



COLLEGIO
DEI TECNICI DELLA
INDUSTRIALIZZAZIONE
EDILIZIA

www.cte-it.org

in collaborazione con



ASSOCIAZIONE
ITALIANA
CALCESTRUZZO
ARMATO
E PRECOMPRESSO

www.associazioneaicap.it

Seminario on line
[ore 14.30-18.10]
12/13 Ottobre 2023

TECNICHE TRADIZIONALI E INNOVATIVE PER LA RIQUALIFICAZIONE DI STRUTTURE ESISTENTI IN CALCESTRUZZO ARMATO

con il patrocinio di



con il contributo incondizionato di

kerakoll

MEDIA PARTNER



Il degrado nel c.a. e le corrette tecniche applicative per il ripristino strutturale

12.10.2023 – Relatore: Paolo Girardello

The information contained in this document is classified and confidential, except for that intended for promotional purposes by their very nature or by express indication of Kerakoll S.p.A.; any use, copying, sharing or disclosure not previously authorized is prohibited.

kerakoll

Agenda

1. Il degrado del calcestruzzo armato
2. La progettazione del ripristino
3. Il ripristino
4. Casi studio

1. Il degrado del c.a.

Le Cause



Chimico

- Anidride carbonica
- Cloruri
- Solfati
- Solfuri

Fisico

- Gelo-Disgelo
- Ritiri
- Incendio
- Calore di idratazione

Meccanico

- Sisma
- Urto
- Abrasione
- Erosione

Il calcestruzzo «invecchia»

A causa della presenza del Cemento Portland qualsiasi conglomerato cementizio:

- **Degrada** nel tempo, a causa dei suoi elementi costituenti
- **Fessura**, per la sua proprietà intrinseca di ritirare



Il degrado nel c.a.



Opera «nuova»

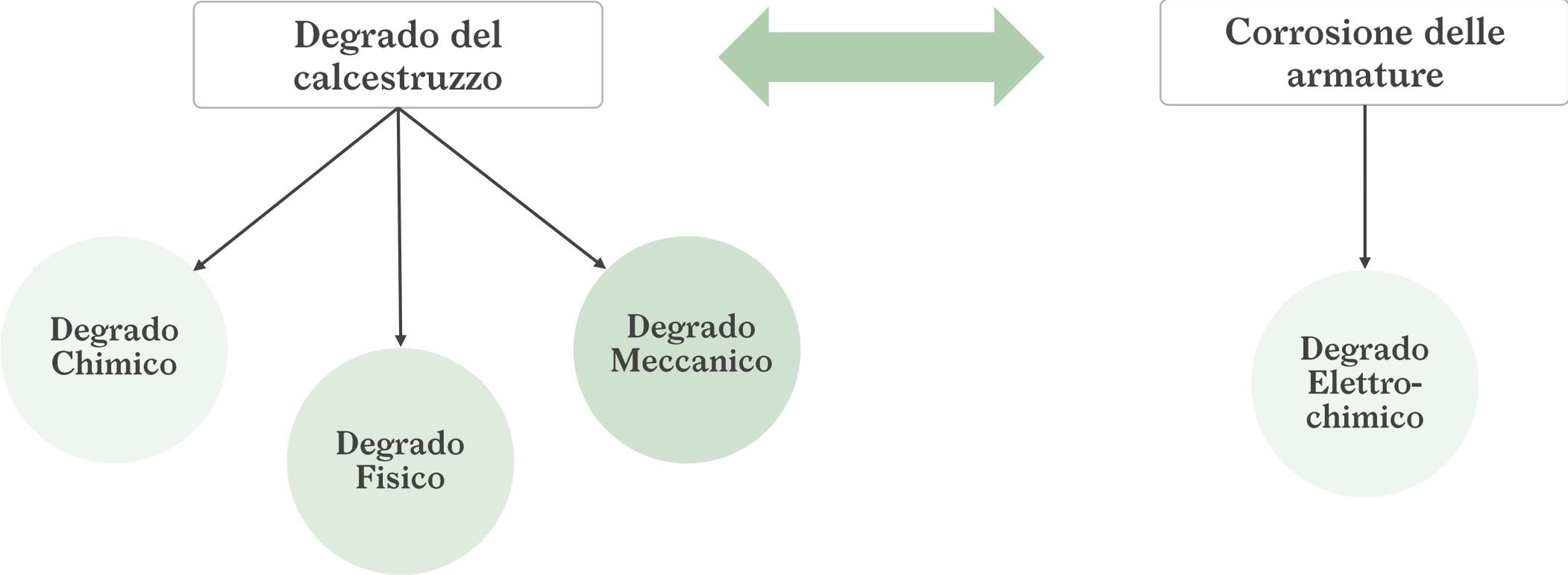
Primo degrado



Opera già ripristinata

Secondo degrado

La corrosione dei ferri di armatura



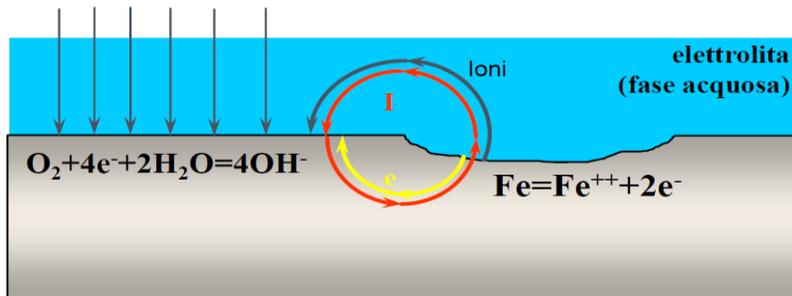
Meccanismo elettrochimico della corrosione

Alta velocità di corrosione

Se tutti i processi possono avvenire velocemente

Bassa velocità di corrosione

Se almeno un processo non può avvenire o avviene con difficoltà

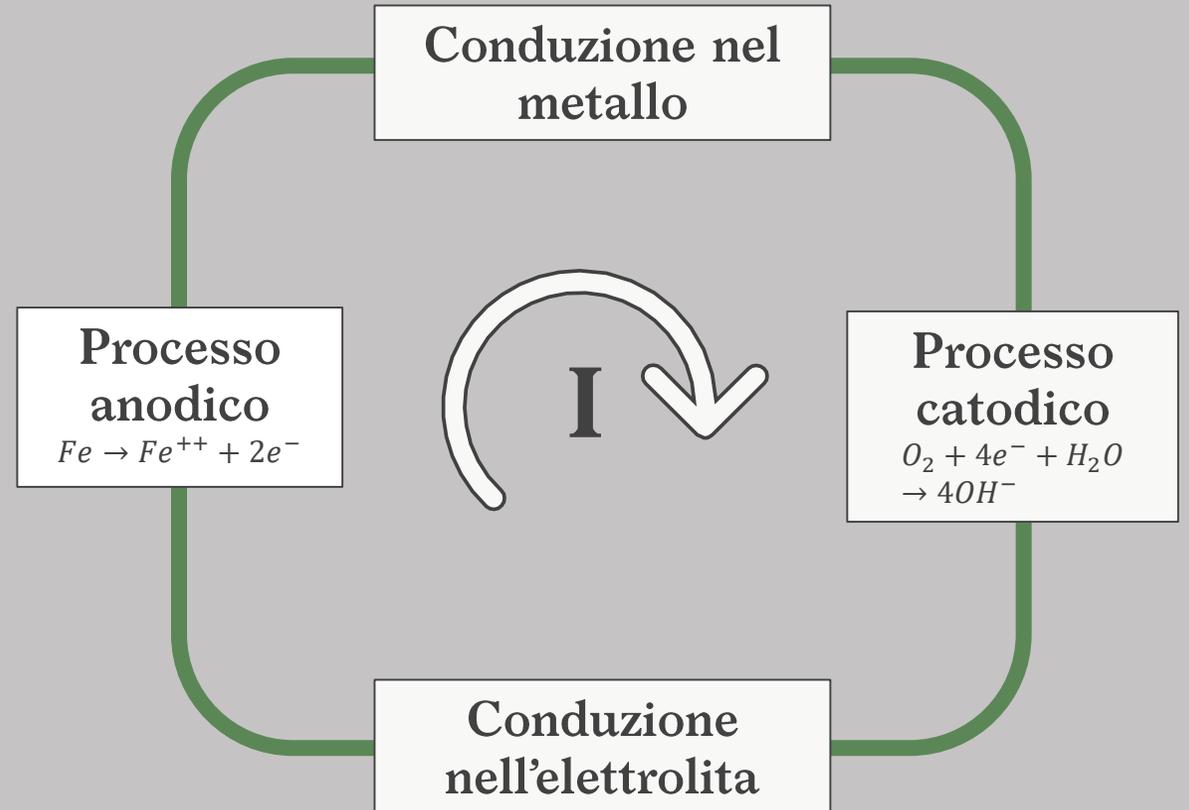


CATODO

Consumo di elettroni

ANODO

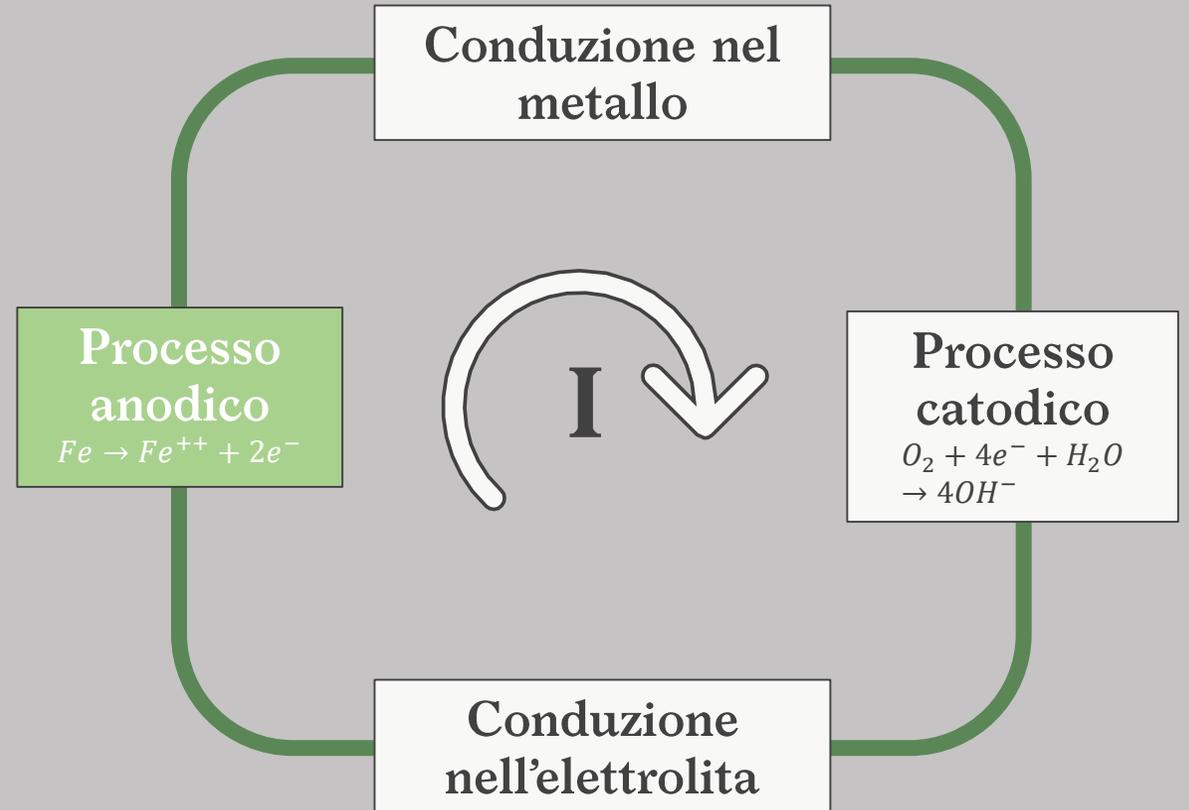
Ossidazione del metallo
con liberazione elettroni



Acciaio passivante

→ Materiali resistenti alla corrosione

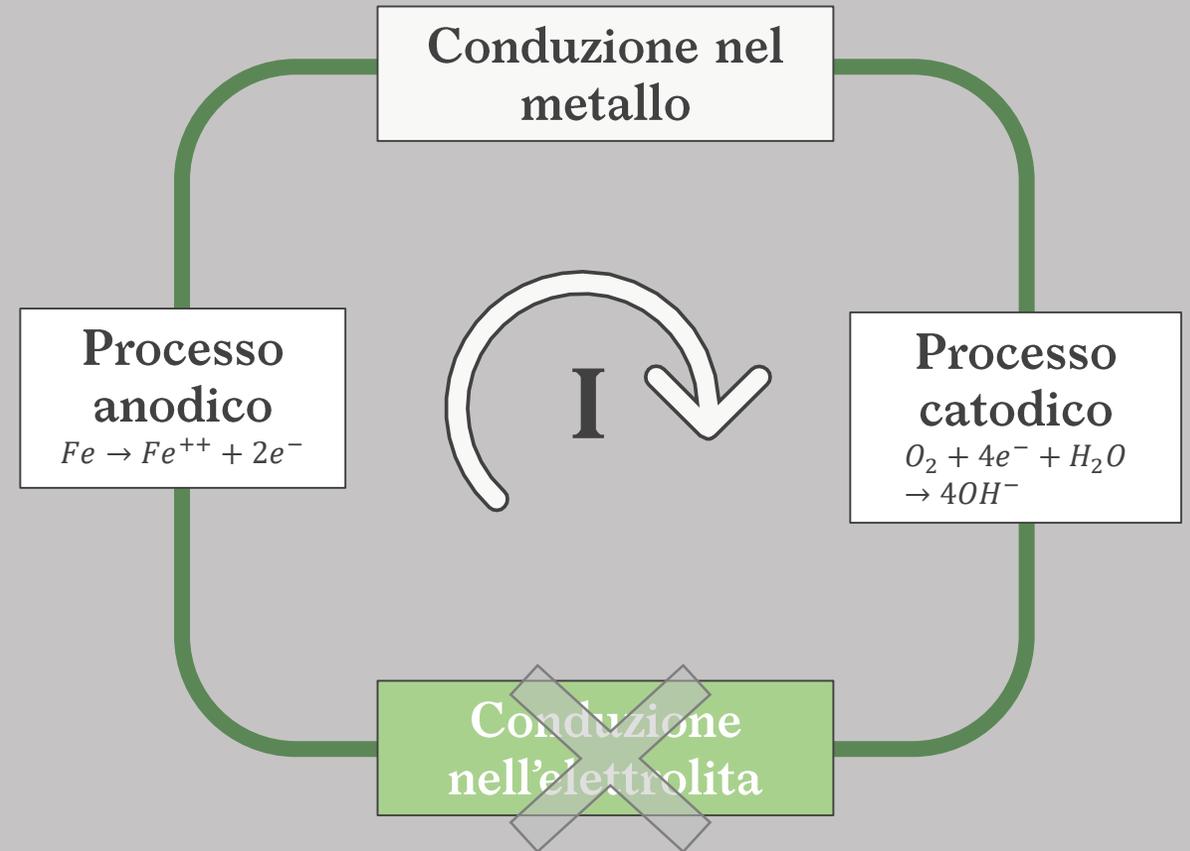
→ Armature poste in calcestruzzo tradizionale con cemento portland ($13 > \text{pH} > 10.5$)



Meccanismo elettrochimico della corrosione

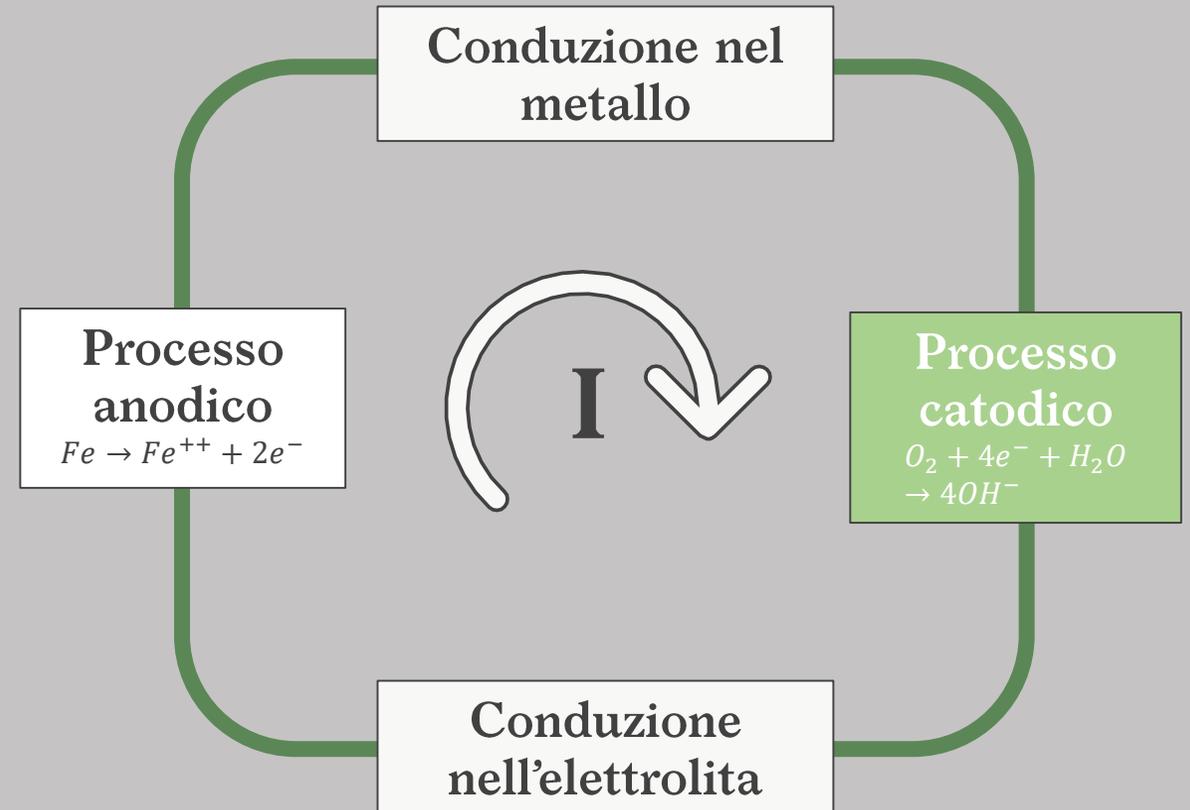
Atmosfera secca

- NO acqua = No corrosione umida
- Matrici a bassa umidità riduce la velocità del processo anche in presenza di matrici non alcaline



CLS saturi d'acqua

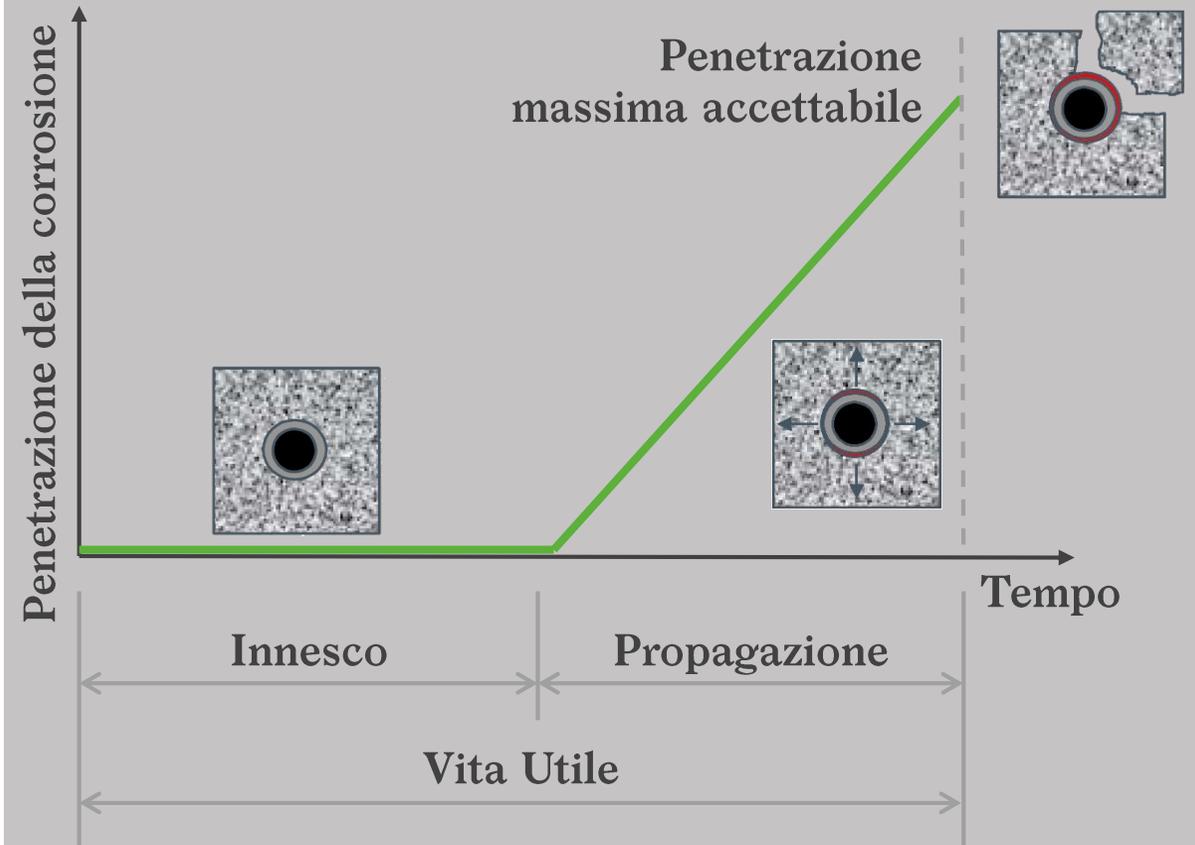
→ Diffusione Ossigeno limitata = Rallentamento



Vita utile in relazione in relazione alla corrosione

La passivazione può venir meno a seguito di:

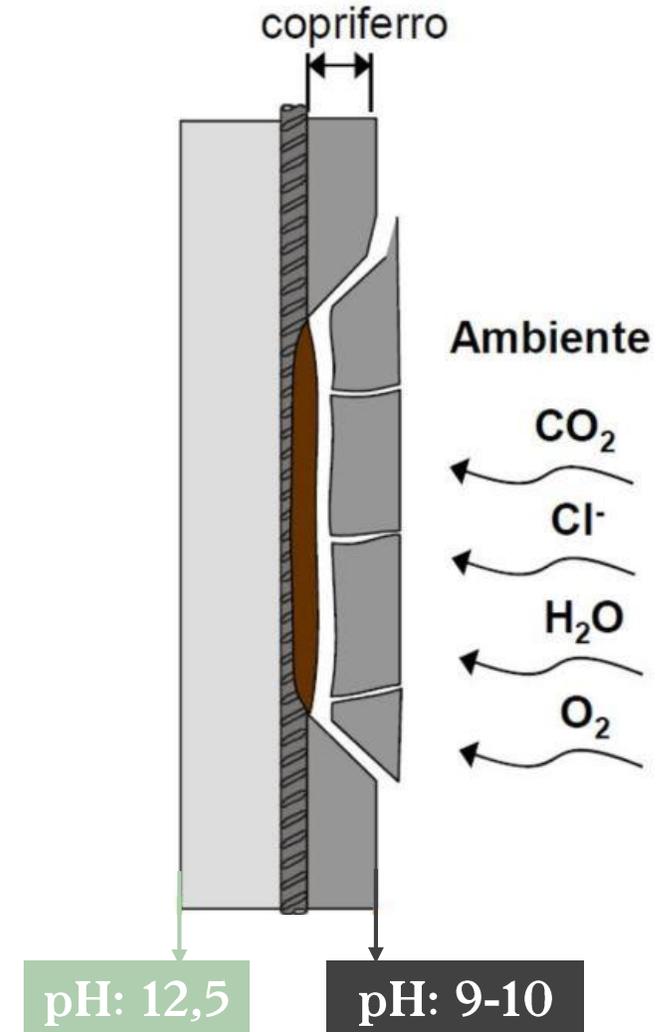
- neutralizzazione dell'alcalinità (carbonatazione)
- penetrazione dei cloruri



Fonti: Tuutti K., "Corrosion of steel in concrete", Swedish cement and concrete institute (CIB), No: 4-82, Stockholm, 1982.

Il degrado del copriferro

- **Abbassamento** del pH del cls per effetto della carbonatazione della calce libera;
- Con l'abbassamento del pH lo strato di ossido protettivo non è più stabile ed inizia l'ossidazione **degenerativa** del ferro;
- **L'espansione** del ferro esercita una forza tale da fare saltare lo strato di copriferro;
- Se presenti, i sali cloruro agiscono a seguito del degrado del copriferro sui ferri di armatura attraverso l'aggressione concentrata dell'ossido protettivo e la **corrosione puntuale** (pitting) del ferro metallico.



La carbonatazione

Prima legge di Fick

$$x = K_{CO_2} \cdot \sqrt{t^*}$$

- X [mm] = spessore di calcestruzzo carbonatato;
- t^* [anni] = tempo effettivo di esposizione alla CO_2 ;
- K_{CO_2} [mm/anno^{1/2}] = costante di diffusione della CO_2 ;

Validità

- U.R. = 50 - 70%; **NON ESPOSTE** direttamente all'acqua piovana; **NON INTERESSATE** dal RUSCELLAMENTO DELL'ACQUA
- Se i pori sono saturi d'acqua la velocità di penetrazione diminuisce (ma potrebbero innescarsi altri tipi di degrado).



La carbonatazione

NORMA UNI 9944

- Riferimento alla norma
- Data e luogo del prelievo
- Orientamento superficie esposta e tipo di esposizione (secondo UNI 8981/5)
- Descrizione dello stato del calcestruzzo
- Profondità e distribuzione della carbonatazione



Zona
CARBONATATA
pH < 9

Zona NON
CARBONATATA
pH > 9

Azione dei cloruri

NaCl

CaCl₂

FERRI
ARMATURA

Corrosione
localizzata

Corrosione
localizzata

CLS

Reazione
alcali-aggregati

Prodotti
espansivi



Azione dei cloruri

Prova non normata

- Risultato rapido
- Empirico
- Dato qualitativo

1. NaOH al 10% per alcalinizzare la superficie;
2. Fluoresceina (1 g/L) e Nitrato di argento (17 g/L) alternativamente;
3. Consigliabile esporre alla luce solare i provini trattati.



2. La progettazione del ripristino

La progettazione del ripristino e del rinforzo

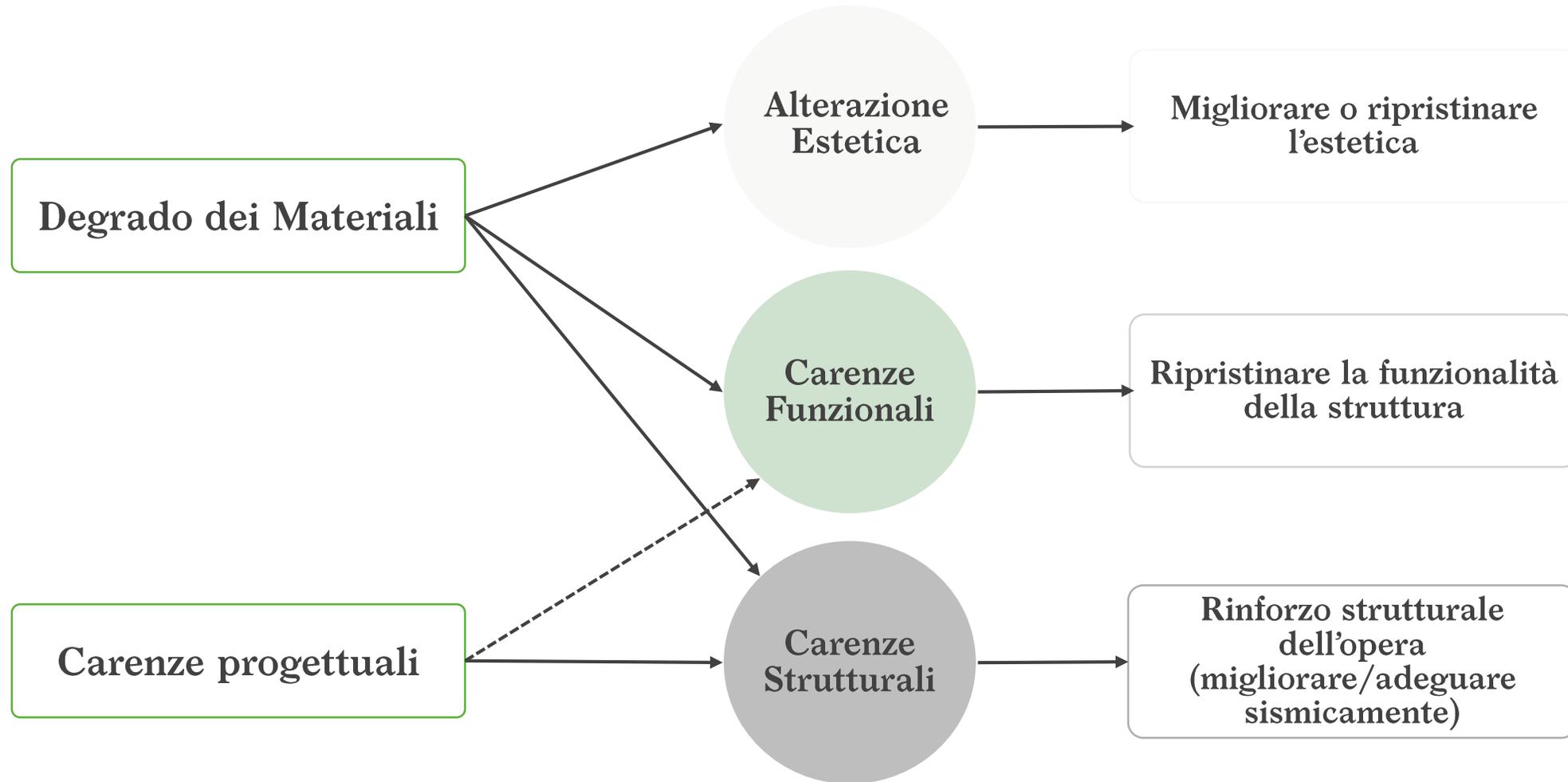


Analisi e definizione degli obiettivi

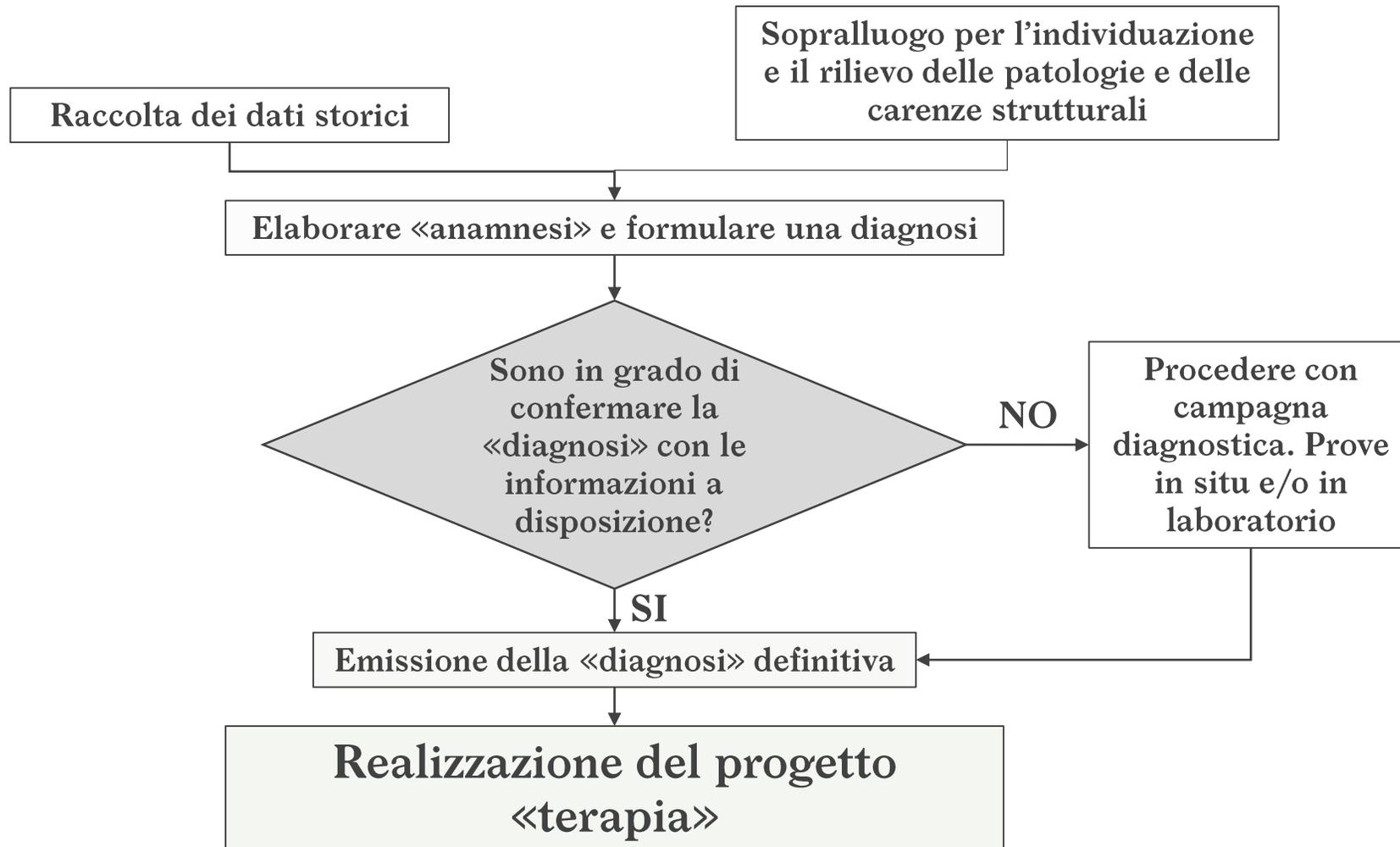


Il medico con la persona

Cause e criticità



L'analisi

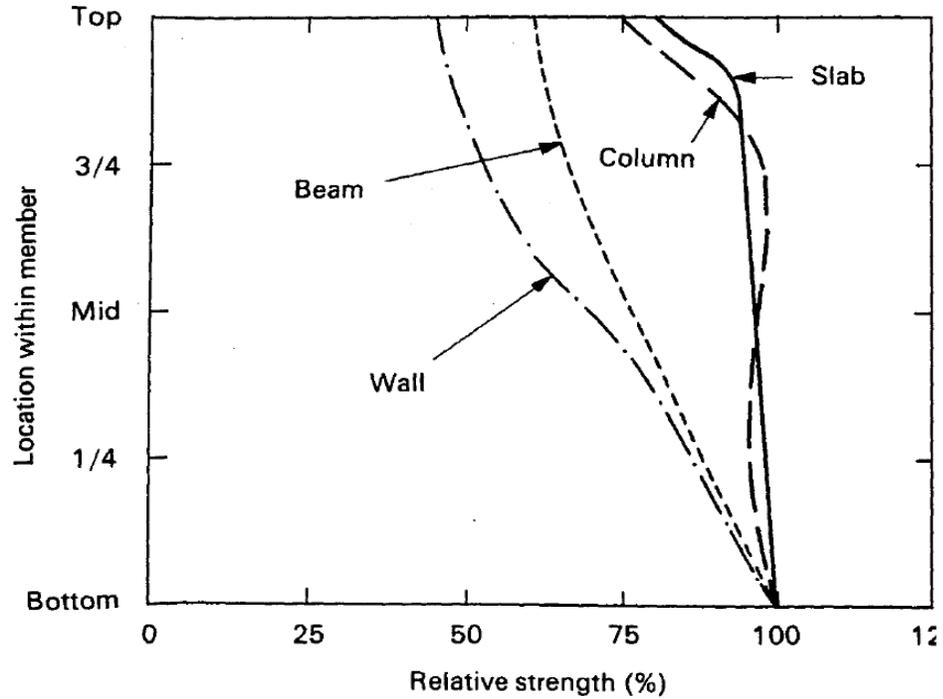


Compressione su provini cilindrici in cls

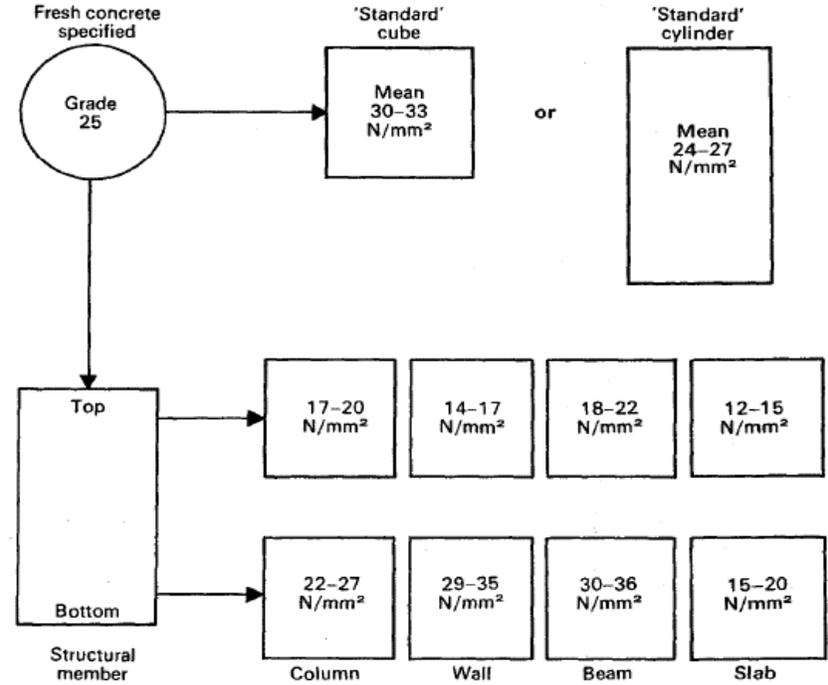


Trazione su elementi in acciaio

Campagna diagnostica



Variabilità della resistenza a compressione in un elemento in c.a.



Relazione tra resistenza su provini standard e in-situ

Normativa di riferimento

EN 1504

Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo



PROGETTISTA

Prescrive i materiali conformi alla norma EN 1504 con Marcatura CE



IMPRESA ESECUTRICE

è obbligata ad utilizzare solo materiali provvisti di Marcatura CE in accordo alla EN 1504



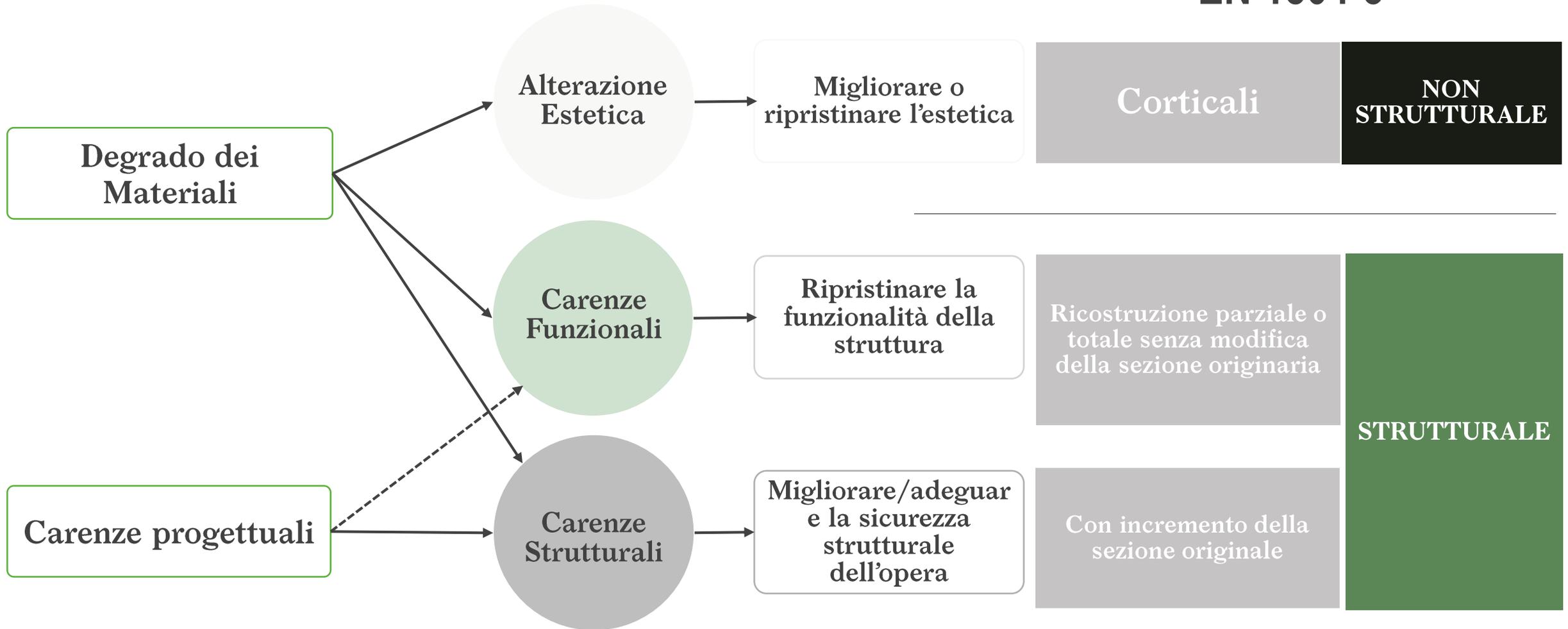
DIREZIONE LAVORI

è obbligata ad accettare (ed autorizzare) per l'esecuzione degli interventi di ripristino e consolidamento soltanto materiali provvisti di Marcatura CE in accordo alla EN 1504

Normativa di riferimento

	EN 1504-1	DEFINIZIONI	
→	EN 1504-2	SISTEMI DI PROTEZIONE DELLA SUPERFICIE DI CALCESTRUZZO	
→	EN 1504-3	RIPARAZIONE STRUTTURALE E NON STRUTTURALE	PRODOTTI
	EN 1504-4	INCOLLAGGIO STRUTTURALE	
	EN 1504-5	INIEZIONE DEL CALCESTRUZZO	
	EN 1504-6	ANCORAGGIO DELL' ARMATURA D' ACCIAIO	
→	EN 1504-7	PROTEZIONE CONTRO LA CORROSIONE DELLE ARMATURE	
	EN 1504-8	CONTROLLO DI QUALITA' E VALUTAZIONE DELLA CONFORMITA'	
	EN 1504-9	PRINCIPI GENERALI PER L' UTILIZZO DEI PRODOTTI E DEI SISTEMI	PRINCIPI E APPLICAZIONI
→	EN 1504-10	APPLICAZIONE IN OPERA DI PRODOTTI E SISTEMI E CONTROLLO DI QUALITA'	

EN 1504-3



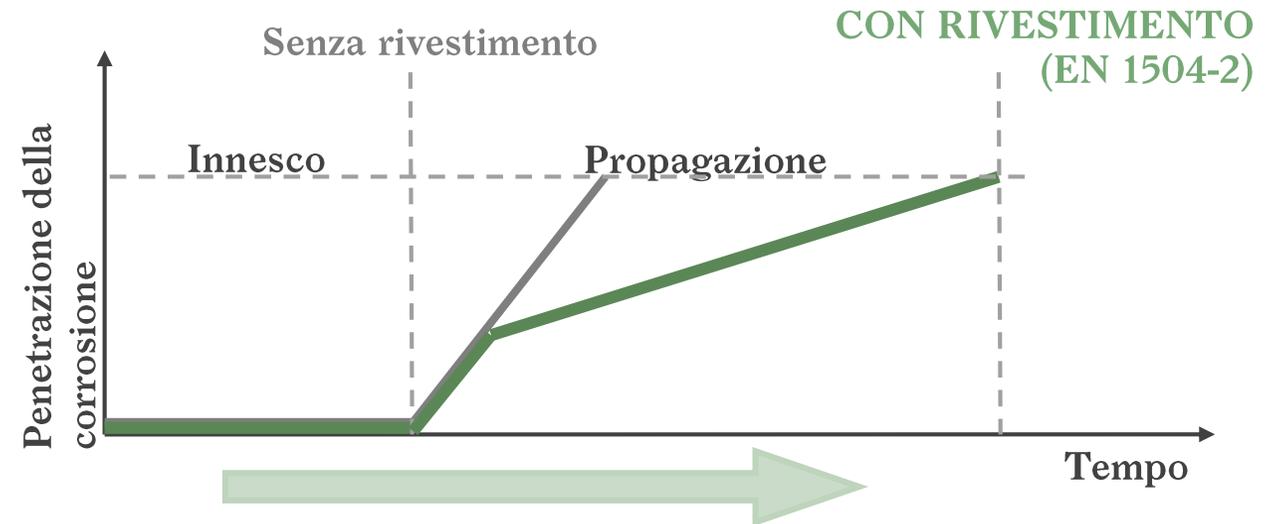
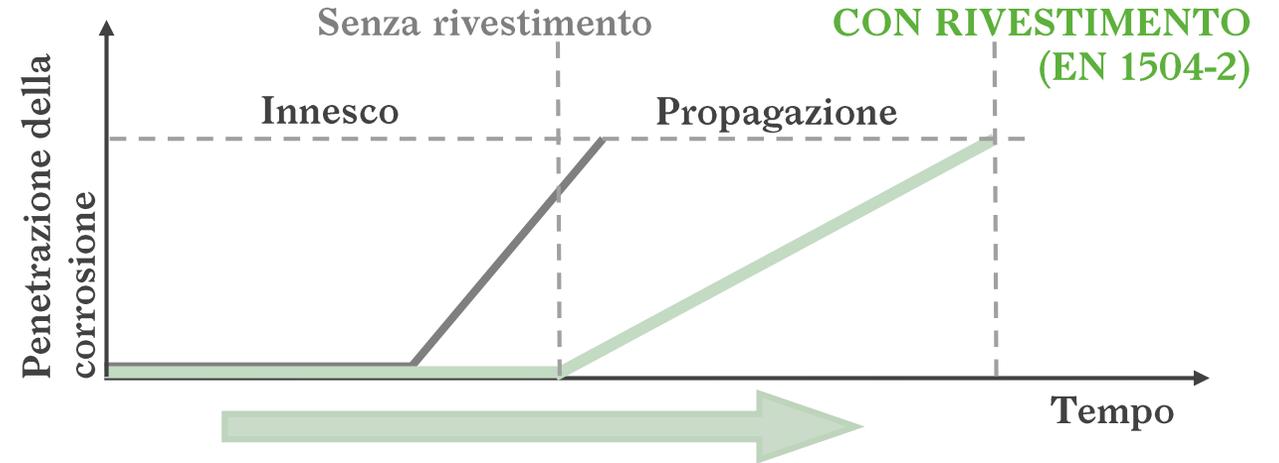
Scenari d'intervento

Situazione ideale

Intervengo con manutenzione programmata prima dell'evidenziarsi della problematica;

Situazione intermedia

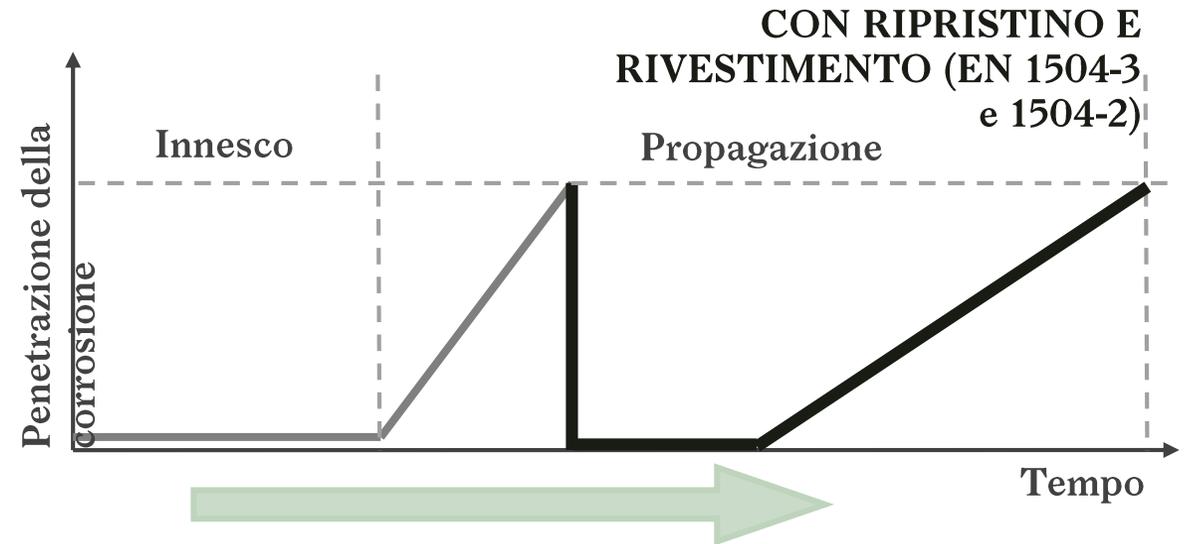
Intervengo prima dell'evidenziarsi della problematica, ma ad innesco avvenuto



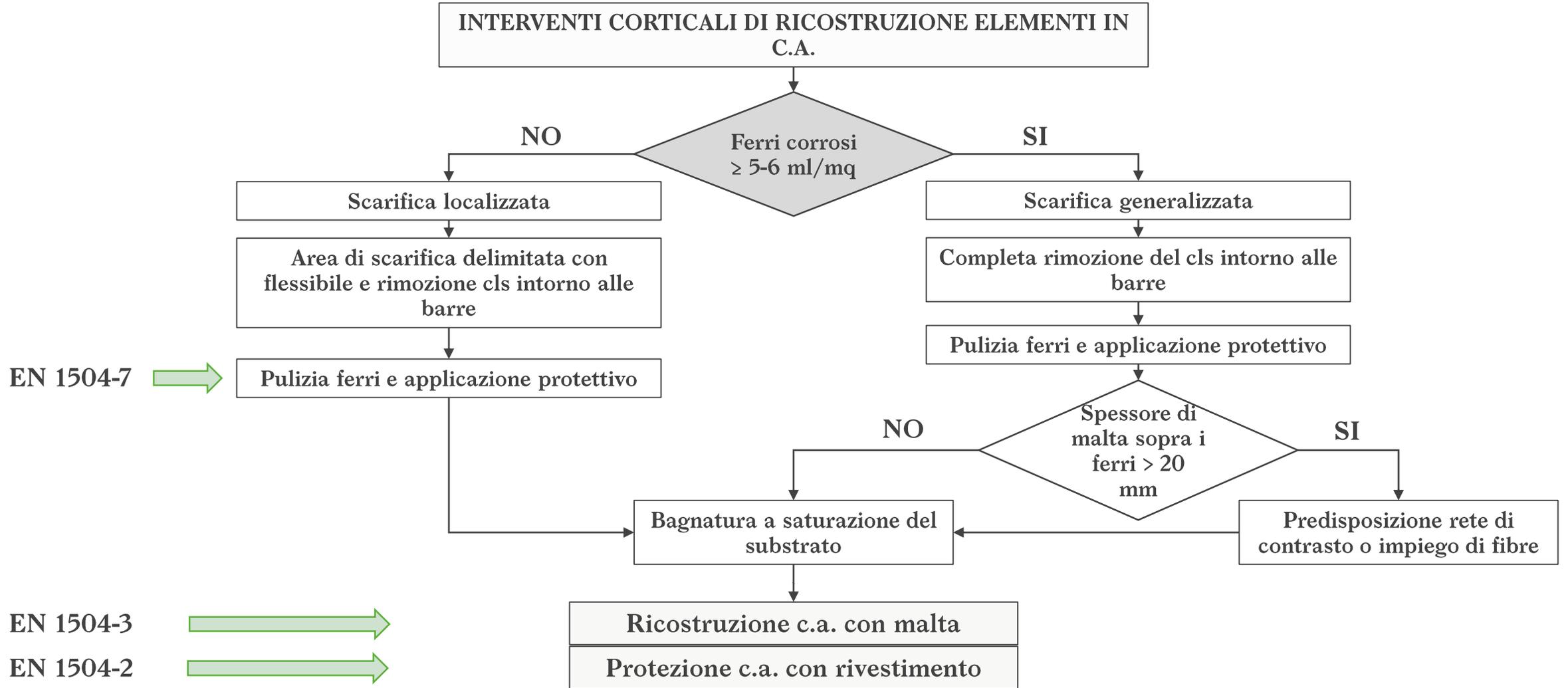
Scenari d'intervento

Situazione reale

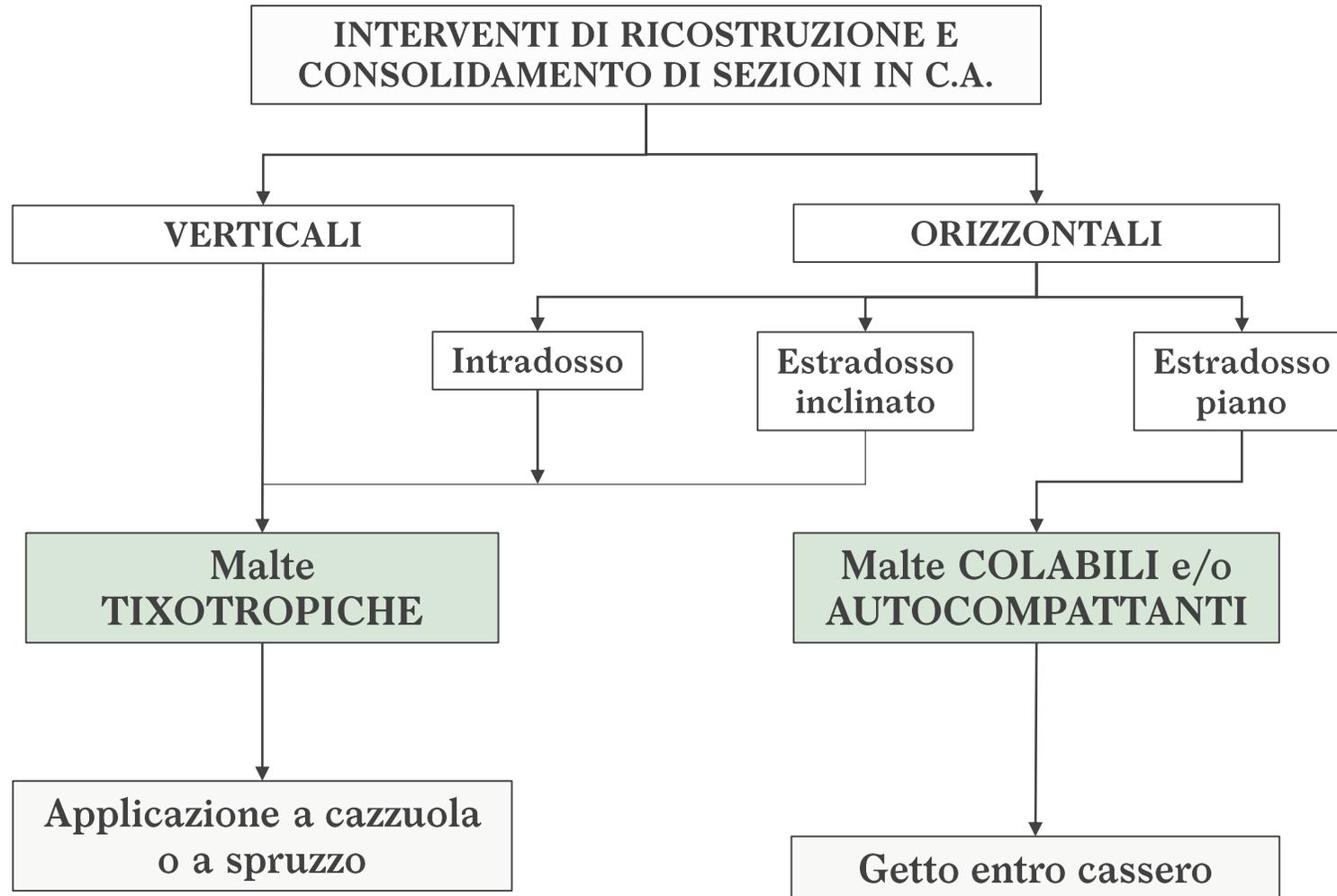
- Aspetto l'evidenziarsi di un problema prima di intervenire;
- Soluzione più costosa;



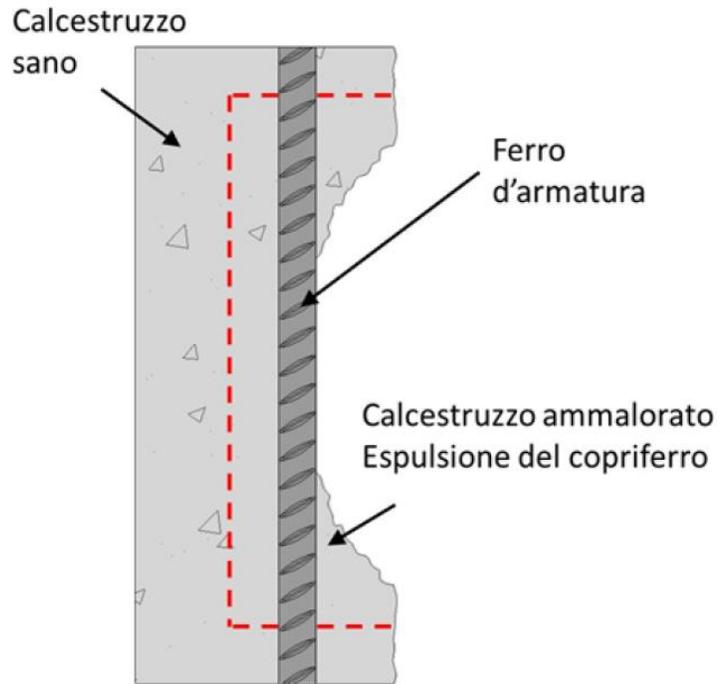
Estensione dell'intervento



Normativa di riferimento EN 1504-3



Preparazione del supporto secondo EN 1504-10



Schema d'intervento



Sabbiatura
Idroscarifica (80-120 bar)
Demolizione meccanica...



Corretta preparazione del supporto

Pulizia delle barre d'armatura secondo EN 1504-10



Pulizia delle barre



Pulizia delle barre



Controllo sulla corretta preparazione

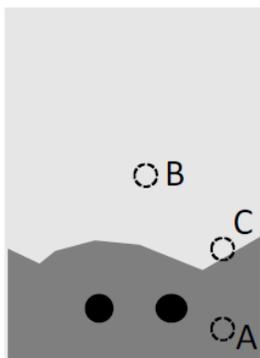
Sperimentazione in collaborazione con UniBo – Efficacia di adeguata preparazione supporto



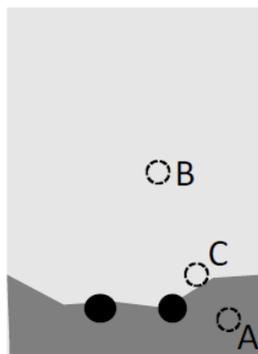
CAMPO I
Armature completamente liberate dal cls e spazzolate per rimuovere la ruggine

CAMPO II
Armature liberate dal cls e spazzolate per rimuovere la ruggine solamente all'intradosso

CAMPO III
Rimozione delle cartelle all'intradosso (e conseguente parziale distacco del cls), ma senza applicazione di alcun trattamento



CAMPO I



CAMPO II

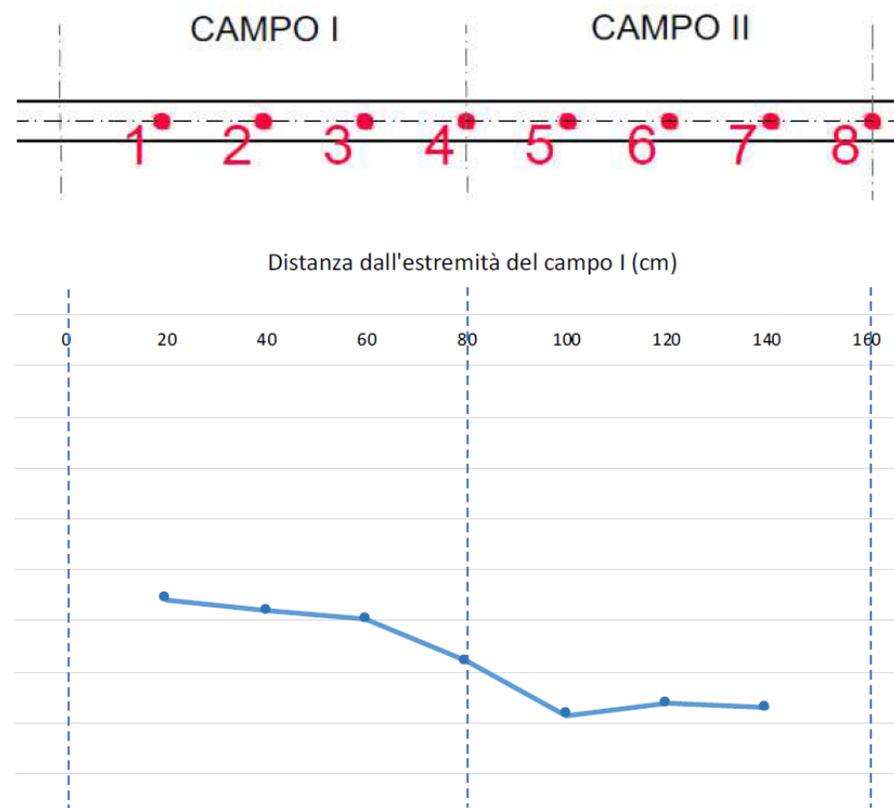


Figura 9. Potenziali di armatura in mV rispetto all'elettrodo standard Cu/CuSO₄ nei punti 1-8.



Estratto norma EN 1504-3



Requisiti prestazionali per prodotti di riparazione strutturali e non strutturali

Punto n°	Caratteristica prestazionale	Substrato di riferimento (EN 1766)	Metodo di prova	Requisito			
				Strutturale		Non strutturale	
				Classe R4	Classe R3	Classe R2	Classe R1
1	Resistenza a compressione	Nessuno	EN 12190	≥ 45 MPa	≥ 25 MPa	≥ 15 MPa	≥ 10 MPa

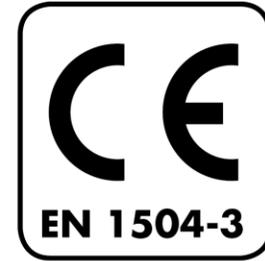
STRUTTURALE (R4 E R3)

Malte che, oltre a ripristinare l'aspetto geometrico di opere in cls armato, devono garantire la durabilità, specie delle armature (punto debole delle strutture in c.a.);

NON STRUTTURALE (R2 E R1)

Malte che ripristinano esclusivamente l'aspetto geometrico di opere in cls non armato (non garantendo la durabilità dei ferri).

Estratto norma EN 1504-3



Requisiti prestazionali per prodotti di riparazione strutturali e non strutturali

Punto n°	Caratteristica prestazionale	Substrato di riferimento (EN 1766)	Metodo di prova	Requisito			
				Strutturale		Non strutturale	
				Classe R4	Classe R3	Classe R2	Classe R1
1	Resistenza a compressione	Nessuno	EN 12190	≥ 45 MPa	≥ 25 MPa	≥ 15 MPa	≥ 10 MPa
2	Contenuto ioni cloruro	Nessuno	EN 1015-17	≥ 0,05%		≥ 0,05%	
3	Legame di aderenza	MC(0,40)	EN 1542	≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa ^{a)}	
4	Ritiro/espansione impediti ^{b) c)}	MC(0,40)	EN 12617-4	Forza di legame dopo la pro-		≥ 0,8 MPa ^{a)}	Nessun requisito
				≥ 2,0 MPa ^{a)}	≥ 1,5 MPa ^{a)}		
5	Resistenza alla carbonatazione ^{f)}	Nessuno	EN 13295	$d_k \leq$ calcestruzzo di controllo [MC(0,45)]		Nessun requisito ^{g)}	

Resistenza alla carbonatazione: Test con «fenoftaleina»

- Le **malte strutturali R3 e R4** ricostruiscono e proteggono le opere in calcestruzzo armato
- Le **malte non strutturali R1 e R2** servono esclusivamente per ricostruire la geometria del cls, in quanto **non resistenti alla CO₂** e alle sostanze aggressive. La protezione del cls è affidata a 200 micron di pittura elastomerica

Geolite



Malta R2



3. Il ripristino

L'intervento di ripristino tradizionale



4 prodotti, 4 strati, 4 fasi applicative, 6 giorni di lavoro

Un maggior numero di fasi comporta un lungo tempo di lavoro e una maggior probabilità di errori.

Il passivante può portare a diverse criticità in cantiere:

- Difficile applicazione esclusivamente su ferro ed agisce da distaccante;
- **Tempi** di operatività molto **rigidi** per la corretta sovrapposizione;
- Spesso lasciato a vista per molto tempo come se fosse protettivo per sempre.



L'intervento di ripristino con Geolite

**2 prodotti minerali, solo 2 fasi applicative,
solo 5 ore di lavoro.**

Geomalta che con una sola applicazione:

- passiva i ferri d'armatura
- ricostruisce e ripristina il calcestruzzo
- rasa e regolarizza la superficie
- protegge dall'aggressione ambientale

1. Geolite



Geopittura che:

- decora e protegge
- garantisce la continuità monolitica dell'intero ripristino
- assicura una traspirazione continuativa

2. Geolite Microsilicato



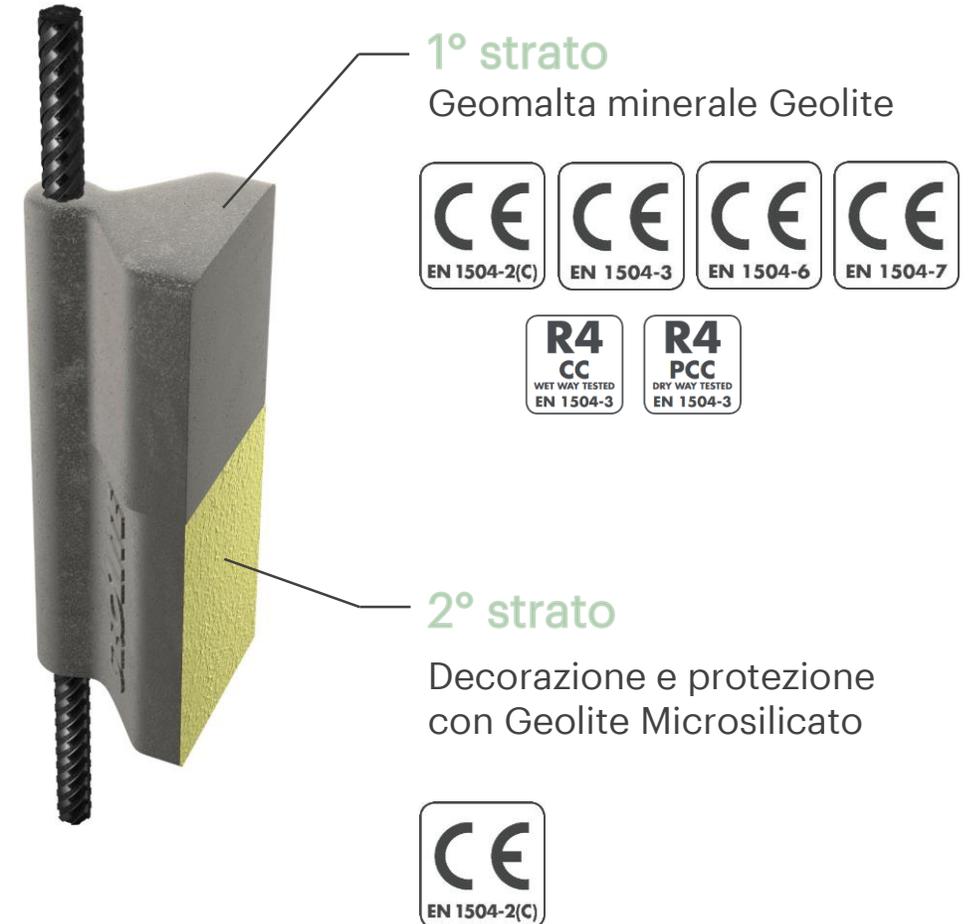
2 prodotti, 2 fasi applicative, 5 ore di lavoro

Geolite passiva, ricostruisce, regolarizza e protegge: nasce il primo ripristino monolitico del calcestruzzo per cristallizzazione

Ciclo applicativo tradizionale vs. ciclo applicativo Geolite



Intervento tradizionale



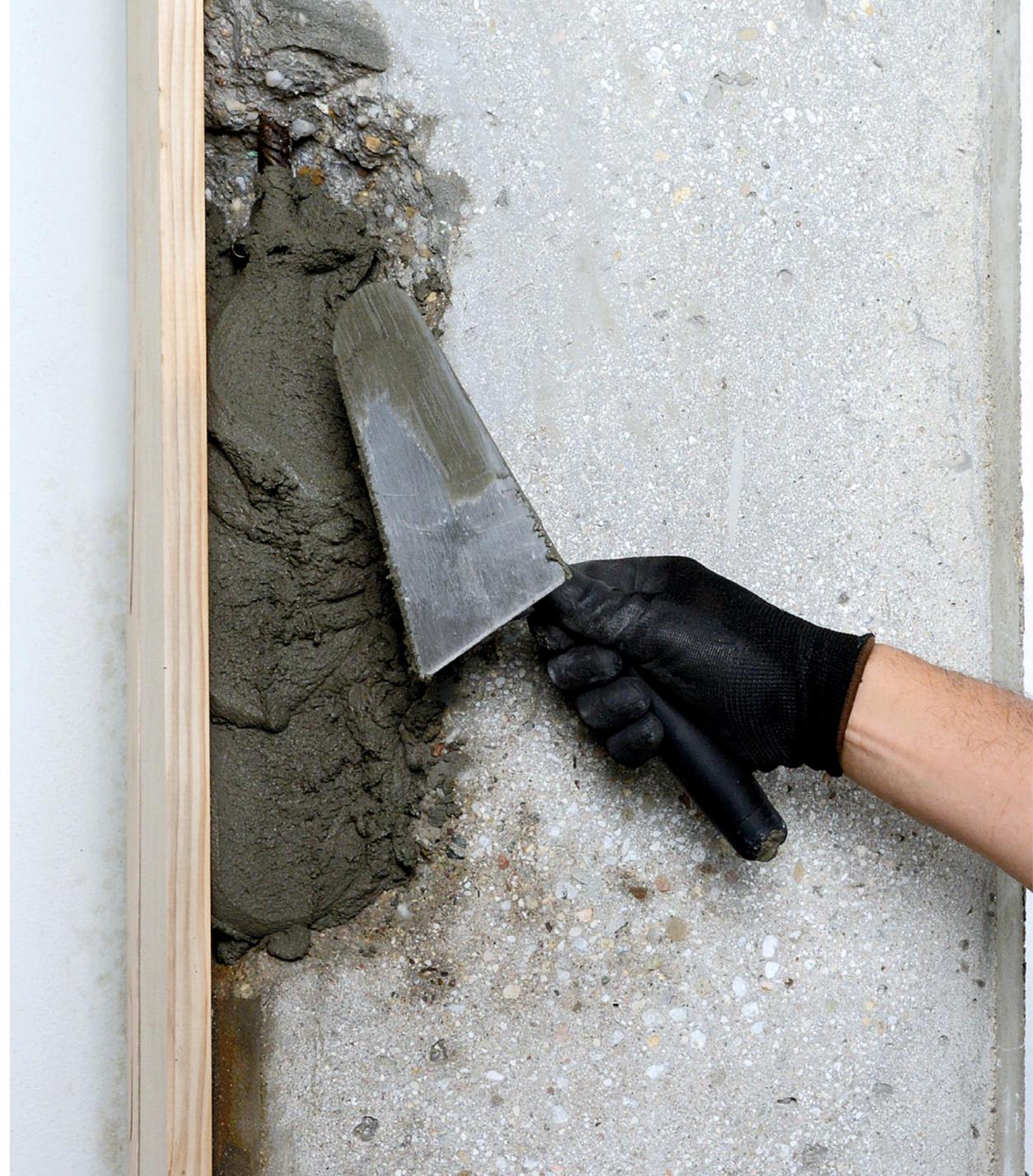
Intervento **monolitico** con Geolite

Le geomalte tixotropiche Geolite

Geolite semplifica la manutenzione delle strutture in C.A.

- **Innovativa:** supera i limiti delle vecchie malte polimero-cemento
- **Facile da applicare:** grazie alle straordinarie caratteristiche di lavorabilità
- **Sicura** grazie all'assenza di ritiro e fessurazioni in tutte le condizioni di cantiere

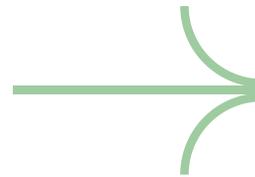
kerakoll



L'unica malta tixo certificata a ritiro 0



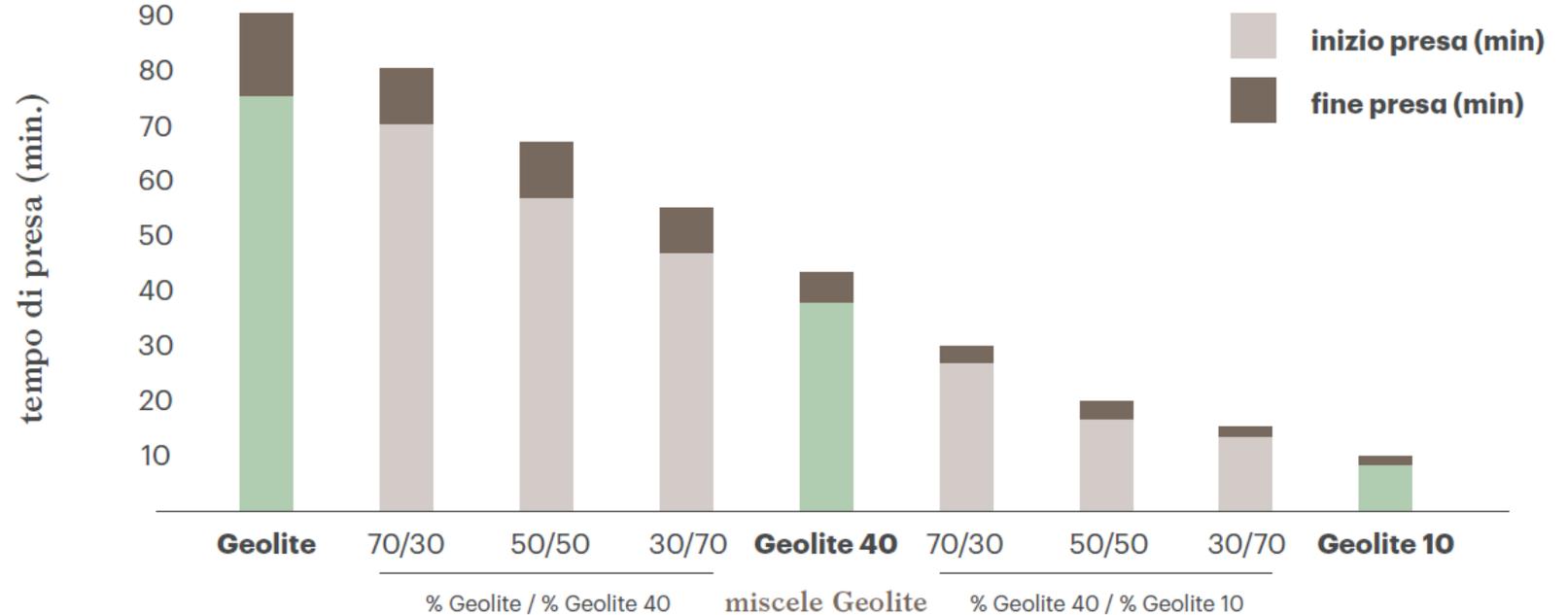
Geolite
Geolite 40
Geolite 10



Un tempo di presa corretto per ogni tipo di necessità

Scegli il tempo di presa

Geolite garantisce le migliori performance tecniche e può essere personalizzato nel tempo di presa per risolvere con successo ogni esigenza applicativa di cantiere.



interventi estesi
applicazione meccanizzata
normale messa in servizio

interventi localizzati
applicazione manuale
rapida messa in servizio

Le geomalte tixotropiche Geolite Magma

Fluidità e prestazioni dei prodotti

Geolite Magma

- Eccezionale fluidità in totale assenza di segregazione
- Specifico per tutte le esigenze di cantiere di ripristino e consolidamento in cassero
- Ideale per ancorare e fissare elementi metallici
- Due diversi tempi di presa (60 e 20 minuti)

kerakoll



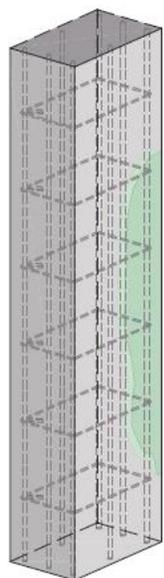
4. Casi studio

Tavola 2 - Riprofilatura mediante ripristino monolitico di sezioni in c.a.



Fasi applicative:

- Pulizia e scarifica del supporto
- Applicazione di Geolite previa bagnatura del supporto
- Rasatura superficiale con Geolite
- Protezione decorativa finale con Geolite Microsilicato



1 _____
Preparazione dei supporti.



2 _____
Applicazione di GEOLITE.



3 _____
Rasatura delle superfici con GEOLITE.



4 _____
Protezione con GEOLITE MICROSILICATO.

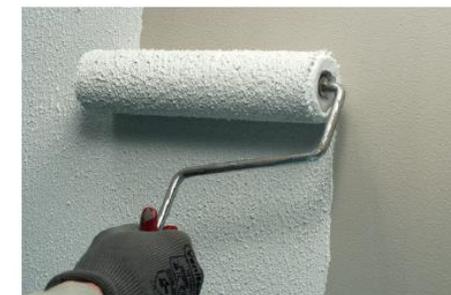


Tavola 2 - Riprofilatura

Analisi del degrado e
preparazione del
supporto

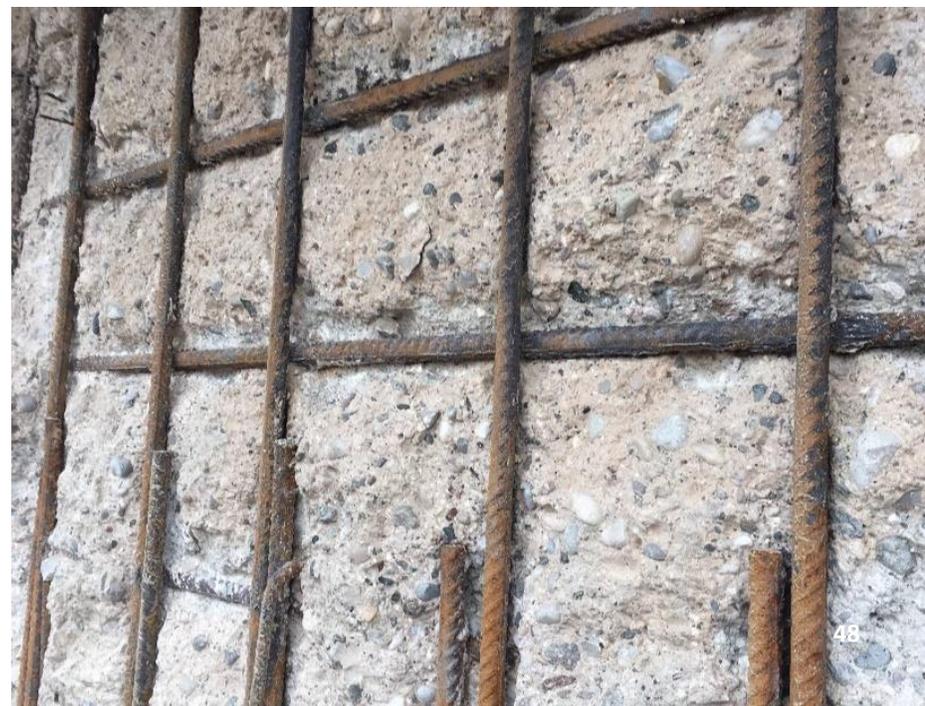


Tavola 2 - Riprofilatura

Applicazione prima
mano di Geolite



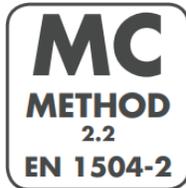
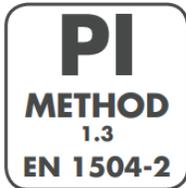
Tavola 2 - Riprofilatura

Applicazione seconda
mano di Geolite

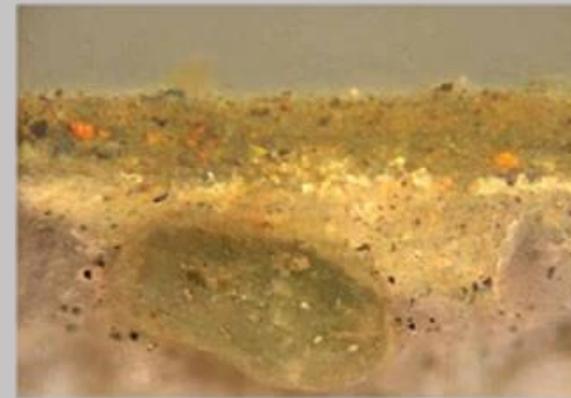


Geolite Microsilicato

- Decorazione minerale che garantisce una protezione superiore rispetto alle tradizionali pitture elastomeriche
- Traspirante e protettivo
- Qualità estetica di alto pregio in assenza di invecchiamento
- Applicazione dopo 4 ore su Geolite 10 e 40



kerakoll



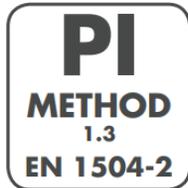
Geolite Microsilicato
(Monolitico)



Pittura elastomerico

Bioscud Artic

- Impermeabilizzazione decorativa con flessibilità permanente fino a -40 °C
- Facile applicazione anche a basse temperature (-5 °C) ed elevatissima umidità ambientale
- Certificato per Cool Roof (colore bianco)
- Idoneo per il contenimento acqua e resistente ai raggi UV
- Utilizzato nel ripristino del c.a.



Rivestimento ad azione osmotica

Kerabuild Osmocem

- Certificato per utilizzo a contatto con acqua potabile
- Resistenza all'abrasione
- Utilizzato nel ripristino del c.a. e murature

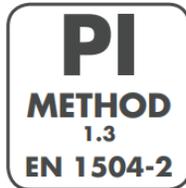
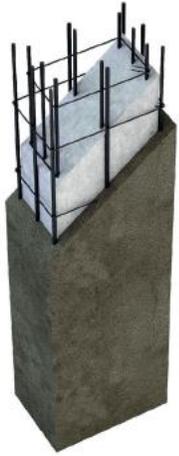
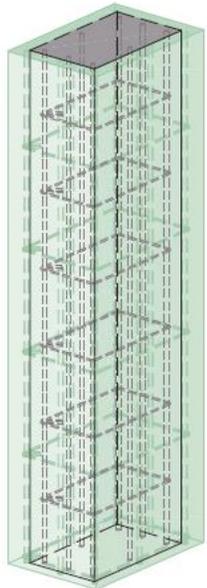


Tavola 3A - Rinforzo mediante aumento di sezione e armatura integrativa



Fasi applicative:

- Pulizia e scarifica del supporto
- Installazione armatura integrativa
- Posizionamento della cassetta
- Getto di Geolite Magma
- Rimozione casseri
- Protezione decorativa con Geolite Microsilicato



1

Preparazione dei supporti.



2

Armatura integrativa.



3

Posizionamento dei casseri.



4

Getto di GEOLITE MAGMA.



5

Scasseratura dei nuovi getti.



6

Protezione con GEOLITE MICROSILICATO.



Le Malte fluide Geolite Magma



Ringrosso di pilastri e rifacimento base



Inghisaggio di una bitta



Getto su estradosso di un solaio

5. Strumenti e servizi

Supporto per la progettazione e per il cantiere

Sito:

→ strutturale.kerakoll.com

→ Area download

Email

→ strutturale@kerakoll.com

Sistemi di rinforzo strutturale

To build better places to live

**Ripristino, consolidamento, rinforzo strutturale
con tecnologie innovative e certificate**

Il primato di Kerakoll a livello europeo: un'intera gamma di sistemi certificati per il rinforzo e il consolidamento di edifici in cemento armato e muratura.

I sistemi di rinforzo strutturale Kerakoll offrono vantaggi tecnici unici per la loro facilità applicativa, descritta nel manuale tecnico, per la semplicità di calcolo, fornita dall'innovativo software Geoforce One, e per la sicurezza e garanzia certificata a livello nazionale ed internazionale.

