, questo è sottoposto a un carico supplementare per un certo periodo dopo lo smontaggio dei puntoni, per esempio per mezzo di bancali di blocchi di muratura.



Qui, la deformazione per scorrimento si rivela utile: lo spanciamiento locale del pavimento è compensato dalla deformazione della piastra. A partire dal momento in cui la deformazione cessa di aumentare, gli sforzi calano (fenomeno di rilassamento).



$$\Delta L = 1 \text{ mm} / 10 \text{ m} / 10^\circ \text{C}$$

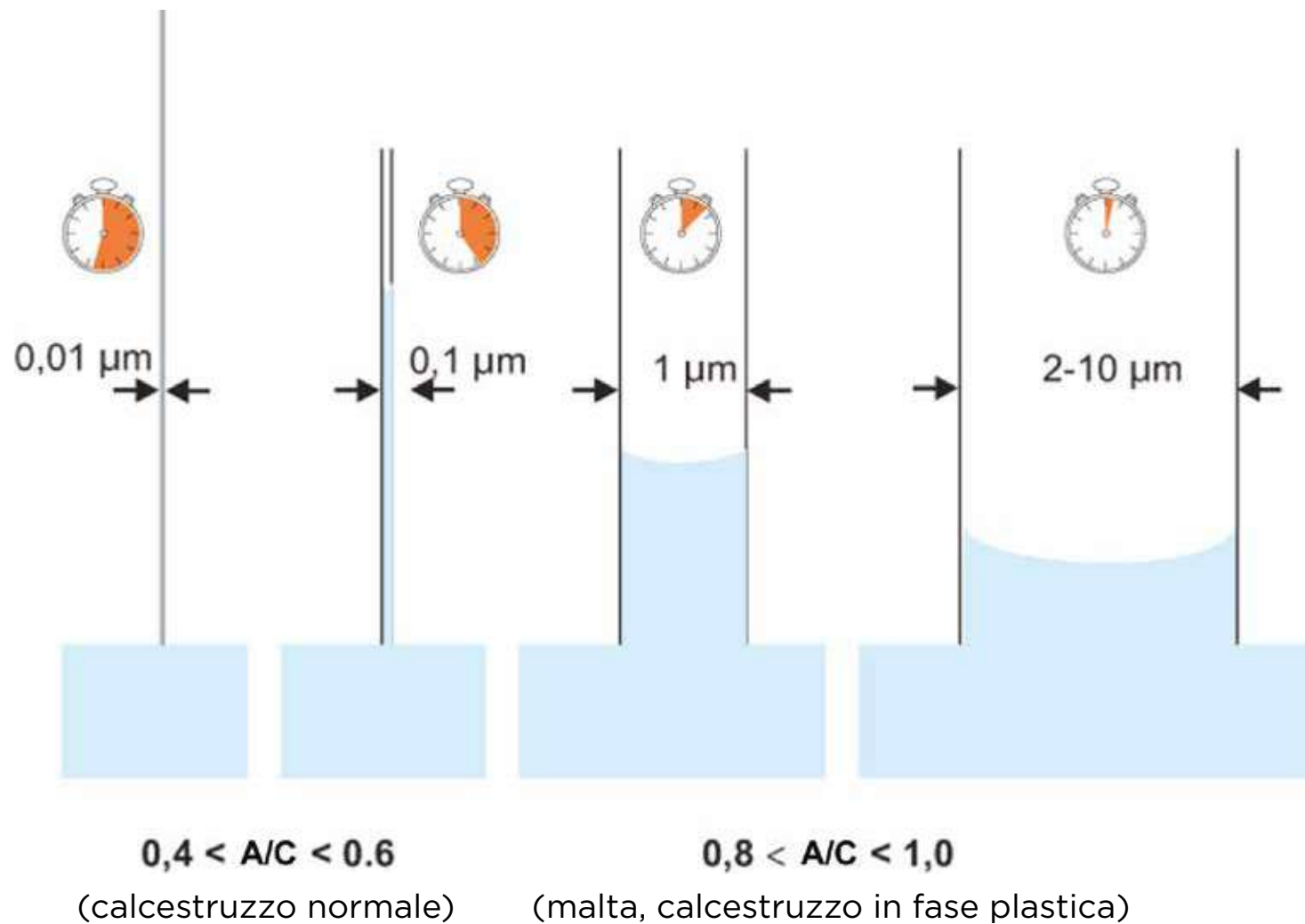


Il calcestruzzo si ritrae quando si raffredda e si dilata quando la temperatura sale. Se questo movimento termico è impedito, il calcestruzzo o la struttura considerata sono sottoposti a sforzi importanti.

Misure possibili:

- giunti di dilatazione (+sigillatura in materia elastica);
- sistemi di fissaggio adatti (elementi di facciata in calcestruzzo decorativo);
- appoggi su piastre o rulli (ponti);
- eventualmente isolamento termico all'esterno della struttura...

4b3 calcestruzzo e acqua I capillarità

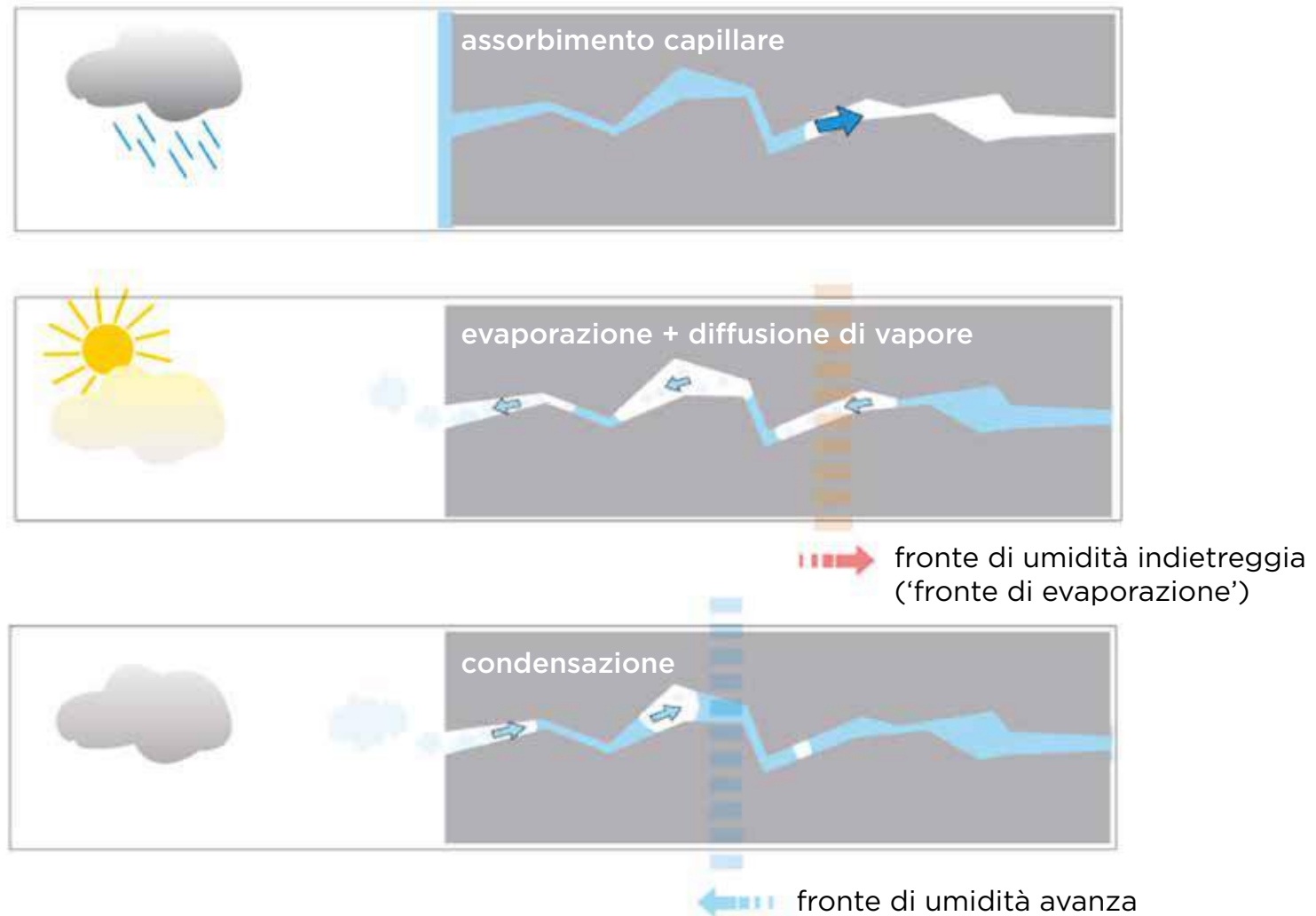


La massa di calcestruzzo indurito: si tratta di vuoti molto piccoli, generalmente comunicanti, capaci di assorbire l'acqua per suzione e di trattenerla. Quest'acqua viene rilasciata solo per evaporazione molto lentamente.

Capillari grossi: ascensione rapida, portata alta, altezza di ascensione limitata.

Capillari fini: ascensione lenta, portata bassa, ma l'altezza di ascensione può raggiungere diverse decine di metri.

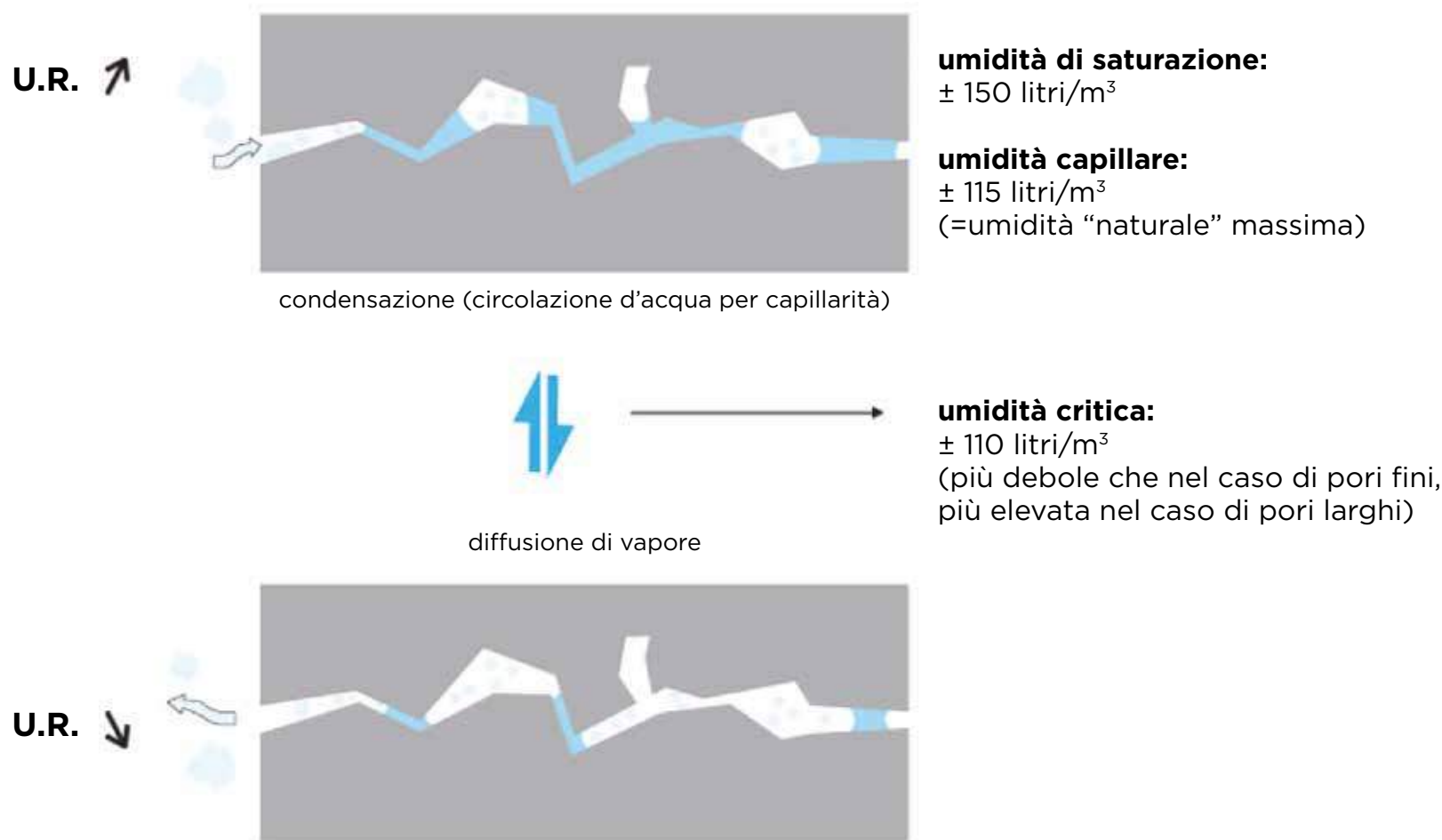
Più i capillari sono fini, più l'umidificazione è lenta, ma anche più lenta è l'asciugatura.



Quando una superficie in calcestruzzo è bagnata, l'acqua è assorbita sotto l'effetto delle forze capillari. Supponiamo ora che il materiale si secchi. L'acqua è restituita all'ambiente sotto forma di vapore acqueo. Il passaggio dallo stato liquido allo stato gassoso avviene prima in superficie ("superficie di essiccazione"), poi all'interno del materiale. La circolazione d'acqua per capillarità è sostituita dalla diffusione del vapore. Il "fronte d'evaporazione" (o "fronte di umidità") è la zona di transizione tra i capillari riempiti d'acqua e i capillari contenenti vapore. Questo fronte si sposta in funzione della temperatura e dell'umidità dell'ambiente.

4b3 calcestruzzo e acqua I umidità igroscopica

= umidità stabilita in equilibrio tra l'umidità relativa (U.R.) ambiente e quella dei pori



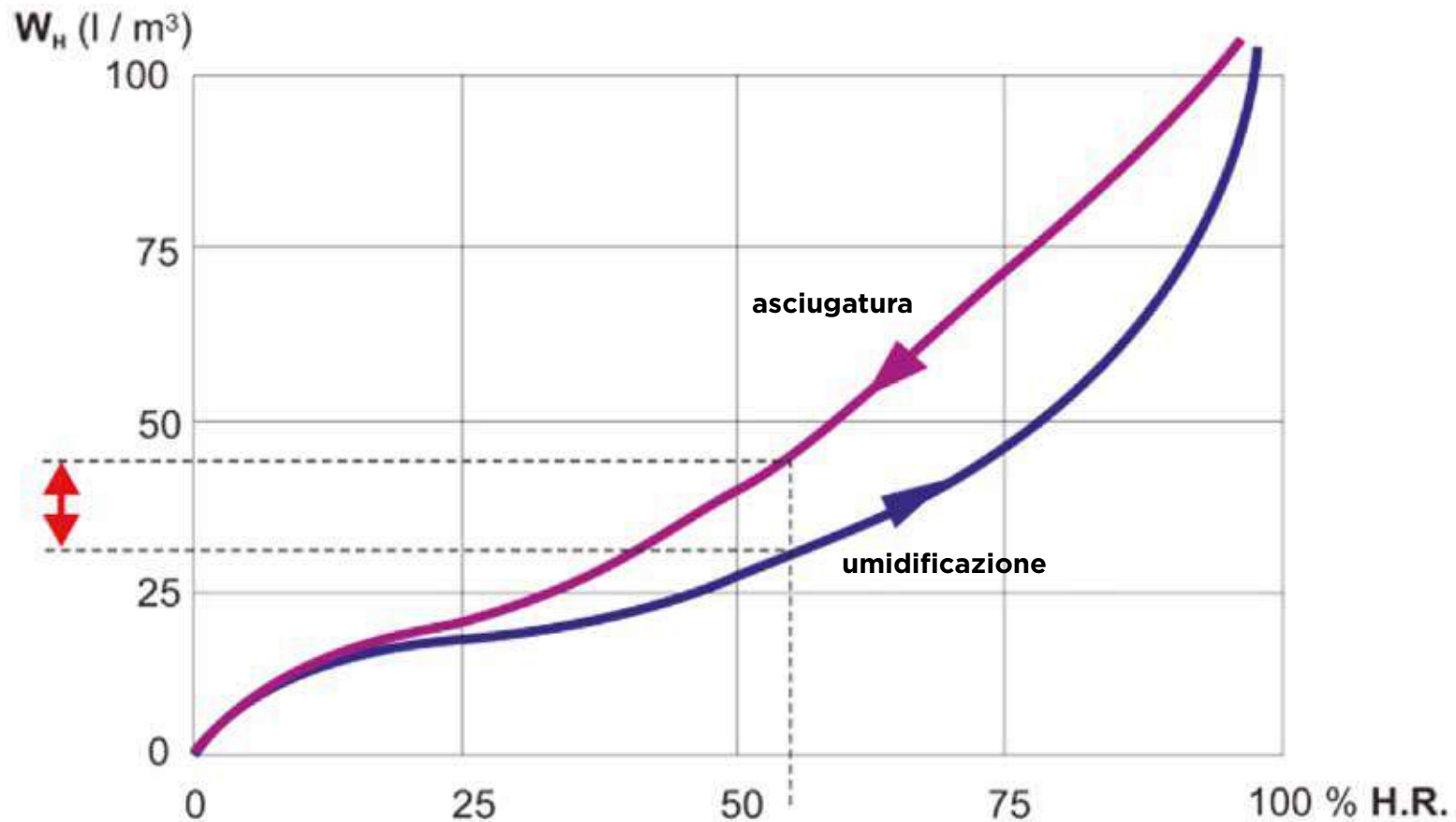
Anche senza esser bagnato un calcestruzzo “assorbe” acqua. Quando l'umidità relativa dell'ambiente cresce, il vapore acqueo penetra nei capillari per diffusione. Lì si trasforma in acqua per adsorbimento (sulle pareti dei capillari) o per condensazione (sugli “isolotti d'acqua” già formati).

Umidità critica: umidità in cui la circolazione dell'umidità per capillarità è maggiore rispetto alla diffusione del vapore.

Umidità igroscopica: umidità che si stabilisce in equilibrio con l'umidità relativa dell'ambiente.

Umidità capillare: umidità massimale realizzabile per adsorbimento capillare.

Umidità di saturazione: quando tutti i pori accessibili sono riempiti (per es. dopo immersione).



a umidità ambiente pari, il calcestruzzo contiene più umidità al momento dell'asciugatura che al momento dell'umidificazione: asciugare è dunque più difficile che inumidire!

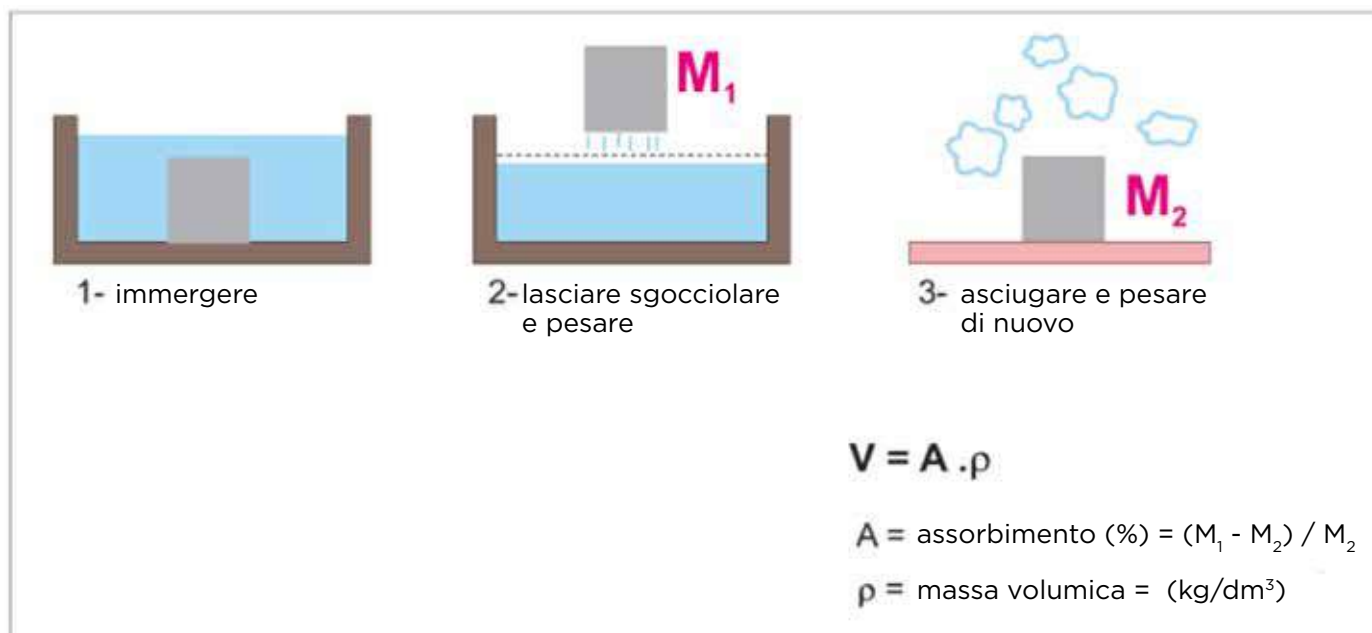
Per un'umidità relativa (U.R.) data, l'umidità d'equilibrio è più elevata quando è raggiunta dopo asciugatura (tra la linea di umidificazione e la linea di essiccazione). Il calcestruzzo è un materiale igroscopico a causa del suo elevato numero di pori fini, anche in un ambiente normale. Per via del basso diametro dei pori, l'umidità circola difficilmente e quindi il calcestruzzo reagisce dunque molto lentamente ai cambiamenti di umidità relativa. (NB: la forma esatta delle curve varia in funzione del tipo di calcestruzzo, della sua composizione, ecc.)

4b3 calcestruzzo e acqua I prove di porosità

- assorbimento d'acqua per immersione: **porosità relativa V (%)**

Calcestruzzo molto buono: $V \approx 10\%$

Calcestruzzo mediocre: $V \approx 20\%$



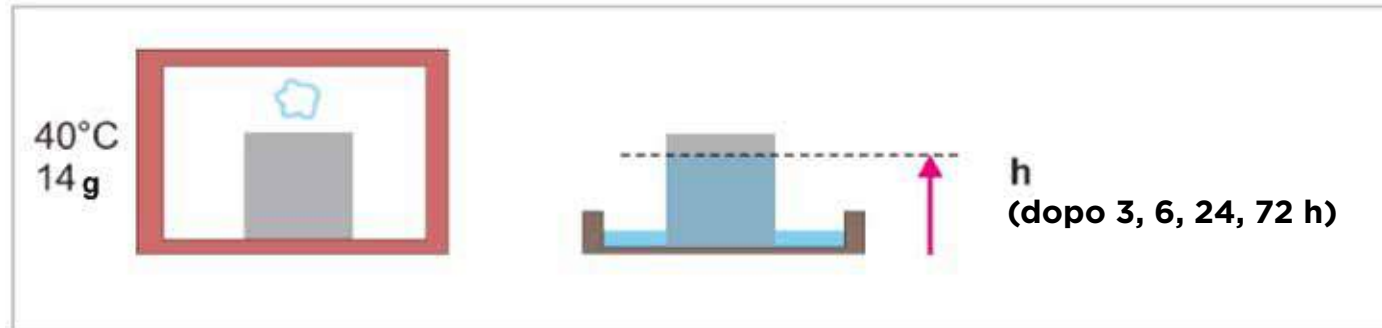
Porosità RELATIVA
= capillari accessibili



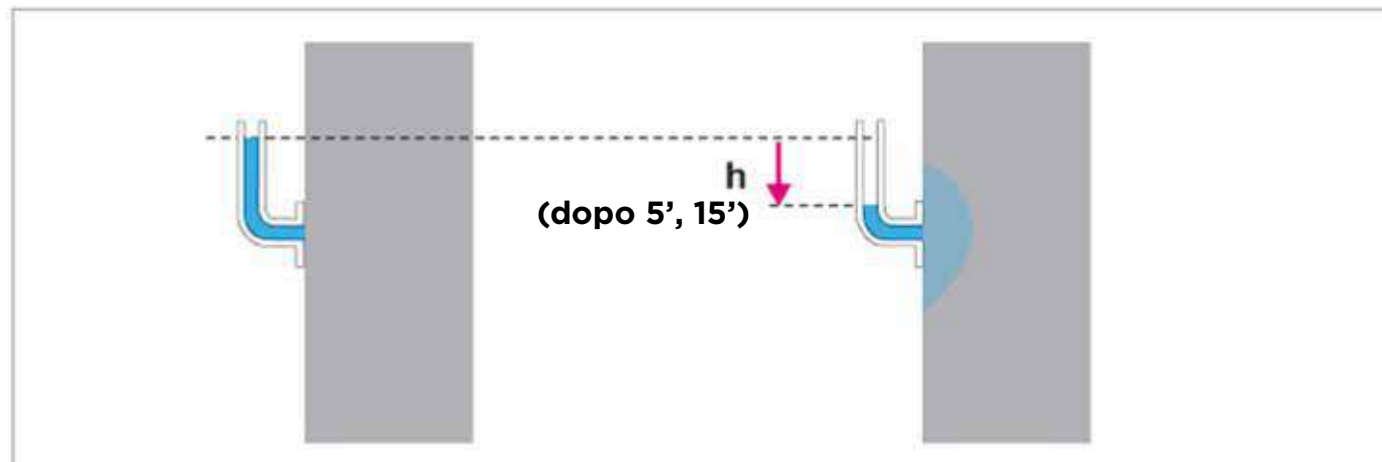
Porosità assoluta
= TUTTI i pori

Assorbimento d'acqua per immersione. La porosità così misurata è chiamata porosità relativa o apparente, poiché solo le cavità comunicanti con la superficie si riempiono d'acqua. Un'immersione nell'acqua bollente- meno viscosa- o sotto vuoto permette una determinazione più precisa di tutti i vuoti. (NB: nel caso di calcestruzzi cavernosi o semi-cavernosi, la porosità non può essere valutata attraverso l'assorbimento per immersione! In effetti, questi materiali possiedono un grande volume di cavità che ne trattengono l'acqua dopo l'immersione)

- assorbimento d'acqua per capillarità



- porosità superficiale



L'assorbimento d'acqua per capillarità. Oltre l'altezza di ascensione è ugualmente importante! Un'ascensione rapida rivela la presenza di grossi capillari eventualmente pericolosi in termini di gelività, resistenza ai sali di disgelo, penetrazione degli agenti aggressivi... Destinato a testare i rivestimenti in sito, il metodo a pipa (CSTC) è unicamente applicabile su superfici unite.

4b3 calcestruzzo e acqua | porosità e permeabilità

CALCESTRUZZO:

calcestruzzo
buono

calcestruzzo giovane,
calcestruzzo mediocre

calcestruzzo
cavernoso

calcestruzzo dipinto,
intonaco di rivestimento

ALTRI MATERIALI:

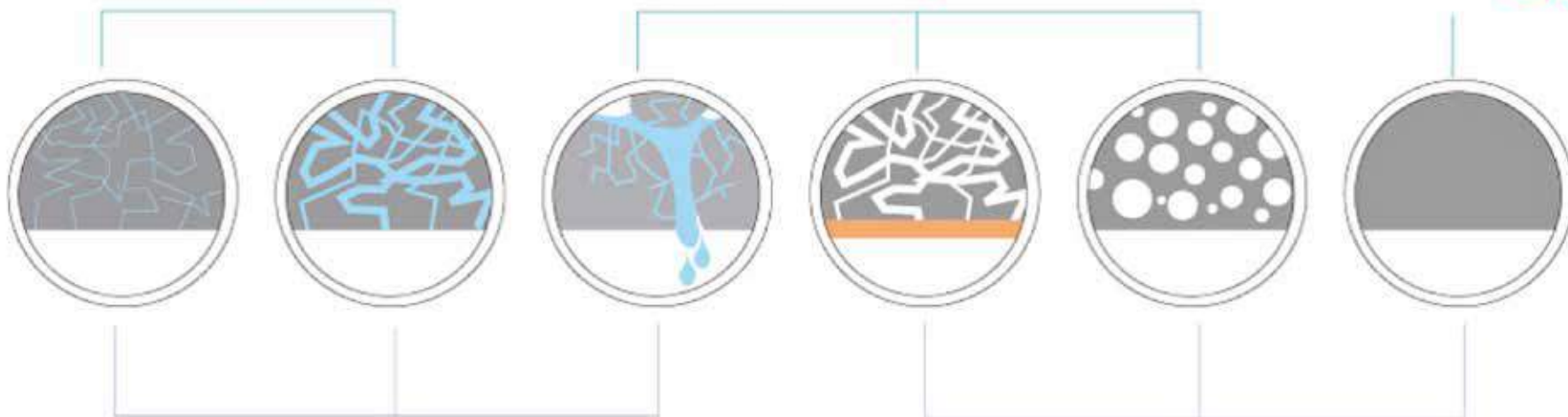
per es.
vetro schiuma

per es.
metallo, plastica

porosità relativa $\sim$ porosità assoluta

porosità relativa $<$ porosità assoluta

porosità = 0

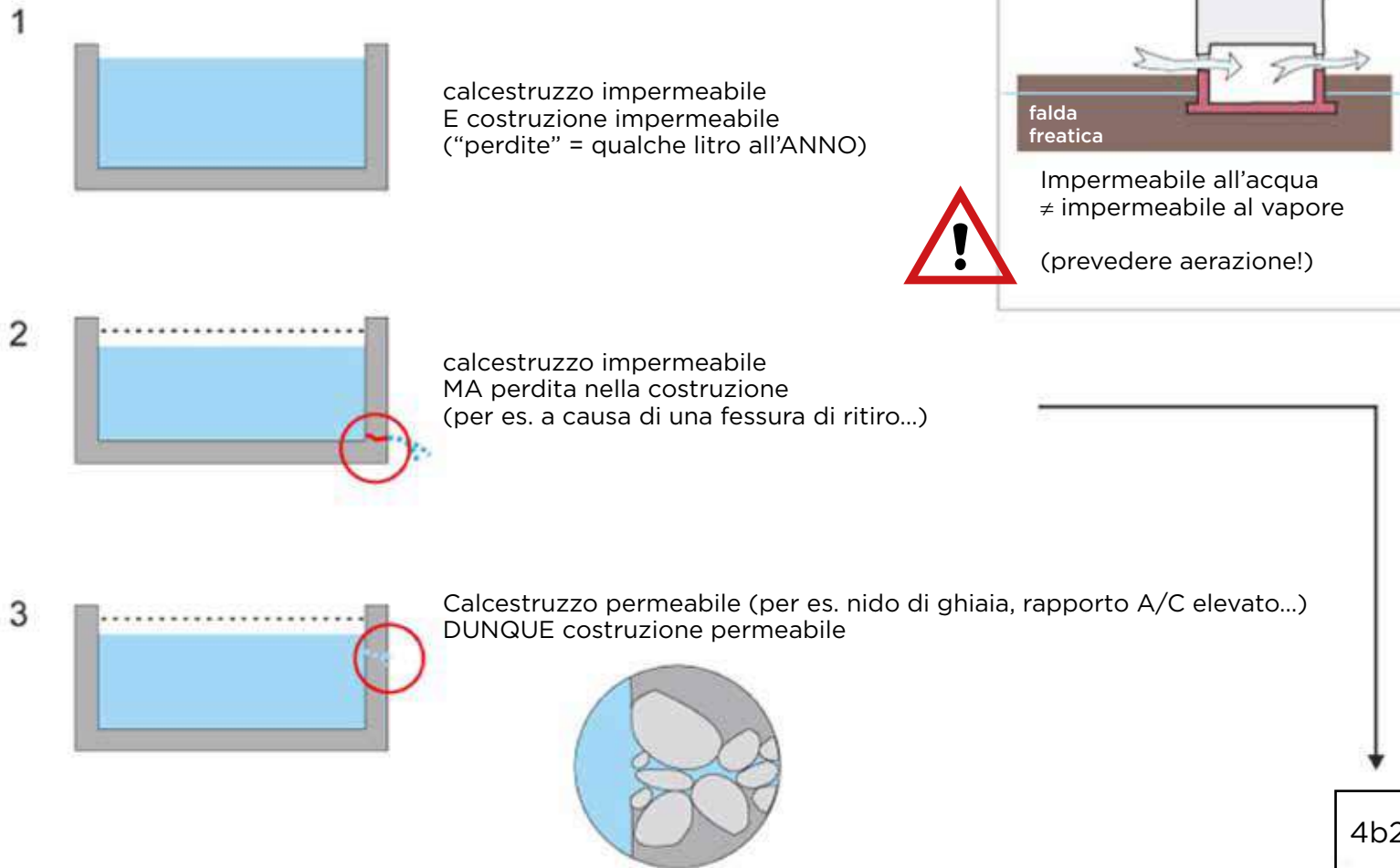


la permeabilità dipende dalla differenza
di pressione, dalla forma
e dalle dimensioni dei pori, ecc.

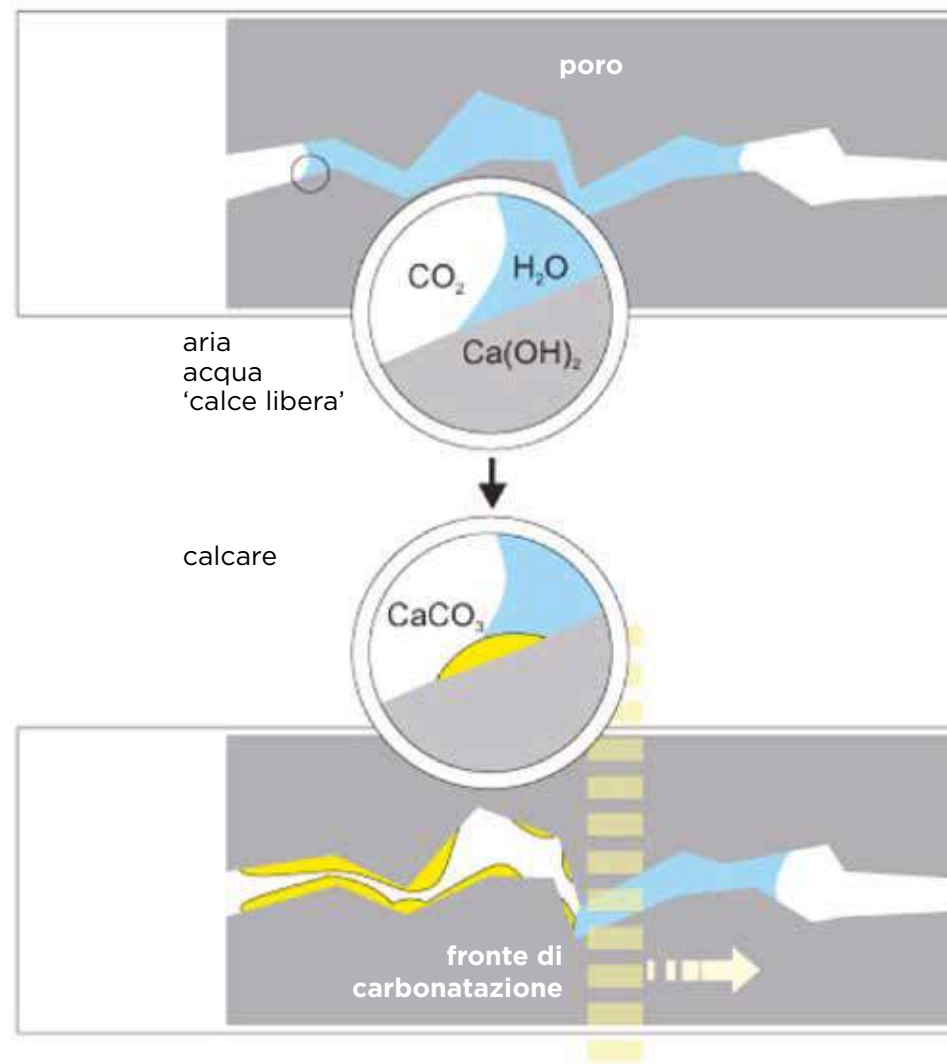
permeabilità = 0
(assenza di pori o pori
inaccessibili)

Vi è una differenza tra la porosità relativa (apparente) e porosità assoluta (reale).

La porosità è espressa in % (di volume), il coefficiente di permeabilità in metri al secondo (velocità di scorrimento). I materiali poco porosi (da intendersi come i materiali che hanno una bassa porosità apparente) possono essere molto permeabili, come alcuni tipi di blocchi di muratura a struttura semi-cavernosa. Alcuni materiali porosi, in compenso, sono impermeabili poiché i pori sono molto fini, o non collegati in una rete, ossia inaccessibili dall'esterno.

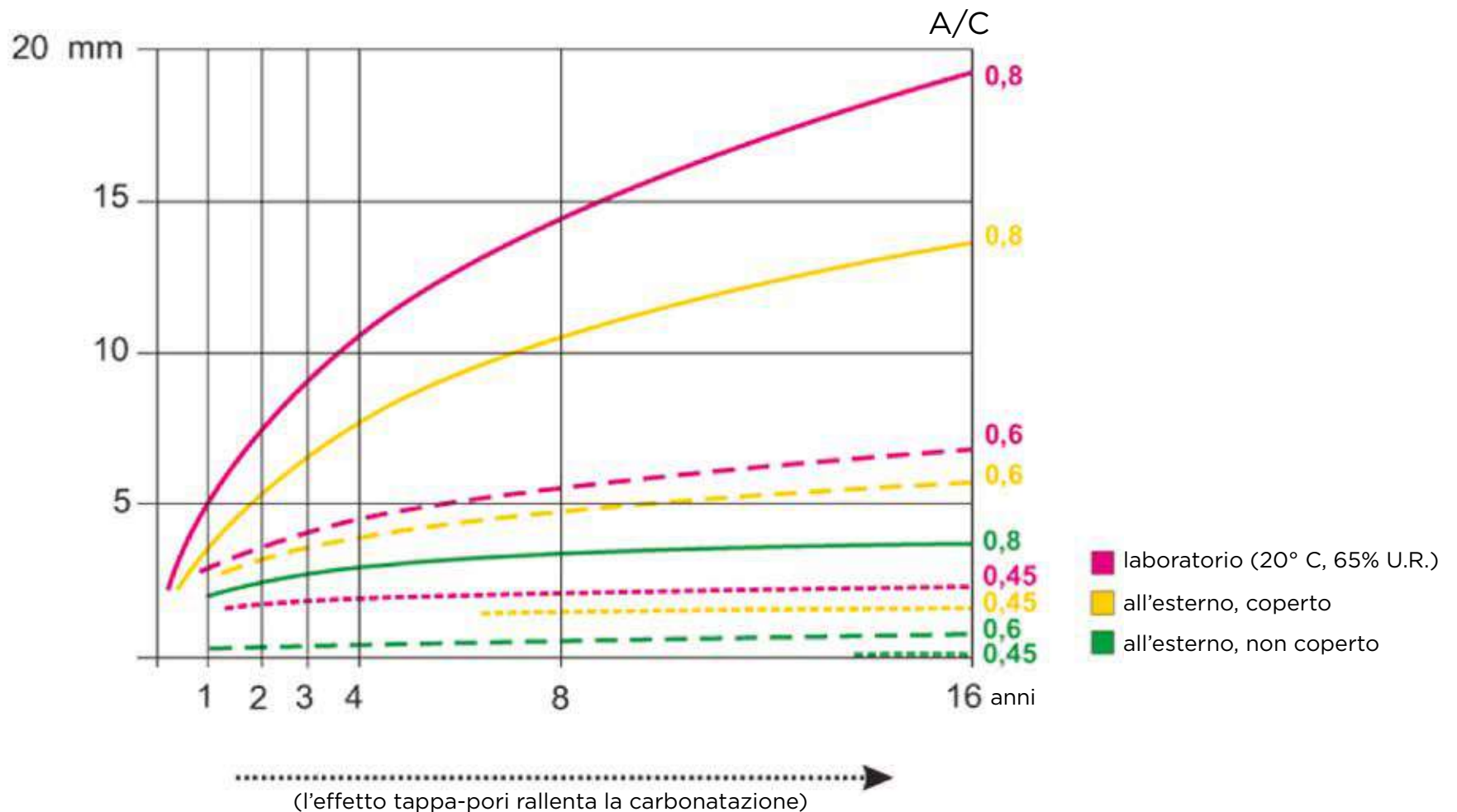


Ogni calcestruzzo a struttura compatta per la sua composizione, la sua messa in opera e il suo compattamento è impermeabile. L'acqua assorbita con i suoi capillari molto fini viene liberata solamente per evaporazione. Un calcestruzzo umido "si gonfia" anche per "dilatazione interna" dei cristalli di cemento idratato. I pori si restringono, frenando ancora di più la circolazione dell'acqua. Ogni passaggio d'acqua attraverso una parete in calcestruzzo ($\geq 7\text{cm}$) risulta da lacune nella macrostruttura del materiale.

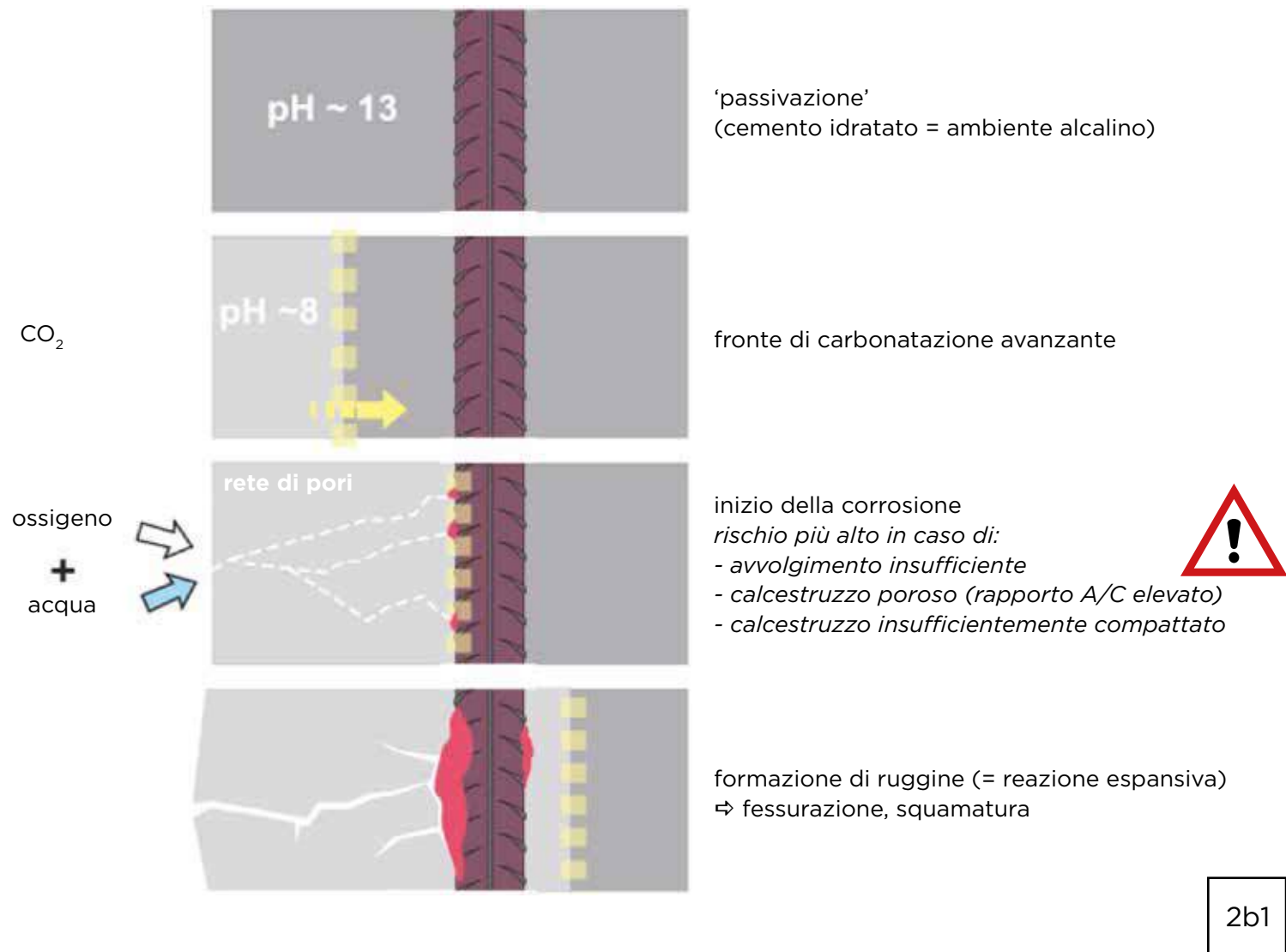


4c1

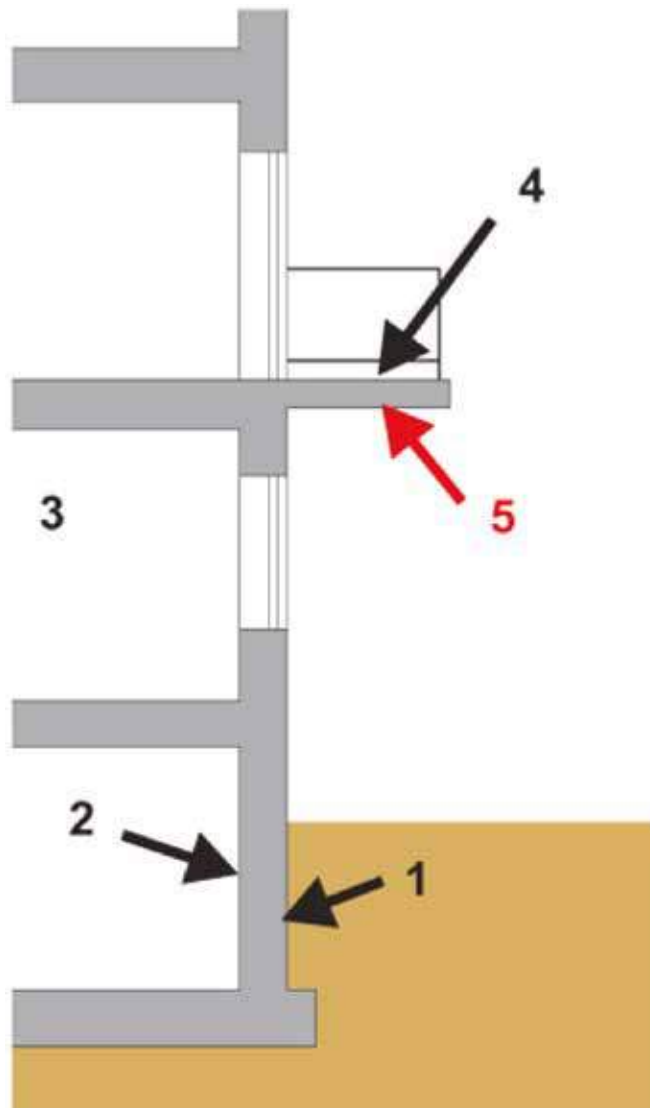
La carbonatazione è la reazione chimica tra la CO_2 dell'aria e la Ca(OH)_2 (o calce libera) derivante dall'idratazione del cemento. Questa reazione può avvenire solamente in ambiente acquoso. Il prodotto di questa reazione, il calcare CaCO_3 , agisce come "tappa-pori". Mano a mano che il fronte della carbonatazione avanza, la penetrazione della CO_2 nel calcestruzzo diventa più difficile e il processo rallenta.



La profondità di carbonatazione in funzione del rapporto acqua-cemento e in diversi tipi d'ambiente. La più grande profondità si manifesta in un calcestruzzo poroso (A/C elevato), all'interno di un laboratorio e con temperatura e umidità relativamente elevate (umidità igroscopica e sufficiente CO_2). La più bassa profondità è osservata nei calcestruzzi molto compatti (A/C basso), all'esterno di un ambiente non riparato: i capillari molto fini sono saturati d'acqua (pioggia o umidità igroscopica), in modo che ne l'aria ne la CO_2 possano penetrare nel calcestruzzo. (NB: Si tratta di medie! Localmente la profondità di carbonatazione può essere molto più alta...)



La pasta di cemento idratata costituisce un mezzo fortemente alcalino ($\text{pH} > 12$) che agisce come passivizzante nei confronti dell'acciaio: l'armatura non si arrugginirà, anche se a contatto con l'acqua e l'ossigeno penetrante per via capillare e le micro-fessure. In un calcestruzzo soggetto a carbonatazione, il pH scende sotto 8. L'acciaio cessa di essere passivato, l'armatura comincerà ad arrugginarsi se è situata in una zona dove umidificazione è elevata.



- 1 - Sottoterra o sotto l'acqua:
carbonatazione limitata (poco o niente CO_2)
⇒ no corrosione
- 2 - Cantina:
carbonatazione con effetto favorevole: tappa-pori
- 3 - Spazio interno:
bassa umidità ambiente
⇒ no corrosione
- 4 - All'esterno ma non coperto
in caso di pori molto fini:
⇒ poco ossigeno sulle barre
⇒ basso rischio di corrosione



- 5 - **All'esterno al coperto**
pori a volte riempiti d'acqua (umidità dell'aria),
a volte asciutti (contatto con l'ossigeno)
⇒ **rischio di corrosione!**
(nel caso di calcestruzzo poroso
o di ricoprimento insufficiente)

La faccia inferiore di un balcone è molto sensibile!



1 - **pori larghi**
(calcestruzzo giovane o di qualità mediocre)
saturati d'acqua



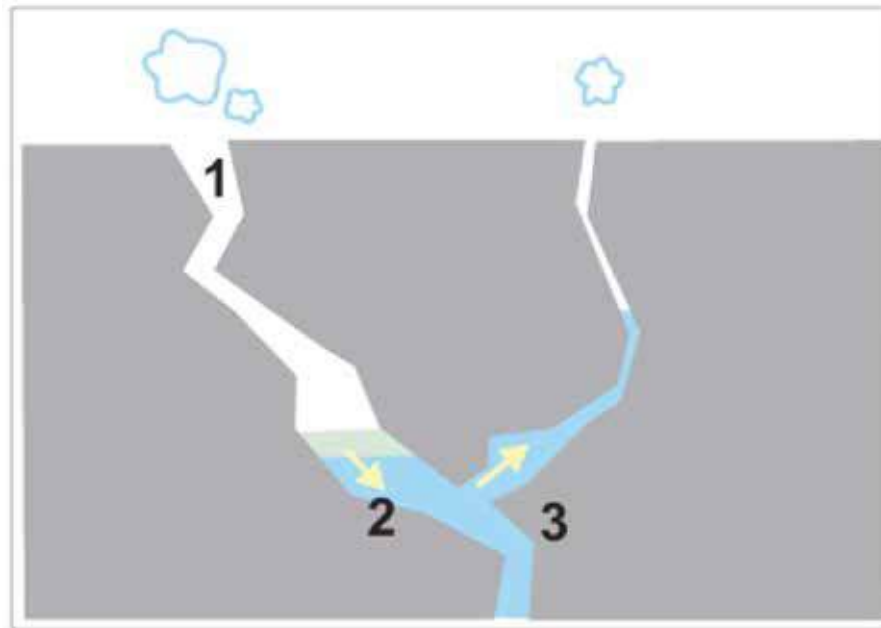
2 - in caso di **gelo sotterraneo**:
squamatura ('scaling')



In generale, il gelo interviene solo lentamente. L'aria si secca e una buona parte dell'acqua evapora in superficie. In aggiunta, le forze di adesione capillari abbassano il punto di congelamento. Ne segue che l'acqua contenuta nei pori più fini si trasforma in ghiaccio solo a una temperatura al di sotto dello 0°! Perchè ci sia deterioramento del calcestruzzo per il gelo, c'è bisogno dunque simultaneamente di:

- capillari larghi e saturi d'acqua-
- un gelo brusco-

- non gettare con tempi molto freddi ($\geq + 5^{\circ}\text{C}$ durante le prime **72h**)
- utilizzare un cemento delle classi **42,5R** o **52.5N** o **52,5R**
- realizzare un calcestruzzo con **pori fini (A/C $\searrow$)**:



pori fini:

- 1- Poca o nessuna acqua disponibile (debole umidità igroscopica)
- 2- Punto di congelamento $\ll 0^{\circ}\text{C}$ (acqua sotto pressione a causa di forze capillari)
- 3- Vie di fuga in caso di formazione di gelo (diffusione, evaporazione)



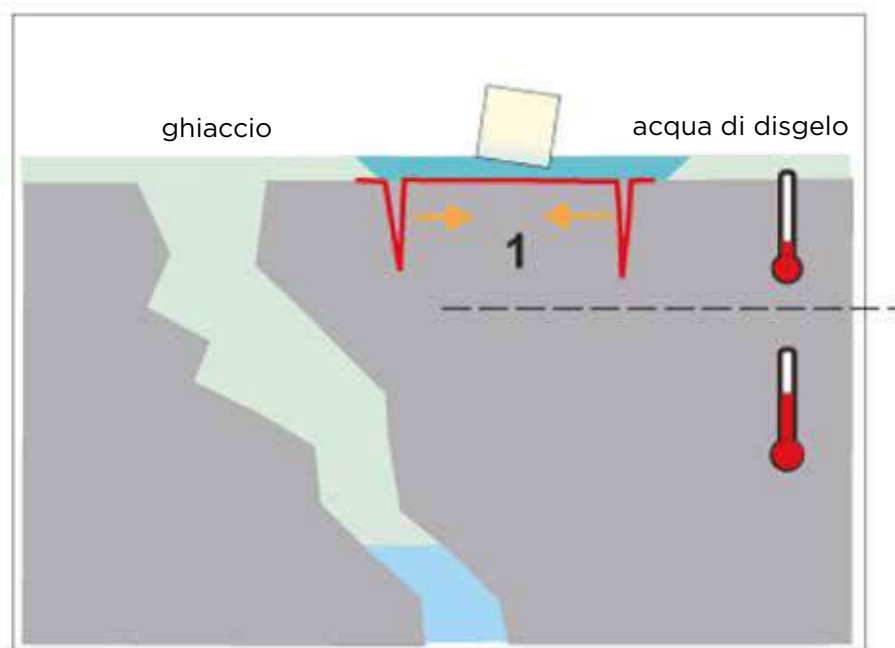
Assicurarsi ugualmente della non gelività degli aggregati!

4b3

Più i pori sono fini, più la quantità d'acqua che potrebbe gelare diminuisce, e più il punto di congelamento si abbassa.

Da cui la regola di base: al momento della produzione del calcestruzzo, mantenere il rapporto acqua-cemento il più basso possibile (max. 0,55 in un ambiente normale e max. 0,5 in un ambiente marino), e prevedere un dosaggio sufficiente di cemento.

4b5 calcestruzzo e gelo | sali di disgelo – meccanismi di degrado



- 1- Dissoluzione dei sali e scioglimento del ghiaccio
(*reazione endotermica*)
⇒ raffreddamento brusco del calcestruzzo
in superficie (*shock termico*)
⇒ sforzi di trazione, fessurazione...



- 2- gelo dell'acqua racchiusa
⇒ espansione contrastata
⇒ fessurazione, scaling...

Il calore necessario alla fusione del ghiaccio o della neve è tratta dallo strato superficiale, che si raffredda bruscamente. La differenza di temperatura tra la superficie e l'interno del calcestruzzo induce sforzi di taglio e di trazione, che possono provocare la fessurazione del calcestruzzo. Dei cicli di gel-disgelo in combinazione coi sali di disgelo sottopongono il calcestruzzo a dura prova: l'acqua dei pori si scioglie fino a una certa profondità, la superficie gela di nuovo, una parte dell'acqua dei pori racchiusa, si dilata...

(NB: alcune costruzioni al riparo delle intemperie sono comunque esposte all'aggressione dei Sali di disgelo, per es. i parcheggi multipiano).

- Realizzare un calcestruzzo **compatto** (rapporto A/C $\searrow$ $\Rightarrow$ pori sottili) e **resistente** (dosaggio in cemento sufficiente $\Rightarrow$ resistenza alla trazione più elevata)
- Aggiungere un **aerante** al momento del mescolamento ?
(volume dell'aria formata = 3 a 6%)



Aeranti
= crollo della resistenza
da 10 a 15%



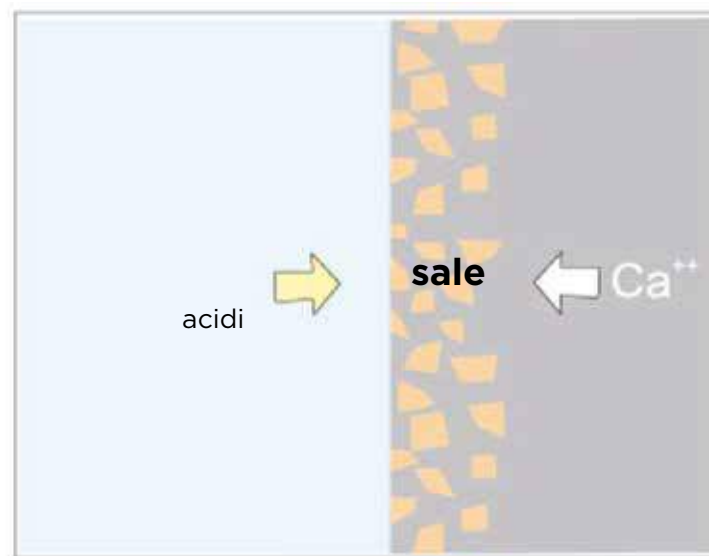
Controllare il tenore
e la ripartizione delle bolle

Al momento dell'impiego di aeranti, la quantità di spazi d'espansione non è il solo criterio che conta. La distanza tra un punto qualsiasi e una bolla d'aria ("fattore di spaziatura") non supererà un certo valore, generalmente 200 μ m.

4b6 calcestruzzo e agenti aggressivi I acidi

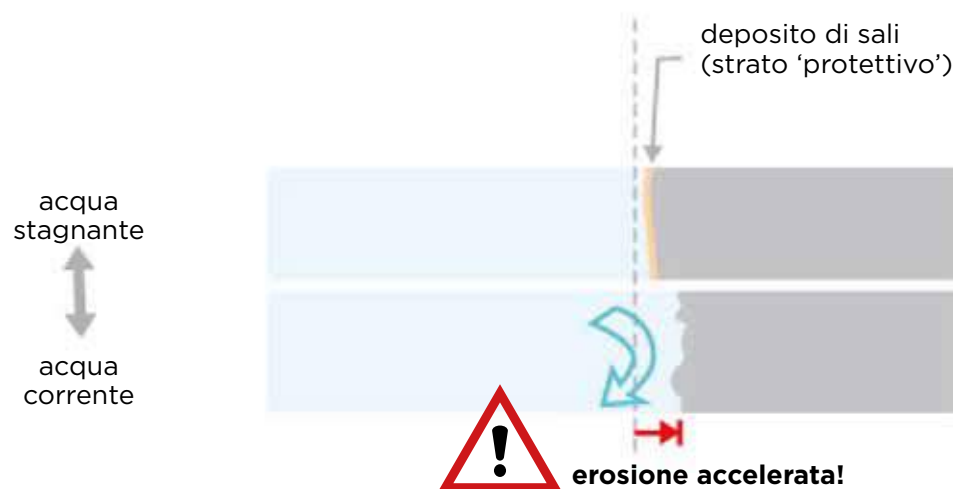
origine

- piogge acide
- prodotti chimici
- prodotti della fermentazione: frutta verdure, latte...
- acqua usate domestiche, industriali...



misure di protezione/prevenzione

- A/C ↘
- dosaggio più elevato in cemento
- *copertura*
- copriferro maggiorato



1c

2b1

Il grado di acidità è espresso dal pH (<7): più il pH è basso, più l'acido è forte. Al fine di limitare l'attacco del calcestruzzo, questo deve essere il più compatto possibile e presentare una struttura di superficie chiusa:

- fattore A/C inferiore a 0,55 o anche 0,45; -tenore in cemento di almeno 300 kg/m³, se necessario raggiungente anche 375 kg/m³.
quando il pH ≤ 4, uno strato protettivo è d'obbligo: coating, rivestimento ceramico...

(NB: Prevedere un sovravvolgimento delle armature in caso di dubbio sul grado di acidità.)!!!!!!!

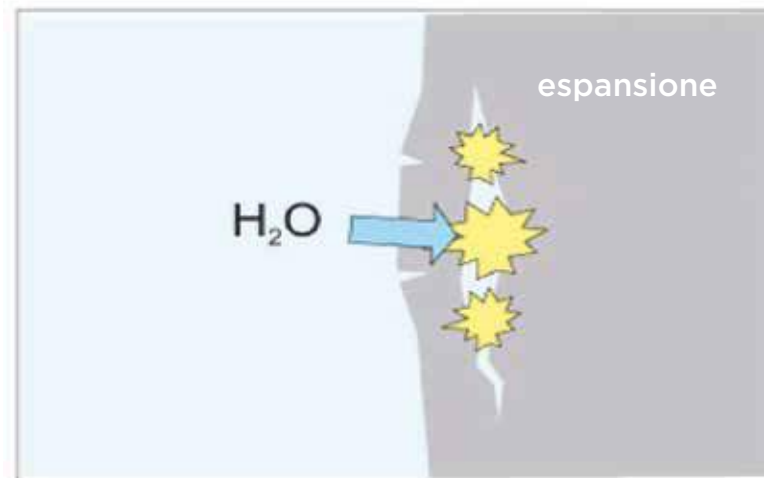
origine

- acqua di mare
- sali contenenti dei solforati, concimi...



misure di protezione/ prevenzione

- cemento HSR
- A/C ↘
- dosaggio più elevato in cemento
- coating



1c

2b1

il grado di aggressività è determinato dal tenore in solforati. Al fine di limitare l'attacco del calcestruzzo, questo deve essere più compatto possibile e presentare una struttura di superficie chiusa:

- fattore A/C inferiore a 0,55 o addirittura 0,45;

-tenore in cemento di almeno 300 kg/m^3 , se necessario che si elevano fino a 375 kg/m^3 .

in caso di tenore in solforati $\geq 500 \text{ mg/l}$ (liquido) o $\geq 3000 \text{ mg/kg}$ (suolo), è d'obbligo l'utilizzazione di un cemento HSR. Per tenori molto elevati in solforati ($\geq 6000 \text{ mg/l}$), è necessario un rivestimento protettivo.

4b6 calcestruzzo e agenti aggressivi I cloruri

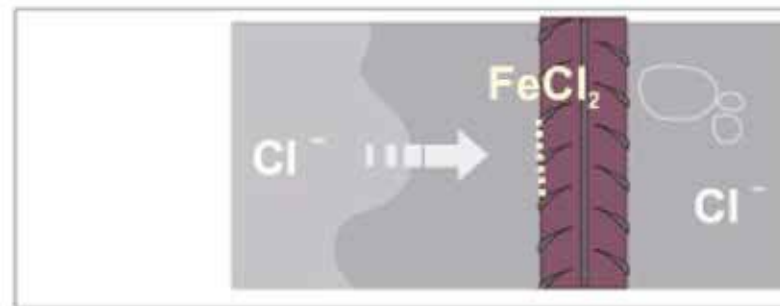
origine

dall'esterno:

- acqua marina
- vento marino
- sali di disgelo

dall'interno:

- aggregati marini
- acceleranti



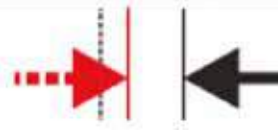
misure di protezione/ prevenzione

- A/C ↘
- copriferro adeguato
- copertura



pericolo di rottura improvvisa!

corrosione
"puntura"



4b4

A partire da un certo tenore in cloruri ("tenore critico"), lo strato di passivazione dell'acciaio è attaccato. La corrosione iniziata dai cloruri è un fenomeno pericoloso, poiché si riproduce localmente e porta una riduzione importante della sezione d'armatura. L'utilizzazione d'acceleranti di presa contenenti cloruri è sconsigliata. La penetrazione degli ioni di cloruro e d'ossigeno nel calcestruzzo indurito è limitata quando questo è di buona qualità, ossia basso rapporto A/C, tenore sufficiente in cemento, compattazione ottimale. Il copriferro deve essere sufficiente.

calcestruzzo e reazione alcali-silice 4b7

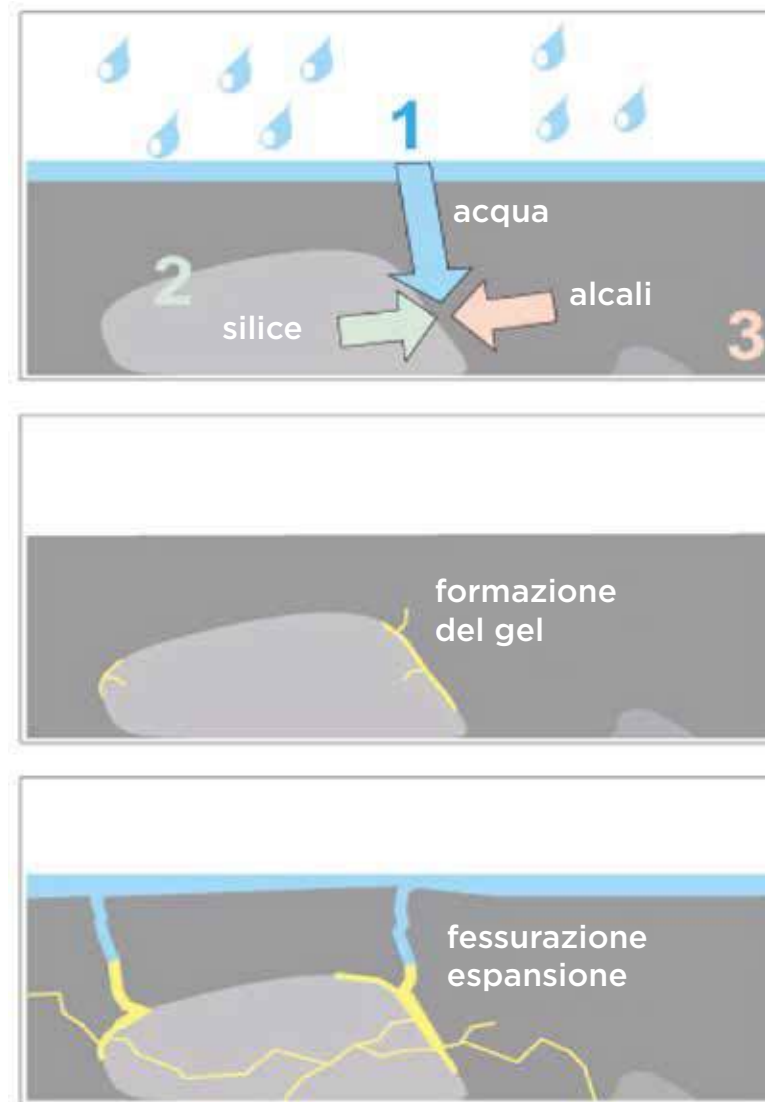
origine

devono essere soddisfatte

SIMULTANEAMENTE

3 condizioni:

- 1. ambiente umido**
- 2. aggregati reattivi**
- 3. tenore elevato in alcali**

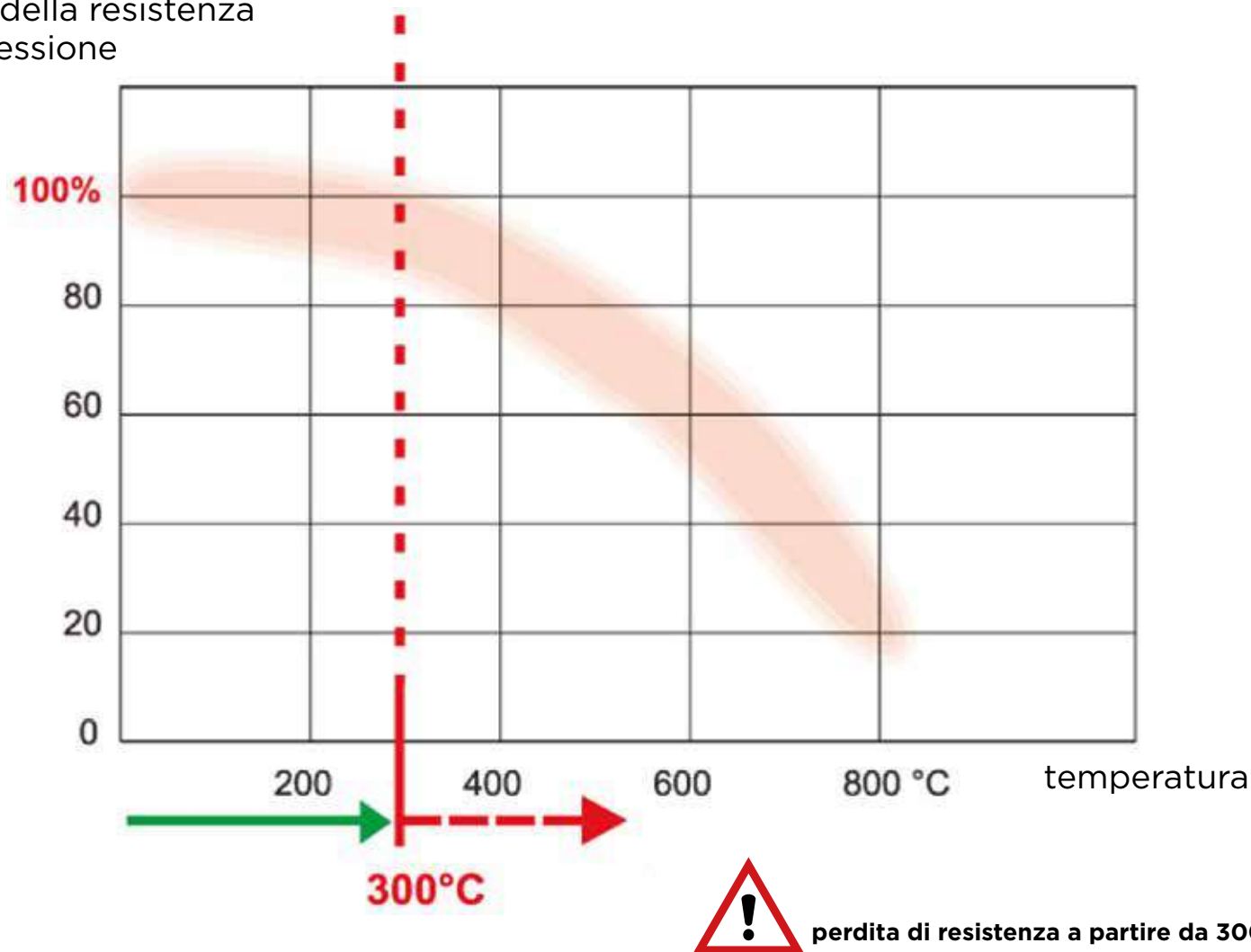


*misure di protezione/
prevenzione*

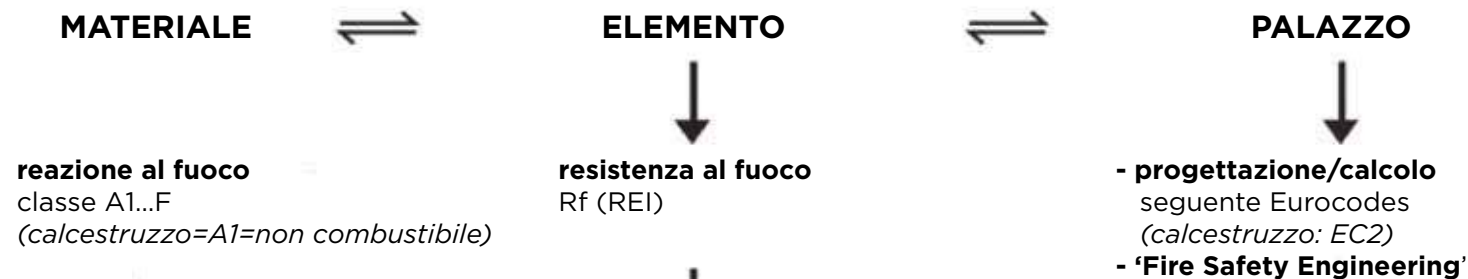
- **cemento LA (Low Alkali)**
- calcestruzzo compatto (A/C ↘)
- aggregati non reattivi (da verificare in un laboratorio specializzato)

La reazione chimica tra la silice reattiva e gli alcali liberi e solubili produce un gel che ha la capacità di attirare l'acqua. In questo caso, il gel si gonfia e porta la fessurazione del calcestruzzo. Solo laboratori specializzati possono determinare se gli aggregati sono reattivi. Il metodo più semplice per prevenire la reazione alcali-silice è di utilizzare un cemento LA. Deve andare di pari passo con le misure solite per ottenere un calcestruzzo compatto e con una porosità ridotta, frenante la migrazione dell'acqua così come la mobilità degli alcali.

% (media) della resistenza
alla compressione
a 20°C



Un calcestruzzo ordinario offre resistenze più che soddisfacenti alle sollecitazioni provocate da un incendio. A partire da 300°C l'acqua legata chimicamente lascia gli idrati del cemento, alterando le caratteristiche di resistenza del calcestruzzo. Il calore penetra lentamente nel calcestruzzo. I danni sono limitati e superficiali. Una costruzione in calcestruzzo può generalmente essere recuperata dopo un incendio.
(NB: Le malte e i calcestruzzi refrattari per forni, camini, ecc. sono fabbricati a base di un cemento speciale, il cemento solfo-alluminoso).



tempo durante il quale l'elemento (per es. un pavimento) risponde a 3 criteri durante un incendio ISO:



(esempio:) pavimenti o veli in calcestruzzo di spessore da 10 a 15 cm: Rf = 60-120 min.



avvolgimento delle armature!

2b1

In un incendio ISO, la temperatura sale in funzione del tempo seguente una curva normalizzata. A livello europeo, i materiali sono classificati secondo la loro reazione al fuoco, da A1 (non combustibile) a F (estremamente combustibile). Norme europee sulla resistenza al fuoco delle parti di una costruzione sono in corso di elaborazione. La codificazione REI, che sostituirà l'indice Rf, riassume le prestazioni (in minuti) rispetto ai 3 criteri: stabilità (R), tenuta stagna alle fiamme (E) e isolamento termico (I). (NB: La dilatazione degli elementi di costruzione esposti al fuoco può ugualmente provocare dei danni. Gli Eurocodes indicano come la resistenza al fuoco di una costruzione deve essere analizzata nella sua totalità.)



Alcuni elementi in calcestruzzo hanno una resistenza al fuoco di 4 ore.



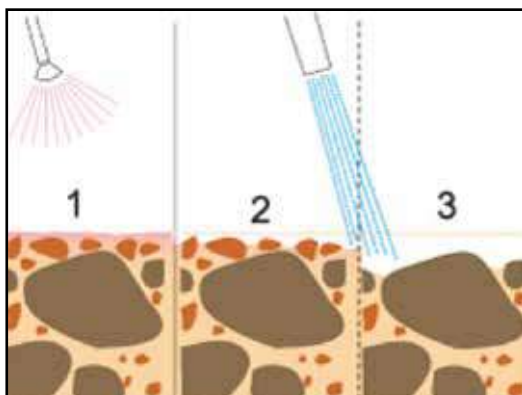
lavaggio



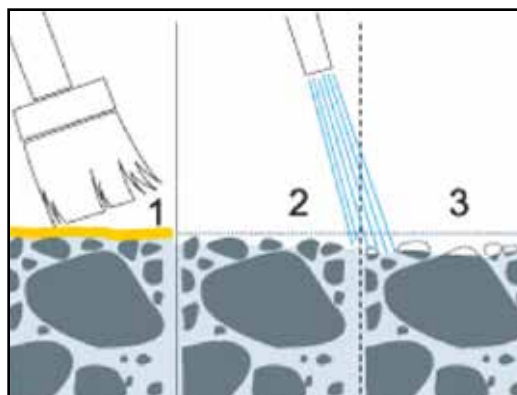
trattamento con l'acido



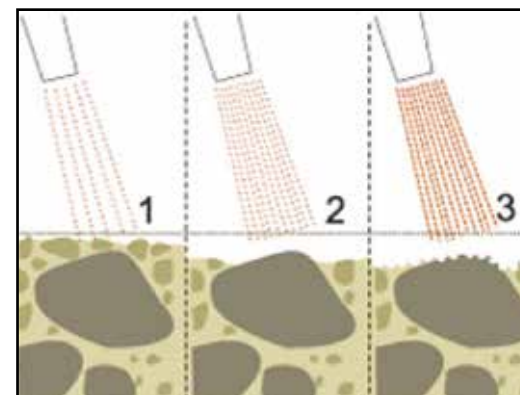
sabbiatura



1. ritardante sul calcestruzzo fresco sul fondo del cassero
 - 2/3. risciacquo
- risultato secondo il grado di penetrazione del ritardante



1. Strato di acido su calcestruzzo indurito (applicazione di un gel o inzuppamento in un bagno d'acido) + risciacquo
- risultato secondo la profondità dell'attacco e della resistenza agli acidi degli aggregati

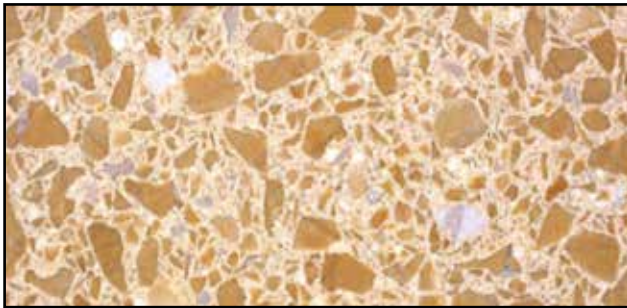


- risultato secondo il grado di idratazione, la durezza degli aggregati, il tipo di abrasione utilizzata, la durata, ecc.



Sempre verificare l'effetto del trattamento con una prova preliminare!

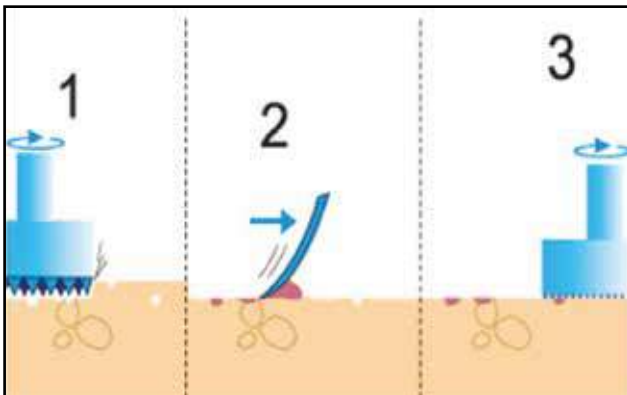
Calcestruzzo lavato disattivato: gli aggregati devono essere attentamente selezionati. Spesso è aggiunto un colorante al momento della mescolazione.
 Calcestruzzo immerso o decapato (trattato con l'acido): le sabbie e aggregati calcari sono ugualmente attaccati dall'acido.
 Calcestruzzo sabbiato: la superficie ottenuta è sempre opaca.



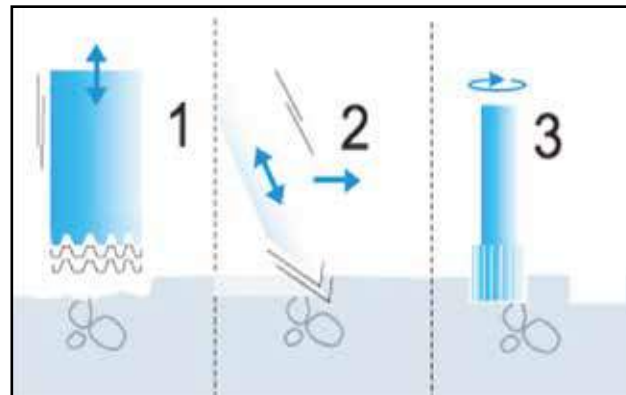
lucidatura



bocciardatura,
punzonatura/scalpellatura, fresatura...



1. molatura grossolana
2. primerizzazione (graffi, bolle,...)
3. lucidatura (eventualmente lucidatura + prodotto di protezione)



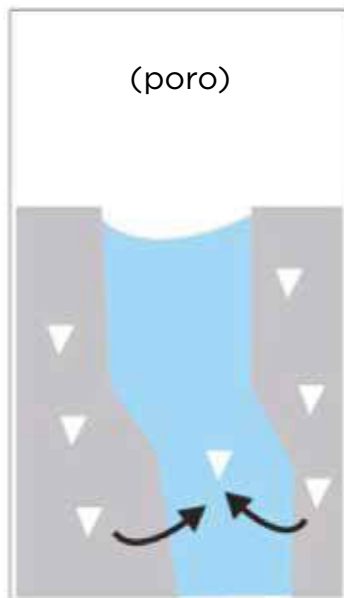
trattamento con attrezzi:

1. bocciarda
2. scalpello
3. fresa diamantata

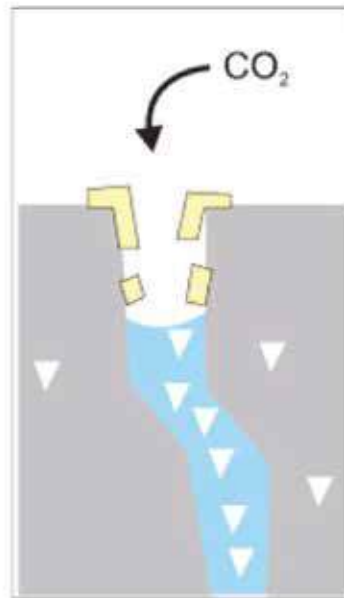
Calcestruzzo lucidato: nel caso di aggregati sensibili alle piogge acide, è necessaria l'applicazione di un prodotto di protezione per garantire il mantenimento della lucidatura.

Calcestruzzo bocciardato, punzonato/scalpellato, fresato: queste tecniche sono derivate dal trattamento di superficie delle pietre naturali.

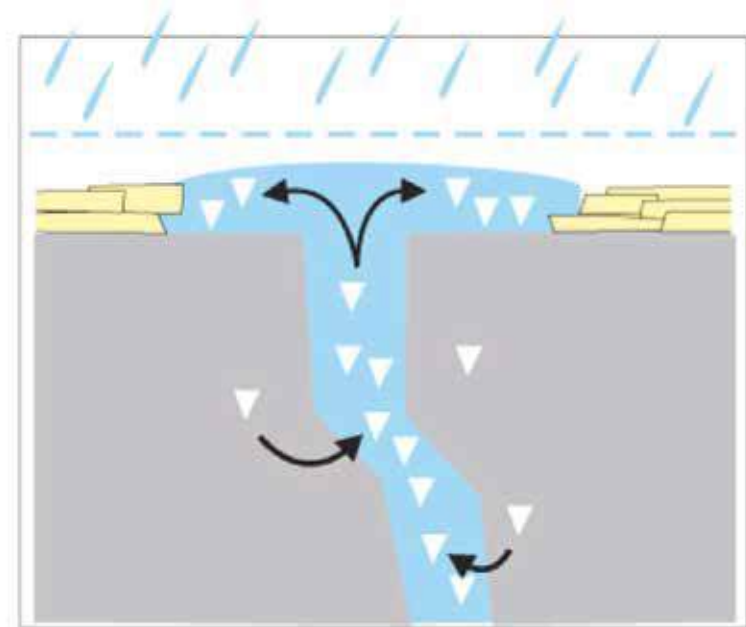
Alcuni trattamenti sono effettuati da robot industriali; la maggior parte richiede tuttavia un savoir-faire artigianale.



1. idratazione
formazione
di **calce libera**
 Ca(OH)_2



2. deposito di calce,
formazione
di **calcare**
 CaCO_3



3. pioggia o condensazione: la calce si spande
= ESSUDAZIONI PRIMARIE

4. calce libera migrante in superficie ulteriormente
(tramite fessure, cavità...)
= ESSUDAZIONI SECONDARIE



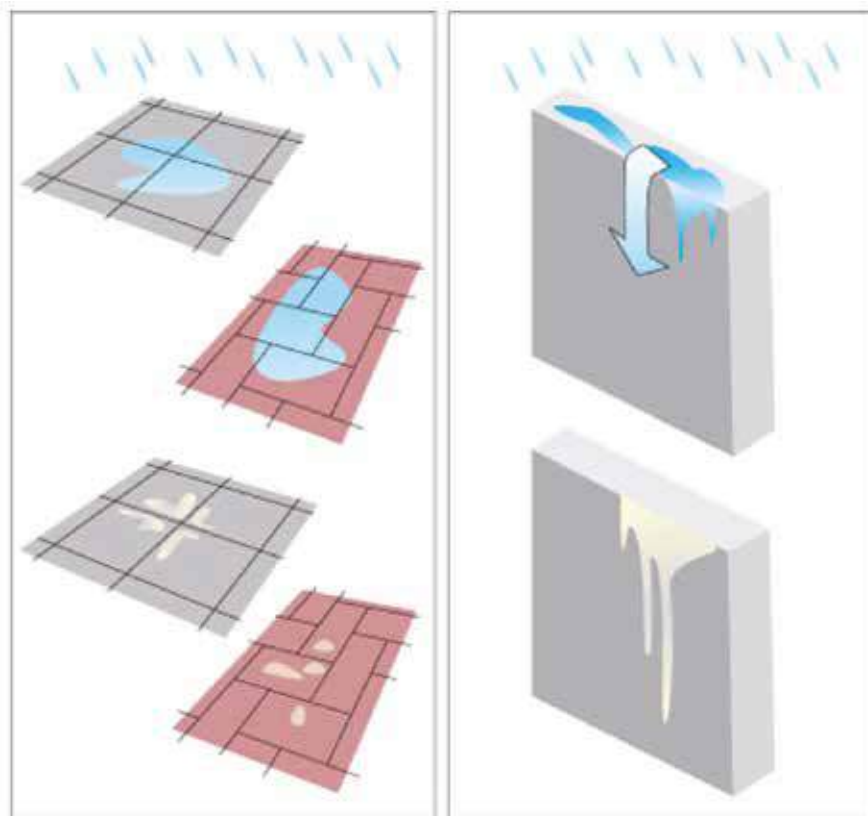
da non confondere con le "efflorescenze" (=depositi di Sali, per es. su muratura in terra cotta)

1c

L'idratazione del cemento libera fino a 250 grammi di calce per kg di cemento (Portland). La migrazione di questa calce verso la superficie varia secondo:
- il diametro dei pori, che a sua volta è funzione del grado di maturazione e/o del momento di scassatura;
- le condizioni atmosferiche, ossia temperatura e umidità.
Le essudazioni primarie appaiono sul calcestruzzo molto giovane, le essudazioni secondarie intervengono solamente in uno stadio successivo.

essudazioni primarie

(su calcestruzzo giovane: macchie, veli, strisciate...)

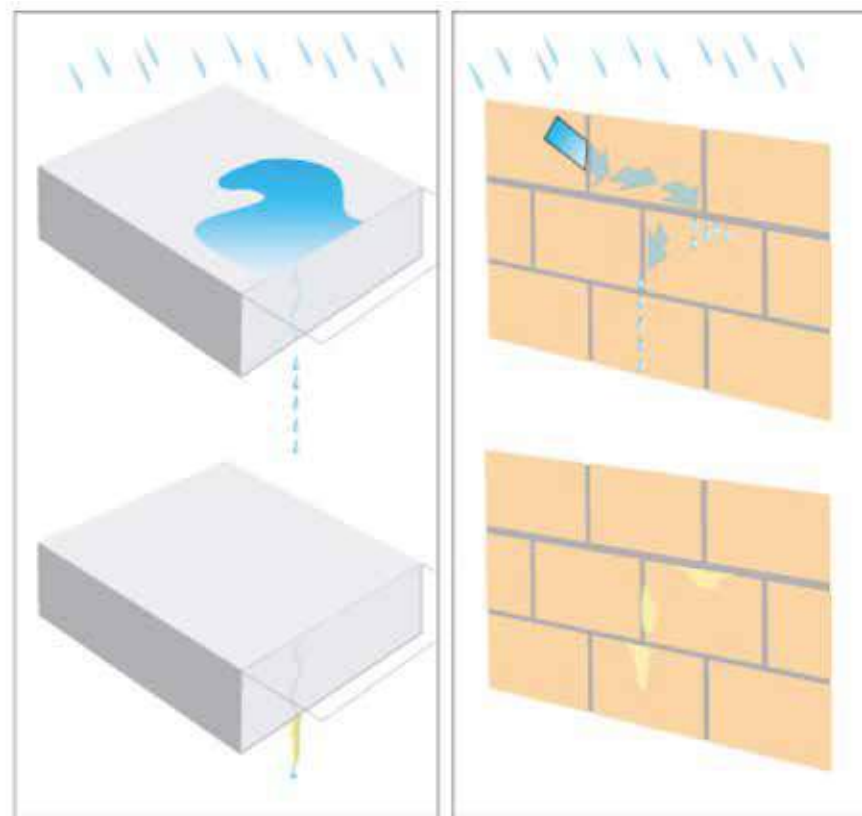


acqua stagnante

acqua ruscillante

essudazioni secondarie

(a termine: stalattiti, croste...)



infiltrazione attraverso
fessure, nidi di ghiaia...

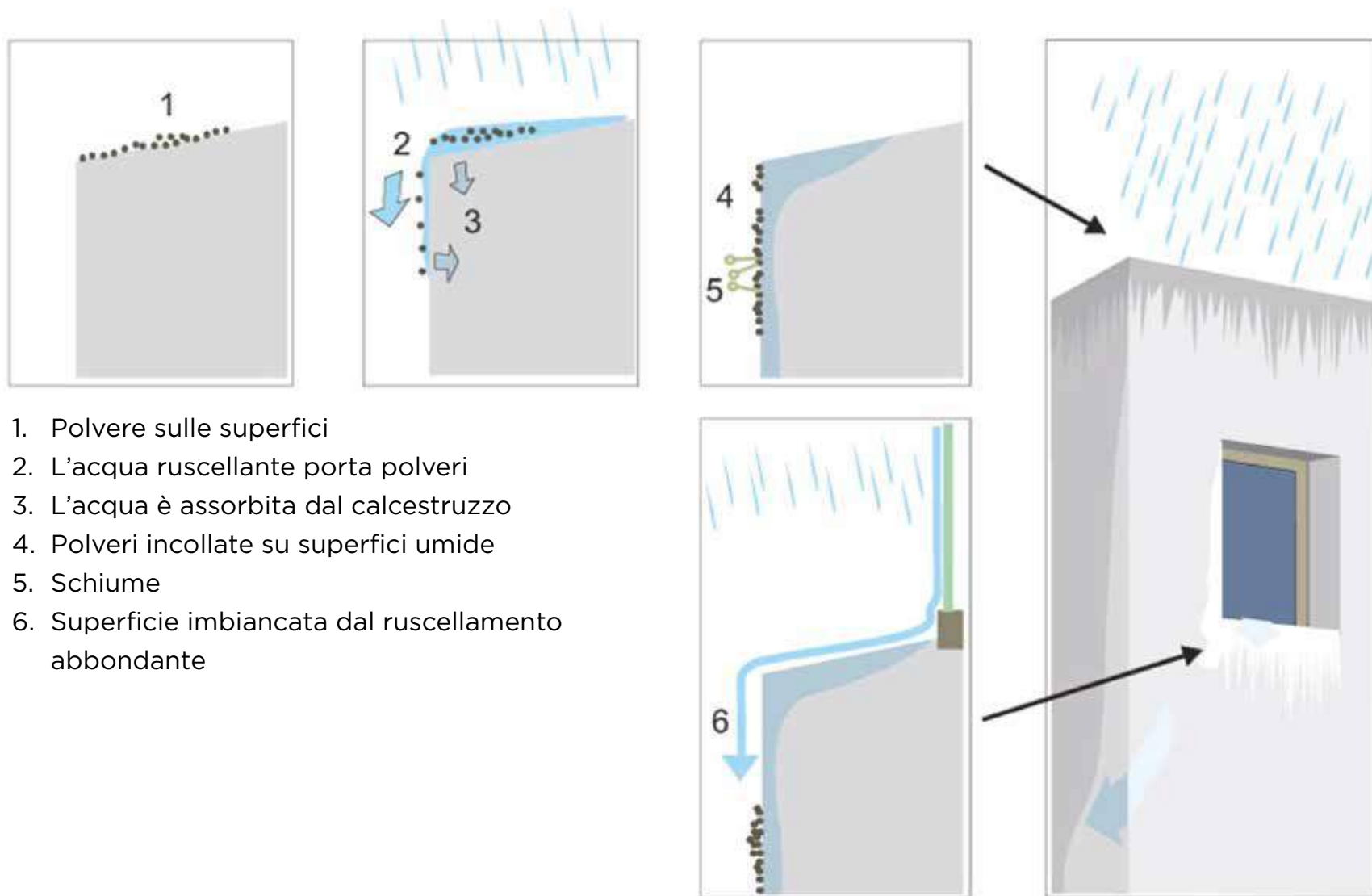
infiltrazione attraverso
fessure da ritiro, giunti
riempiti male o scollati...



trattamento eventuale con soluzione d'acido cloridrico (HCl, 1 a 3%)

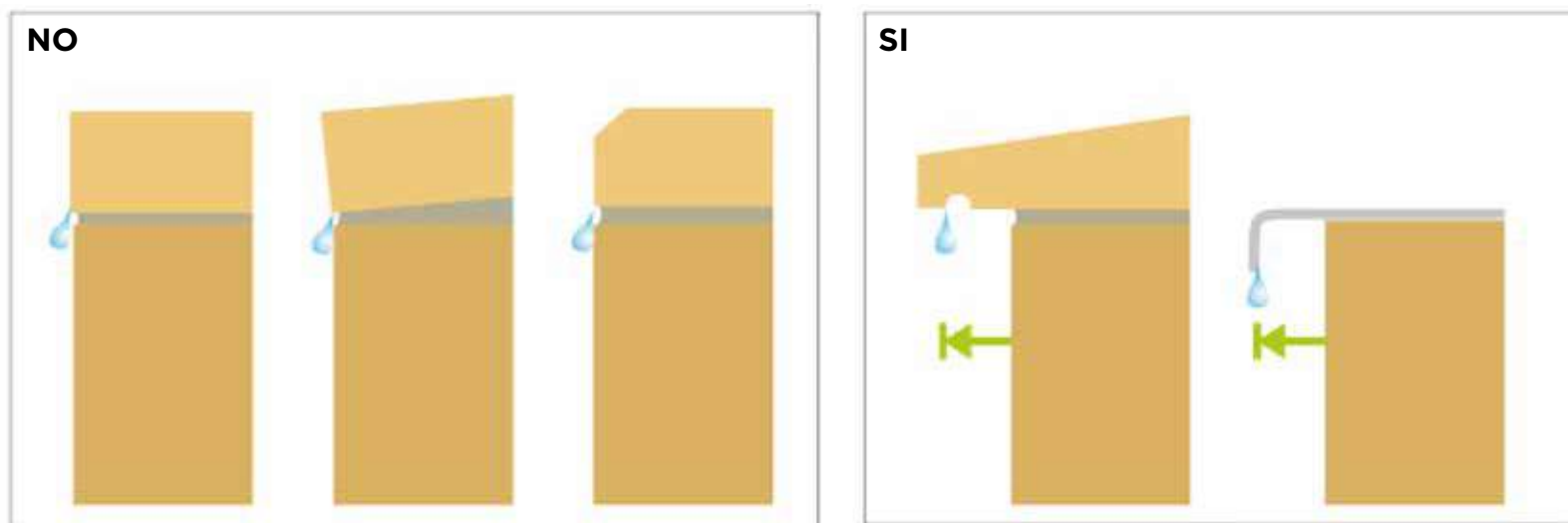
Qualche esempio tipico di essudazione di calce.

Le essudazioni su piastrelle o pavimentazioni scompaiono generalmente dopo un certo periodo di tempo sotto l'effetto delle piogge acide.



Vi è "sporczia" quando l'uniformità della polvere è interrotta dal dilavamento di alcune zone per via dell'acqua di ruscellamento siano cuore dell'accumulo delle polveri così portate in altre zone attigue. L'esposizione alla pioggia delle superfici, la porosità del materiale e soprattutto la geometria della superficie esposta determinano il grado di accumulo di sporczia.

● dettagli di progettazione, per es.:

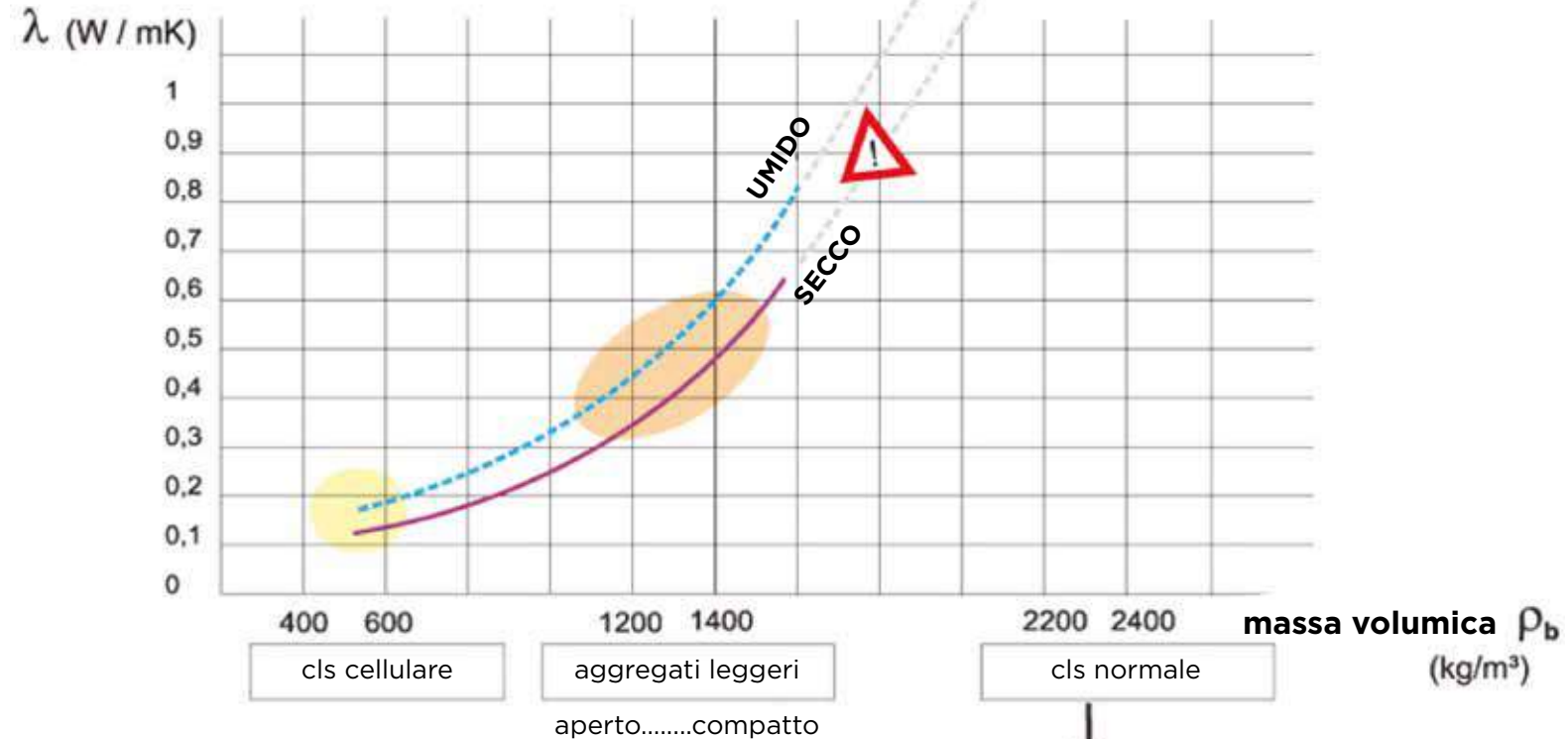


● trattamenti

- impregnazione per mezzo di una resina (impermeabile all'acqua, ma non all'aria)
- applicazione di un rivestimento/guaina protettiva
- applicazione di un rivestimento/guaina lavabile
(per es. protezione antigraffiti: da rinnovare dopo pulizia con solventi)

Dettagli di progettazione: sempre deviare l'acqua

coefficiente di conduttività termica



(confrontare con altri materiali:)

sughero: 0,05 - 0,1

legno: 0,3 - 0,5

ferro: ~ 80

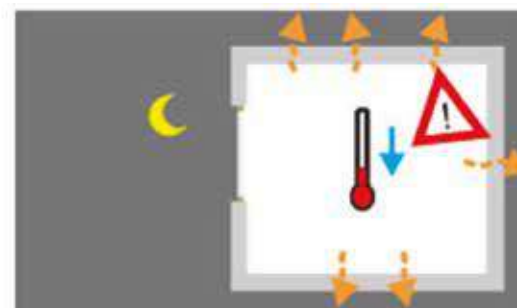
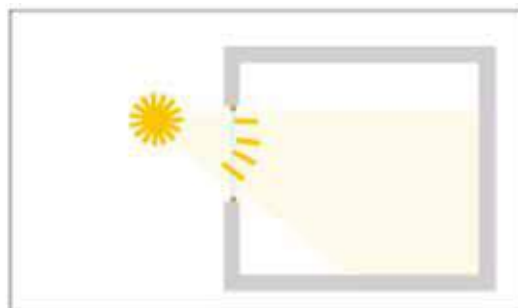
rame: ~ 400

	interno	esterno
non armato	1,3	1,7
armato	1,7	2,2

Più il calcestruzzo è pesante, meglio conduce il calore e meno isola. I calcestruzzi leggeri contengono delle lame o cellule non comunicanti riempite d'aria o gas. Offrono un buon compromesso, combinando una portata soddisfacente a - in alcuni casi - un isolamento sufficiente.
(NB: Qualsiasi materiale umido cessa di essere isolante.)

4c2 caratteristiche termiche I capacità di stoccaggio

costruzione pesante
senza isolamento



riscaldamento necessario

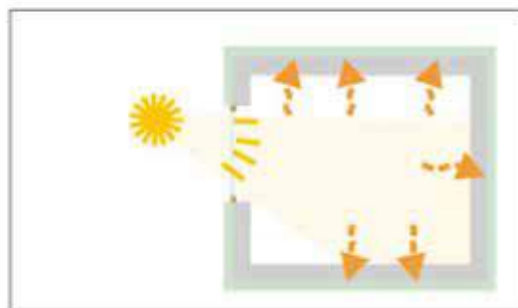
costruzione leggera
+ isolamento



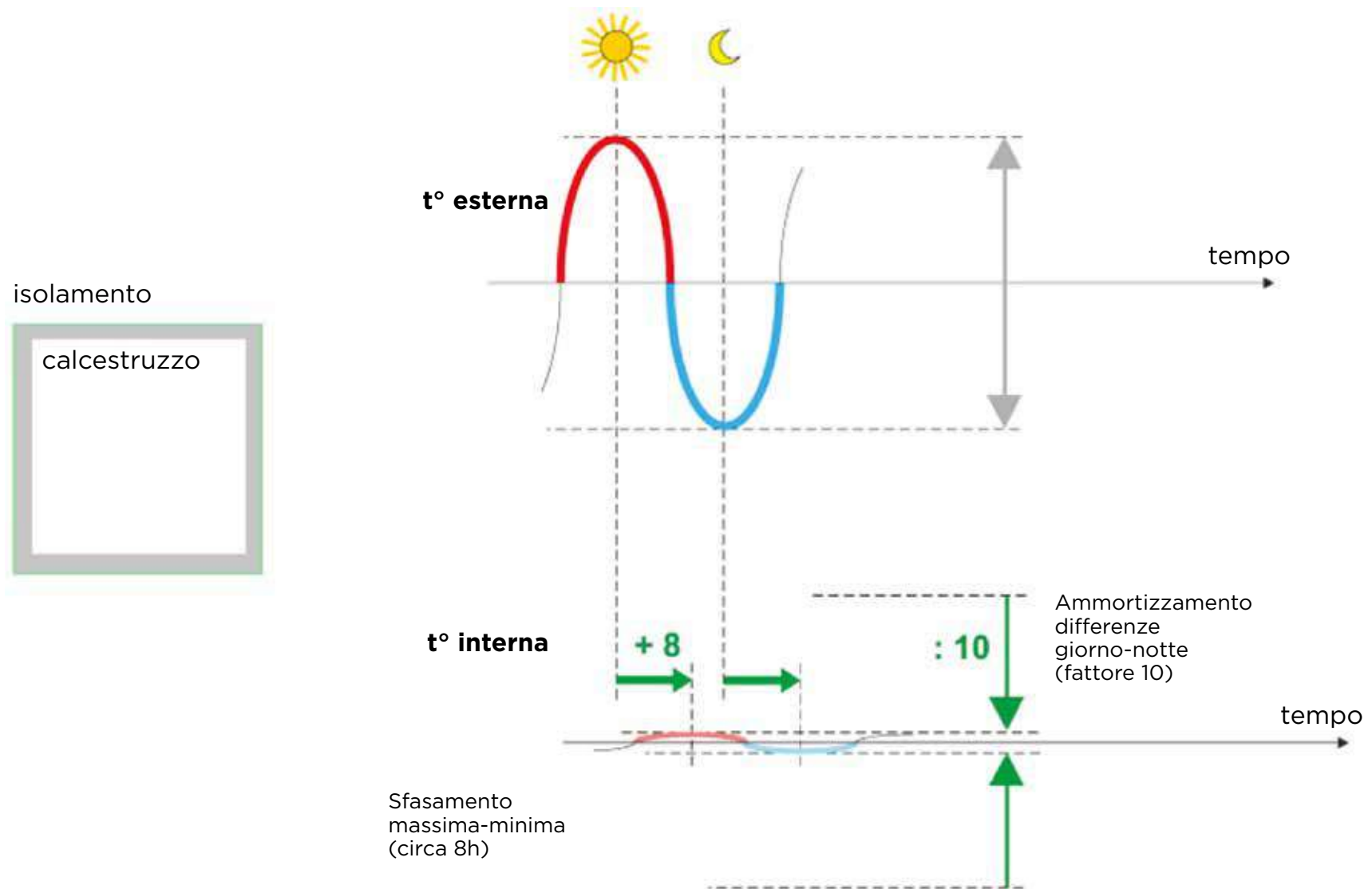
raffreddamento necessario



massa + isolamento
(lato **esterno**)

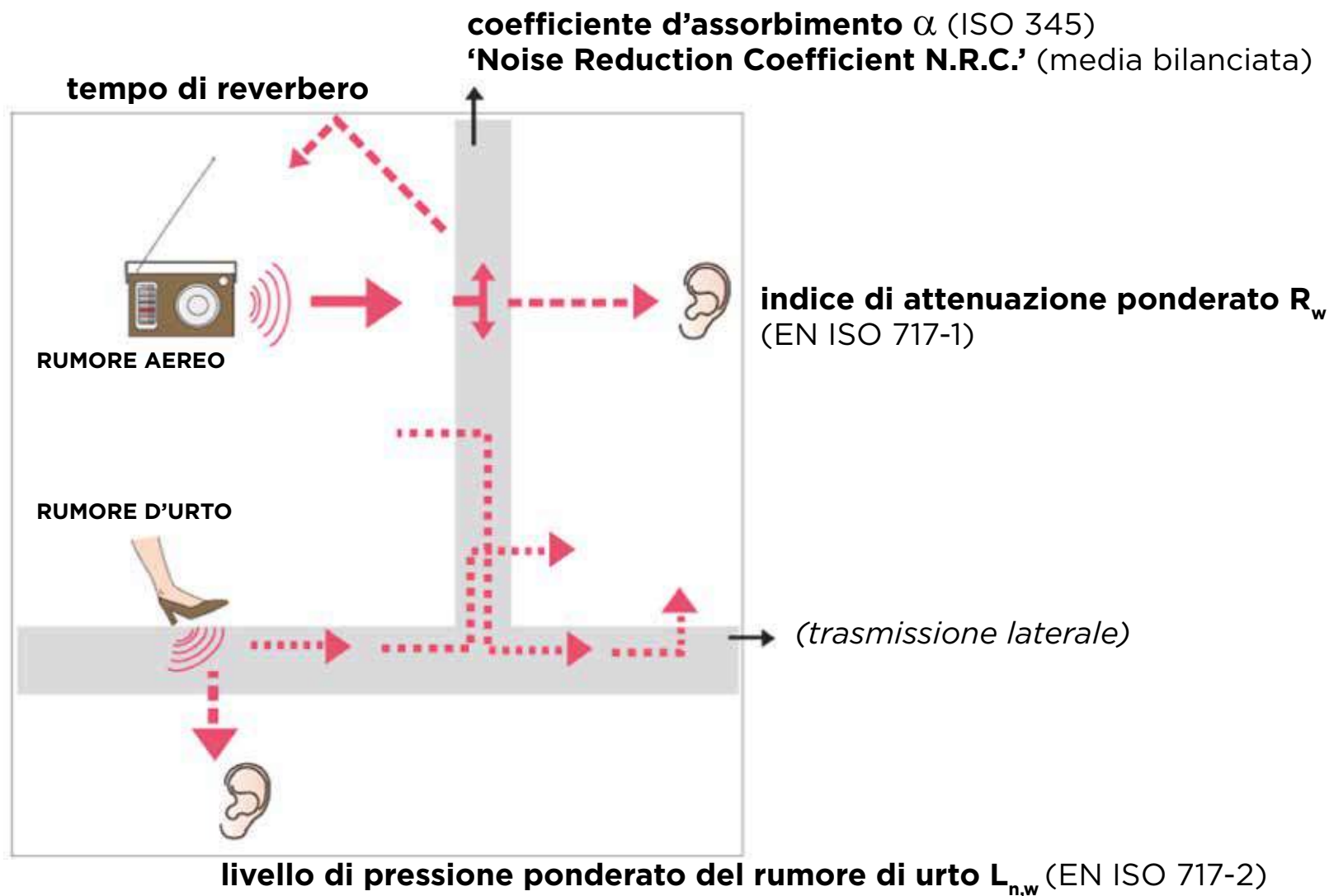


L'isolamento, fattore di risparmio energetico, è lontano dall'essere il solo fattore di confort termico. La capacità termica è la facoltà di accumulare (e di restituire) il calore. I materiali pesanti possono "stoccare" una grande quantità di calore. Così durante i giorni di canicola, i pavimenti, solai, e muri in calcestruzzo impediscono il surriscaldamento di un edificio naturalmente. La capacità termica deve però essere "accessibile": i solai ribassati o pavimenti sopraelevati interrompono l'accumulo di calore.



L'inerzia termica di una parete è la sua attitudine ad ammortizzare e sfasare il ciclo di temperatura interna nei confronti del ciclo esterno. Combinando il calcestruzzo e l'isolamento (applicato al lato esterno), è possibile realizzare un fattore ammortizzamento di 10 e uno sfasamento di 8 ore. Da una parte, il calore di mezzogiorno raggiunge l'interno di un locale chiuso solo la sera, dopo essere stata indebolita. D'altra parte, l'effetto del raffreddamento notturno si risente ancora a lungo durante la giornata e può ancora essere rinforzato dall'aerazione del locale la sera e la notte.

4c2 caratteristiche acustiche



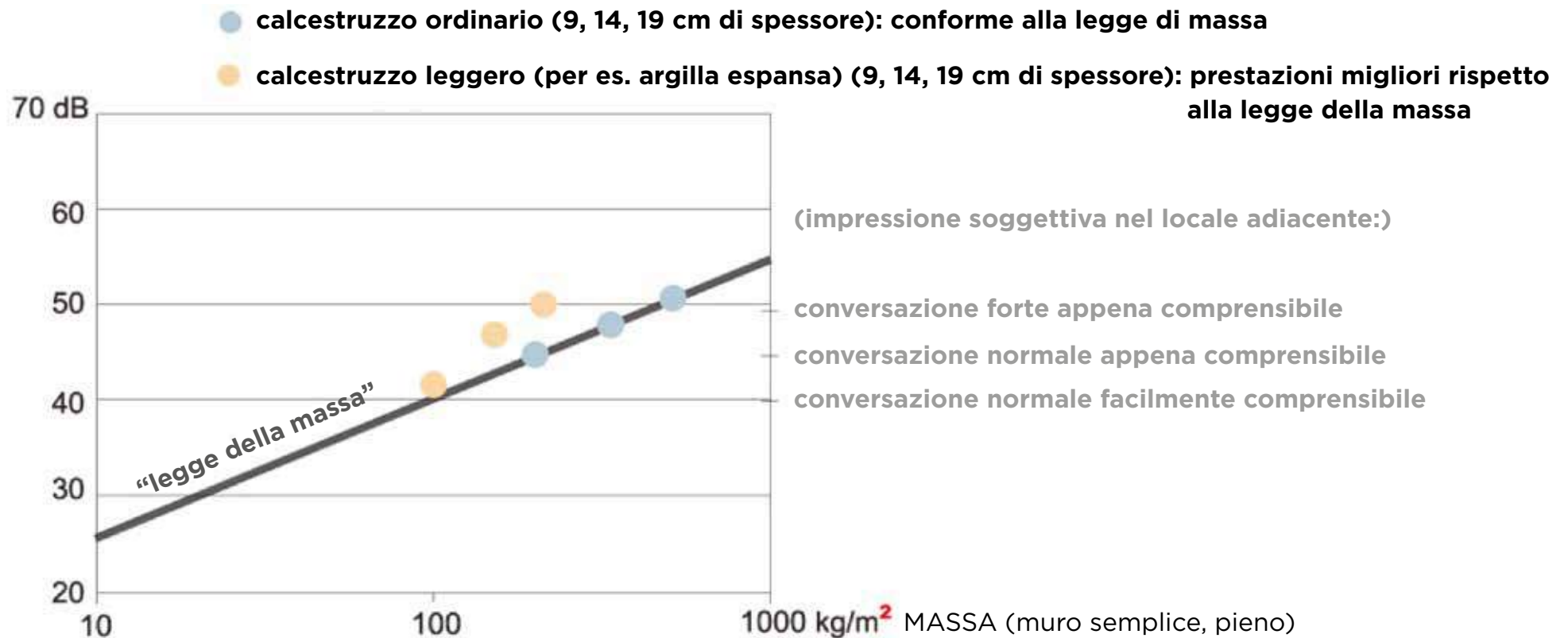
Il confort acustico di un locale è determinato da:

- le caratteristiche foniche del locale (assorbimento e tempo di reverbero)

- il livello di protezione contro i rumori provenienti dall'esterno (isolamento acustico). L'energia acustica si propaga per vie diverse tra il "locale di emissione" e il "locale di ricezione". Importa fare la distinzione tra i rumori aerei e i rumori d'urto.

(NB: i risultati delle prove acustiche differiscono a seconda di se sono registrati in laboratorio o in sito. Di conseguenza, i criteri di prestazioni non sono neanche più gli stessi.)

INDICE D'INDOLIMENTO R_w (esempi)



R_w è una caratteristica di una parete o di un pavimento...!

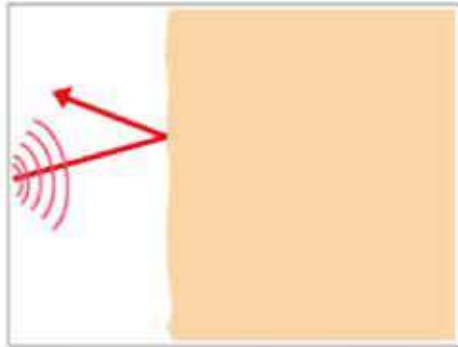
⇒ attenzione alle “fughe” (fessure, muratura: giunti mal riempiti...)

“ponti acustici” (ancoraggi, condotte...)

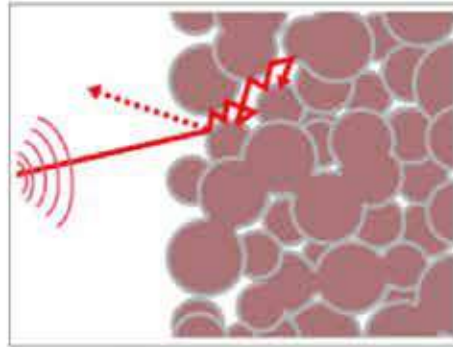
-rumori di urti: intervenire alla fonte (tappeto, massetto galleggiante...)

L'isolamento tra il locale di emissione e il locale di ricezione è tradotta dall'indice di indebolimento acustico. I calcestruzzi leggeri non seguono la legge della massa: a spessori uguali, una parete in calcestruzzo leggero può rivelarsi altrettanto isolante quanto una di calcestruzzo normale. Le prestazioni acustiche di un elemento di costruzione sono fortemente tributarie della qualità della messa in opera. (NB: La massa della parete - per unità di superficie- è indicata su scala logaritmica.)

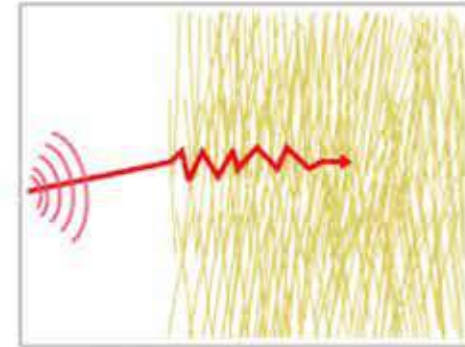
COEFFICIENTE D'ASSORBIMENTO α (per differenti frequenze: 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz)



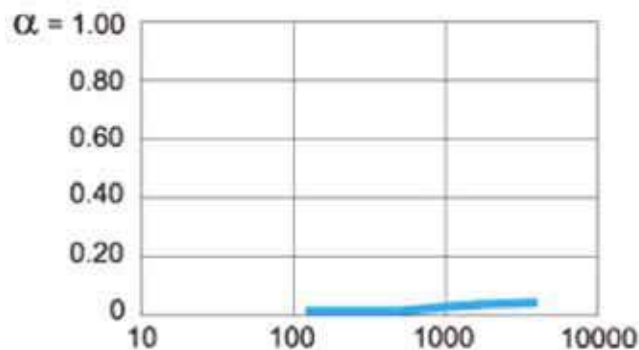
calcestruzzo, muratura,
intonaco liscio



calcestruzzo cavernoso
(argilla espansa)

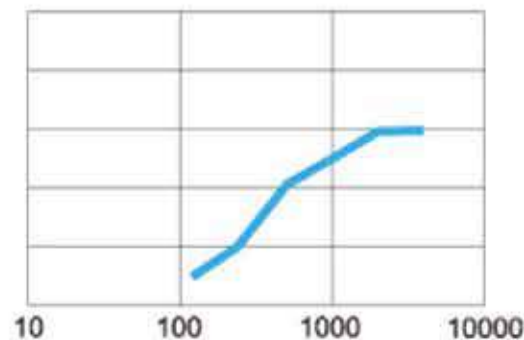


lana minerale (40mm)

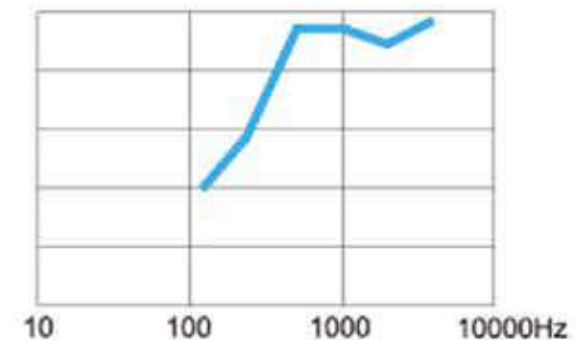


N.R.C. = 0.03

'Noise Reduction Coefficient'



N.R.C. = 0.45



N.R.C. = 0.80

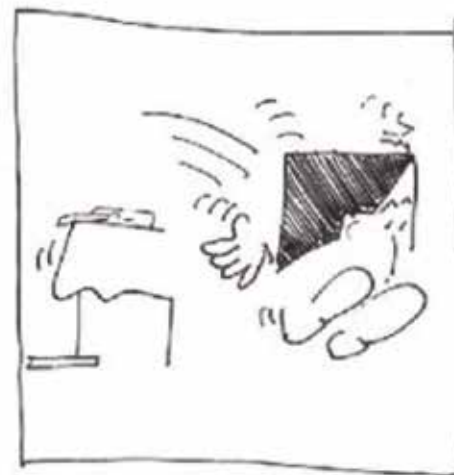


L'assorbimento diminuisce o è annullato da uno strato di vernice o di intonaco



Assorbimento $\neq$ Isolamento! Controllare l'impermeabilità all'aria

Il coefficiente d'assorbimento caratterizza il livello di conforto nel locale d'emissione. (Ma non nel locale di ricezione!) Meno l'assorbimento è grande, più il rumore è ripercosso e più il tempo di riverbero è lungo. L'assorbimento dipende dalla frequenza delle onde acustiche: in funzione della struttura della superficie della parete e della presenza di eventuali cavità, le differenti onde non sono tutte riflesse o assorbite nello stesso modo.





...per un Fior di Calcestruzzo

VIA SIRTORI, Z.I. - 20838 RENATE (MB)

TEL. 0362/918516 - FAX 0362/919396

WWW.ISTIC.IT - IIC@ISTIC.IT