

IL TRATTAMENTO DELLE ACQUE DURE: TECNICHE A CONFRONTO

sali di polifosfato, campi magnetici e resine a scambio ionico sono i mezzi principalmente usati per ridurre i danni provocati dall'acqua calcarea

(PARTE I: CARATTERISTICHE DELLE ACQUE DURE)

INTRODUZIONE

A causa del proprio elevato potere solvente, l'acqua, a seconda della natura degli strati di terreno che attraversa durante il suo percorso (granitico, argilloso, dolomitico, gessoso, ecc), può disciogliere una percentuale di sali di calcio e/o magnesio più o meno elevata.

Come tutti i carbonati, ad eccezione di quelli dei metalli alcalini (elementi del I gruppo della tavola periodica), anche il bicarbonato di calcio è poco solubile in acqua anche se tale solubilità aumenta assai nei casi in cui il biossido di carbonio CO₂, presente nell'acqua in eccessive quantità, evapora per effetto della temperatura:



Secondo la reazione soprascritta, la stabilità del bicarbonato è possibile solo in presenza di un eccesso di CO₂ libera, in altri casi esso diventa instabile e si separa allo stato solido dando origine al carbonato insolubile che precipita.

Il carbonato di calcio è un polimorfo in quanto, in fase di precipitazione, può dare origine ad incrostazioni di varia natura in funzione delle condizioni esterne alle quali è sottoposto:

CALCITE (cristallo di forma romboedrica)

ARAGONITE (cristallo aghiforme)

VATERITE (cristallo di forma esagonale rotondeggiante)

FORMA AMORFA (solido privo di struttura cristallina)

E' questa l'origine delle incrostazioni calcaree che si possono trovare, in ambito domestico, sulle pareti dei recipienti (pentole, caldaie, ecc.) in cui l'acqua viene scaldata o fatta bollire oppure, in natura, quando acque sorgive contenenti notevoli quantità di CO₂, venendo alla superficie, eliminano gran parte di questo gas permettendo l'aggregazione delle molecole dei carbonati.

Il contenuto totale di sali di calcio e magnesio costituisce la *durezza totale* dell'acqua, la quale è la somma della durezza temporanea e della durezza permanente:

a) **durezza temporanea**: è dovuta ai bicarbonati di Ca e di Mg i quali possono essere eliminati mediante l'ebollizione dell'acqua che, inducendo una perdita di CO₂, dà luogo alla formazione di carbonati assai poco solubili che precipitano:

bicarbonato di calcio	Ca(HCO ₃) ₂
bicarbonato di magnesio	Mg(HCO ₃) ₂

b) **durezza permanente**: non si elimina con l'ebollizione ed è dovuta agli altri sali di calcio e magnesio (solfati e cloruri) che restano disciolti in soluzione:

solfato di magnesio	MgSO ₄
solfato di calcio	CaSO ₄
cloruro di calcio	CaCl ₂
cloruro di magnesio	MgCl ₂

Nelle varie regioni d'Italia l'acqua si presenta con valori di durezza alquanto diversi: molto dure (anche oltre i 40°F) risultano le acque dell'Italia Centrale, della Calabria e della Sicilia mentre di media durezza (circa 20°F) possono essere considerate le acque del Friuli e della Liguria.

In genere, comunque, le acque presenti sul territorio italiano risultano essere piuttosto dure; per questo motivo è frequente l'uso di apparecchi atti ad un trattamento preventivo delle incrostazioni.

MISURA DELLA DUREZZA

Esistono varie unità di misura per la durezza, la più utilizzata a livello mondiale ed in particolare in Italia è quella cosiddetta in gradi francesi:

un grado francese (°F) di durezza corrisponde ad un contenuto di sali di calcio e/o magnesio molecolarmente equivalente a 1g di CaCO₃ ogni 100 l d'acqua.

In alcuni Paesi vengono utilizzate la scala inglese o quella tedesca; per chiarezza riportiamo in seguito i fattori di conversione tra le varie unità di misura della durezza:

$$1^{\circ}\text{F} = 0.70^{\circ}\text{ingl} = 0.56^{\circ}\text{D} = 4.008\text{mgCa}^{2+}/\text{IH}_2\text{O} = 10\text{mg CaCO}_3/\text{IH}_2\text{O} = 10\text{ppm CaCO}_3/\text{IH}_2\text{O}$$

A titolo esemplificativo ricordiamo che l'acqua piovana è molto dolce avendo una durezza non superiore a 1°F, mentre alcune acque naturali possono raggiungere e superare i 50°F.

FORMAZIONE DELLE INCROSTAZIONI CALCAREE

I meccanismi di formazione e deposito delle incrostazioni calcaree sono essenzialmente di tre tipi:

- 1) sedimentazione di particelle di calcare (CaCO₃, MgCO₃) soprattutto nelle strozzature dell'impianto (curve, gomiti, ecc). Tale dinamica di sedimentazione è propria anche di altre particelle di origine non calcarea come sabbia, idrossidi di ferro, ecc.
- 2) cristallizzazione sulle pareti di recipienti e tubature del carbonato di calcio disciolto in eccesso (rispetto a quanto è consentito dai parametri di pressione e temperatura)
- 3) cristallizzazione sulle pareti di recipienti e tubature della durezza temporanea indotta da perdita di CO₂ dovuta ad innalzamento della temperatura; questa modalità di cristallizzazione, tipica degli impianti di riscaldamento, fa rimanere in soluzione solamente i sali della durezza permanente (solfati e alogenuri di calcio e magnesio).

La cristallizzazione del calcare può avvenire seguendo simultaneamente anche più di una tra le dinamiche sopra scritte, ovvero i carbonati possono cristallizzare direttamente sulle pareti di un recipiente o di una conduttura ma anche all'interno della massa d'acqua per poi depositarsi e dare inizio all'incrostazione.

INCONVENIENTI PROVOCATI DALL'ACQUA DURA

Sotto il profilo igienico si è discusso molto circa i danni arrecati alla salute umana dovuti al consumo di acque dure o dolci ma, essendo scarsamente probanti le conclusioni degli studi effettuati, non è possibile stabilire un giudizio definitivo.

Viceversa sotto il profilo tecnico sono ben noti i danni provocati dalle acque calcaree.

Le incrostazioni calcaree portano ad un ostacolo nello scambio termico e di conseguenza ad uno spreco energetico nonché ad una rapida occlusione delle tubature; possono anche provocare rotture o cedimenti del metallo nei punti a maggiore scambio termico, con conseguente necessità di sostituzione di componenti dell'impianto.

La durezza dell'acqua nell'industria

Numerosissimi e massicci sono gli impieghi dell'acqua nell'industria, fra i tanti ricordiamo l'uso come solvente, come refrigerante e per la produzione di vapore, impiegato come vettore di energia negli impianti industriali.

Per tali usi i sali contenuti nelle acque naturali danno luogo ad inconvenienti di natura chimica (reazioni indesiderate), elettrochimica (corrosione), meccanica e termica (depositi salini nelle caldaie).

La durezza dell'acqua negli impianti di riscaldamento

Come evidenziato dall'indice di Langelier, anche un'acqua "in equilibrio" può diventare incrostante qualora riscaldata, infatti, pure se a durezza limitata, essa forma facilmente all'interno delle caldaie incrostazioni anche piuttosto consistenti.

E' stato dimostrato che un'acqua con soli 20° F di durezza temporanea può dare luogo a 4.2g di incrostazione per ogni metro cubo di acqua scaldata a 60° C, mentre se la temperatura viene portata a 80° C il quantitativo di incrostazione sale a 25.8g.

Conseguenza di tale incrostazione è la perdita di circa il 10% del calore è quindi più che ragionevole pensare che, in media, una certa percentuale del combustibile domestico viene sprecato a causa dell'acqua dura.

Inoltre una caldaia, a causa delle incrostazioni, va in breve tempo fuori uso e richiede spesso manutenzioni e sostituzioni in quanto può diventare fonte di grave pericolo oltre che perdere di efficienza.

La durezza dell'acqua nelle tubazioni

Seppur in quantità minore, anche con l'acqua fredda, soprattutto se all'origine ha caratteristiche incrostanti, si verificano incrostazioni calcaree consistenti che dapprima riducono progressivamente la portata e infine obbligano al rifacimento delle tubazioni.

La stessa cosa succede nelle condutture di scarico.

La durezza dell'acqua nella rubinetteria

Le patine biancastre di calcare, che si depositano in rubinetti e sui lavelli, sono difficili da eliminare pertanto si rendono necessarie operazioni frequenti per mantenerli puliti e brillanti.

Per togliere tali macchie è necessario inoltre ricorrere a solventi acidi o a sostanze abrasive, pertanto oltre alla fatica si raggiunge una rapida usura.

La durezza dell'acqua nel lavaggio

Tutti i detersivi oggi in commercio contengono elevate quantità di sostanze anticalcare (circa il 20-30% in peso) perchè senza di esse il lavaggio, soprattutto in lavatrice, sarebbe impossibile.

Ciò nonostante il bucato rimane spesso ruvido e con depositi che si accumulano sulle fibre, sia perchè le sostanze aggiunte non riescono sempre e perfettamente ad impedire precipitazione sul tessuto e sia perchè il risciacquo deve comunque essere fatto con sola acqua la cui durezza si deposita sulla biancheria; questo induce ad usare ammorbidenti o prodotti simili.

Mediante l'uso di acqua addolcita non solo si evitano tutti questi inconvenienti ma addirittura è stato dimostrato che è possibile risparmiare il una percentuale notevole del detersivo solitamente consumato in acqua dura.

E' d'altra parte noto che nelle lavanderie industriali l'addolcimento dell'acqua è una regola.

La stessa cosa può essere detta per il lavaggio delle stoviglie che a causa dell'inevitabile risciacquo con acqua dura (e calda) facilmente rimangono macchiate malgrado l'impiego di brillantanti.

La durezza dell'acqua negli elettrodomestici

Tutti gli elettrodomestici che impiegano acqua, in particolare lavatrici e lavastoviglie, risentono dell'effetto dell'acqua dura malgrado il massiccio impiego di anticalcare e le parti più danneggiate sono ovviamente la più delicate e costose (serpentine, pompe, ecc...).

Ancora una volta l'acqua addolcita evita questi danni e, per quanto riguarda le serpentine, evita l'aumento del consumo energetico.

La durezza dell'acqua nell'igiene personale

A parte i benefici del corpo l'acqua addolcita porta a notevoli risparmi infatti, il sapone reagendo con l'acqua calcarea genera composti insolubili (tipo quelli che vediamo galleggiare nella vasca da bagno), non efficaci ai fini del lavaggio.

Mescolando del sapone con acqua dura si ha pochissima produzione di schiuma, viceversa con acqua addolcita, anche fredda, si produce immediatamente abbondante schiuma; per questo motivo la prima raccomandazione che viene data a un nuovo utente di addolcitore è proprio quella di usare poco sapone, seguendo infatti le normali abitudini diviene più difficile la fase di risciacquo.

Con acqua addolcita il risparmio di sapone può arrivare fino al 75%, ciò significa che tale percentuale di sapone usato è, con l'acqua dura, letteralmente sprecato.

Sono stati qui elencati una serie di danni provocati dall'acqua dura soprattutto in riferimento alle attività domestiche, in quanto facilmente riscontrabili e facenti parte della nostra quotidiana esperienza.

Le stesse problematiche si possono riscontrare, ingigantite, nelle attività industriali.

Tuttavia, in tali attività, la pratica del trattamento dell'acqua è una normale consuetudine essendo enormi le conseguenze economiche e produttive che ne deriverebbero da una sua assenza.

INCONVENIENTI PROVOCATI DALL'ACQUA TROPPO ADDOLCITA

Un'acqua dura, sottoposta ad un massiccio processo di addolcimento, assume caratteristiche aggressive e può dare luogo a fenomeni corrosivi.

La reazione di equilibrio che regola la formazione del carbonato di calcio è decisamente influenzata dalla concentrazione dell'anidride carbonica libera:



D'altra parte un eccesso di anidride carbonica in acqua forma acido carbonico con un'inevitabile modificazione del valore del pH:



Per ogni acqua, pertanto, esiste una concentrazione di anidride carbonica tale da conferirle caratteristiche incrostanti o corrosive.

Nel 1936 il prof. Langelier pubblicò un lavoro riguardante le condizioni di equilibrio tra acqua e carbonato di calcio.

In tale lavoro venne ricavata una semplice equazione grazie alla quale è possibile stabilire la tendenza di un'acqua a depositare o a sciogliere carbonato di calcio.

L'equazione di Langelier, nota anche come indice di saturazione I_s , viene definita come la differenza algebrica tra la misura del pH al momento del prelievo ed il valore di pH_s calcolato alla saturazione del carbonato di calcio:

$$I_s = \text{pH} - \text{pH}_s$$

L'indice di Langelier può essere calcolato una volta noti:

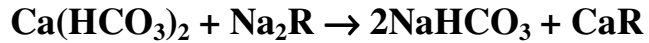
- il pH
- la conduttività ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- la durezza calcica (mg/l come CaCO_3)
- l'alcalinità (mg/l come CaCO_3)
- la temperatura dell'acqua

Un indice di saturazione positivo indica la tendenza a depositare carbonato e l'acqua assume caratteristiche incrostanti, viceversa un valore negativo dell'indice segnala una condizione di insaturazione del carbonato e l'acqua risulta aggressiva.

In condizioni di aggressività l'acqua tende a sciogliere i carbonati presenti come incrostazioni (potere disincrostante) ma anche i metalli costituenti le tubature.

L'acqua addolcita, o comunque trattata con resine scambiatrici di ioni, risulta sempre aggressiva nei confronti dei metalli, ciò è dovuto ad un arricchimento di anidride carbonica che si forma dalla decomposizione del bicarbonato di sodio (meno stabile dei bicarbonati di calcio e magnesio) con conseguente formazione di acido carbonico ed abbassamento del pH.

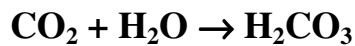
FASE1) FORMAZIONE DEL BICARBONATO DI SODIO DAI BICARBONATI DI CALCIO E MAGNESIO:



FASE2) FORMAZIONE DI ANIDRIDE CARBONICA DALLA DECOMPOSIZIONE DEL BICARBONATO DI SODIO:



FASE3) FORMAZIONE DI ACIDO CARBONICO E CONSEGUENTE ABBASSAMENTO DEL pH:



Ovviamente il livello di aggressività dipende dalla temperatura e dal valore della durezza dell'acqua di partenza.

Se l'acqua trattata viene destinata all'alimentazione umana occorre tenere sotto controllo i valori del sodio e dei cloruri poiché, durante il processo di addolcimento, si ha un inevitabile aumento della presenza di tali ioni. Anche in questo caso il parametro determinante è l'intensità del trattamento a cui viene sottoposta l'acqua ovvero la differenza di durezza tra entrata ed uscita.