

# RIVESTIMENTI IN ANELLI DI CONCI PREFABBRICATI DI GALLERIE REALIZZATE CON TBM INDUSTRIALIZZAZIONE E SOSTENIBILITÀ

Brescia, 16 novembre 2023

Aula Magna Ingegneria - Università di Brescia (UniBs)

Organizzato da:



Associazione italiana  
cemento armato e  
precompresso



Collegio dei  
Tecnici della  
industrializzazione  
Edilizia



Società  
Italiana  
Gallerie  
Italian Tunnelling Society

Con il patrocinio di:



Media Partner:



## 1. Introduzione

## 2. Pensare il calcestruzzo

Analisi preventiva dei requisiti prestazionali in funzione dell'economia delle risorse per la definizione del mix design

## 3. Calcestruzzo fresco e sequenza di maturazione

3.1 Costruzione dell'elemento (ripetibilità delle operazioni)

3.2 Maturazione accelerata mediante l'uso del vapore

## 4. Controllo di qualità e del processo di prefabbricazione

## 5. Criticità nella messa in opera

Conseguenze di una finitura difettosa nell'interazione con lo scavo

Migliore qualità possibile + Efficienza energetica

COME?

Minimizzazione dell'impatto ambientale concentrandosi sull'**economicità del sistema di costruzione**

- scelta delle materie prime
- studio del ciclo di maturazione

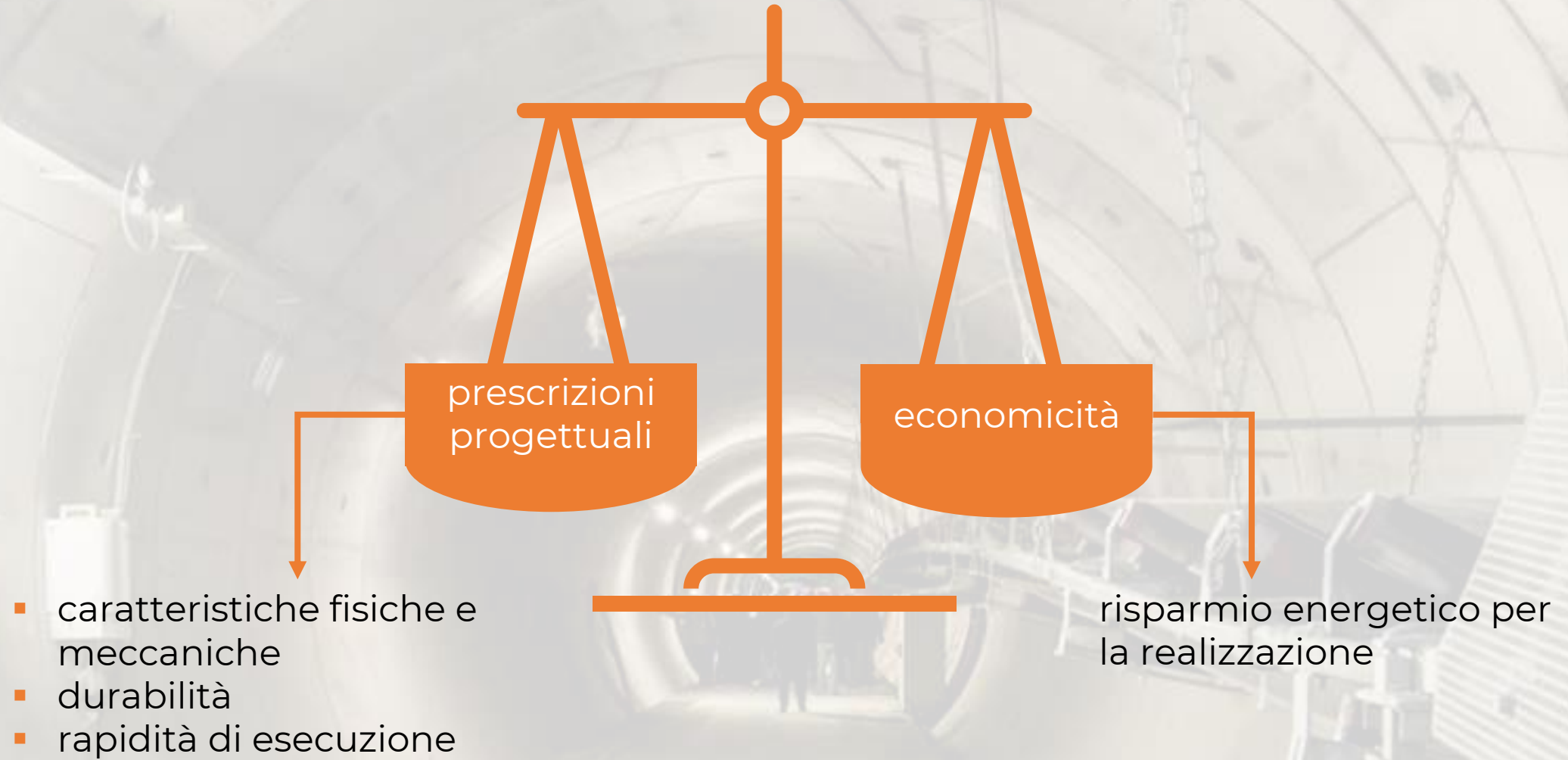


Punto di partenza

**SPECIFICHE PROGETTUALI**

## 2. Pensare il calcestruzzo

### OBIETTIVO



## 2. Pensare il calcestruzzo

### Produzione interna al cantiere



Dove mi trovo?



Condizioni ambientali



Conseguenze su **costruzione** e **stoccaggio**

- Temperature
- Piovosità
- Escursione termica Giorno/notte
- Distanza dalle fonti di approvvigionamento delle materie prime (cemento, aggregati, etc..)
- Disponibilità di acqua idonea all'uso nel calcestruzzo

## 2. Pensare il calcestruzzo

### Produzione esterna al cantiere

- Distanza dal cantiere
- Mezzi di trasporto impiegati
- Stoccaggio minimo e massimo degli elementi presso le aree adiacenti alla zona di scavo
- Temperature di stoccaggio



## 2. Pensare il calcestruzzo

### Studio della miscela

- Parametri fissi :
  1. Rapporto A/C
  2. Quantitativo minimo di cemento (**EN 206**)

## 2. Pensare il calcestruzzo

prospetto F.1 Valori limite raccomandati per la composizione e le proprietà del calcestruzzo

	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)				XF1		XF2		XF3		XA1			XA2		XA3
X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3		
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/m <sup>3</sup> )	-	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360	
Contenuto minimo di aria (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0 <sup>a)</sup>	4,0 <sup>a)</sup>	4,0 <sup>a)</sup>	-	-	-	
Altri requisiti												Aggregati in accordo alla EN 12620 con sufficiente resistenza al gelo/disgelo						Cemento resistente ai solfati <sup>b)</sup>	

- 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<sub>4</sub><sup>2-</sup> 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.



## 2. Pensare il calcestruzzo

prospetto F.1 Valori limite raccomandati per la composizione e le proprietà del calcestruzzo

	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	XA3	
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/m <sup>3</sup> )	-	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
Contenuto minimo di aria (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0 <sup>a)</sup>	4,0 <sup>a)</sup>	4,0 <sup>a)</sup>	-	-	-
Altri requisiti												Aggregati in accordo alla EN 12620 con sufficiente resistenza al gelo/disgelo				Cemento resistente ai solfati <sup>b)</sup>		

- 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<sub>4</sub><sup>2-</sup> 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.

## 2. Pensare il calcestruzzo

	Ambienti chimici aggressivi		
	XA1	XA2	XA3
Rapporto massimo a/c	0,55	0,50	0,45
Classe di resistenza minima	C30/37	C30/37	C35/45
Contenuto minimo di cemento (kg/m <sup>3</sup> )	300	320	360
Contenuto minimo di aria (%)	-	-	-
Altri requisiti		Cemento resistente ai solfati <sup>b)</sup>	

## 2. Pensare il calcestruzzo

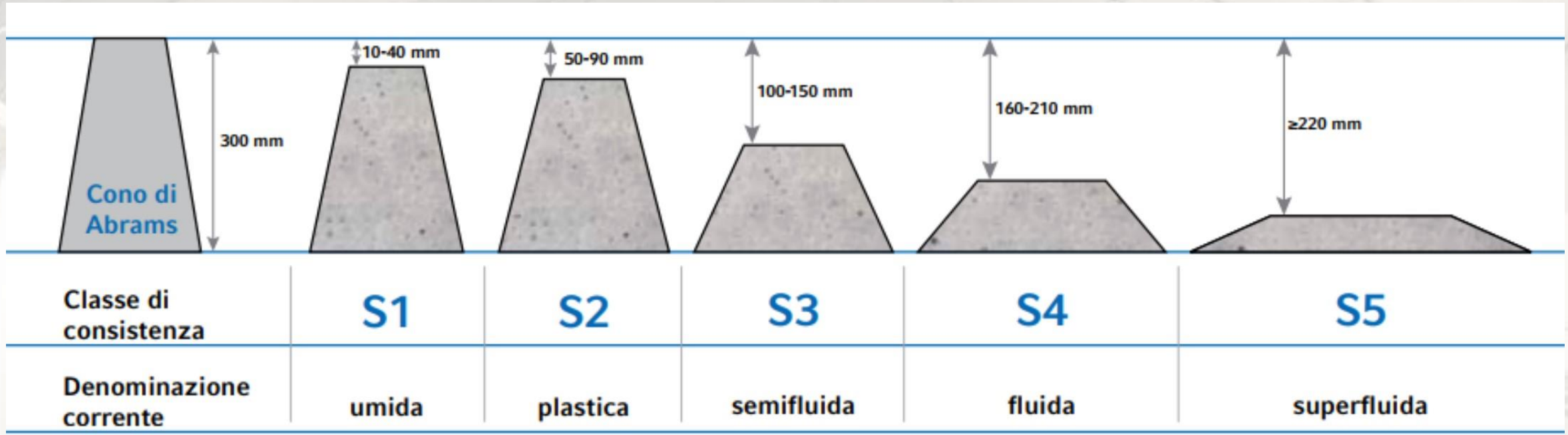
Ambienti chimici aggressivi			
	XA1	XA2	XA3
Rapporto massimo a/c	0,55	0,50	0,45
Classe di resistenza minima	C30/37	C30/37	C35/45
Contenuto minimo di cemento (kg/m <sup>3</sup> )	300	320	360
Contenuto minimo di aria (%)	-	-	-
Altri requisiti		Cemento resistente ai solfati <sup>b)</sup>	

## 2. Pensare il calcestruzzo

### Studio della miscela

- Parametri fissi :
  1. Rapporto A/C
  2. Quantitativo minimo di cemento (**EN 206**)
  3. Tipo di cemento da impiegare
  4. Resistenza allo scassero e classe di resistenza a 28 gg
  
- Visionare il progetto dell'armatura
  
- Stabilire il diametro massimo dell'aggregato di maggiori dimensioni  $D_{max}$  (più grande è, e meglio sarà) anche in funzione delle specifiche progettuali
  
- Stabilire la classe di consistenza

## 2. Pensare il calcestruzzo



- Stabilire la classe di consistenza

## 2. Pensare il calcestruzzo

### Studio della miscela

- Parametri fissi :
  1. Rapporto A/C
  2. Quantitativo minimo di cemento (**EN 206**)
  3. Tipo di cemento da impiegare
  4. Resistenza allo scassero e classe di resistenza a 28 gg
  
- Visionare il progetto dell'armatura
  
- Stabilire il diametro massimo dell'aggregato di maggiori dimensioni  $D_{max}$  (più grande è, e meglio sarà) anche in funzione delle specifiche progettuali
  
- Stabilire la classe di consistenza
  
- Stimare la richiesta d'acqua in base agli aggregati prescelti in funzione della classe di consistenza stabilita.

## 2. Pensare il calcestruzzo

<b>D massimo aggregato (mm)</b>	<b>Richiesta d'acqua per classe di consistenza (kg o litri per m<sup>3</sup>)</b>				
	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>
<b>8</b>	195	210	230	250	255
<b>16</b>	185	200	220	240	245
<b>20</b>	180	195	215	225	230
<b>25</b>	175	190	210	215	225
<b>32</b>	165	180	200	210	220

- Stimare la richiesta d'acqua in base agli aggregati prescelti in funzione della classe di consistenza stabilita.

## 2. Pensare il calcestruzzo

### Studio della miscela

- Parametri fissi :
  1. Rapporto A/C
  2. Quantitativo minimo di cemento (**EN 206**)
  3. Tipo di cemento da impiegare
  4. Resistenza allo scasso e classe di resistenza a 28 gg
  
- Visionare il progetto dell'armatura
  
- Stabilire il diametro massimo dell'aggregato di maggiori dimensioni  $D_{max}$  (più grande è, e meglio sarà) anche in funzione delle specifiche progettuali
  
- Stabilire la classe di consistenza
  
- Stimare la richiesta d'acqua in base agli aggregati prescelti in funzione della classe di consistenza stabilita.
  
- Scelta dell'additivo/i idoneo/i al raggiungimento delle prestazioni
  
- Combinare cemento aggregati acqua additivi e stabilire la miscela che costituirà il calcestruzzo



### 3.

## Calcestruzzo fresco

### 3.1 Costruzione dell'elemento (ripetibilità delle operazioni)

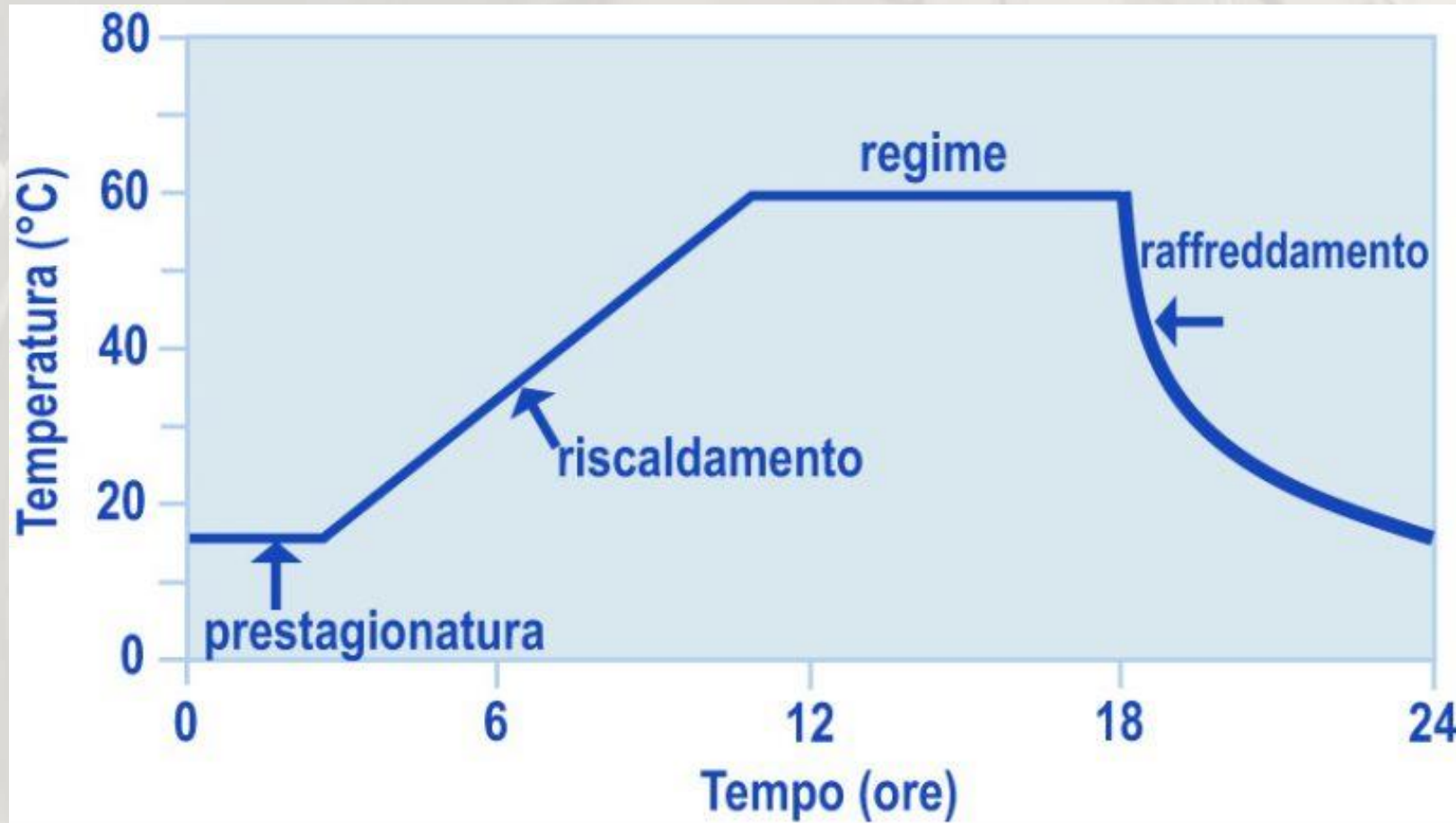


Immagine tratta da ABC del Calcestruzzo, ENCO srl

### 3.

## Calcestruzzo fresco

### 3.1 Costruzione dell'elemento (ripetibilità delle operazioni)

Differenza in termini di tempo di stagionatura tra «ciclo conci» e ciclo standard

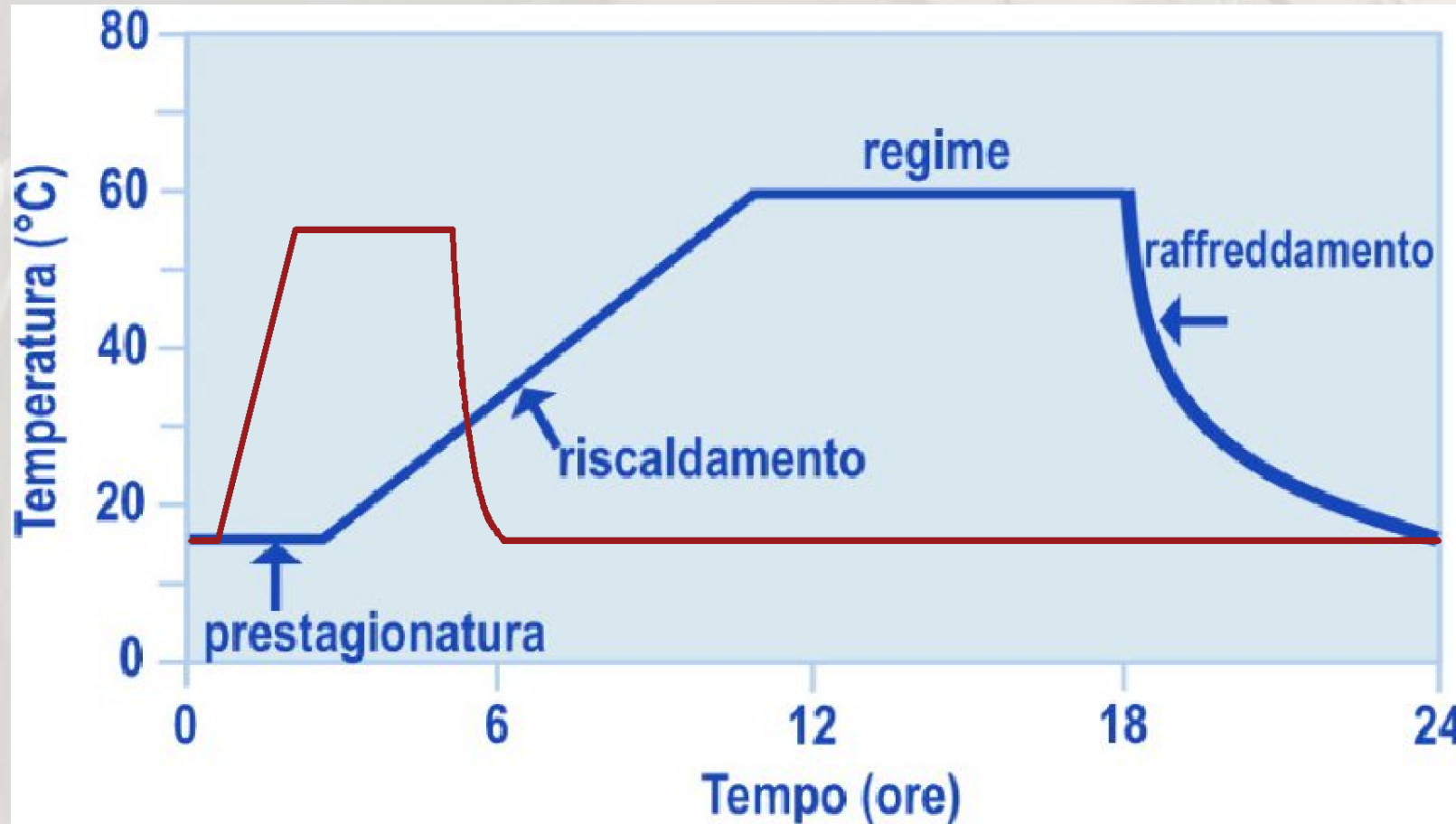


Immagine tratta da ABC del Calcestruzzo, ENCO srl

### 3.

## Calcestruzzo fresco

### 3.1 Costruzione dell'elemento (ripetibilità delle operazioni)

Decorso della resistenza meccanica a compressione ( $R_c$ ) di un calcestruzzo in funzione del tempo a diverse temperature

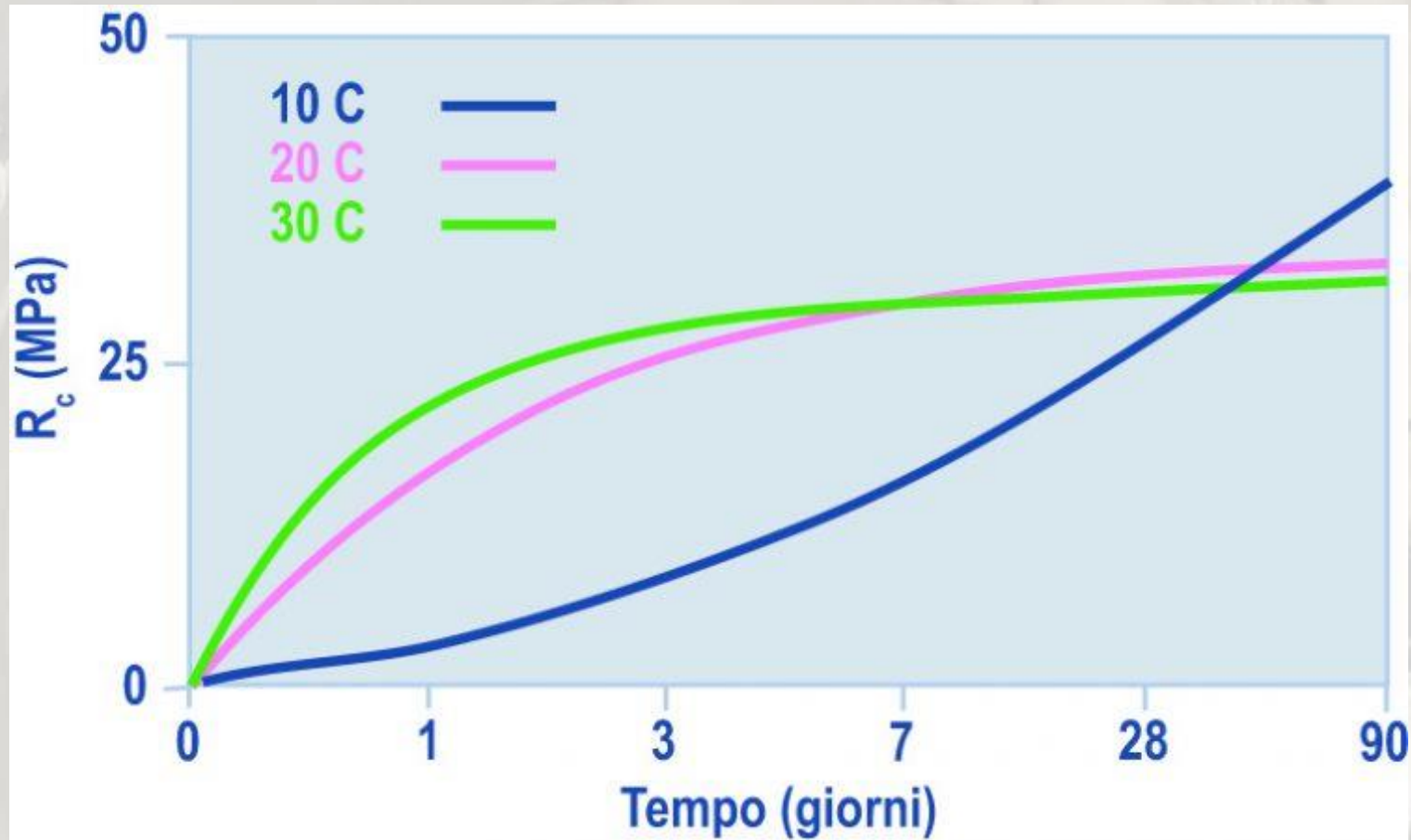


Immagine tratta da ABC del Calcestruzzo, ENCO srl

### 3.

## Calcestruzzo fresco

### 3.1 Costruzione dell'elemento (ripetibilità delle operazioni)

## Influenza della temperatura sul decorso del grado di idratazione ( $\alpha$ )

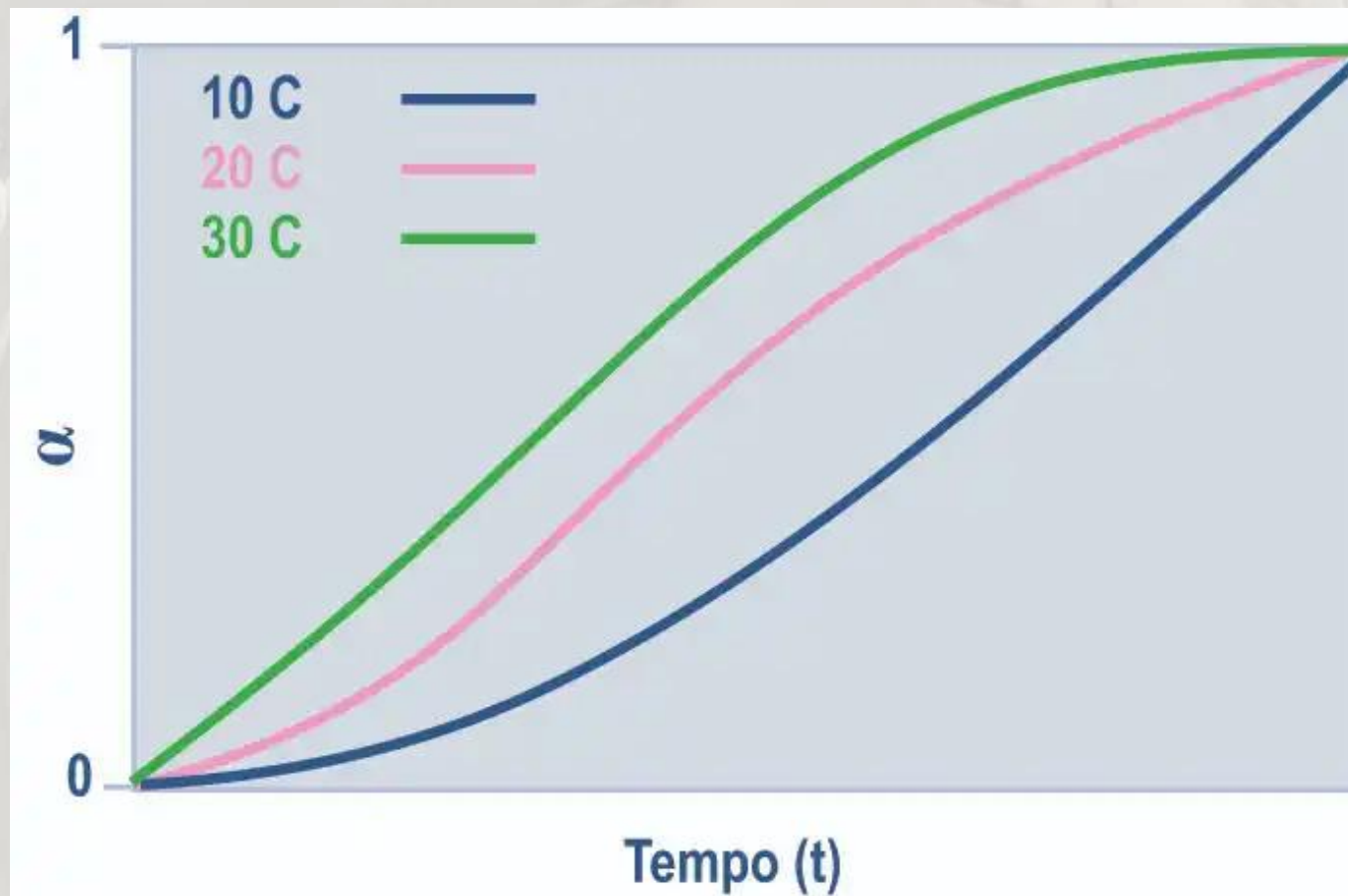
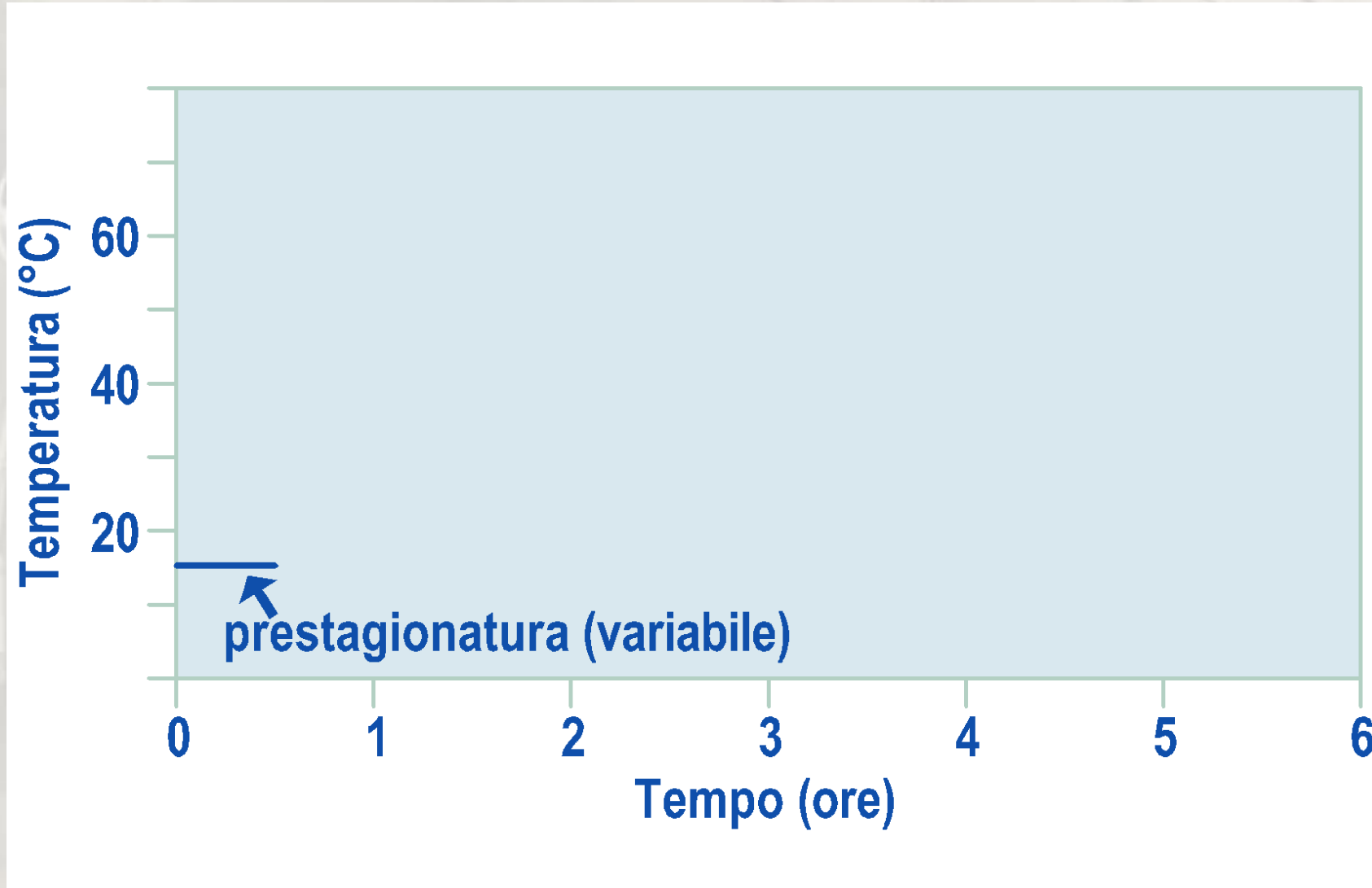


Immagine tratta da ABC del Calcestruzzo, ENCO srl

### 3. Calcestruzzo fresco

#### 3.2 Maturazione accelerata mediante l'uso del vapore

#### Fasi del Ciclo di Maturazione Conci

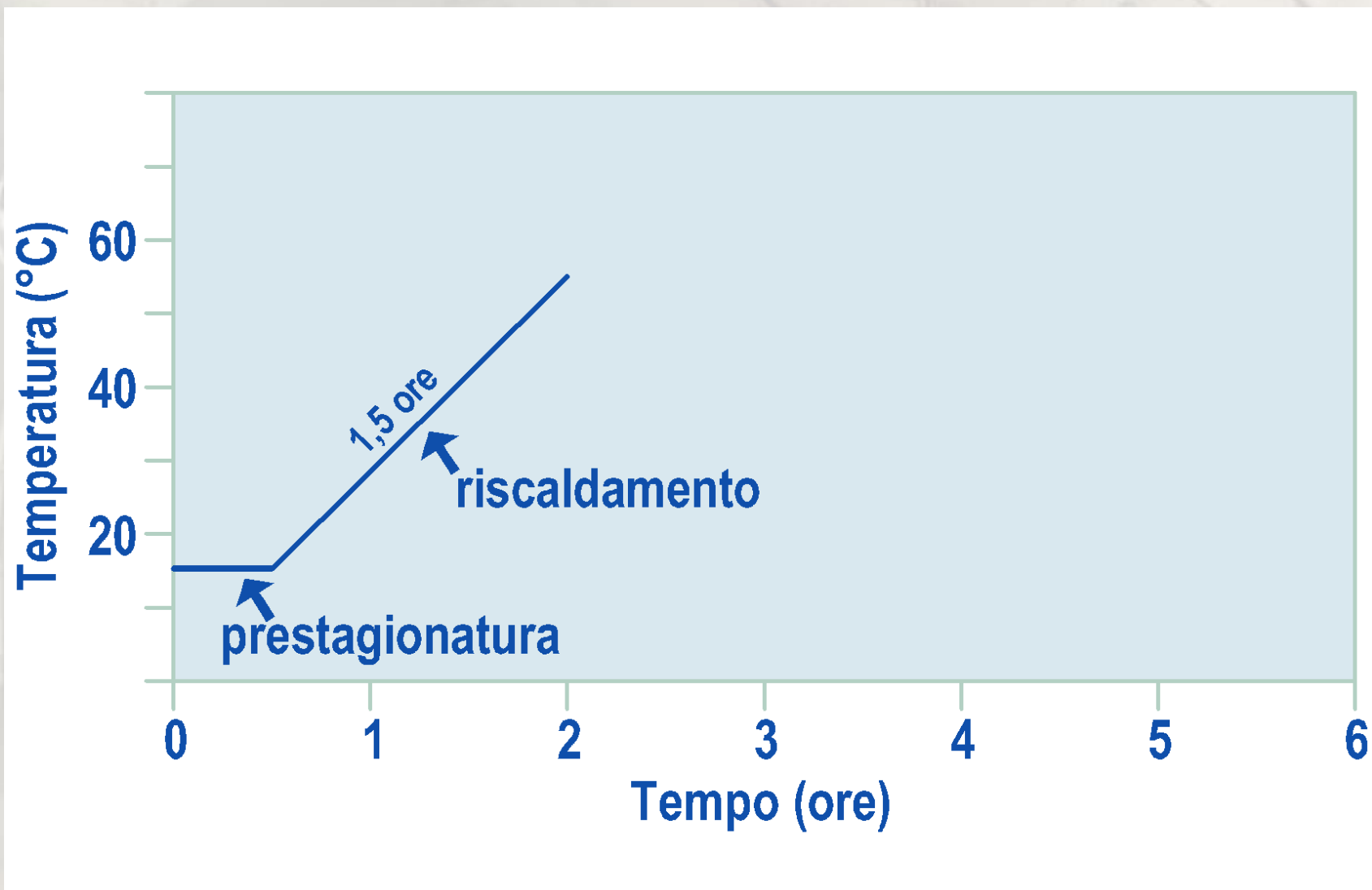


### 3.

## Calcestruzzo fresco

### 3.2 Maturazione accelerata mediante l'uso del vapore

#### Fasi del Ciclo di Maturazione Conci

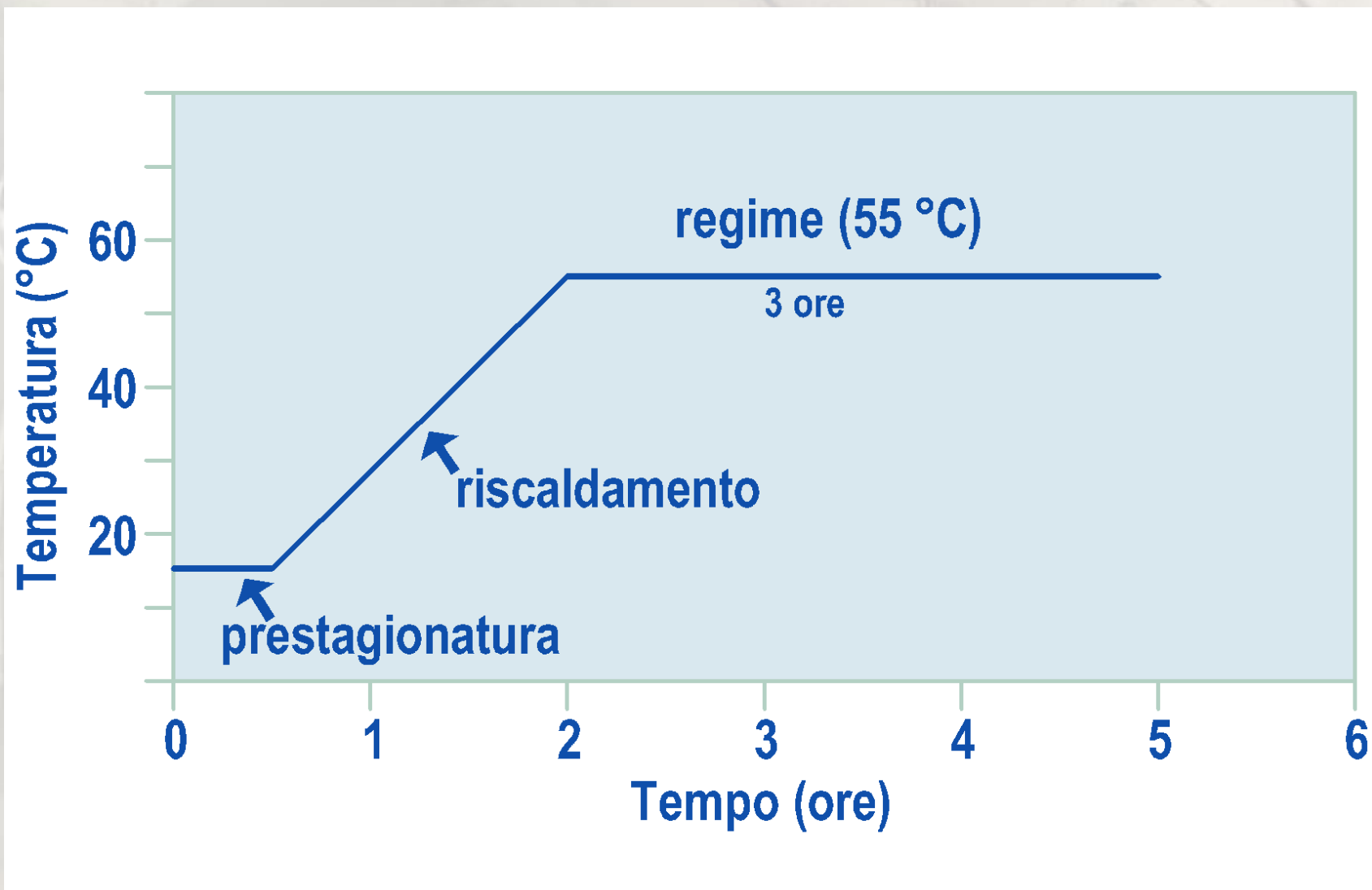


### 3.

## Calcestruzzo fresco

### 3.2 Maturazione accelerata mediante l'uso del vapore

#### Fasi del Ciclo di Maturazione Conci

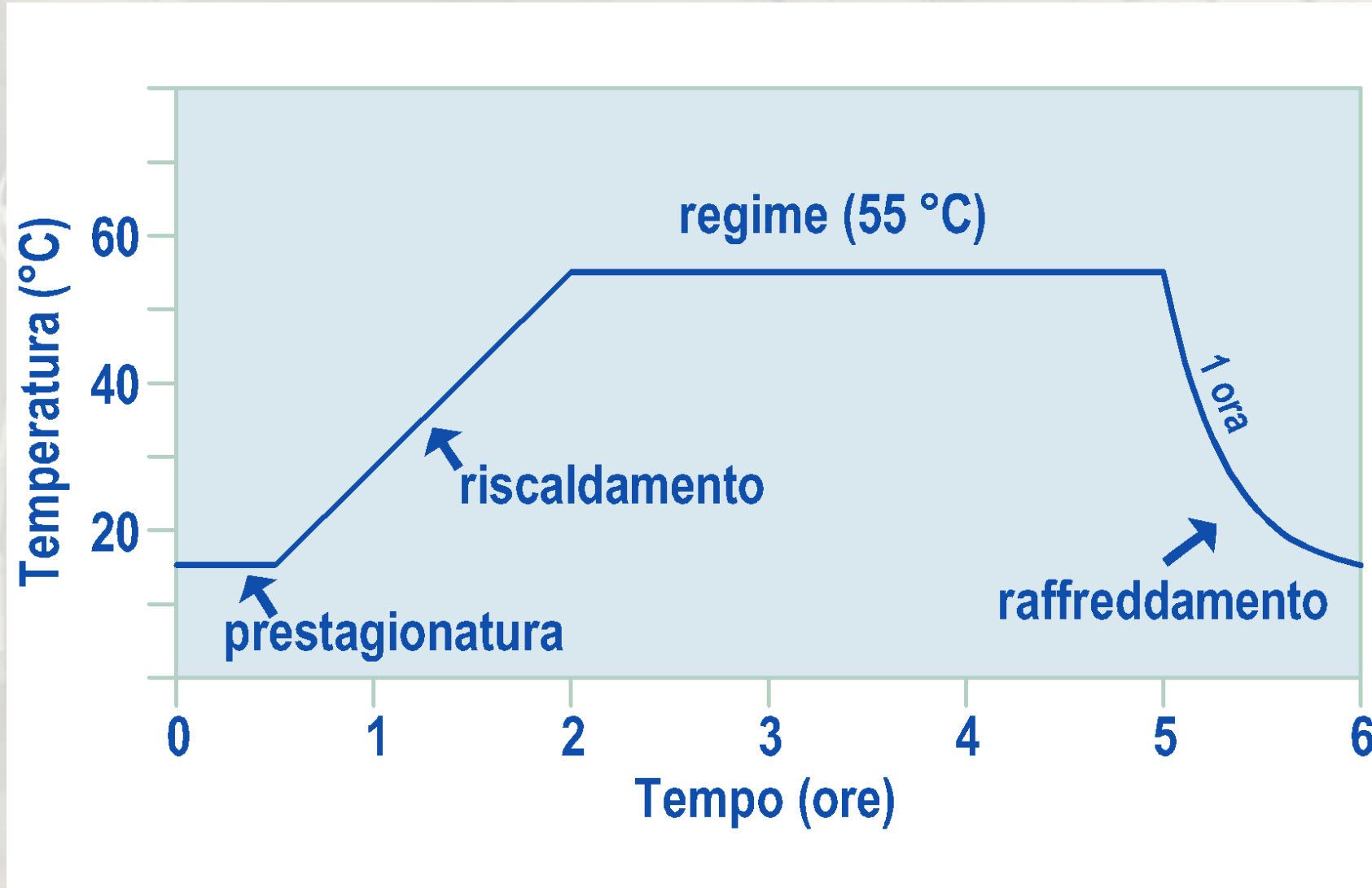


### 3.

## Calcestruzzo fresco

### 3.2 Maturazione accelerata mediante l'uso del vapore

#### Fasi del Ciclo Conci



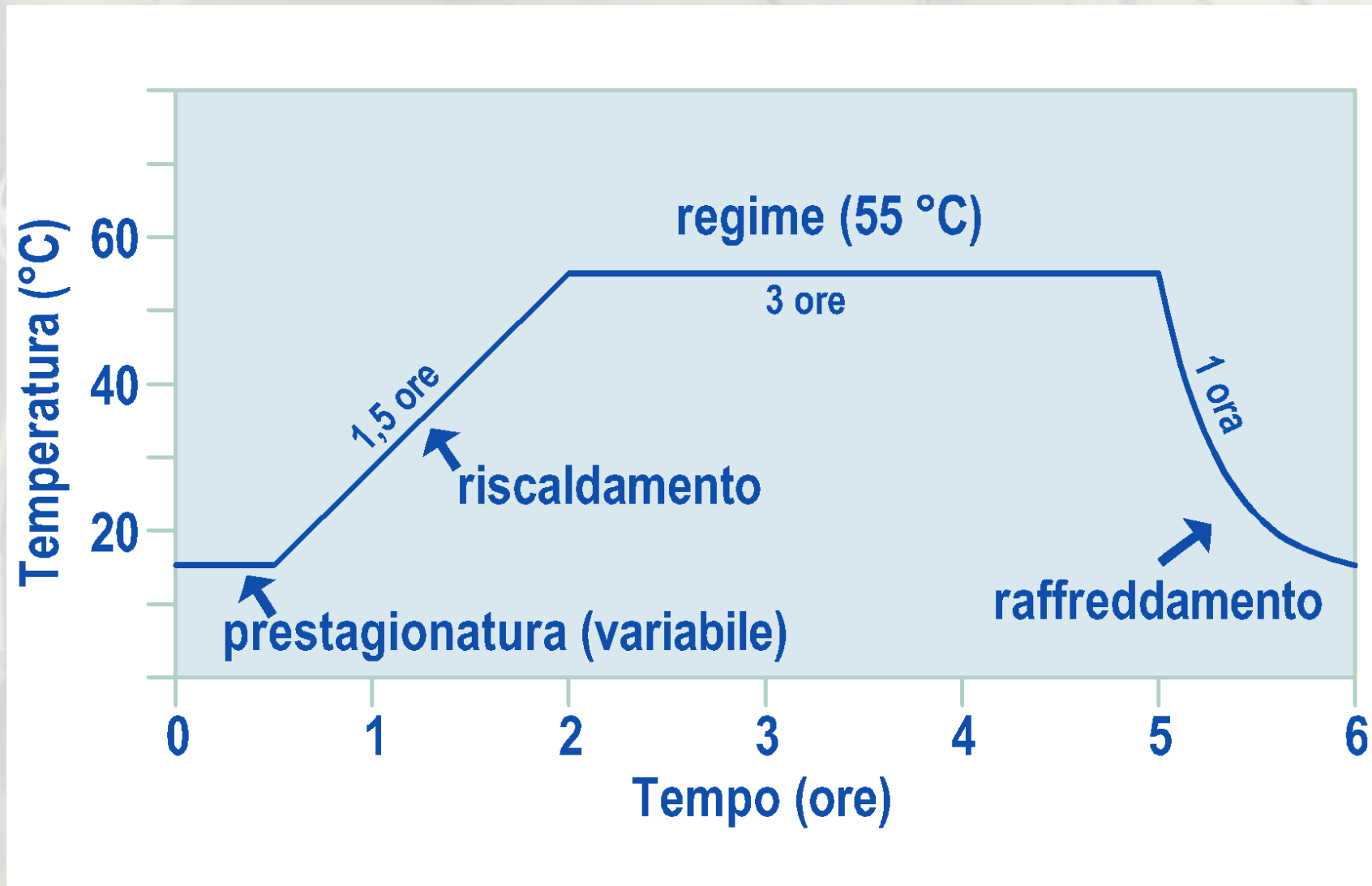


### 3.

## Calcestruzzo fresco

### 3.2 Maturazione accelerata mediante l'uso del vapore

#### Fasi del Ciclo Conci



## 4. Controllo di qualità e del processo di prefabbricazione

### Controllo di qualità

Implementazione di misure di controllo qualità  
**PROGETTAZIONE → PRODUZIONE → INSTALLAZIONE**

Test periodici dei materiali

Ispezione dei segmenti finiti

Monitoraggio dei processi di produzione





### Ottimizzazione energetica

Utilizzo di miscele di calcestruzzo a basse emissioni di anidride carbonica.

### Riduzione degli sprechi

- utilizzo di materiali riciclati
- ottimizzazione dei processi di produzione

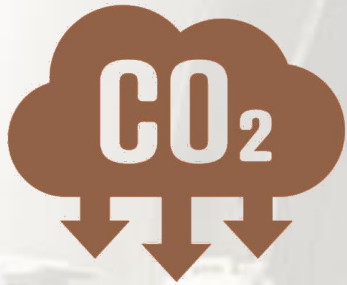
### Riduzione impatto ambientale complessivo



## 4. Controllo di qualità e del processo di prefabbricazione

**Impatto ambientale:  
Ulteriore riduzione dell'impronta di carbonio**

- utilizzo di materiali di provenienza locale
- ottimizzazione dei percorsi di trasporto



### Ottimizzazione dei costi

- Riduzione delle quantità di materiali necessari
- Efficientamento dei processi produttivi → riduzione manodopera
- Massimizzazione dell'utilizzo delle apparecchiature



## 5. Criticità nella messa in opera

### Conseguenze di una finitura difettosa nell'interazione con lo scavo

Controlli qualità in fase di messa in opera

#### ↳ Verifica corretta installazione

- ispezioni regolari del rivestimento
- test di resistenza e durata dei segmenti



## 5. Criticità nella messa in opera

Conseguenze di una finitura difettosa nell'interazione con lo scavo



## 5. Criticità nella messa in opera

Conseguenze di una finitura difettosa nell'interazione con lo scavo





## 5. Criticità nella messa in opera

Conseguenze di una finitura difettosa nell'interazione con lo scavo



## 5. Criticità nella messa in opera

Conseguenze di una finitura difettosa nell'interazione con lo scavo



## 5. Criticità nella messa in opera

Conseguenze di una finitura difettosa nell'interazione con lo scavo



## 5. Criticità nella messa in opera

Conseguenze di una finitura difettosa nell'interazione con lo scavo



## 5. Criticità nella messa in opera

