



## Prefazione

La corrosione è un processo naturale presente ovunque. Gran parte di noi, in un qualche momento della nostra vita quotidiana, ha acquisito familiarità con l'effetto della corrosione sulle parti in acciaio arrugginite. La corrosione ha un enorme impatto economico. Circa un quinto della produzione annuale di acciaio è destinata alla semplice sostituzione di parti danneggiate dalla corrosione. Sebbene ciò possa comportare una spesa anticipata superiore, una corretta ed efficace protezione anticorrosione alla fonte contribuisce a risparmiare denaro e risorse a lungo termine. Per i sistemi di fissaggio, la questione risulta ancor più critica, poiché è essenziale la sicurezza. Un cedimento dovuto alla corrosione potrebbe avere conseguenze drammatiche.

Lo scopo del presente fascicolo è una maggiore sensibilizzazione nei confronti del tema della corrosione. Fornisce informazioni di base sulla corrosione e sul comportamento dei materiali utilizzati per proteggere i nostri prodotti dalla corrosione.

Hilti conduce una serie completa di test di laboratorio e sul campo per valutare la resistenza alla corrosione dei propri prodotti. Alcuni test a lungo termine avviati negli anni '80 sono ancora in corso a tutt'oggi. Grazie alla ricerca interna e alla stretta collaborazione con rinomate università e laboratori, Hilti è in grado di offrire le giuste soluzioni con la più idonea protezione da corrosione per una grande varietà di condizioni ambientali.

Ciononostante, la scelta del materiale o del metodo di protezione anticorrosione per un'applicazione specifica rimane una responsabilità dell'utente. Il vostro referente Hilti locale sarà lieto di fornirvi ulteriore assistenza. Il referente sarà inoltre in grado di ottenere supporto in qualunque momento dagli specialisti del nostro reparto Corporate Research & Technology, consentendovi di approfittare del patrimonio di competenze di cui dispone.

## Sommario

<b>Prefazione</b>	<b>3</b>
<b>1 Fondamenti della corrosione</b>	<b>5</b>
1.1 Che cos'è la corrosione?	5
1.2 Forme di corrosione	7
1.2.1 Corrosione uniforme/corrosione alveolare superficiale	7
1.2.2 Corrosione alveolare	8
1.2.3 Corrosione interstiziale	9
1.2.4 Infragilimento ambientale	10
1.2.5 Corrosione intercristallina (intergranulare)	12
1.2.6 Corrosione galvanica (da contatto)	13
<b>2 Metodologie Hilti di valutazione delle prestazioni alla corrosione e di qualificazione dei prodotti</b>	<b>14</b>
2.1 Finalità dei test della corrosione	14
2.2 Laboratori/test	15
2.3 Test sul campo all'aperto	18
<b>3 Soluzioni Hilti per la protezione anticorrosione</b>	<b>21</b>
3.1 Corrosione e protezione da corrosione dell'acciaio al carbonio	22
3.2 Comportamento alla corrosione dell'acciaio inox	25
3.3 Prevenzione della corrosione galvanica	29
<b>4 Come valutare la corrosione in un ambiente/un'applicazione specifici</b>	<b>31</b>
4.1 Fattori che influenzano la corrosione atmosferica	31
4.2 Valutazione della corrosività per i prodotti zincati	34
4.3 Valutazione della corrosività per i prodotti in acciaio inox	36
<b>5 Come selezionare un dispositivo di fissaggio e un sistema di installazione idonei</b>	<b>39</b>
5.1 Selezione della giusta protezione da corrosione per tasselli, dispositivi di fissaggio diretto e viti	42
5.2 Selezionare la giusta protezione da corrosione per i chiodi da legno	43
5.3 Selezionare il giusto sistema di installazione	44
<b>6 Bibliografia</b>	<b>46</b>
<b>7 Limitazione della responsabilità</b>	<b>47</b>



## 1. Fondamenti della corrosione

### 1.1. Che cos'è la corrosione?

La corrosione è l'interazione fisico-chimica tra un metallo e il proprio ambiente, che risulta in alterazioni delle proprietà del metallo e che può compromettere la funzionalità del metallo, stesso, dell'ambiente o dell'impianto tecnico di cui fanno parte (vedere ISO 8044:2010).

Si può parlare di corrosione solamente in presenza di un'alterazione nelle proprietà del metallo o del sistema che possano provocare esiti indesiderati. Ciò può andare da un difetto esteriore al cedimento completo di sistemi tecnici con ingenti danni economici e persino pericoli per le persone.

Con i metalli comunemente utilizzati in ingegneria, come l'acciaio al carbonio, l'acciaio inox, lo zinco, il rame e l'alluminio, il processo di corrosione tipico si può considerare come la reazione inversa favorita termodinamicamente del processo di estrazione del metallo (vedere Fig. 1).

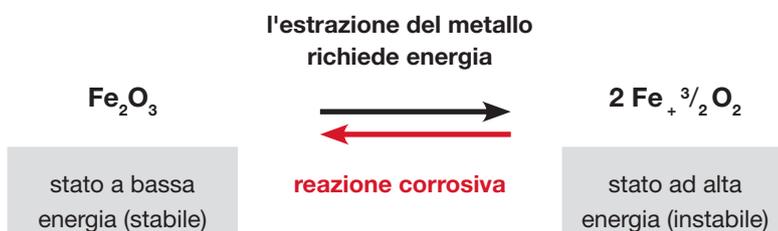


Fig. 1: Reazioni chimiche del ferro durante la corrosione e il processo di estrazione del metallo.

#### Tipi di reazione corrosiva

Come tutte le reazioni chimiche, i processi corrosivi si verificano quando le condizioni sono favorevoli alle rispettive reazioni (termodinamica). Quindi, altri fattori potenziali possono accelerare la reazione stessa (cinetica). Distingueremo tra i diversi tipi di corrosione, descrivendo in generale l'interazione tra il metallo e l'ambiente, e le forme di corrosione, descrivendone l'aspetto fenomenologico.

#### Reazione chimica

Una tipica reazione di corrosione chimica si verifica a temperature elevate, quando il metallo reagisce ai gas caldi e forma uno strato di ossido.

#### Reazione metallofisica

Un esempio è dato dall'infragilimento provocato dall'idrogeno che si diffonde in un metallo, con potenziale conseguente cedimento di un componente. L'infragilimento può essere la conseguenza di un processo di fabbricazione trascurato, ad es. in caso di applicazione non adeguata dei rivestimenti superficiali come la zincatura elettrolitica sui prodotti in acciaio ad alta resistenza (infragilimento primario). Può inoltre essere avviato da processi di corrosione (dissoluzione del metallo). In quest'ultimo caso, si parla di infragilimento da idrogeno indotto dalla corrosione (infragilimento secondario).

#### Reazione elettrochimica (il tipo più frequente di corrosione)

La reazione corrosiva più comune è di natura elettrochimica. Tali reazioni comportano uno scambio elettrico per mezzo degli elettroni nel metallo e degli ioni in un elettrolita conduttore, come una pellicola d'acqua sulla superficie.

La reazione complessiva può essere divisa in due reazioni parziali:

- Dissoluzione del metallo, nota anche come ossidazione o reazione anodica  
 $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2 \text{e}^-$
- Riduzione o reazione catodica, una reazione che riguarda soprattutto l'ossigeno presente nell'aria con l'acqua  
 $\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^- \rightarrow 4 \text{OH}^-$

Queste due reazioni parziali possono verificarsi sulla superficie del metallo con una distribuzione piuttosto omogenea, provocando un attacco uniforme (vedere paragrafo 1.2.1) oppure localmente e separatamente, provocando forme di corrosione localizzata come la corrosione alveolare.

Il meccanismo e la natura elettrochimica della reazione corrosiva definiscono i requisiti necessari affinché si verifichi la corrosione:

- un metallo conduttore
- un elettrolita (una sottile pellicola di umidità sulla superficie è già sufficiente)
- ossigeno per la reazione catodica

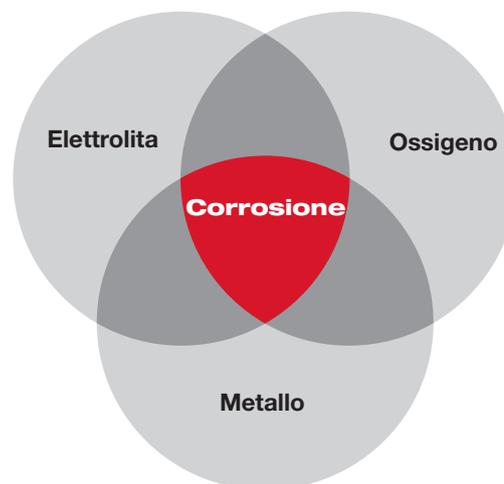


Fig. 2: Requisiti per la reazione corrosiva atmosferica.

L'illustrazione nella Fig. 2 raffigura il meccanismo corrosivo di base del ferro con una goccia d'acqua. Le due reazioni di dissoluzione del metallo e di riduzione dell'ossigeno si verificano con una leggera separazione sulla superficie e i loro prodotti (ioni di Fe e di OH) reagiscono nella goccia d'acqua, formando la ruggine rossa.

In generale, lo stesso schema si applica ad altri metalli come lo zinco o l'alluminio, ma con reazioni chimiche leggermente diverse nell'elettrolita.

Attraverso il modello semplice della reazione corrosiva, visibile nella Fig. 3, siamo in grado di spiegare molte forme di corrosione e inoltre di dedurre le misure per mitigarla. Impedendo o rallentando una delle reazioni parziali si riduce anche il tasso di corrosione generale.

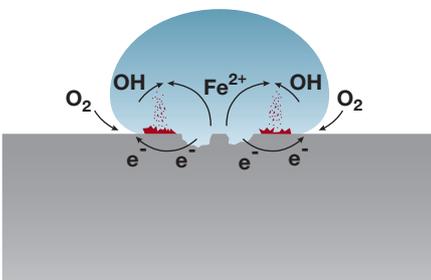


Fig. 3: Corrosione del ferro sotto una goccia d'acqua, dimostrando dissoluzione del metallo, riduzione dell'ossigeno e formazione di ruggine.

## 1.2. Forme di corrosione

### 1.2.1. Corrosione uniforme/corrosione alveolare superficiale



La corrosione uniforme è una forma di corrosione in cui la superficie viene rimossa in modo quasi omogeneo.

Le reazioni parziali (dissoluzione del metallo e riduzione dell'ossigeno) sono distribuite statisticamente sulla superficie, provocando una dissoluzione più o meno omogenea del metallo e la formazione uniforme dei prodotti da corrosione (ad es. ruggine rossa sull'acciaio). L'entità di questa forma di corrosione può solitamente essere adeguatamente stimata sulla base delle esperienze precedenti. Il tasso di corrosione viene di solito indicato in micrometri l'anno ( $\mu\text{m/a}$ ). Servendosi di tali valori medi è possibile calcolare l'aspettativa di vita di un componente e quindi incrementarla aumentandone lo spessore. La corrosione uniforme si verifica, ad esempio, nell'acciaio al carbonio non protetto e sull'acciaio zincato in condizioni di esposizione all'atmosfera.

In realtà, un attacco corrosivo puramente omogeneo è improbabile che si verifichi. Vi sono sempre delle aree, soprattutto nelle parti metalliche complesse, che si corrodono più velocemente delle altre, determinando una superficie più o meno ruvida con una copertura irregolare di prodotti della corrosione (vedere Fig. 4).

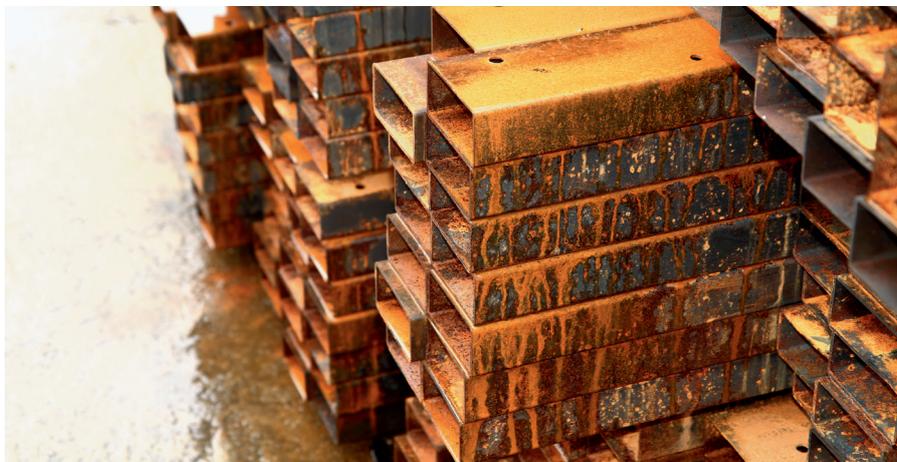


Fig. 4: Corrosione dei componenti in acciaio

### 1.2.2. Corrosione alveolare



Fig. 5: Esempio di corrosione alveolare su un prodotto in acciaio inox.

La corrosione alveolare è una forma di corrosione localizzata che determina la creazione di piccoli fori o "alveoli" nel metallo (vedere Fig. 5). Questa forma di corrosione si trova principalmente nei metalli passivi. I metalli e le leghe passivi, come alluminio, titanio e acciaio inox devono la loro resistenza alla corrosione a un sottile strato di ossido sulla superficie, con uno spessore di soli pochi nanometri. Il processo che dà il via alla corrosione comincia con una frattura locale dello strato passivo. L'attacco corrosivo locale sull'acciaio inox, ad esempio, può essere avviato dagli ioni di cloruro.

La Fig. 6 illustra le fasi più significative di questo fenomeno corrosivo sull'acciaio inox. La corrosione alveolare può essere piuttosto problematica. Laddove la corrosione uniforme si può chiaramente osservare sulla superficie, spesso la corrosione alveolare appare solamente come piccoli punticini sulla superficie. La quantità di materiale rimosso sotto i punticini è generalmente ignota, poiché possono formarsi delle cavità nascoste che rendono la corrosione alveolare più difficile da rilevare e prevedere. Tecnicamente, non esiste un modo ragionevole per controllare la corrosione alveolare. Questa forma di corrosione deve essere esclusa fin dall'inizio attraverso misure progettuali e l'uso di materiali adeguati.

Inoltre, la corrosione alveolare può essere spesso il punto di partenza di forme più gravi di corrosione, come la tensocorrosione (vedere il paragrafo „Tensocorrosione (SCC - stress corrosion cracking)“).

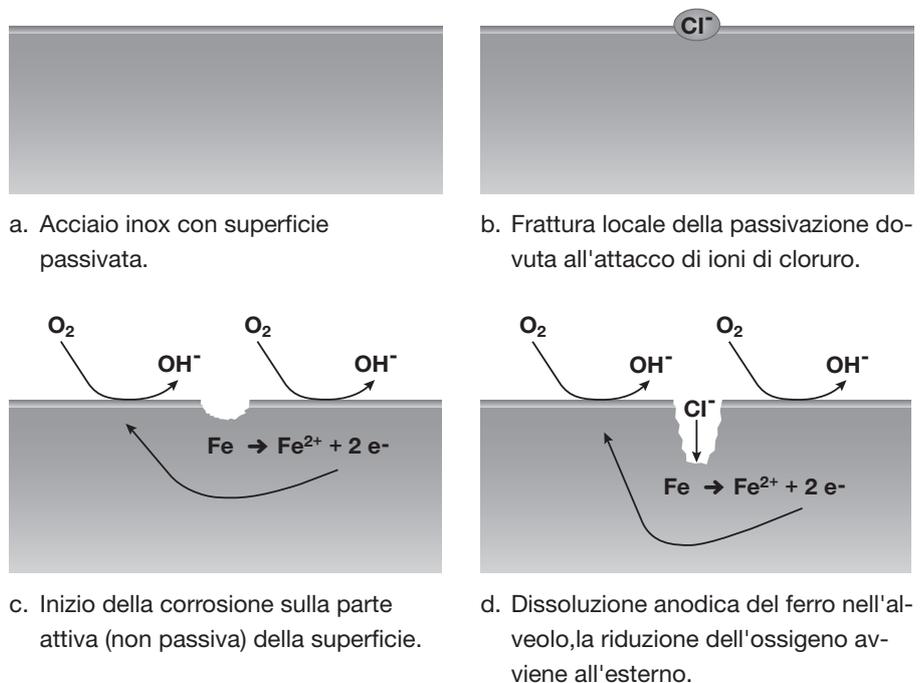


Fig. 6: Fasi della corrosione alveolare sull'acciaio inox.

### 1.2.3. Corrosione interstiziale



Per corrosione interstiziale si intende la corrosione che si verifica nelle crepe o negli interstizi formati tra due superfici (realizzate con lo stesso metallo, metalli diversi e persino un metallo e un non metallo). Questo tipo di corrosione viene avviato dall'ingresso limitato di ossigeno dall'aria attraverso la diffusione nell'area dell'interstizio, che provoca diverse concentrazioni di ossigeno disciolto nell'elettrolita comune (la cosiddetta cella di aerazione). Anche in questo caso, due reazioni parziali si verificano su parti diverse della superficie. La riduzione dell'ossigeno si verifica nelle aree esterne con maggiori concentrazioni di ossigeno facilmente accessibili attraverso l'aria circostante, mentre la dissoluzione del metallo avviene nell'area dell'interstizio, provocando un attacco localizzato (ad es. alveoli). Può inoltre verificarsi sotto rondelle o guarnizioni se non si previene l'infiltrazione dell'acqua sottostante (vedere Fig. 7). Vi sono limiti inferiori e superiori alle dimensioni di un interstizio in cui può essere indotta la corrosione. Se l'interstizio è troppo stretto, non vi è introduzione di elettrolita per la corrosione. Se l'interstizio è troppo largo per ridurre l'ingresso di ossigeno, non può aversi lo sviluppo della cella di aerazione e quindi delle differenti concentrazioni di ossigeno. Tuttavia, la larghezza critica dell'interstizio dipende da diversi fattori, come i tipi di metalli interessati, l'ambiente corrosivo e il ciclo umido/secco.

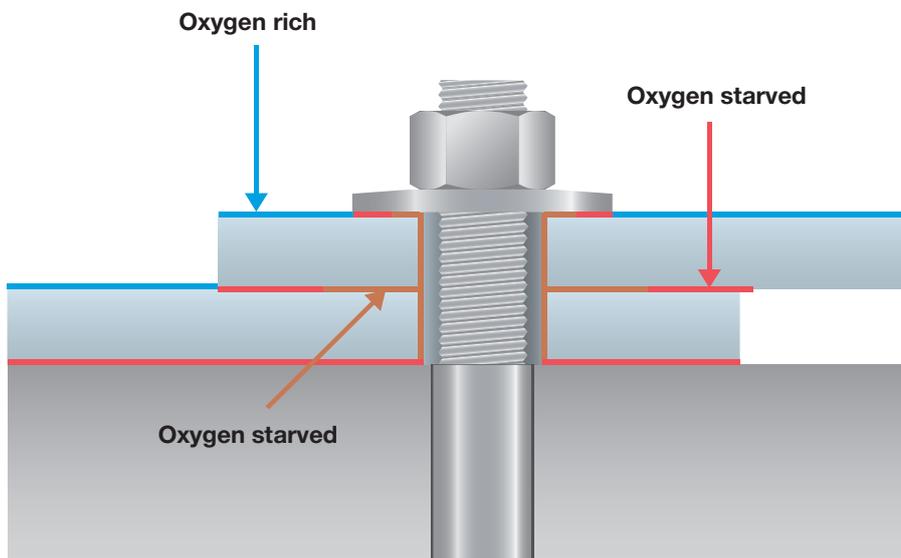
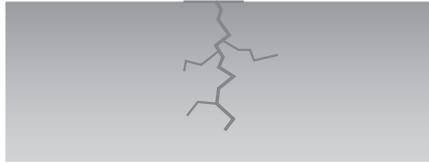


Fig. 7: Possibili aree di corrosione interstiziale in una struttura di fissaggio.

### 1.2.4. Infragilimento ambientale



#### Tensocorrosione (SCC - stress corrosion cracking)

La tensocorrosione è un processo corrosivo combinato meccanico ed elettrochimico che determina la screpolatura di determinati materiali. Può provocare un improvviso cedimento di metalli normalmente duttili soggetti a livelli di sollecitazione molto inferiori alla loro tensione di snervamento. Le sollecitazioni interne a un materiale possono essere sufficienti ad avviare un attacco di tensocorrosione.

La tensocorrosione non è solamente una sovrapposizione di corrosione e sollecitazioni meccaniche, ma può intendersi come un processo autocatalitico autoaccelerante che produce elevati tassi di dissoluzione del metallo (reazione anodica). Inizialmente, si forma un piccolo alveolo che si evolve in crepa a causa di una sollecitazione applicata o residua del materiale. La formazione di una crepa apre una nuova superficie metallica attiva, che a propria volta si corrode molto facilmente. Ciò provoca un'ulteriore propagazione della crepa e quindi all'esposizione di nuove superfici metalliche attive nella crepa. La dissoluzione del metallo nella crepa avanza rapidamente fino a che si verifica il cedimento meccanico.

La SCC è una forma molto specifica di corrosione che si verifica solamente se tre diversi requisiti vengono soddisfatti contemporaneamente (vedere Fig. 9).

- Meccanico (carico, sollecitazione)
- Materiale (lega suscettibile - ad es. acciaio inox austenitico)
- Ambiente (altamente corrosivo, cloruri)

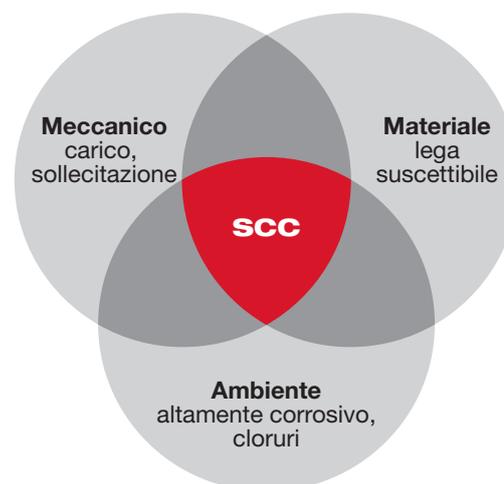


Fig. 8: SCC di una staffa realizzata con materiale 1.4301 (A2, 304) dopo circa 4 anni di utilizzo in una piscina coperta.

Fig. 9: Fattori necessari affinché si verifichi la tensocorrosione.

È ben noto che determinate qualità di acciaio inox austenitico possono subire la tensocorrosione in ambienti difficili quali le piscine coperte. Nella maggior parte dei casi, la corrosione è avviata dai cloruri che attaccano lo strato passivo.

## Infragilimento da idrogeno

L'infragilimento da idrogeno è provocato dalla diffusione di atomi di idrogeno nel metallo. La presenza di idrogeno nel lattice riduce l'integrità meccanica del metallo e provoca la formazione di crepe e la frattura da infragilimento a livelli di sollecitazione inferiori alla tensione di snervamento. Come la tensocorrosione, può provocare un cedimento improvviso di parti metalliche senza segnali di avvertimento percepibili.

Nelle applicazioni comuni, il danno da idrogeno riguarda solamente l'acciaio ad alta resistenza con resistenza a trazione pari o superiore a circa 1000 N/mm<sup>2</sup>.

Come per la SCC, tre diverse condizioni devono presentarsi contemporaneamente (vedere Fig. 10)

- Meccanica (carico, sollecitazione)
- Materiale (durezza, struttura)
- Ambientale (idrogeno esterno, interno)

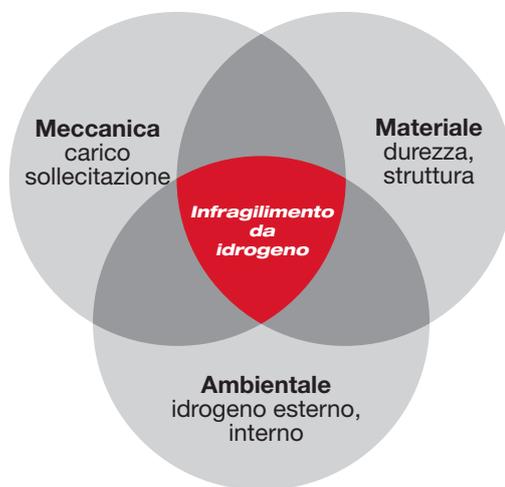
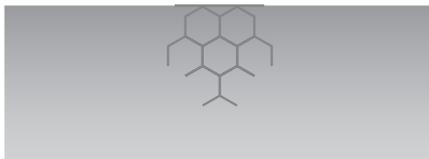


Fig. 10: Fattori necessari affinché si verifichi l'infragilimento da idrogeno.

La fonte di idrogeno può essere data da un processo di produzione come la fabbricazione dell'acciaio, il decapaggio e l'elettrolitizzazione (idrogeno primario). Una fonte secondaria di idrogeno può essere l'idrogeno formatosi durante il processo di corrosione. Durante il processo di corrosione, l'idrogeno si forma e si diffonde nel materiale. Questo ingresso di idrogeno provoca una riduzione della resistenza o della duttilità di un metallo.

### 1.2.5. Corrosione intercristallina (intergranulare)



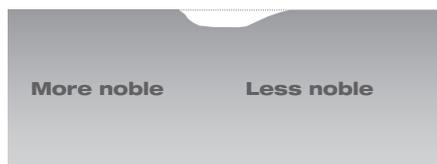
La corrosione intercristallina è una forma particolare di corrosione localizzata in cui l'attacco corrosivo si verifica lungo un percorso molto ristretto, preferenzialmente lungo i confini della grana della struttura metallica. L'effetto più comune di questa forma di corrosione è una rapida disgregazione meccanica (perdita di duttilità) del materiale. Solitamente, si può prevenire utilizzando materiali e processi di produzione appropriati.

Un noto esempio legato al settore edile è la cosiddetta sensibilizzazione dell'acciaio inox. Quando determinate qualità di questo materiale vengono tenute a temperature comprese tra 500°C e 800°C per un periodo considerevole, ad es. durante un processo di saldatura, si formano carburi ricchi di cromo, che provocano un impoverimento del cromo nei confini della grana. Di conseguenza, i confini della grana possiedono un grado inferiore di resistenza alla corrosione rispetto al materiale residuo, determinando un attacco corrosivo localizzato (vedere Fig. 11).



Fig. 11: Immagine micrografica elettronica a scansione di un attacco selettivo Zona saldata di un materiale 1.4401, (A4, 316).

## 1.2.6. Corrosione galvanica (da contatto)



Per corrosione galvanica si intende un danno da corrosione quando due materiali dissimili hanno un contatto a conduzione elettrica e sono a contatto con un elettrolita corrosivo comune. Nel modello elettrochimico della corrosione, una delle due reazioni parziali (dissoluzione anodica del metallo e riduzione catodica dell'ossigeno) si verifica quasi esclusivamente su un metallo.

Generalmente, il metallo meno nobile viene dissolto (dissoluzione anodica del metallo), mentre la parte più nobile non viene attaccata dalla corrosione (funge solamente da catodo per la riduzione dell'ossigeno). Quando si verifica la corrosione galvanica, il tasso di corrosione del metallo meno nobile è superiore a quanto sarebbe in un ambiente corrosivo libero, senza contatto con un altro metallo.

Usando i dati termodinamici e attingendo all'esperienza comune ricavata dalle applicazioni tipiche, è possibile prevedere quali combinazioni di materiali vengono interessate dalla corrosione galvanica (vedere 3.3). Un esempio positivo di utilizzo attivo del fenomeno della corrosione galvanica qui descritto è il modo in cui lo zinco protegge l'acciaio al carbonio negli acciai basso-legati. Lo zinco è il metallo meno nobile che protegge attivamente l'acciaio corrodendo se stesso (vedere Fig. 12).



Fig. 12: Questo è un caso tipico di corrosione da contatto. Acciaio al carbonio zincato (rondella) e acciaio inox (vite e parte) sono stati utilizzati insieme. L'area superficiale del metallo più nobile, l'acciaio inox, è maggiore, provocando una forte corrosione della rondella.

## **2. Metodologie Hilti di valutazione delle prestazioni alla corrosione e di qualificazione dei prodotti**

Hilti conduce una serie completa di test di laboratorio e sul campo per valutare la protezione dalla corrosione dei propri prodotti. Grazie alla ricerca interna, Hilti dispone di una grande varietà di soluzioni di protezione anticorrosione testate per diverse condizioni ambientali.

Molti metodi per testare la resistenza alla corrosione sono specifici per materiali particolari e si basano sulle condizioni prevalenti in determinati ambienti. Un gran numero di fattori incide sul comportamento alla corrosione. Di conseguenza, non esiste un unico test di corrosione universale che copra tutti gli aspetti dei materiali utilizzati. L'indicatore più affidabile del comportamento alla corrosione è la vita di servizio, ma questa informazione non è sempre disponibile con l'esattezza necessaria. Per tale ragione, sono necessari altri test, che possono andare da test accelerati di laboratorio a test sul campo. Inoltre, è necessario testare i prodotti nelle condizioni che troveranno nell'applicazione a cui sono destinati. La protezione anticorrosione dei nostri fissaggi viene quindi inoltre testata con gli elementi installati sull'acciaio o nel calcestruzzo al fine di simulare eventuali danni che possono verificarsi durante il processo di installazione.

I test della corrosione sono un metodo indicato per valutare i nuovi prodotti e confrontarli con i sistemi di protezione anticorrosione conosciuti. Tuttavia, tali test da soli non sono sufficienti a qualificare un prodotto per una determinata applicazione, poiché la corrosività dell'ambiente può differire fortemente da un progetto all'altro. In definitiva, è responsabilità dell'utente scegliere la protezione anticorrosione adeguata sulla base dei informazioni dettagliate circa l'applicazione, l'esperienza a lungo termine e la conoscenza fondamentale dell'argomento.

### **2.1. Finalità dei test della corrosione**

I test di corrosione accelerata in laboratorio sono allo stato dell'arte per quanto riguarda la valutazione delle prestazioni dei materiali, poiché rappresentano condizioni standardizzate e riproducibili e consentono una valutazione dopo un breve periodo di prove (giorni o settimane). Un utilizzo principale di questo tipo di test è il controllo qualità dei rivestimenti protettivi anticorrosione. Al fine di superare il controllo qualità, i prodotti devono presentare le prestazioni richieste (ad es. due giorni senza formazione di ruggine rossa). Inoltre, questi tipi di test sono molto utili nelle attività di sviluppo della produzione, in cui lo screening e la classificazione dei nuovi rivestimenti e materiali sono cruciali.

## 2.2. Laboratori/test

Nelle proprie strutture di ricerca interne, Hilti esegue i test di corrosione in laboratorio più rilevanti disponibili per i propri prodotti (vedere Fig. 13).

### Test della nebbia salina neutra: EN ISO 9227

Il test della nebbia salina è uno dei test di corrosione accelerata più vecchi e ampiamente diffusi. I campioni vengono esposti permanentemente a una nebbia salina composta al cinque per cento da cloruro di sodio. Il test della nebbia salina non è direttamente rappresentativo della protezione anticorrosione nelle atmosfere reali, a causa della forte concentrazione di cloruro e dell'assenza di periodi asciutti. Tuttavia, si tratta di un test pratico, utilizzato principalmente per la qualificazione dei processi e l'accettazione di qualità. Hilti utilizza il test della nebbia salina per controllare l'omogeneità dei rivestimenti allo zinco sui fissaggi, come controllo qualità nella produzione (vedere Fig. 15 e Fig. 14).



Fig. 13: Immagine dal nostro laboratorio di corrosione con diverse camere di test della corrosione.

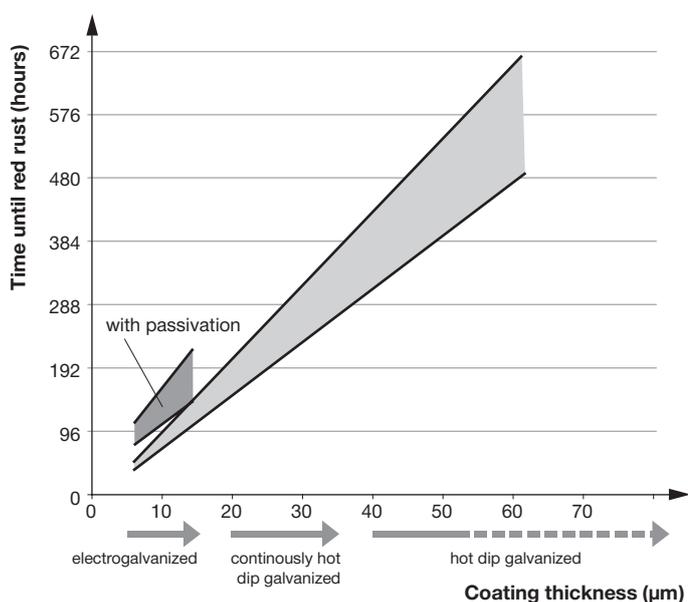


Fig. 15: Tempo tipico prima della prima comparsa di ruggine rossa (corrosione del substrato di acciaio) nella nebbia salina per prodotti zincati con diversi spessori di rivestimento.



Fig. 14: Viti elettrolitiche galvanizzate con un rivestimento allo zinco di circa 5 µm dopo 48 ore (su) e 96 ore (giù) di test della nebbia salina.

### Test di corrosione ciclica: EN ISO 16701

Nel test di corrosione ciclica ai sensi di EN ISO 16701, temperatura e umidità relativa vengono variate per simulare i tipici cicli umido/secco che si presentano negli ambienti esterni naturali. Inoltre, i campioni vengono sottoposti a una doccia di soluzione diluita di cloruro di sodio (1%) due volte la settimana per indurre la corrosione. Sebbene non sia direttamente rappresentativo di gran parte delle atmosfere reali, grazie i cicli umido/secco e alla bassa concentrazione di cloruro, questo test è molto più indicato per scatenare i processi di corrosione naturale rispetto al semplice test della nebbia salina. Tuttavia, esso richiede tempi di prova più prolungati (alcune settimane) (vedere Fig. 16 e Fig. 17).

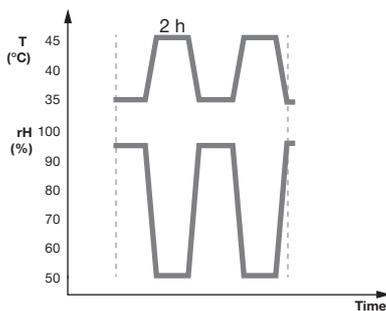


Fig. 16: Ciclo quotidiano di temperatura e umidità del test di corrosione ciclica ISO 16701: due volte la settimana, una soluzione NaCl all'1% viene spruzzata sui campioni per 3 x 15 minuti.

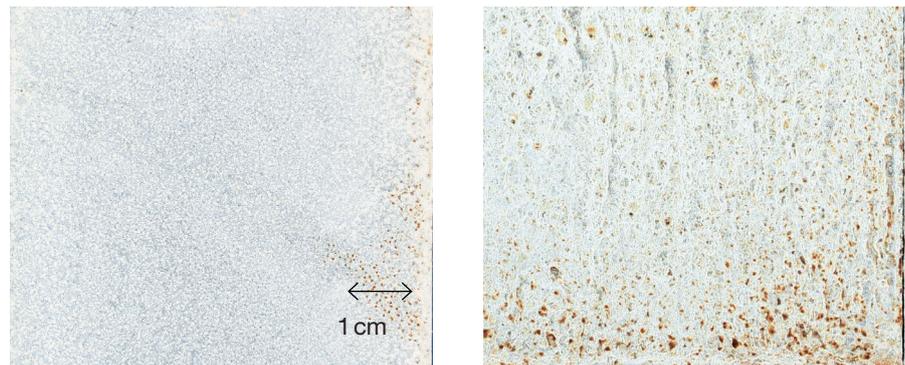


Fig. 17: Acciaio zincato (galvanizzazione per immersione a caldo, HDG) dopo un anno in clima costiero tropicale (sinistra) e dopo 12 settimane di test di corrosione ciclica ISO 16701 (destra). Un comportamento alla corrosione analogo è stato osservato nel test sul campo e nel test di corrosione ciclica.



Fig. 18: Parte di connettore con rivestimento multistrato (rivestimento in fiocchi organici) dopo dieci settimane di test ISO 20340 con radiazioni UV.

### Test di corrosione ciclica con esposizione ai raggi UV: ISO 20340

Questo test espone inoltre i campioni a una radiazione ultravioletta ad alta energia. Si combina con la condensa d'acqua, con l'esposizione ai cloruri e con un periodo di congelamento (vedere Fig. 19). I polimeri organici come le vernici e gli smalti possono mostrare deterioramento se esposti alla luce solare. Questo test è dunque principalmente utilizzato per prodotti con rivestimenti organici (vedere Fig. 18). Oltre che per i test della corrosione, viene utilizzato per verificare l'effetto di invecchiamento sui prodotti sensibili ai raggi UV come le parti in plastica.

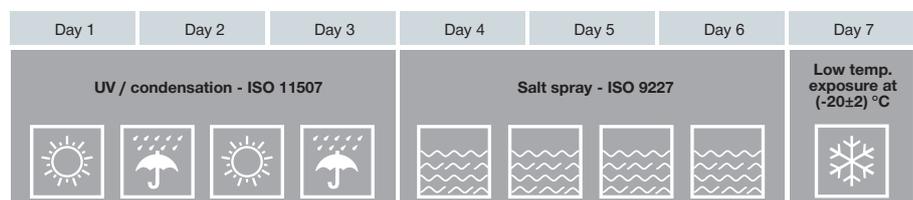


Fig. 19: Procedura di test di corrosione ciclica in combinazione con esposizione ai raggi UV, nebbia salina e ciclo di congelamento come da ISO 20340.

**Test dell'umidità: EN ISO 6270 e test di Kesternich (diossido di zolfo): EN ISO 6988**

Nel test dell'umidità, i campioni vengono esposti a un'atmosfera con umidità relativa al 100%. Il test può essere combinato aggiungendo una certa quantità di gas diossido di zolfo. Ciò fa sì che un ambiente altamente corrosivo e acido simuli l'effetto di un forte inquinamento industriale (vedere Fig. 20).

**Elettrochimica**

La natura elettrochimica del processo di corrosione rende le tecniche elettrochimiche uno strumento utile per l'indagine delle reazioni corrosive di determinati materiali. Oltre che per i test di corrosione accelerata, il nostro laboratorio è equipaggiato con apparecchiature per test elettrochimici (potenziostato), prevalentemente utilizzate per l'esame della corrosione alveolare e il comportamento ripassivante dell'acciaio inox.

**Laboratorio metallografico**

I test di corrosione accelerata, come pure i test di esposizione sul campo devono essere sempre supportati da diversi metodi analitici per un'adeguata interpretazione dei risultati. Nel laboratorio di metallografia utilizziamo un microscopio elettronico a scansione (SEM) unito all'analisi elementare per un'indagine più approfondita dei nostri prodotti (vedere Fig. 21, Fig. 23 e Fig. 22)



Fig. 20: Viti con rivestimento multistrato altamente resistente alla corrosione dopo 15 cicli di test della corrosione con diossido di zolfo (non presenta alcuna corrosione).



Fig. 21: Microscopio elettronico a scansione (SEM).

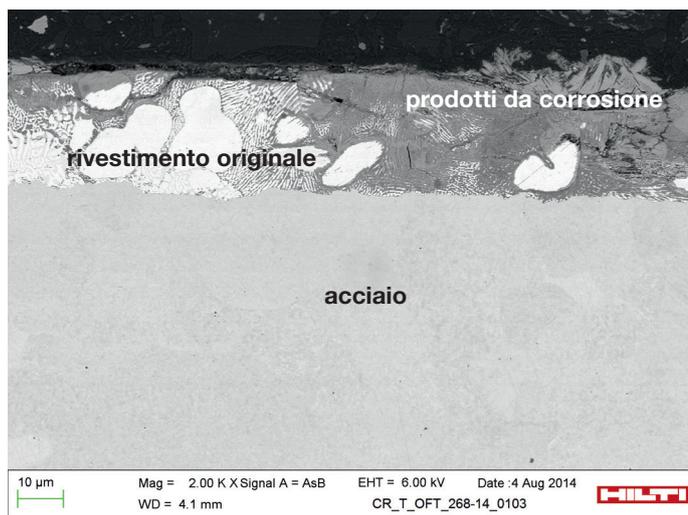


Fig. 22: Sezione trasversale metallografica al microscopio elettronico a scansione di un rivestimento in lega Zn dopo tre anni di esposizione a un clima costiero.



Fig. 23: Apparecchiatura del laboratorio metallografico (rettifica e levigatura).

### 2.3. Test sul campo all'aperto

La protezione anticorrosione dei prodotti può essere valutata con la massima precisione attraverso test di esposizione di campioni e prodotti in condizioni atmosferiche ambientali reali.

A tale scopo, Hilti conduce test multipli continui sul campo all'aperto per i propri prodotti presso diversi siti in tutto il mondo, in condizioni che vanno dal freddo temperato a tropicali e da costiere a industriali e persino atmosfere offshore (vedere Fig. 24).

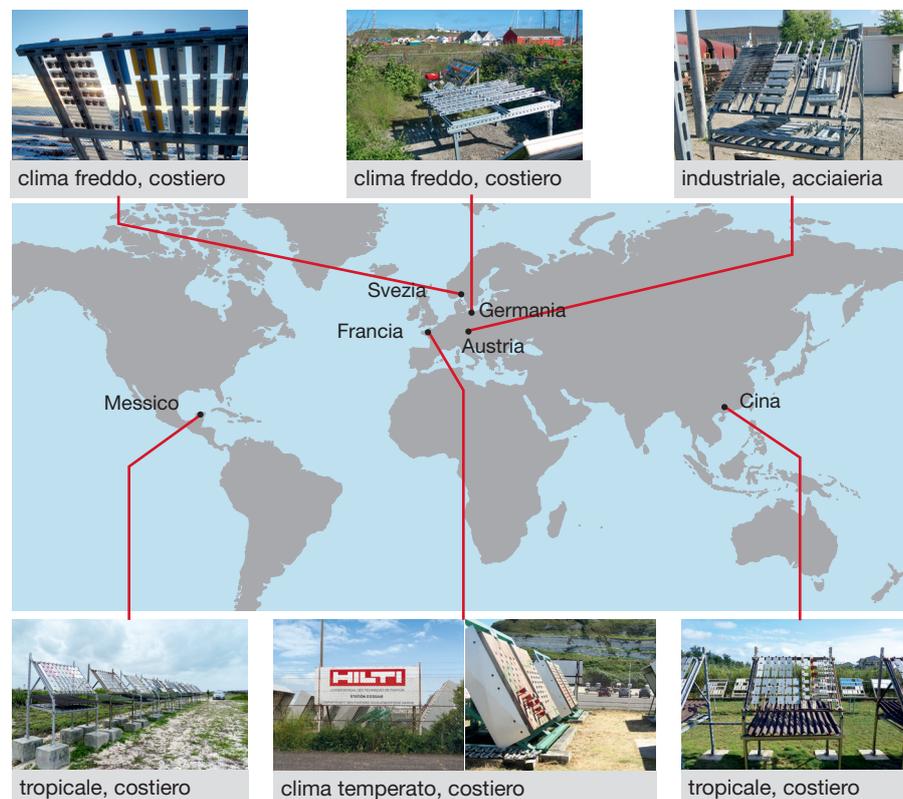


Fig. 24: Mappa che illustra le varie località di prova dei prodotti Hilti

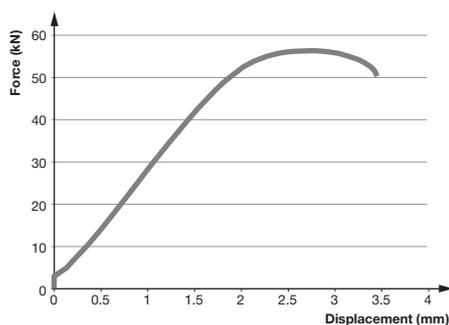


Fig. 25: Tipico risultato della misurazione dello spostamento di forza per un tassello installato dopo 16 anni di esposizione a un ambiente costiero.

La postazione presso Le Havre, sulla costa atlantica francese, viene condotta da Hilti fin dagli anni '80. Qui non testiamo solamente il comportamento alla corrosione dei nostri prodotti di fissaggio, ma anche la loro funzionalità a lungo termine. Gli elementi di fissaggio, specialmente tasselli, sono posati nel calcestruzzo. Dopo un determinato periodo di tempo, i valori di carico rimanenti vengono misurati in test di estrazione (vedere Fig. 25).

Dall'inizio degli anni '80 fino al 2005, Hilti ha inoltre condotto studi estensivi sul comportamento alla corrosione di vari materiali in gallerie stradali nella regione alpina. Tali osservazioni a lungo termine ci hanno dato la capacità di migliorare le prestazioni dei nostri prodotti in questi ambienti altamente corrosivi e quindi fornire ai nostri clienti sistemi di fissaggio efficaci per l'uso in tali condizioni ambientali. L'acciaio inox alto-legato di qualità 1,4529 (HCR) si è dimostrato uno dei materiali che non presenta segni di corrosione. I risultati di tali studi hanno inoltre influenzato norme e codici di pratica per prodotti e fissaggi realizzati in acciaio inox per l'uso in gallerie (vedere Fig. 26).

I nostri fissaggi e prodotti da installazione non sono gli unici prodotti sottoposti a test approfonditi. Anche gli attrezzi elettrici Hilti vengono sottoposti a numerosi test funzionali, combinati con condizioni di corrosione tipiche. Ciò determina alte prestazioni anche in ambienti impegnativi (vedere Fig. 27).



Fig. 26: Le gallerie stradali presentano un ambiente altamente corrosivo (sali antighiaccio e fumi di scarico dal traffico).

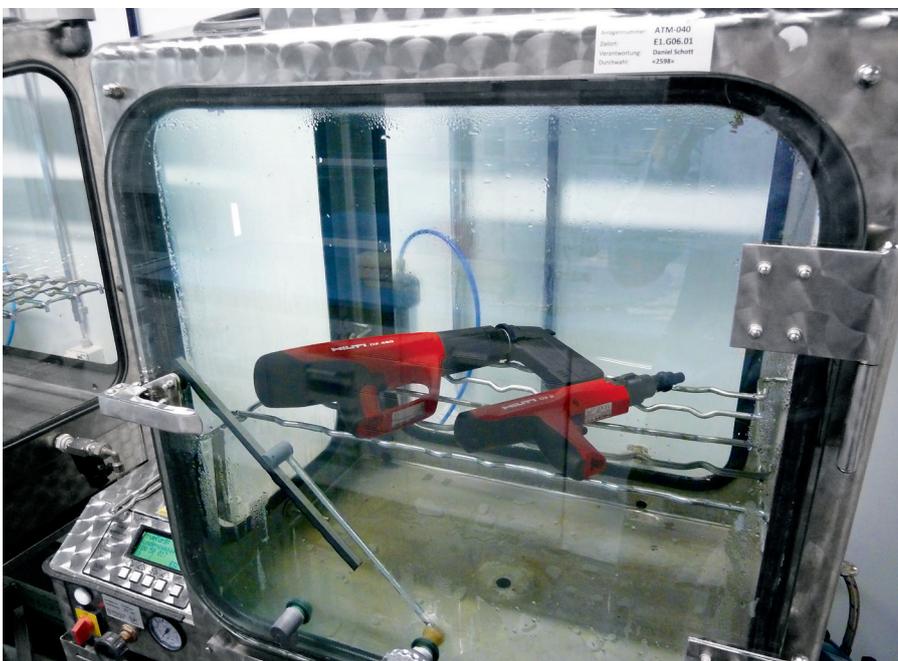


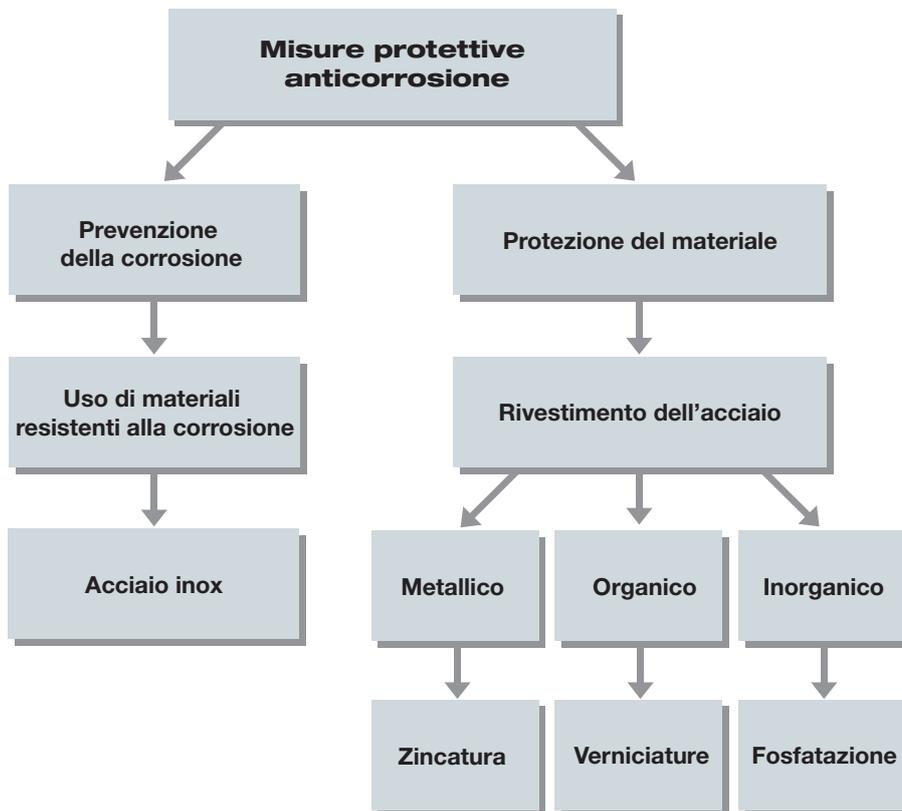
Fig. 27: Attrezzi di fissaggio in una camera umida.



### 3. Soluzioni Hilti per la protezione anticorrosione

In questo paragrafo vengono descritte le soluzioni di protezione anticorrosione applicate ai prodotti Hilti, il loro tipico comportamento alla corrosione e la loro idoneità per determinate applicazioni.

#### Classificazione delle misure di protezione anticorrosione



La tabella di seguito riporta una panoramica dei rivestimenti protettivi anticorrosione applicati ai prodotti Hilti.

Tabella 1: Rivestimenti protettivi anticorrosione applicati ai prodotti Hilti.

Soluzioni di protezione anticorrosione Hilti per acciaio al carbonio	Spessore del rivestimento	Esempi di prodotti
Fosfatazione		Viti
Elettrolgalvanizzazione	Da 5 a 20 µm	Chiodi, tasselli, viti
Galvanizzazione per immersione a caldo	Da 35 a 100 µm	Canaline di installazione
Galvanizzazione a caldo in continuo / galvanizzazione Sendzimir	Da 20 a 40 µm	Tasselli a prigioniero canaline di installazione
Sheradizzazione/diffusione termica	Fino a 45 µm	Tasselli
Multistrato (Zn più rivestimento organico aggiuntivo - verniciatura)		Tasselli e parti da installazione

### 3.1. Corrosione e protezione da corrosione dell'acciaio al carbonio

L'acciaio non legato (ovvero acciaio dolce o acciaio al carbonio) con cui viene fabbricata la maggior parte dei nostri dispositivi di fissaggio e prodotti da installazione richiede una protezione anticorrosione. Nella maggior parte degli ambienti, il tasso di corrosione dell'acciaio al carbonio (di norma attorno a 20 micrometri l'anno ( $\mu\text{m/a}$ ) in atmosfera rurale esterna, ma che sale fino a oltre 100  $\mu\text{m/a}$  in ambienti costieri) è solitamente troppo elevato per un'applicazione soddisfacente. Generalmente, il design del prodotto non tiene conto di una perdita di materiale base. Di conseguenza, Hilti offre un'ampia gamma di soluzioni di protezione anticorrosione idonee ed economicamente convenienti per i prodotti in acciaio al carbonio.

In un ambiente circostante alcalino, tuttavia, ferro e acciaio di solito rimangono stabili. Ciò spiega come mai, ad esempio, le barre di rinforzo in acciaio al carbonio sono già ben protette contro la corrosione nell'ambiente alcalino del calcestruzzo circostante.

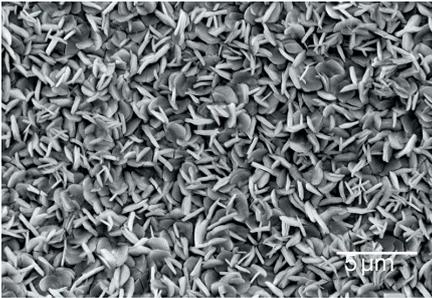


Fig. 28: Cristalli di fosfati su una superficie di acciaio al microscopio a scansione elettronica con ingrandimento di 3000X.

#### Fosfatazione

<p>Descrizione del processo</p>	<p>L'acciaio viene immerso in una soluzione acida contenente sali di fosfati metallici (Zn, Fe). La soluzione reagisce con la superficie dell'acciaio formando uno strato microcristallino di fosfati (vedere Fig. 28). Ciò produce una superficie ruvida con eccellenti proprietà di ritenzione dell'olio.</p>
<p>Comportamento alla corrosione e altre informazioni</p>	<p>L'olio applicato per la protezione anticorrosione deve rimanere abbastanza a lungo sulla superficie per poter fornire protezione durante il normale trasporto e una protezione anticorrosione generale leggermente maggiore. Tali prodotti possono essere utilizzati solamente in ambienti chiusi. Hilti utilizza la fosfatazione nelle viti per cartongesso.</p>

#### Rivestimenti allo zinco

Lo zinco è un'opzione eccellente per la protezione anticorrosione dell'acciaio al carbonio. Sono disponibili alcuni processi idonei per l'applicazione di rivestimenti allo zinco su parti in acciaio, da piccole viti a canaline di alcuni metri di lunghezza.

Il tasso di corrosione dello zinco è più di dieci volte inferiore a quello dell'acciaio, con circa 0,5  $\mu\text{m/a}$  in atmosfere rurali/urbane e arrivando a circa 5  $\mu\text{m/a}$  in ambienti costieri. La Fig. 28 fornisce una panoramica della vita operativa tipica dell'acciaio zincato in diverse condizioni. I bassi tassi di corrosione sono il risultato della formazione di strati stabili di prodotti della corrosione contenenti carbonati (dalla  $\text{CO}_2$  nell'aria) e cloruri (se presenti nell'atmosfera). Le condizioni in cui la formazione di tali prodotti da corrosione insolubili non è possibile provocano tassi di corrosione eccessivamente elevati e quindi limitano l'idoneità dello zinco come rivestimento protettivo. Tra queste figurano condizioni di umidità permanente o l'esposizione a forti concentrazioni di inquinanti industriali come il diossido di zolfo. In tali ambienti, i prodotti di corrosione solubili si formano preferenzialmente e possono essere lavati via dalla pioggia. Oltre alla riduzione dei tassi di corrosione, lo zinco fornisce inoltre una protezione catodica o sacrificale all'acciaio sottostante. Laddove graffi, scheggiature o altri danno al rivestimento allo zinco scoprono l'acciaio, si verifica una forma particolare di corrosione galvanica (vedere paragrafo 1.2.6). Lo zinco, essendo un metallo meno nobile dell'acciaio, si corrode preferenzialmente, aiutando quindi a mantenere protetta la superficie esposta dell'acciaio.

La zincatura si consuma in modo piuttosto omogeneo durante la corrosione atmosferica. Di conseguenza, in una determinata applicazione, raddoppiando lo spessore del rivestimento di norma si raddoppia anche il tempo in cui lo zinco si consuma e si forma la ruggine sul substrato di acciaio.

Lo zinco non è stabile in ambienti alcalini ed è facilmente attaccabile in soluzioni con valori di pH pari a 10 o superiori. Analogamente, in cantiere, occorre prevenire il versamento di materiali da costruzione aggressivi, ad es. cemento o calcestruzzo fresco, sui prodotti in zinco.

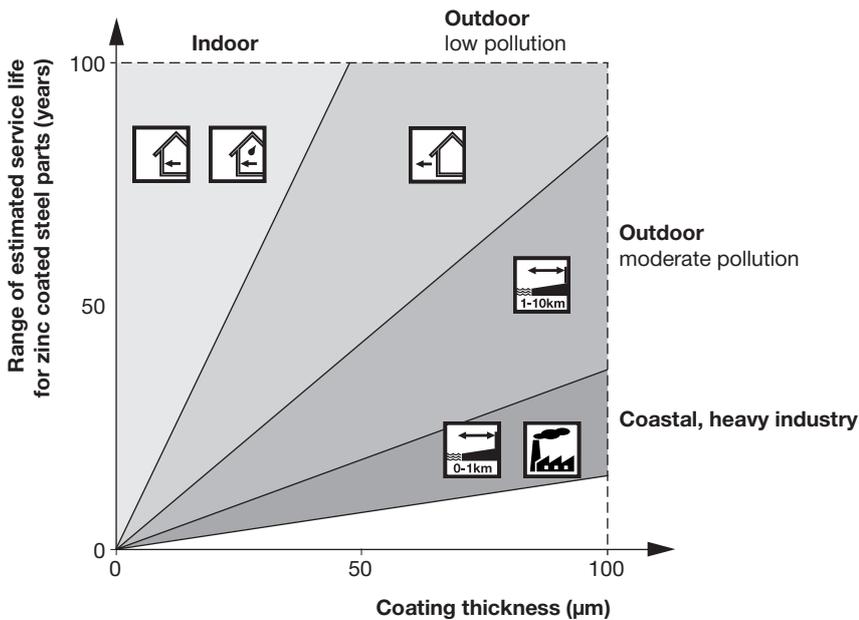


Fig. 29: Vita operativa tipica dell'acciaio zincato in diversi ambienti.

**Elettrolgalvanizzazione**

Descrizione del processo	Viene fatta passare corrente elettrica attraverso una soluzione acquosa contenente ioni di zinco, con conseguente deposizione dello zinco sul substrato di acciaio. Prima di questo passaggio, le parti vengono solitamente sottoposte a pulizia e a un processo di decapaggio con successiva passivazione dopo la deposizione dello zinco. Si tratta di un modo eccellente per proteggere le parti filettate, grazie alla formazione di rivestimenti omogenei e densi.
Spessore del rivestimento	Può variare da 5 a 15 µm.
Comportamento alla corrosione e altre informazioni	A causa della limitazione degli spessori di rivestimento ottenibili, le parti elettrozincate senza ulteriore protezione anticorrosione devono essere utilizzate solamente in condizioni al chiuso asciutte. Utilizzando l'elettrozincatura è inoltre possibile depositare leghe di zinco, come rivestimenti in ZnNi.  L'elettrolgalvanizzazione può provocare l'ingresso di idrogeno. I fissaggi ad alta resistenza Hilti, come i chiodi per fissaggio diretto vengono quindi cotti dopo l'elettrodeposizione (mantenuti a temperature di circa 180° per 24 ore) per eliminare l'idrogeno.

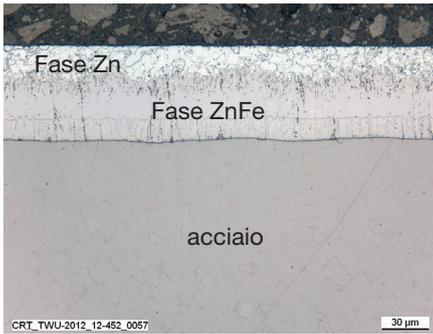


Fig. 30: Micrografia dell'acciaio galvanizzato per immersione a caldo.

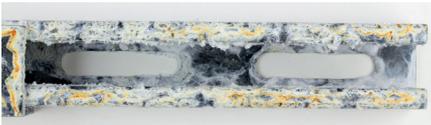


Fig. 31: Macchia marrone su una canalina galvanizzata per immersione a caldo dopo 200 ore di test della nebbia salina. Non si tratta ancora di corrosione dell'acciaio.

**Galvanizzazione per immersione a caldo**

Descrizione del processo	Durante questo processo, le parti in acciaio vengono immerse in un bagno di zinco fuso. Con questa tecnica è possibile rivestire parti di dimensioni di alcuni metri. La minuteria, come bulloni e tasselli, viene centrifugata dopo la galvanizzazione per immersione a caldo per eliminare lo zinco in eccesso dai filetti.
Spessore del rivestimento	Lo spessore tipico è tra 35 e 100 micron, a seconda dello spessore del materiale e della composizione dell'acciaio. La durata dell'immersione è solitamente di alcuni minuti.
Comportamento alla corrosione e altre informazioni	Lo zinco fuso reagisce con il substrato di acciaio formando uno strato in lega ZnFe sormontato da uno strato più sottile di zinco puro (vedere Fig. 30).  I prodotti da corrosione della galvanizzazione per immersione a caldo possono avere una colorazione bruna a causa del Fe nel rivestimento allo zinco. Tuttavia, ciò non rappresenta necessariamente un segno di corrosione del substrato di acciaio (vedere Fig. 31).

**Galvanizzazione a caldo in continuo / galvanizzazione Sendzimir**

Descrizione del processo	Durante questo processo, la lamiera delle bobine viene passata continuamente attraverso un bagno di zinco fuso dopo aver pulito la superficie e averla sottoposta a uno speciale processo di ricottura (trattamento termico). Il bagno di zinco contiene piccole quantità di Al. L'Al reagisce con la superficie dell'acciaio, creando un cosiddetto strato "inibente" con uno spessore di pochi nanometri, che inibisce la formazione delle fasi di ZnFe. Il rivestimento è composto principalmente di zinco puro.
Spessore del rivestimento	Può variare da 10 a 70 micron su entrambi i lati ed è controllato eliminando lo zinco in eccesso con un getto d'aria.
Comportamento alla corrosione e altre informazioni	A parte lo zinco puro, con la galvanizzazione a caldo in continuo è possibile produrre anche rivestimenti in ZnAl e ZnAlMg. I rivestimenti tipici presentano circa 2-4% di Al e Mg e dimostrano una maggiore protezione anticorrosione, pari a circa due volte quella di un rivestimento allo zinco di peso identico.

**Sheradizzazione/diffusione termica**

Descrizione del processo	La sheradizzazione è un metodo di zincatura che utilizza un processo di diffusione termica. Le parti in acciaio vengono poste in un fusto contenente polvere di Zn e quindi riscaldate a temperature superiori a 320°. Lo zinco non è liquido e il rivestimento si forma per diffusione termica della polvere di Zn nelle parti in acciaio.
Spessore del rivestimento	Lo spessore del rivestimento ottenibile può arrivare a 45 micron.
Altre caratteristiche	Tali rivestimenti sono composti principalmente di una lega ZnFe che offre un'ottima protezione contro la corrosione, comparabile a quella della galvanizzazione per immersione a caldo. Anche in parti filettate complesse, questo processo produce un rivestimento solido e uniforme.

### Rivestimenti multistrato

Quando la protezione anticorrosione fornita dal rivestimento metallico non è sufficiente, le parti possono essere ulteriormente protette con rivestimenti aggiuntivi, prevalentemente vernici organiche con o senza fiocchi metallici.

Un esempio è dato dal rivestimento multistrato sui fissaggi, composto da un rivestimento in lega di zinco applicato per elettrodeposizione con un ulteriore strato organico (vedere Fig. 32).

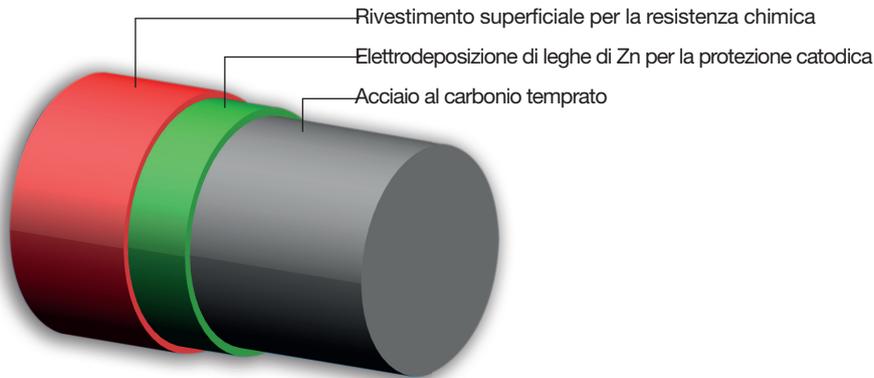


Fig. 32: Illustrazione di un rivestimento multistrato su fissaggi e connettori.

## 3.2. Comportamento alla corrosione dell'acciaio inox

L'acciaio legato con almeno il 10% di cromo è detto acciaio inox. L'aggiunta di cromo provoca la formazione di uno strato di ossido molto sottile (pochi micrometri), stabile (strato di passivazione) sulla superficie. Di conseguenza, l'acciaio inox non si corrode facilmente o si macchia a contatto con l'acqua come accade per l'acciaio al carbonio.

Tuttavia, in alcune circostanze, lo strato di passivazione può spezzarsi, provocando un attacco locale come la corrosione alveolare (vedere 1.2.2). La corrosione alveolare, come forma predominante di corrosione dell'acciaio inox, non consente la previsione della durata come avviene per i rivestimenti allo zinco. In generale, per una data applicazione, occorre selezionare una qualità di acciaio stabile e che non dimostra corrosione nell'ambiente dato.

La resistenza dell'acciaio inox contro la corrosione alveolare può essere stimata approssimativamente attraverso il numero equivalente di resistenza alla vaiolatura (PREN - pitting resistance equivalent number) Il PREN si basa sulla composizione chimica dell'acciaio, tenendo conto della quantità di cromo, molibdeno e azoto. In letteratura, per tale calcolo vengono indicate varie equazioni. Le equazioni più comuni sono:

$$\text{PREN} = \%Cr + 3.3 \times \%Mo$$

(per acciaio inox  $Mo < 3\%$ )

$$\text{PREN} = \%Cr + 3.3 \times \%Mo + 30 \times \%N$$

(per acciaio inox  $Mo \geq 3\%$ )

Un'altra grave forma di corrosione legata all'acciaio inox è la tensocorrosione. L'acciaio inox austenitico può essere soggetto a questa forma di corrosione in ambienti specifici altamente aggressivi, come le piscine coperte. In tali casi, per alcune applicazioni occorre utilizzare qualità di acciaio altamente resistenti alla corrosione, ad es. qualità con contenuto di molibdeno superiore al 6%.

Maggiori informazioni sulla selezione delle qualità di acciaio inox si trovano al paragrafo 4.

### Qualità dell'acciaio inox

Esistono diverse qualità di acciaio inox con diversi livelli di stabilità. La qualità più comune è l'acciaio legato con circa 18% Cr e 10% Ni (vedere Fig. 33). Aumentando o riducendo la quantità di elementi specifici nell'acciaio cambiano le proprietà anticorrosione, le proprietà meccaniche o alcune proprietà di lavorazione come l'idoneità alla saldatura. Se il contenuto di nichel viene ridotto in modo significativo, la fase di lega non risulta più puramente austenitica, ma combina quindi le fasi austenitica e ferritica (acciaio inox duplex).

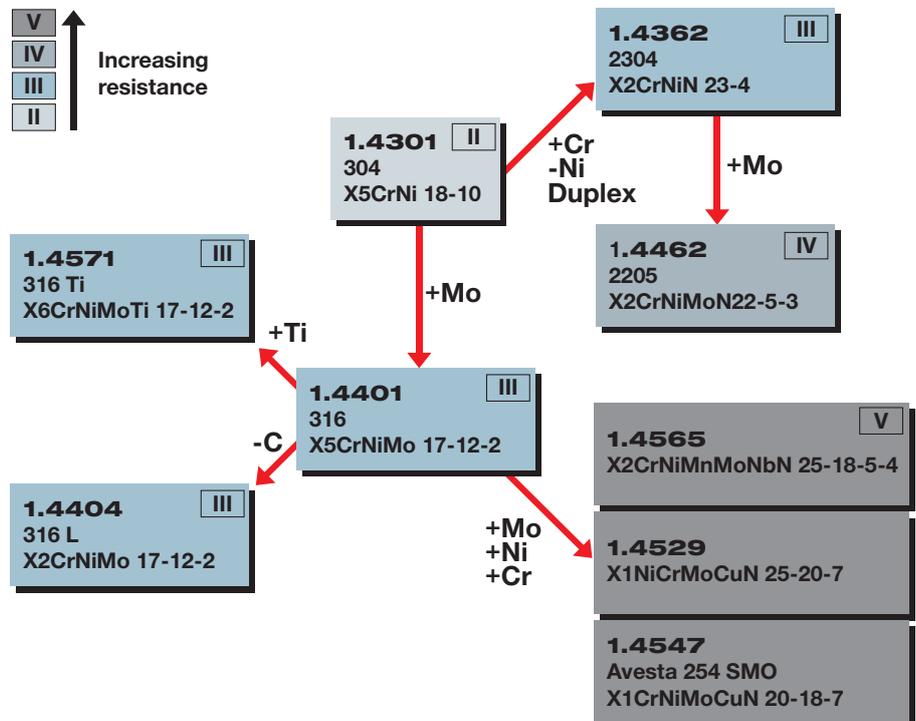


Fig. 33: Struttura ad albero di classificazione per le più comuni qualità di acciaio inox.

## Designazioni dell'acciaio inox

L'illustrazione nella Fig. 33 mostra le tre forme più comuni di designazione delle qualità di acciaio inox.

### Numero materiale

#### Descrizione

Il sistema di numerazione dei materiali in conformità con EN 10088-1:2014 viene utilizzato in diversi paesi. Ciascun numero è formato da cinque cifre, ad esempio 1. 4404

La prima cifra 1 indica l'acciaio, la seconda e la terza cifra 44 indicano gli acciai resistenti chimicamente con Mo e senza Nb o Ti. Oltre alla designazione 44, per l'acciaio inox esistono le seguenti designazioni:

“41” = con Mo, senza Nb e Ti, Ni < 2,5 %

“43” = senza Mo, Nb e Ti, Ni ≥ 2,5 %

“44” = con Mo, senza Nb e Ti, Ni ≥ 2,5 %

“45” = con elementi aggiuntivi

Le ultime due cifre 04 designano la lega esatta.

### Designazione AISI (ad es. 316)

#### Descrizione

Il sistema di designazione dell'Istituto Americano per il Ferro e l'Acciaio (AISI - American Iron and Steel Institute) viene usata in tutto il mondo. È composto da un numero a cui possono essere aggiunte alcune lettere in base alla composizione.

200 - designa un acciaio austenitico contenente cromo, nichel e manganese.

300 - designa un acciaio austenitico contenente cromo e nichel

400 - designa gli acciai al cromo ferritici e martensitici

Le lettere aggiuntive (alcune delle quali sono riportate di seguito) indicano quanto segue:

L = basso carbonio                      Ti = titanio

e qualità di acciaio inox duplex di nuova progettazione hanno una designazione a quattro cifre (ad es. 2205 per 1.4462)

## Designazione sintetica

### Descrizione



X= acciaio alto-legato

2= Contenuto di carbonio in 1/100%, in questo caso: C = 0,02 %

Cr= cromo, in questo caso: 17 %

Ni= nichel, in questo caso: 12 %

Mo= molibdeno, 2 %

La qualità dell'acciaio nell'esempio corrisponde al tipo AISI 316 L e al no. materiale DIN 1.4404.

## Termini V2A e V4A – designazione secondo EN ISO 3506-1:2009

### Descrizione

I termini V2A e V4A risalgono a oltre 100 anni fa e trovano origine nella designazione delle prime produzioni di prova dell'acciaio inox. La V sta per "Versuch", ovvero la parola tedesca per "test" o "prova", e la A per "austenite". V2A designa una lega Cr/Ni e V4A una lega CrNiMo. In alcuni paesi, tali termini vengono tuttora utilizzati come sinonimi di acciaio inox.

La norma EN ISO 3506-1:2009 (proprietà meccaniche di fissaggi, bulloni, viti e perni in acciaio inox resistente alla corrosione) utilizza designazioni che vanno da A1 ad A5 per l'acciaio inox austenitico. Questo intervallo si basa sulla composizione della lega e non riflette il comportamento alla corrosione. Ad esempio, la qualità 1.4401 è nel gruppo A4 e 1.4571 è nel gruppo A5. Tuttavia le due leghe di acciaio inox presentano praticamente la medesima resistenza alla corrosione.

Spesso, i termini A2 e A4 sono utilizzati per parlare di un gruppo di qualità di acciaio con una determinata resistenza alla corrosione. Tuttavia, ciò non è del tutto esatto, poiché da tali termini non è possibile dedurre informazioni specifiche circa la composizione della lega e quindi alcune proprietà quali l'idoneità alla saldatura.

### 3.3. Prevenzione della corrosione galvanica

La corrosione galvanica (descritta nel paragrafo 1.2.6) può essere evitata attraverso la giusta scelta della combinazione di materiali. Tuttavia, ciò non è sempre possibile e a volte occorre considerare altre misure. Un esempio è la separazione galvanica dei diversi materiali, come illustrato nella Fig. 34.

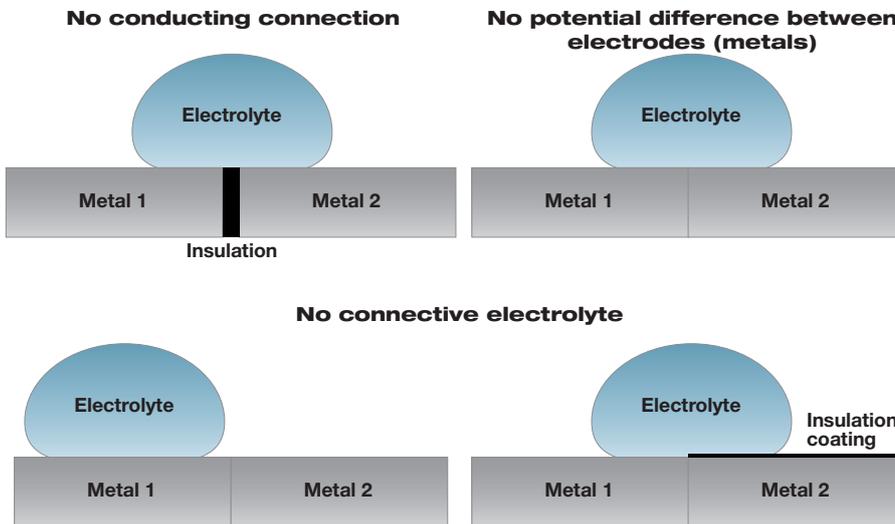


Fig. 34: Condizioni di combinazione dei metalli senza rischio di corrosione galvanica.

Per ridurre al minimo la corrosione galvanica, la differenza nel potenziale di corrosione libera tra i materiali deve essere più bassa possibile e/o il rapporto tra la superficie del metallo più nobile e quella del metallo meno nobile deve essere molto alto. Il potenziale di corrosione libera dipende dal potenziale standard, un valore termodinamico dato per ciascun metallo e l'ambiente corrosivo.

La Fig. 35 illustra il potenziale di corrosione libera di vari materiali immersi in acqua di mare. Maggiore è il potenziale, più nobile è il metallo. Il contatto con un metallo con potenziale minore provoca la corrosione galvanica del metallo meno nobile.

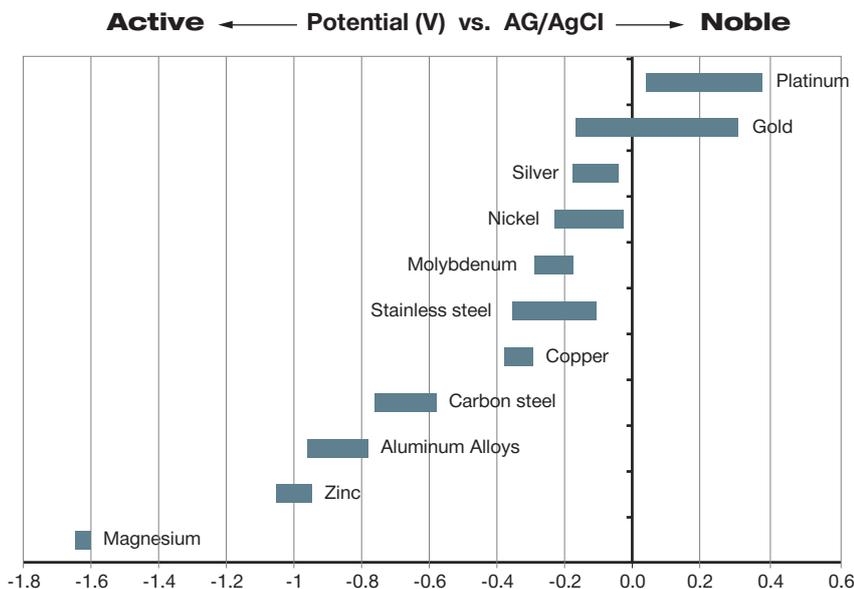


Fig. 35: Potenziale di corrosione di vari metalli in acqua di mare.

Come regola orientativa, un fissaggio deve essere sempre realizzato con un metallo uguale o più nobile della parte da fissare, poiché di norma ha un'area superficiale inferiore e un eventuale cedimento del fissaggio è solitamente critico.

La Tabella 2 illustra l'impatto della corrosione galvanica in **condizioni atmosferiche esterne** per varie combinazioni di materiali.

Tabella 2: Impatto della corrosione galvanica (da contatto) sulla durata dei fissaggi

Parte fissata (area grande)	Fissaggio (area piccola)			
	Elettrolgalva- nizzato	Acciaio al carbonio con rivestimento bilaterale	Galvanizzato per immer- sione a caldo	Acciaio inox
Elettrolgalvanizzato	□	□	□	□
Galvanizzato per immersione a caldo	□	□	□	□
Alluminio	■	■	■	□
Acciaio strutturale o colato	■	■	■	□
Acciaio inox (CrNi o CrNiMo)	■	■	■	□
Stagno	■	■	■	□
Rame	■	■	■	□
Ottone	■	■	■	□

- Nessun impatto sulla durata
- Impatto moderato sulla durata tecnicamente accettabile in molti casi
- Forte impatto sulla durata

Nelle **applicazioni asciutte al chiuso**, la corrosione da contatto è trascurabile e non vi sono solitamente combinazioni di materiali sensibili. Nella maggior parte delle applicazioni al chiuso o all'aperto con combinazioni di materiali, occorre sempre considerare le linee guida generali e le limitazioni per determinati materiali. Ad esempio, il tasso di corrosione galvanica dello zinco a contatto con l'alluminio è solitamente molto basso. Tuttavia, lo spessore di rivestimento dei fissaggi elettrolgalvanizzati è solitamente troppo ridotto per un utilizzo all'aperto con requisiti di lunga durata.

Nelle tabelle di selezione riportate nel paragrafo 5, la corrosione galvanica viene presa in considerazione fornendo due righe diverse per la parte fissata (divisa in "acciaio", "alluminio" e "acciaio inox").

## 4. Come valutare la corrosione in un ambiente/un'applicazione specifici

Il paragrafo seguente descrive le modalità di valutazione della corrosività di determinati ambienti. I parametri che influenzano la corrosione possono essere verificati unicamente da specialisti operanti localmente su un progetto specifico. Di conseguenza, la decisione finale relativa al materiale e ai prodotti selezionati è responsabilità dell'utente e/o del responsabile specificatore. Sebbene il personale Hilti possa fornire le informazioni di base sui nostri prodotti, non è possibile effettuare una verifica completa della corrosività prevista per l'applicazione specifica.

### 4.1. Fattori che influenzano la corrosione atmosferica

In circostanze specifiche, la corrosività e, rispettivamente, i tassi di corrosione dei prodotti in zinco e acciaio può essere stimata conoscendo i parametri atmosferici tipici per una determinata applicazione (vedere Fig. 36).

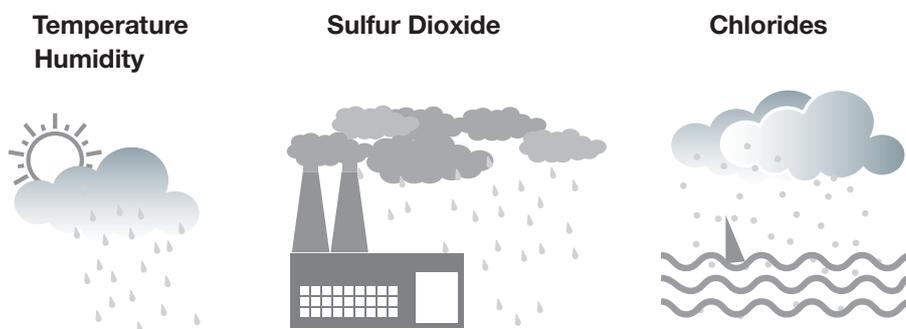


Fig. 36: Fattori che influenzano la corrosione atmosferica.

Le variabili importanti per la corrosione atmosferica sono:

<b>Temperatura</b>	
<b>Influenza generale</b>	Un aumento della temperatura comporta un aumento della velocità della reazione chimica e quindi un aumento del tasso di corrosione. Ciò risulta particolarmente vero a livelli di umidità relativa costanti.
<b>Informazioni aggiuntive</b>	D'altro canto, l'aumento della temperatura facilita l'essiccazione delle superfici umide e può quindi rallentare i tassi di corrosione. A temperature inferiori al punto di congelamento, la corrosione è trascurabile. L'influenza della temperatura sulla corrosione può quindi andare in entrambe le direzioni.
<b>Esempi</b>	Per ambienti analoghi, come le regioni marittime, che solitamente presentano elevati livelli di umidità, un aumento della temperatura media determina un'accelerazione del tasso di corrosione. Di conseguenza, le aree costiere e offshore con clima tropicale presentano una corrosività molto superiore rispetto a zone simili in regioni più fredde.

<b>Umidità</b>	
<b>Influenza generale</b>	La corrosione atmosferica si verifica unicamente in presenza di una sottile pellicola umida sulla superficie del metallo. In assenza di umidità, la maggior parte dei contaminanti hanno un effetto corrosivo ridotto o assente. Il periodo di presenza di una pellicola di umidità si definisce anche tempo umido. Come regola orientativa comunemente usata in conformità con la norma ISO 9223:1998, il tempo umido si definisce come il periodo in cui l'umidità relativa supera l'80%. Si tratta unicamente di una stima approssimativa, poiché la formazione di una pellicola di umidità sulla superficie dipende anche dalla presenza di sali igroscopici (ad es. prodotti della corrosione o depositi salini). La condensa in ambienti marini con cloruri si verifica quindi a livelli di umidità relativa inferiori. Il calcolo dei tassi di corrosione ai sensi della più recente norma ISO 9223:2012 prende in considerazione solamente l'umidità relativa media misurata in un anno (vedere 5.1).
<b>Informazioni aggiuntive</b>	L'acqua piovana non sempre aumenta la corrosività. Essa può addirittura avere un effetto benefico, lavando via i cloruri e gli inquinanti. Tuttavia, in ambienti solitamente asciutti e leggermente corrosivi, l'acqua piovana può fornire l'umidità necessaria a scatenare una reazione corrosiva.
<b>Esempi</b>	Nelle atmosfere rurali/urbane, le parti riparate presentano solitamente una corrosione inferiore rispetto a quelle esposte alla pioggia. D'altro canto, la mancanza dell'effetto di lavaggio della pioggia nelle aree costiere provoca spesso una corrosione più forte.

<b>Cloruri</b>	
<b>Influenza generale</b>	<p>La salinità atmosferica aumenta notevolmente i tassi di corrosione.</p> <p>I cloruri hanno effetti nocivi multipli per la corrosione dei metalli. In particolare, essi sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Riduzione dell'umidità di saturazione: la presenza di sali agevola la condensa con valori di umidità relativa inferiori. Ciò determina periodi prolungati con superfici metalliche umide</li> <li>• Formazione di prodotti da corrosione solubili: gli ioni di metallo dissolto formano cloruri metallici che solitamente non forniscono una protezione sufficiente contro un'ulteriore corrosione.</li> <li>• Distruzione delle pellicole passive: i cloruri attaccano le pellicole di ossido formate sui metalli passivi come l'acciaio inox o l'alluminio.</li> </ul>
<b>Informazioni aggiuntive</b>	<p>Il comportamento alla corrosione di un determinato metallo contenente cloruro dipende fortemente dalla sua capacità di formare prodotti di corrosione stabili e insolubili insieme ai cloruri presenti. Ad esempio, succede con lo zinco, il che spiega il tasso di corrosione molto inferiore dello zinco rispetto all'acciaio.</p>
<b>Esempi</b>	<p>Nelle atmosfere marittime, la principale fonte di cloruri è l'acqua salmastra. Contiene soprattutto cloruro di sodio (più del 90% del sale), unito ai cloruri di calcio e magnesio. La fonte principale di cloruri antropogenici è l'utilizzo di sali antighiaccio sulle strade durante l'inverno.</p>

<b>Diossido di zolfo</b>	
<b>Influenza generale</b>	<p>Tra tutti i contaminanti atmosferici originati dai processi industriali, come la combustione di carburanti e la fusione dei metalli, il diossido di zolfo è il più importante in termini di concentrazione e di effetto sui tassi di corrosione. Il gas diossido di zolfo nell'atmosfera acidifica l'elettrolita sulla superficie e provoca la formazione di prodotti di corrosione solubili. I tassi di corrosione aumentano quindi in molti metalli, ad es. zinco, alluminio e acciaio inox.</p>
<b>Informazioni aggiuntive</b>	<p>Le emissioni di diossido di zolfo sono in calo in gran parte del mondo industrializzato e hanno raggiunto livelli trascurabili in molte aree urbane e persino industriali (al di sotto di 10 µg/m<sup>3</sup> e persino inferiori). Tuttavia, esistono comunque dei punti "caldi" fortemente inquinati nel mondo, in cui un aumento della corrosione dovuta a SO<sub>2</sub> deve essere presa in considerazione per la selezione del materiale.</p>
<b>Esempi</b>	<p>La norma ISO 9223:2012 classifica le atmosfere con concentrazioni di SO<sub>2</sub> superiori a 50 µg/m<sup>3</sup> (media annua) come ambienti fortemente contaminati.</p>

## 4.2. Valutazione della corrosività per i prodotti zincati

Il paragrafo seguente descrive le modalità di valutazione e stima della corrosione prevista in un dato ambiente per i prodotti zincati. Occorre osservare che ciò si applica solamente alla corrosione puramente atmosferica, in cui l'elemento è completamente esposto agli agenti atmosferici. Le applicazioni in cui, ad esempio, l'elemento è a contatto con il suolo, immerso in acqua di mare o posizionato nella "splash zone" sono escluse, come pure gli effetti aggiuntivi risultanti dalla corrosione galvanica, dall'erosione o dall'esposizione a sostanze chimiche.

Una stima della corrosività dell'applicazione può essere realizzata in due diversi modi in conformità con la norma ISO 9223:2012) vedere Fig. 37).

1. Stima della corrosività utilizzando la classificazione di ISO 9223:1998 o la funzione dose-risposta indicata nella nuova versione di tale norma (ISO 9224:2012).
2. Effettuando un test di esposizione di un anno del materiale/prodotto da usare e misurando il tasso di corrosione.

Per la maggior parte dei progetti non è praticabile condurre dei test di esposizione di un anno e quindi una stima diventa l'approccio utilizzato più di frequente. Per l'approccio della stima, occorre considerare i principali parametri climatici e ambientali descritti in precedenza. Si tratta, in particolare, della temperatura media, dell'umidità relativa media, del deposito di cloruri e della concentrazione di  $\text{SO}_2$ .

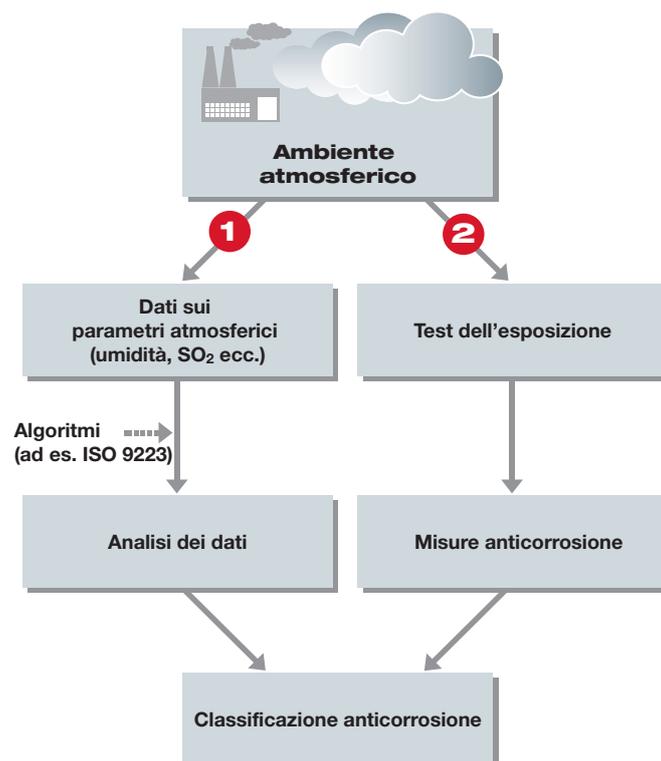


Fig. 37: Metodologie per la valutazione della corrosività atmosferica.

Il risultato di tale approccio è un tasso di corrosione stimato dello zinco o dell'acciaio in un dato ambiente. I tassi di corrosione risultanti definiscono la categoria di corrosività prevalente (classe C, vedere tabella 3).

Come dichiarato nella norma, la deviazione possibile usando i dati ambientali e la funzione dose-risposta può essere fino al 50%. Occorre sottolineare che i risultati sono validi solamente per condizioni macroclimatiche e di esposizione completa (assenza di riparo).

Inoltre, questo approccio non tiene conto di fattori quali l'accumulo di sostanze corrosive o la corrosione galvanica, che può avere un effetto significativo sul tasso di corrosione. Ciononostante, purché tali altre fonti di corrosione siano assenti, i risultati di questo calcolo sono solitamente sufficientemente precisi da consentire la selezione del materiale appropriato.

La corrosione è un processo naturale influenzato da fattori ambientali variabili che non possono essere previsti per l'intera durata di progettazione. Un approccio conservativo è quindi sempre consigliato nel caso di utilizzo di prodotti per fissaggio e installazione.

Tabella 3: Le categorie di corrosività e la descrizione degli ambienti tipici come indicato nella norma ISO 9223

Categoria di corrosività C	Livello di corrosione	Ambienti tipici	
		Interno	Esterno
C1	Molto bassa	Spazi riscaldati con umidità relativa bassa e inquinamento trascurabile, ad es. uffici, scuole e musei.	Zona asciutta o fredda, ambiente atmosferico con inquinamento e periodi di umidità molto ridotti, ad es. determinati deserti, regione artica/antartica centrale.
C2	Bassa	Spazi non riscaldati con temperature e umidità variabili. Bassa frequenza di condensa e basso inquinamento, ad es. sale di stoccaggio, sportive.	Zona temperata, ambiente atmosferico con basso inquinamento (SO <sub>2</sub> < 5 µg/m <sup>3</sup> ), ad es. aree rurali, piccole città.  Zona asciutta o fredda, ambiente atmosferico con brevi periodi di umidità, ad es. deserti, area subartica.
C3	Media	Spazi con frequenza moderata di condensa e inquinamento moderato dai processi di produzione, ad es. impianti di lavorazione degli alimenti, lavanderie, birrifici, caseifici.	Zona temperata, ambiente atmosferico con inquinamento medio (SO <sub>2</sub> : da 5 µg/m <sup>3</sup> a 30 µg/m <sup>3</sup> ) o alcuni effetti dei cloruri, ad es. aree urbane, aree costiere con basso deposito di cloruri.  Zona subtropicale e tropicale, atmosfera con inquinamento basso.
C4	Alta	Spazi con alta frequenza di condensazione e forte inquinamento da processi di produzione, ad es. impianti di lavorazione industriali, piscine.	Zona temperata, ambiente atmosferico con forte inquinamento (SO <sub>2</sub> : da 30 µg/m <sup>3</sup> a 90 µg/m <sup>3</sup> ) oppure effetti sostanziali dei cloruri, ad es. aree urbane inquinate, aree industriali, aree costiere, senza spruzzi di acqua salmastra oppure esposizione a forti effetti di sali antighiaccio.  Zona subtropicale e tropicale, atmosfera con inquinamento medio.
C5	Molto alta	Spazi con frequenza molto elevata di condensa e/o con forte inquinamento dai processi di produzione, ad es. miniere, cave per uso industriale, capannoni non ventilati in zone subtropicali e tropicali.	Zona temperata e subtropicale, ambiente atmosferico con forte inquinamento (SO <sub>2</sub> : da 90 µg/m <sup>3</sup> a 250 µg/m <sup>3</sup> ) e/o effetti significativi dei cloruri, ad es. aree industriali, aree costiere, posizioni riparate lungo la costa.
CX	Estrema	Spazi con condensa quasi permanente o periodi prolungati di esposizione agli effetti dell'umidità estrema e/o con forte inquinamento dai processi di produzione, ad es. capannoni non ventilati in zone tropicali umide con penetrazione dell'inquinamento esterno compresi cloruri aerei e particolato inducente corrosione.	Zona subtropicale e tropicale (periodo di umidità molto prolungato), ambiente atmosferico con inquinamento da SO <sub>2</sub> molto intenso (superiore a 250 µg/m <sup>3</sup> ) compresi fattori di produzione concomitanti e/o un forte effetto dei cloruri, ad es. aree industriali estreme, aree costiere e offshore, contatto occasionale con nebbia salina.

Questa tabella presenta una descrizione testuale dei possibili ambienti in relazione alla classe di corrosione. Sebbene possa essere utilizzata per stimare la classe di corrosione dell'applicazione, occorre ricordare che una rigorosa aderenza alla norma richiede la determinazione della classe di corrosione misurando il tasso di corrosione o i parametri ambientali principali. Anche in questo caso, la tabella considera solamente le condizioni atmosferiche tipiche.

I tassi di corrosione per acciaio, zinco, alluminio e rame relativamente alle classi di corrosione sono reperibili nella norma ISO 9223.

### 4.3. Valutazione della corrosività per i prodotti in acciaio inox

In senso stretto, le categorie di corrosività (classi C) ai sensi della norma ISO 9223 sono applicabili solamente allo zinco, all'acciaio al carbonio, all'alluminio e al rame. Il diverso meccanismo di corrosione dell'acciaio inox rende necessario operare con un sistema di classificazione diverso da quello usato per lo zinco. L'acciaio inox è generalmente stabile verso l'umidità e l'acqua in assenza di contaminanti corrosivi. La rottura dello strato passivo dovuta a sostanze quali i cloruri, tuttavia, deve essere tenuta in considerazione specificamente e limita l'utilizzo di determinate qualità di acciaio inox.

A differenza dello zinco, l'influenza della pura umidità senza altri contaminanti è trascurabile per la corrosione dell'acciaio inox. Per l'acciaio inox è più importante considerare l'effetto dei cloruri e della pioggia nel lavaggio dei prodotti della corrosione e delle sostanze corrosive. In molte applicazioni, l'effetto di tale lavaggio rende possibile l'uso di qualità inferiori di acciaio inox. Per applicazioni quali solai e facciate di edifici, può trattarsi di una possibilità. Tuttavia, nelle applicazioni tipiche in cui vengono usati fissaggi e sistemi di installazione possono esservi aree protette dalla pioggia.

Le norme e le direttive internazionali (Eurocodice 3 EN 1993-1-4 versione bozza) e nazionali (come il benessere tecnico tedesco DIBt Z.30.3-6) solitamente funzionano con un sistema di punteggio particolare per la valutazione dell'idoneità di determinate qualità di acciaio inox.

Questo sistema prende in considerazione i rischi rappresentati dai principali fattori di influenza, da cui viene calcolato un fattore di resistenza alla corrosione (CRF - corrosion resistance factor).

Ciascun fattore di rischio (cloruri, diossido di zolfo, effetto lavaggio) è collegato a un certo numero di punti.

Il CRF dipende dalla gravità delle condizioni ambientali e viene calcolato come segue:

$$CRF = F1 + F2 + F3$$

dove

- F1 = rischio di esposizione ai cloruri dall'acqua salmastra o dai sali antighiaccio (categorie da +1 a -15, determinate principalmente dalla distanza dalla costa o dalle strade in cui vengono usati i sali)
- F2 = rischio di esposizione al diossido di zolfo; (categorie da 0 a -15, determinate dalla concentrazione media di diossido di zolfo)
- F3 = regime di pulizia o esposizione al lavaggio da parte della pioggia. (categorie da +1 a -7)

Sommando tutti i fattori si ottiene un numero di punti (il CRF) che viene quindi correlato a cinque classi di resistenza alla corrosione (vedere Tabella 4). Il presente è solamente un estratto della procedura, per dettagli vedere le norme.

Tabella 4: Elenco delle qualità di acciaio inox nelle classi di resistenza alla corrosione sulla base delle tabelle di EN 1993-1-4:2006 (versione stesura definitiva 2014)

**Classe di resistenza alla corrosione CRC** (collegamento al fattore di resistenza alla corrosione CRF)

<b>I</b> CRF = 1	<b>II</b> 0 ≥ CRF > -7	<b>III</b> -7 ≥ CRF > -15	<b>IV</b> -15 ≥ CRF ≥ -20	<b>V</b> CRF < -20
1,4003	1,4301	1,4401	1,4439	1,4565
1,4016	1,4307	1,4404	1,4462	1,4529
1,4512	1,4311	1,4435	1,4539	1,4547
	1,4541	1,4571		1,4410
	1,4318	1,4429		1,4501
	1,4306	1,4432		1,4507
	1,4567	1,4162		
	1,4482	1,4662		
		1,4362		
		1,4062		
		1,4578		

Nella gamma Hilti di fissaggi e sistemi di installazione, troverete qualità quali 1.4301, 1.4404 e la più stabile 1.4529 (vedere Tabella 6), che coprono tutte le classi di resistenza alla corrosione essenziali.

Tabella 5: Esempi di acciai inox utilizzati in prodotti Hilti

<b>Qualità dell'acciaio</b>	<b>Classe di resistenza alla corrosione</b>	<b>Prodotti</b>
1.4301 (A2, 304)	II	Viti, tasselli, prodotti da installazione
1.4401 (A4, 316)	III	Viti, tasselli, prodotti da installazione, dispositivi di fissaggio diretto posati con attrezzi a polvere o gas.
1.4404 (A4, 316L)	III	Viti, tasselli, canaline di installazione, dispositivi di fissaggio diretto posati con attrezzi a polvere o gas.
1.4571 (A5, 316Ti)	III	Prodotti da installazione
1.4362 (duplex, 2304)	III	Dispositivi di fissaggio diretto posati con attrezzi a polvere o gas.
1.4462 (duplex, 2205)	IV	Dispositivi di fissaggio diretto posati con attrezzi a polvere o gas.
1.4529 (HCR)	V	Tasselli

Per informazioni più dettagliate sulle qualità di acciaio inox utilizzate nei nostri prodotti, consultare i nostri nuovi cataloghi prodotti o visitare [www.hilti.com](http://www.hilti.com).



## 5. Come selezionare un dispositivo di fissaggio e un sistema di installazione idonei

### Informazioni sulle tabelle di selezione

Hilti offre fissaggi e sistemi di installazione in una vasta gamma di materiali idonei ed economicamente convenienti. Tuttavia, le differenze nel comportamento alla corrosione, la complessità dei fattori che influenzano la corrosione e il numero di norme e direttive nazionali e internazionali applicabili al campo della corrosione possono rappresentare una sfida quando si tratta di prendere la giusta decisione in termini di materiali per una determinata applicazione.

Al fine di fornire una panoramica iniziale delle prestazioni dei vari prodotti, le nostre tabelle riportano l'idoneità generale e, laddove applicabile, anche una stima approssimativa della durata dei prodotti in alcuni ambienti tipici.

La sezione "Note importanti" fornisce informazioni che devono essere sempre tenute in considerazione per l'utilizzo delle tabelle:

### Note importanti

La decisione finale sulla protezione dalla corrosione spetta al cliente. Hilti declina ogni responsabilità relativa all'idoneità di un prodotto per un'applicazione specifica, anche se informata circa le condizioni di applicazione.

Le tabelle di basano su una vita di servizio media per applicazioni tipiche.

Per i rivestimenti metallici, ad es. sistemi con strati di zinco, la fine della vita operativa rappresenta il momento in cui è visibile della ruggine rossa su una grande porzione del prodotto ed è possibile il verificarsi di un diffuso deterioramento strutturale - i primi segnali di ruggine potrebbero presentarsi prima.

Occorre considerare e valutare separatamente i codici, le norme o le regole internazionali nonché le direttive specifiche del cliente e/o del settore industriale.

Le presenti linee guida si applicano unicamente alla corrosione atmosferica. Tipi di corrosione particolari, come la corrosione interstiziale o l'infragilimento da idrogeno devono essere valutati separatamente.

Le tabelle riportate nella presente brochure rappresentano unicamente una linea guida generale per applicazioni comunemente accettate in ambienti atmosferici tipici.

L'idoneità per un'applicazione specifica può essere influenzata in modo significativo dalle condizioni locali, tra cui, a titolo puramente esemplificativo:

- Temperature e umidità elevate
- Alti livelli di inquinanti aerei
- Contatto diretto con prodotti corrosivi, come quelli presenti in alcuni tipi di legno trattato chimicamente, nelle acque di scarico, negli additivi del calcestruzzo, negli agenti detergenti, ecc.
- Contatto diretto con suolo, acqua stagnante
- Contatto diretto con calcestruzzo fresco / giovane (meno di 28 giorni)
- Corrente elettrica
- Contatto con metalli dissimili
- Aree chiuse, ad es. interstizi
- Danni fisici o usura
- Corrosività estrema dovuta all'effetto combinato di diversi fattori
- Arricchimento di inquinanti nel prodotto

Nella Tabella 6 sono descritte in maggiore dettaglio le condizioni ambientali indicate nelle tabelle. Sono inoltre elencate le categorie di corrosione e le classi di resistenza alla corrosione prevalenti sottostanti.

Tabella 6: Condizioni ambientali e il relativo collegamento alle categorie di corrosività e alle classi di resistenza alla corrosione.

		Categorie di corrosione secondo ISO 9223:2012	Classe di resistenza alla corrosione Acciaio inox
<b>Applicazioni al coperto</b>			
	<b>Ambienti al chiuso asciutti</b> (aree riscaldate o climatizzate) senza condensa, ad es. edifici amministrativi, scuole	C1, C2	1
	<b>Ambienti al chiuso con condensa temporanea</b> (aree non riscaldate senza inquinanti), ad es. capannoni di stoccaggio	C1, C2	1
<b>Applicazioni all'aperto</b>			
	<b>Ambiente all'aperto rurali o urbani con basso inquinamento</b> Grande distanza (> 10 km) dal mare	C2, C3	2
	<b>Ambiente all'aperto con moderata concentrazione di inquinanti e/o di sale dall'acqua marina</b> Distanza dal mare 1-10 km	C2, C3, C4	2,3
	<b>Aree costiere</b> Distanza dal mare < 1 km	C3, C4, C5, CX	3,4
	<b>Aree all'aperto con forte inquinamento industriale</b> Concentrazione di SO <sub>2</sub> atmosferico > 10 µg/m <sup>3</sup> come media annuale (ad es. petrolchimico, industria del carbone)	C4, C5, CX	3,4
	<b>Immediata prossimità di sedi stradali</b> trattate con sali antigelo. Distanza dalle sedi stradali < 10 m	C3, C4, C5	3,4
<b>Applicazioni speciali</b>			
	<b>Applicazioni speciali</b> Aree con particolari condizioni di corrosività, ad es. gallerie stradali con sale antigelo, piscine coperte, applicazioni speciali nell'industria chimica (con possibili eccezioni).	Condizioni climatiche speciali non coperte dalle classi C	4,5

## **Tabelle di selezione per fissaggi, chiodi da legno e sistemi di installazione**

**Dispositivi quali tasselli, chiodi e viti** sono spesso utilizzati per fissaggi in punti singoli e legati alla sicurezza. Una visibilità insufficiente o limitata dei fissaggi dopo l'installazione, la mancata possibilità di ripararli o sostituirli e la complessa interazione con i carichi applicati, la parte da fissare e le condizioni di attrito nel foro praticato (nel caso dei tasselli a espansione) rendono necessario, per definire una linea guida generica, adottare un approccio conservativo al fine di ridurre al minimo il rischio di corrosione del materiale del fissaggio. Con fissaggi zincati, la fine della durata del fissaggio coincide con l'inizio della perdita di materiale dell'acciaio sottostante. La tabella di selezione per i fissaggi, di conseguenza, non indica un intervallo di durata, ma offre un consiglio generico sì/no sulla base del servizio dell'edificio definito nelle linee guida di benessere, ad es. 25 o 50 anni - vedere le note alle tabelle di selezione per dettagli.

Spesso, i fissaggi formano una parte della struttura dell'edificio, il che significa che la durata del fissaggio deve essere uguale alla durata di progettazione dell'edificio. Le strutture secondarie come i **supporti di installazione** non richiedono spesso una durata pari a quella della struttura primaria, poiché i servizi dell'edificio sono soggetti a sostituzioni e modifiche più frequenti.

Inoltre, molte applicazioni con canaline da installazione consentono misure di riparazione ed estensione della durata, ad esempio attraverso l'applicazione di uno spray allo zinco. Con un'adeguata valutazione della corrosività dell'ambiente, compresa la durata pianificata e anche l'implementazione di intervalli periodici di ispezione e riparazione, i prodotti in acciaio al carbonio rivestiti possono essere utilizzati in modo idoneo ed economico per una vasta gamma di applicazioni in una vasta gamma di ambienti.

Nel caso di sistemi di installazione zincati e chiodi da legno, l'inizio della corrosione del substrato in acciaio non provoca problemi immediati in termini di integrità meccanica. La presenza del 5% circa di ruggine rossa sulla superficie viene considerata indicatrice della fine del periodo di protezione fornita dalla zincatura. Risulta quindi possibile definire un intervallo orientativo per la vita operativa prevista in un ambiente specifico.

## **Benestare Tecnico Europeo - tasselli metallici per l'uso nel calcestruzzo**

Per i tasselli, il Benestare Tecnico Europeo (ETA) attuale richiede l'uso di acciaio inox con classe di resistenza alla corrosione III ("classe A4") per le applicazioni all'aperto in generale. Applicazioni speciali, come gallerie stradali e piscine coperte, richiedono una qualità ancora superiore (classe IV o V). Il motivo è dato, naturalmente, dall'intento di fornire all'utente una linea guida conservativa e pratica per la selezione di un materiale adeguato alle applicazioni all'aperto. L'intento dell'approccio ETA è eliminare la necessità di una valutazione dettagliata dell'ambiente e dell'applicazione in caso di rigorosa aderenza all'ETA (presumendo l'assenza di problemi di corrosione non atmosferica). L'utente, ad esempio, non è tenuto a valutare l'influenza dei cloruri in cantiere risultanti dalla prossimità dell'acqua di mare o l'uso di sali antighiaccio.

Tuttavia, nei casi in cui i cloruri sono trascurabili è possibile andare oltre le specifiche ETA. Da un punto di vista tecnico, i tasselli galvanizzati per immersione a caldo o in acciaio inox in CRC II ("classe A2") sono idonei per ambienti all'aperto con determinate limitazioni in termini di durata e applicazione. Ciò si basa su un'esperienza a lungo termine con tali materiali. Osservare che ciò comporta una valutazione specifica e una comprensione più approfondita dell'applicazione e dell'ambiente (vedere tabelle seguenti).

## 5.1. Selezione della giusta protezione da corrosione per tasselli, dispositivi di fissaggio diretto e viti

Affinché i fissaggi siano perfettamente soddisfacenti e affidabili per l'intera vita di servizio, tutti i fattori d'influenza devono essere identificati prima di poter selezionare un dispositivo idoneo.

Le tabelle seguenti forniscono una guida generale per le applicazioni più comuni degli elementi di fissaggio. Viene riportata la protezione anticorrosione appropriata per ciascun materiale di fissaggio sulla base dell'ambiente atmosferico tipico (vedere note).

### Tasselli, dispositivi di fissaggio diretto e viti

esempi di prodotto		HSA, HUS3, HST, HIT-V, HRD	HUS3-HF	HSA-F, HIT-V-F	HSA-R2, HRD-R2	HUS-HR, HSA-R HST-R, HIT-V-R HIT-Z-R, HRD-R	HST-HCR
	<b>Tasselli</b>						
	<b>Viti</b>	S-DS01, S-DD01	S-MD Z, S-MP Z	S-CD C, S-IT C		S-MD S, S-CD S	S-MD SS, S-CD SS
	<b>Dispositivi di fissaggio diretto</b>		X-ENP <sup>1)</sup> , X-U X-GHP, X-GN	X-FCM-M, X-GR			X-BT, X-BT-ER X-CR, X-FCM-R
	<b>Rivestimento/ del tubo</b>	Acciaio al carbonio con o senza fosfatazione	Elettrolgalvanizzato	Acciaio al carbonio con rivestimento bilaterale	HDG/ sherardizzato 45-50 µm	A2 AISI 304	A4 AISI 316
							HCR, ad es. 1.4529

Condizioni ambientali	Parte fissata							
 Coperto asciutto	Acciaio (zincato, verniciato), alluminio, acciaio inossidabile	■	■	■	■	■	■	■
 Coperto con condensa temporanea	Acciaio (zincato, verniciato), alluminio	—	—	■	■	■	■	■
	Acciaio inox			—	—			
 Aperto con basso inquinamento	Acciaio (zincato, verniciato), alluminio	—	—	□ <sup>2</sup> NO ETA)	□ <sup>2</sup> NO ETA)	■ <sup>2)</sup>	■	■
	Acciaio inox			—	—			
 Aperto con moderata concentrazione di inquinanti	Acciaio (zincato, verniciato), alluminio	—	—	□ <sup>2)</sup> NO ETA)	□ <sup>2)</sup> NO ETA)	■ <sup>2)</sup>	■	■
	Acciaio inox			—	—			
 Aree costiere	Acciaio (zincato, verniciato), alluminio, acciaio inossidabile	—	—	—	—	—	■	■
 Aree all'aperto con forte inquinamento industriale	Acciaio (zincato, verniciato), alluminio, acciaio inossidabile	—	—	—	—	—	■	■
 Immediata prossimità di strade	Acciaio (zincato, verniciato), alluminio, acciaio inossidabile	—	—	—	—	—	■	■
 Applicazioni speciali		<b>Consultare degli esperti</b>						■

■ = la durata prevista dei tasselli realizzati con questo materiale risulta di norma soddisfacente negli ambienti specificati sulla base della durata tipica prevista di un edificio. La vita operativa presunta nei Benestari Tecnici Europei è di 50 anni per i tasselli da calcestruzzo, 25 anni per dispositivi di fissaggio diretto, acciaio e viti per pannelli sandwich e di 10 anni per viti per isolamenti di solai piani.

□ = in queste atmosfere occorre considerare una possibile riduzione della durata prevista dei dispositivi di fissaggio non inossidabili (≤ 25 anni). Una durata prevista superiore richiede una valutazione specifica.

— = i dispositivi di fissaggio realizzati con questo materiale non sono idonei per l'ambiente indicato. Eventuali eccezioni richiedono una valutazione a parte.

<sup>1)</sup> L'esposizione all'aperto fino a 6 mesi durante la costruzione è ammissibile per dispositivi di fissaggio ad alta resistenza elettrolgalvanizzati per rivestimenti esterni e materiale di rivestimento l'X-ENP (per dettagli, vedere istruzioni per l'uso).

<sup>2)</sup> Da un punto di vista tecnico, i rivestimenti HDG/bilaterali e il materiale A2/304 sono idonei per ambienti esterni con un certa durata e limitazioni all'applicazione. Ciò si basa su una lunga esperienza con questi materiali riflessa, ad es., nei tassi di corrosione per Zn indicati in ISO 9224:2012 (categorie di corrosività, classi C), le linee guida di selezione per le qualità di acciaio inox indicate nell'Eurocodice 3 EN 1993 (stesura definitiva 2014) o nel benessere tecnico nazionale rilasciato da DIBt Z.30.3-6 (Aprile 2014) e i rapporti di valutazione ICC-ES per i nostri tasselli KB-TZ per il Nord America (ad es. ESR-1917, maggio 2013). L'utilizzo di tali materiali in ambienti all'aperto non è tuttavia attualmente coperto dal Benestare Tecnico Europeo (ETA) dei tasselli, dove si afferma che i tasselli realizzati in acciaio al carbonio galvanizzato o acciaio inox qualità A2 possono essere utilizzati unicamente in strutture soggette a condizioni ambientali al chiuso asciutte, sulla base di una vita operativa presunta del tassello di 50 anni.

Il binario di ancoraggio Hilti (HAC) è disponibile in versione galvanizzata con immersione a caldo secondo E ISO 1460:2009-10. Le viti speciali HBC sono disponibili nelle versioni elettrolgalvanizzata, galvanizzata con immersione a caldo e A4. HAC può essere utilizzato con HBC in qualunque combinazione di materiali in ambienti al chiuso asciutti secondo ETA-11/0006 (28 febbraio 2012). Con HBC in versione galvanizzata con immersione a caldo, è possibile l'utilizzo anche in ambienti al chiuso con condensa temporanea.

## 5.2. Selezionare la giusta protezione da corrosione per i chiodi da legno

Il legno può rivelarsi corrosivo a causa degli acidi organici che contiene. Oltre alle condizioni atmosferiche, nella selezione del tipo di protezione anticorrosione per i chiodi da legno occorre considerare anche l'attacco corrosivo del legno stesso.

La tabella seguente fornisce una linea guida generale per applicazioni comuni in cui chiodi da legno vengono utilizzati in ambienti atmosferici tipici per unioni legno-legno.

<b>Chiodi da legno</b> Hilti GX-WF 	<b>Classi di servizio</b> in conformità con EN 1995 (Eurocode 5)  <b>Rivestimento/                      del tubo</b>	Classe di servizio 1,	Classe di servizio 2,	Classe di servizio 3		
		Acciaio al carbonio con /senza fosfatazione	Elettrolgalvanizzato	HDG 45-50 µm	A2 <sup>1)</sup> AISI 304	A4 AISI 316
<b>Condizioni ambientali</b>		<b>durata in anni</b>				
 Coperto asciutto	da 20 a 50	fino a 50	fino a 100	■	■	
 Coperto con condensa temporanea	–	da 10 a 50	da 60 a 100	■	■	
 Aperto con basso inquinamento	–	da 5 a 20	da 40 a 100	■	■	
 Aperto con moderata concentrazione di inquinanti 1-10km	–	da 2 a 10	da 20 a 40	■	■	
 Aree costiere 0-1km	–	meno di 5	da 10 a 30	–	■	
 Aree all'aperto con forte inquinamento industriale	–	meno di 5	da 10 a 30	–	■	
 Immediata prossimità di strade	–	–	–	–	■	
 Applicazioni speciali	<b>Consultare degli esperti</b>					

La tabella precedente riporta le stime per la vita di servizio tipicamente presunta sulla base delle considerazioni sulla corrosione. Gli altri fattori determinanti per la vita di servizio dei dispositivi di fissaggio devono essere valutati separatamente.

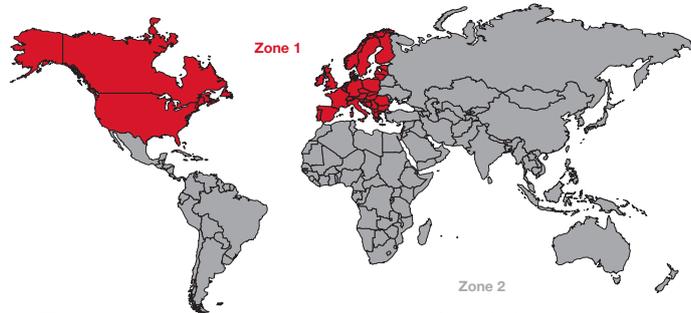
- = la durata prevista dei chiodi realizzati con questo materiale risulta di norma soddisfacente negli ambienti specificati sulla base della durata tipica prevista di un edificio.
  - = i chiodi realizzati in questo materiale non sono idonei per l'ambiente oppure non viene raggiunta la durata tipica di un edificio.
- <sup>1)</sup> Nei chiodi realizzati in materiale A2, prima di raggiungere la vita di servizio indicata nella precedente tabella può verificarsi uno scolorimento delle teste dei chiodi. Per prevenire tale fenomeno, utilizzare un materiale A4.

Alcune specie di legno, comprese, a puro titolo esemplificativo, la quercia, l'abete di Douglas o il cedro rosso occidentale, richiedono l'uso di chiodi in acciaio inox indipendentemente dalla classe di servizio e delle condizioni ambientali.

L'utilizzo di determinati trattamenti del legno, compresi, a puro titolo esemplificativo, prodotti ignifughi o conservanti, possono alterare la composizione chimica del legno e potrebbero richiedere l'uso di chiodi in acciaio inox indipendentemente dalla classe di servizio e dalle condizioni ambientali.

### 5.3. Selezionare il giusto sistema di installazione

La durata nominale tipica dei rivestimenti iniziali dipende dalla corrosività dell'atmosfera, che differisce in modo significativo nelle diverse regioni del mondo. Per un approccio pratico, Hilti distingue tra due zone:



La Zona 1 comprende i paesi in cui la qualità dell'aria e i dati climatici dimostrano una generale assenza di ambienti inquinati e tropicali. Oggi, si tratta dei paesi europei e del Nord America. I paesi della zona 2 sono quelli al di fuori della zona 1 che o non dispongono di dati affidabili sulla qualità dell'aria oppure in cui i dati dimostrano la presenza di un forte inquinamento (specialmente nelle zone urbane) e/o le regioni dal clima tropicale caldo.

La durata prevista tipica dei sistemi di installazione Hilti è riportata nella tabella di seguito.

Sistemi di installazione	Sistema a binario	Sistema MM + MQ + MC	Sistema MC-OC MQ-F	Sistema MC-OC-A MQ-F	Sistema MI HGD	Sistema MQ inox A2/ AISI 304	Sistema MQ inox A4/ AISI 316
		<b>Fissaggio di tubi</b>	Raccordi ad anello per tubi al chiuso <sup>1</sup>	Raccordi ad anello per tubi HDG <sup>2</sup>		MI-UB, MI-PS	Raccordi ad anello per tubi inossidabili <sup>3</sup>
<b>Condizioni ambientali</b>	durata in anni per la <b>zona 1</b> e la zona 2						
Coperto asciutto	da 70 a 100 da 70 a 100	fino a 100 fino a 100	fino a 100 fino a 100	fino a 100 fino a 100	■	■	■
Coperto con condensa temporanea	da 25 a 70 da 25 a 70	da 40 a 100 da 40 a 100	da 60 a 100 da 60 a 100	da 60 a 100 da 60 a 100	■	■	■
Aperto con basso inquinamento	da 4 a 10 da 2 a 10	da 25 a 50 da 15 a 60	da 40 a 100 da 25 a 100	da 40 a 100 da 25 a 100	■	■	■
Aperto con moderata concentrazione di inquinanti 1-10km	-	da 20 a 40 da 10 a 40	da 25 a 50 da 20 a 50	da 25 a 50 da 20 a 50	■	■	■
Aree costiere 0-1km	-	da 10 a 20 da 7 a 20	da 15 a 40 da 10 a 40	da 15 a 40 da 10 a 40	-	-	■
Aree all'aperto con forte inquinamento industriale	-	da 10 a 20 da 5 a 20	da 15 a 40 da 10 a 40	da 15 a 40 da 10 a 40	-	-	■
Immediata prossimità di strade	-	-	-	-	-	-	■
Applicazioni speciali	<b>Consultare degli esperti</b>						

■ = la durata prevista di un sistema di installazione realizzato con questo materiale risulta di norma soddisfacente negli ambienti specificati sulla base della durata tipica prevista di un edificio.

<sup>1</sup> Raccordi ad anello per tubi al chiuso: MP-H, MP-HI, MP-LH, MP-LHI, MPN, MP-MI, MP-MIS, MP-M, MP-MXI, MP-MX, MP-PI, SDC, MP-SP

<sup>2</sup> Raccordi ad anello per tubi HDG: MP-MI-F, MP-M-F, MP-MXI-F, MP-MX-F

<sup>3</sup> Raccordi ad anello per tubi inossidabili: MP-SRN, MP-SRNI, MP-MR, MP-MRI, MP-MRXI



## 6. Bibliografia

### Risorse Internet

Corrosione generale

<http://corrosion-doctors.org/>

Rivestimenti allo zinco

<http://www.feuerverzinken.com/>

<http://www.galvanizeit.org/>

<http://www.nordicgalvanizers.com/>

Acciaio inox

<http://www.edelstahl-rostfrei.de/>

<http://www.bssa.org.uk/>

<http://www.worldstainless.org/>

<http://www.euro-inox.org/> (informazioni disponibili in molte lingue)

### Norme

EN ISO 8044:1999-08

EN ISO 9223:2012-02

EN ISO 9224:2012-02

EN ISO 9227:2012-05

EN ISO 16701:2008-04

ISO 20340:2009-04

EN ISO 6270-1:2001-08

EN ISO 6988:1994-10

EN ISO 3506-1:2009

### Bibliografia

G. Kreysa M. Schütze, "Corrosion Handbook Volume 6: Atmosphere, Industrial Waste Gases", Wiley VCH, 2004

P. R. Roberge, "Handbook of Corrosion Engineering", McGrawHill, 2012

H. Kaesche, "Corrosion of Metals: Physicochemical Principles and Current Problems", Springer, 2003

X.G. Zhang, "Corrosion and Electrochemistry of Zinc", Springer, 1996

U. Nürnberger, "Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen", Bauverlag, 1995

## 7. Limitazione della responsabilità

Tutte le informazioni riportate nel presente opuscolo si basano su test, principi, formule, norme e benestari descritti nell'opuscolo stesso, aggiornato alla data di stampa (maggio 2015). Si applica unicamente ad applicazioni paragonabili alle condizioni descritte. L'estrapolazione dei risultati verso altri ambienti non è ammissibile. Le linee guida di selezione e le informazioni sulla durata prevista si basano solamente sulla corrosione atmosferica e si intendono unicamente come una guida approssimativa per assistere nella valutazione iniziale. Le condizioni specifiche del sito, compresi i parametri di corrosione generali (ad es. temperatura, movimento di aria e acqua, inquinanti localizzati, abrasione meccanica), altre forme di corrosione, requisiti di durata, criticità di applicazione, programmi di ispezione e requisiti locali di in termini di leggi/codici/progetto possono incidere significativamente sul processo di selezione e devono essere valutate. Una significativa dispersione dei valori si può inoltre verificare entro l'ampiezza di banda di prestazioni di rivestimento/materiale e i parametri applicabili a una struttura specifica. La valutazione completa e la selezione finale sono responsabilità dello specialista di progetto oppure, rispettivamente, dell'acquirente. La presente relazione deve essere considerata come un'unità e può essere trasferita a terzi o copiata per un'ulteriore utilizzo unicamente nella sua interezza. Poiché tali informazioni sono intese unicamente come guida generale, Hilti declina qualsivoglia responsabilità per eventuali danni o lesioni risultanti dall'uso della presente relazione.

**Hilti. Outperform. Outlast.**

Hilti Corporation | 9494 Schaan | Liechtenstein | P +423-234 2111 | F +423-234 2965 | [www.hilti.com](http://www.hilti.com)