

Presentazione di supporto per i docenti  
di Architettura/Ingegneria civile

## **Capitolo 07A:**

# **Applicazioni strutturali di rebar in acciaio inossidabile**

Vedere anche: [stainlesssteelrebar.org](http://stainlesssteelrebar.org)

La scelta sbagliata del materiale  
può provocare grossi problemi







## Un tipico caso di studio: corrosione dello svincolo autostradale di Turcot a Montreal<sup>1,2</sup>

- Uno svincolo fondamentale tra le autostrade Decarie (Nord-Sud) e Ville Marie (Est-Ovest), costruito nel 1966.
- Oltre 300.000 veicoli al giorno
- Costruito in cemento armato, fortemente corroso oggi dal sale antighiaccio

# Dovrà essere sostituito

- Nonostante i continui interventi di supervisione e riparazione, dovrà essere rimosso o parzialmente sostituito,
  - Costo stimato finora 3000M dollari canadesi.
  - Inoltre, dovranno essere spesi 254M di dollari canadesi per garantire la sicurezza fino alla sostituzione nel 2018
- La durata della struttura sarà di soli 50 anni!



In che modo il cemento armato può essere danneggiato dalla corrosione

# Diffusione di ioni aggressivi (solitamente cloruri) nel cemento:

Fasi<sup>3</sup>:

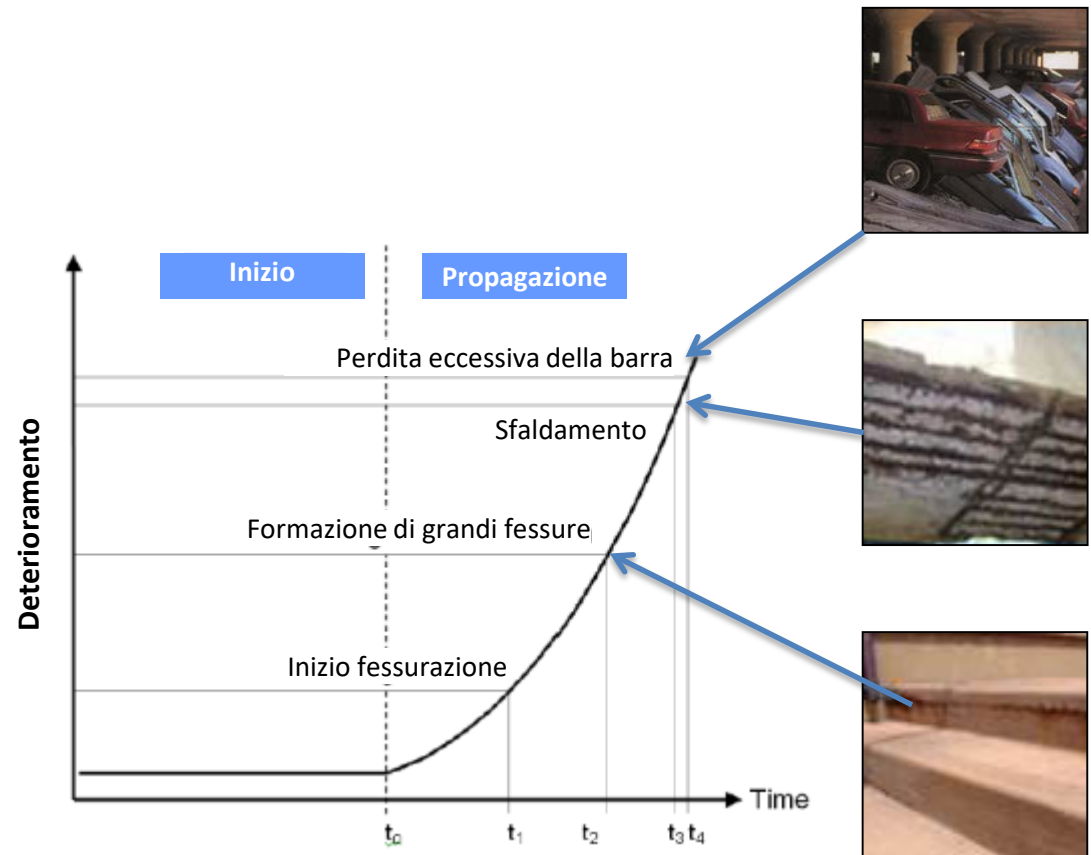
1. Una volta che gli ioni aggressivi raggiungono il rebar in acciaio al carbonio ( $t_0$ ), comincia la corrosione

2. I prodotti di corrosione, che occupano un volume maggiore rispetto all'acciaio, esercitano una pressione verso l'esterno

3. Si verifica una fessurazione nel cemento ( $t_1$ ), facilitando l'accesso ai cloruri

4. Il cemento si sfalda ( $t_3$ ), esponendo l'armatura

5. Se la corrosione viene trascurata, questa continuerà fino a quando l'armatura non potrà più sostenere le sollecitazioni portando al crollo della struttura ( $t_4$ )



# Le fessurazioni nel cemento accelerano la corrosione

Il cemento presenta spesso delle fessurazioni, attraverso le quali gli ioni corrosivi raggiungono velocemente l'acciaio.

Ecco alcune cause di formazione di fessurazioni (rif. 4).

Notare che le fessurazioni non si verificano immediatamente e si presenteranno anche in aree nascoste, dove non potranno essere riparate.

	Forma della fessurazione	Causa principale	Tempo di comparsa
Assestamento plastico	Nella parte superiore e allineata con il rinforzo in acciaio	Tipo di fessurazione	10 minuti - tre ore
Ritiro plastico	Diagonale o casuale	Eccessiva evaporazione precoce	30 minuti - sei ore
Espansione e contrazione termica	Trasversale (esempio: nella pavimentazione)	Generazione di calore o gradienti di temperatura eccessivi	Un giorno - due/tre giorni
Ritiro per essiccazione	Trasversale o in rete	Presenza eccessiva di acqua nell'impasto; cattivo posizionamento dei giunti; giunti troppo distanti tra loro	Settimane - mesi
Congelamento e scongelamento	Parallelo alla superficie del cemento	Aerazione inadeguata; inerte grossolano non durevole	Dopo uno o due inverni
Corrosione dell'armatura di rinforzo	Sopra l'armatura di rinforzo	Rivestimento inadeguato del cemento; ingresso di umidità o cloruro	Più di due anni
Reazione alcali-aggregato	La rete si incrina; fessurazioni parallele ai giunti o ai bordi	Aggregato reattivo più umidità	Normalmente nel corso di cinque anni, ma può capitare molto prima con aggregati altamente reattivi
Attacco solfatico	La rete si incrina	Solfati esterni o interni che favoriscono la formazione di ettringite	Uno - cinque anni



La scelta corretta dei materiali è un buon investimento a lungo termine

## Il pontile di Progreso (1/3)<sup>5,6</sup>



A Progreso, in Messico, è stato costruito un pontile nel 1970.

L'ambiente marino ha corrosa l'armatura in acciaio al carbonio – la struttura è crollata.

## Il pontile di Progreso (2/3)



Il pontile vicino è stato eretto nel 1937 – 1941 usando rebar in acciaio inossidabile.

## Il pontile di Progreso (3/3)



Da allora, non sono stati necessari interventi di manutenzione ed è rimasto intatto.

Oggi, le strutture di ingegneria civile  
di maggior rilievo  
devono durare oltre 100 anni



# Haynes Inlet Slough Bridge, Oregon, USA 2004<sup>7,8</sup>

Un insolito ponte su archi con 400 tonnellate di barre per cemento armato in acciaio inossidabile sul piano stradale.

Per il collegamento per Haynes Inlet Slough, lungo 230 m, si prevede una durata di 120 anni senza interventi di manutenzione.

Anche se l'acciaio inossidabile ha un costo maggiore rispetto a quello dell'acciaio, il costo del ciclo di vita del ponte sarà notevolmente ridotto.





## **Ponte Hong Kong- Zhuhai- Macau <sup>9</sup> (la costruzione iniziò nel 2009, completata nel 2015)**

Il prestigioso progetto della strada rialzata sull'acqua Hong Kong- Zhuhai- Macau è uno dei progetti di ponte più grande al mondo. Il requisito di durata è pari a 120 anni senza manutenzione. Pertanto nelle aree critiche della struttura sono state previste armature di rinforzo in acciaio inossidabile, soprattutto nelle zone degli spruzzi. Alla fine saranno utilizzati 15000TM di acciaio inossidabile.



## **Broadmeadow Bridge, Dublino, Irlanda (2003)<sup>10</sup>**

Una nuova costruzione sull'estuario con 105TM di armatura di rinforzo in acciaio inossidabile nelle colonne e nei parapetti.



# Riparazione della diga Bayonne, Francia

La diga fu costruita negli anni 1960 per proteggere l'ingresso al porto

Il lato dell'oceano è più alto e protetto da blocchi da 40T che devono essere sostituiti quando usurati dalle tempeste

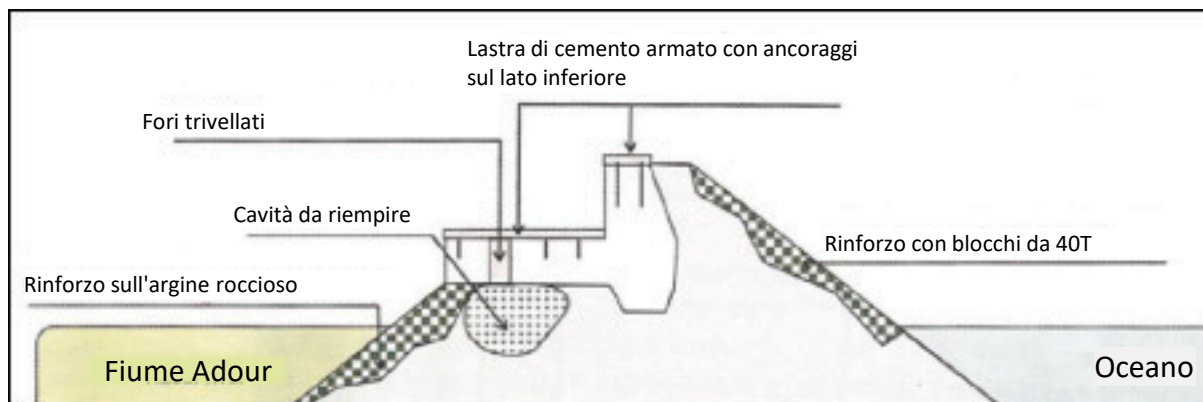
Sul lato del fiume una piattaforma larga 7m consente alle gru di grande portata di sollevare i blocchi

Vista aerea

Fessurazioni sul piano stradale e sul muro hanno reso necessari gli interventi di riparazione



## Sezione del muro sul mare



## Riparazione del muro sul mare

### Bayonne, Francia

La piattaforma e il muro sul mare sono stati rinforzati con acciaio inossidabile lean duplex (EN 1.4362)<sup>11</sup>

## Riparazione del muro sul mare in corso



## Burrasca sulla diga all'inizio del 2014







## Stonecutters Bridge, Hong Kong<sup>12,13</sup>

Il secondo ponte strallato più lungo del mondo, con un interasse principale di 1.018m

Le torri sono alte 298m con 1.600 tonnellate di acciaio inossidabile strutturale nella zona di ancoraggio dello strallo e 2800 tonnellate di rebar inox nella parte inferiore delle torri.



## **Belt Parkway Bridge, Brooklyn, USA (2004)<sup>14</sup>**

Per garantire una durata a lungo termine (100 anni) e una resistenza all'attacco corrosivo dell'ambiente marino e del sale sulla strada, le unità del ponte e le barriere dei parapetti sono state rinforzate con rebar in acciaio inossidabile di grado 2205.

# Quando si può considerare l'impiego di rebar in acciaio

inossidabile <sup>15-20</sup>:

- Negli ambienti corrosivi:
- Acqua marina e ancora di più nei climi caldi
  - Ponti
  - Pontili
  - Moli
  - Ancoraggi per lampioni, binari...
  - Muri flangiflutti
  - .....
- Sale antighiaccio
  - Ponti
  - Cavalcavia per il traffico e interscambi
  - Parcheggi coperti
- Cisterne per il trattamento delle acque reflue
- Impianti di dissalazione
- In strutture con una vita molto lunga
  - Riparazioni di strutture storiche
  - Stoccaggio di scorie nucleari
- In ambienti sconosciuti nei quali
  - l'ispezione è impossibile,
  - le riparazioni sono pressoché impossibili o molto costose

# Confronto tra rebar in acciaio inossidabile e soluzioni alternative<sup>15-20</sup>

	Vantaggi	Svantaggi
Rivestimento epossidico	Costi iniziali inferiori	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ non può essere curvato senza rottura</li> <li>▪ richiede attenzione nella manipolazione per evitare di danneggiarlo durante l'installazione</li> </ul>
Zincatura	Costi iniziali inferiori	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lo strato zincato non può essere curvato senza rottura</li> <li>▪ perde efficacia quando il rivestimento zincato è stato corroso</li> </ul>
Polimeri fibrorinforzati	Costi iniziali inferiori	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ non possono essere curvati senza rottura</li> <li>▪ Nessuna resistenza al calore e scarsa resistenza all'urto negli inverni rigidi</li> <li>▪ Rigidità inferiore rispetto all'acciaio</li> <li>▪ Non sono riciclabili</li> </ul>
ACCIAIO INOSSIDABILE	<p>Basso costo del ciclo di vita:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Design simile agli acciai al carbonio</li> <li>• Miste – armature in acciaio al carbonio e inossidabile funzionano bene</li> <li>• Installazione semplice, poco dipendente dalla qualità di esecuzione</li> <li>• Nessuna manutenzione</li> <li>• Nessun limite di durata</li> <li>• Consente una copertura in cemento più sottile</li> <li>• Migliore resistenza al fuoco</li> <li>• Acciaio inossidabile « premium » 100% riciclato</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Costo iniziale elevato, ma non più di tanto se:               <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ l'acciaio inossidabile viene selezionato per le aree critiche</li> <li>✓ Sono stati scelti lean duplex</li> </ul> </li> </ul>

# Confronto tra rebar in acciaio inossidabile e soluzioni alternative<sup>15-20</sup>

	Vantaggi	Svantaggi
Protezione catodica	Costi iniziali inferiori? Utilizzata spesso per le riparazioni	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Richiede un attento design per la protezione complessiva</li><li>▪ Richiede un'attenta installazione per mantenere contatti elettrici adeguati</li><li>▪ Richiede una fonte permanente di corrente (che deve essere monitorata e mantenuta) o anodi sacrificali che richiedono monitoraggio e sostituzione</li></ul>
Membrane/ sigillanti	Costi iniziali inferiori?	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Richiedono un'attenta installazione (bolle)</li><li>▪ L'installazione dipende dalle condizioni meteorologiche</li><li>▪ Prestazioni discutibili nel tempo</li><li>▪ Limitati alle superfici orizzontali</li></ul>



# Riferimenti

1. <http://www.lapresse.ca/actualites/montreal/201111/25/01-4471833-echangeur-turcot-254-millions-pour-lentretien-avant-la-demolition.php>
2. <http://www.ledevoir.com/politique/quebec/336978/echangeur-turcot-quebec-confirme-le-mauvais-etat-des-structures>
3. [http://www.outokumpu.com/sitecollectiondocuments/stainless\\_reinforcement\\_predictive\\_models.pdf](http://www.outokumpu.com/sitecollectiondocuments/stainless_reinforcement_predictive_models.pdf)
4. <http://www.nachi.org/visual-inspection-concrete.htm> visual inspection of concrete
5. <http://www.nickelinstitute.org/en/Sustainability/LifeCycleManagement/LifeCycleAssessments/LCAProgressoPier.aspx> (pontile di Progreso)
6. <http://www.blog.iminox.org.mx/?q=node/341><http://www.blog.iminox.org.mx/?q=node/341> (pontile di Progreso)
7. <https://www.carttech.com/news.aspx?id=1424> (oregon)
8. <http://structurae.net/structures/data/index.cfm?id=s0011506> (oregon)
9. <http://www.aeonline.ae/major-hong-kong-stainless-steel-rebar-contract-signed-by-arminox-middle-east-42317/news.html> (HK Macau)
10. <http://www.engineersireland.ie/EngineersIreland/media/SiteMedia/groups/Divisions/civil/Broadmeadow-Estuary-Bridge-Integration-of-Design-and-Construction.pdf?ext=.pdf> (Broadmeadow)
11. Gentile concessione di Ugitech SA
12. [http://www.arup.com/Projects/Stonecutters\\_Bridge.aspx](http://www.arup.com/Projects/Stonecutters_Bridge.aspx) (stonecutters'bridge)
13. [http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Stonecutters\\_Bridge\\_Case\\_Study-2.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Stonecutters_Bridge_Case_Study-2.pdf) (stonecutters'bridge)
14. <http://www.carttech.com/news.aspx?id=1344> (belt parkway bridge)
15. Béton Armé d'inox: Le Choix de la durée (francese) <http://www.infociments.fr/publications/ciments-betons/collection-technique-cimbeton/ct-t81>
16. Armaduras de Acero Inoxidable (spagnolo) <http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/59armadurasaceroinoxidable.pdf>
17. Design Manual For Roads And Bridges: Volume 1 Highway Structures: Approval Procedures and General Design Section 3 General Design Part 15 Use of Stainless Steel Reinforcement In Highway Structures  
<http://www.outokumpu.com/SiteCollectionDocuments/Standards%20for%20Highways.pdf>
18. <http://www.outokumpu.com/SiteCollectionDocuments/Special-issue-stainless-steel-rebar-Acom.pdf>
19. <http://www.sintef.no/upload/Byggforsk/Publikasjoner/Prrapp%20405.pdf> (generalità)
20. [http://americanarminox.com/Purdue\\_University\\_Report\\_-\\_Stainless\\_Steel\\_Life\\_Cycle\\_Costing.pdf](http://americanarminox.com/Purdue_University_Report_-_Stainless_Steel_Life_Cycle_Costing.pdf) (vantaggi dell'uso di armature in acciaio inossidabile)
21. <http://www.stainlesssteelrebar.org>

Grazie