


Enrico VESCHETTI

Primo Ricercatore presso il Centro Nazionale per la Sicurezza dell'Acqua (CeNSiA); Direttore dell'Area Funzionale "Rischio Chimico"

PARAMETRO DUREZZA SIGNIFICATO E CONTROLLO



di Giorgio Temporelli


Giorgia MATTEI

Ricercatore presso il Centro Nazionale per la Sicurezza dell'Acqua (CeNSiA) - Area Funzionale "Rischio Chimico"

In merito alla durezza dell'acqua c'è ancora molta confusione, anche tra gli addetti ai lavori, tra il significato sanitario e quello tecnologico, che vengono spesso male interpretati: possiamo chiarire questo aspetto?

Nel settore della gestione della risorsa idrica, il parametro della durezza dell'acqua è frequentemente oggetto di equivoci interpretativi, spesso dovuti alla sovrapposizione impropria tra aspetti sanitari e aspetti tecnologici. Tale confusione, che coinvolge talvolta anche operatori esperti, può indurre a pratiche di trattamento non necessarie o a valutazioni errate sulla qualità dell'acqua. È quindi utile chiarire in modo rigoroso il duplice significato attribuibile alla durezza.

La durezza dell'acqua è determinata dalla presenza di sali di calcio (Ca^{2+}) e magnesio (Mg^{2+}), espressa convenzionalmente in gradi francesi ($^{\circ}\text{F}$), gradi tedeschi ($^{\circ}\text{D}$) o in mg/L di CaCO_3 . Le tre unità sono tra loro correlate dalla seguente relazione: $1^{\circ}\text{F} = 0,56^{\circ}\text{D} = 10 \text{ mg/L CaCO}_3$.

La durezza si distingue in temporanea, dovuta alla presenza di bicarbonati di calcio e magnesio che può essere rimossa mediante semplice ebollizione, e permanente, associata a solfati, cloruri e nitrati degli stessi cationi, non eliminabile con il riscaldamento. La somma della durezza temporanea e della durezza permanente è nota con il termine di "durezza totale", spesso abbreviato semplicemente in "durezza", parametro che descrive l'intera concentrazione dei sali di calcio e magnesio disciolti in acqua e che viene comunemente utilizzato per la classificazione della qualità idrica sia in ambito sanitario che tecnologico. Inoltre, la durezza totale può essere ulteriormente distinta in durezza calcica, che rappresenta la frazione imputabile alla concentrazione degli ioni calcio (Ca^{2+}), e durezza magnesiacca, corrispondente alla frazione dovuta alla presenza degli ioni magnesio (Mg^{2+}). Tale distinzione, pur non sempre adottata nei controlli routinari, riveste importanza tecnica in ambito impiantistico, alimentare e nutrizionale, data la diversa incidenza dei due cationi sul comportamento incrostante, sulla reattività chimica e sul contributo fisiologico dell'acqua.

Sotto il profilo della salute pubblica, l'acqua contenente adeguate concentrazioni di calcio e magnesio non solo non rappresenta un rischio, ma costituisce un fattore favorevole per la salute, contribuendo al benessere fisiologico e alla prevenzione di diverse patologie. Il calcio e il magnesio sono infatti micronutrienti essenziali per l'organismo umano, coinvolti in una vasta gamma di processi biologici di rilevanza vitale.

Il calcio, che costituisce circa il 99% della componente minerale del tessuto osseo e dentale, è indispensabile per il mantenimento della densità minerale ossea e per funzioni fisiologiche fondamentali quali la coagulazione del sangue, la contrazione muscolare, nonché la trasduzione del segnale intracellulare e l'attività di numerosi enzimi regolatori.

Il magnesio, secondo catione intracellulare più abbondante dopo il potassio, agisce come cofattore enzimatico in oltre 300 reazioni metaboliche, comprese la sintesi di ATP, di acidi nucleici e proteine. È inoltre essenziale per la trasmissione dell'impulso nervoso, la regolazione del tono vascolare, l'eccitabilità neuromuscolare e la stabilizzazione delle membrane cellulari, con particolare rilevanza per i sistemi cardiovascolare e nervoso. Entrambi gli ioni Ca^{2+} e Mg^{2+} agiscono in sinergia con la vitamina D, il paratormone e la calcitonina nella regolazione dell'omeostasi fosfocalcica, contribuendo all'equilibrio del metabolismo minerale.

In questo contesto, l'acqua potabile rappresenta non solo una fonte aggiuntiva, ma anche un veicolo altamente biodisponibile di calcio e magnesio. La biodisponibilità, definita come la frazione del nutriente effettivamente assorbita e utilizzata dall'organismo, risulta in molti casi più elevata per i sali disciolti in acqua rispetto a quelli contenuti in alimenti solidi, nei quali la presenza di ossalati, fitati, fibre insolubili o tannini può ridurre sensibilmente l'assorbimento intestinale formando complessi insolubili.

L'Organizzazione Mondiale della Sanità, nella quarta edizione delle *Guidelines for Drinking-Water Quality* (2011), non stabilisce valori guida massimi per la durezza, né per i contenuti specifici di calcio e magnesio, ritenendo che non esistano evidenze tossicologiche che giustifichino l'introduzione di limiti per tali elementi nelle concentrazioni normalmente presenti nelle acque destinate al consumo umano. Al contrario, riconoscendone il valore nutrizionale e l'effetto positivo sulla qualità organolettica dell'acqua, l'OMS raccomanda un intervallo ottimale di concentrazione pari a 40-80 mg/L per il calcio e 20-30 mg/L per il magnesio, sottolineando che livelli inferiori possono alterare il sapore, ridurre l'apporto dietetico e compromettere l'equilibrio elettrolitico, soprattutto in soggetti con aumentato fabbisogno fisiologico o vulnerabilità nutrizionale.

Tali raccomandazioni trovano ulteriore fondamento in una consolidata evidenza epidemiologica: numerosi studi osservazionali condotti in Europa, Nord America e Asia hanno dimostrato una correlazione inversa tra la durezza dell'acqua, in particolare il contenuto di magnesio, e l'incidenza di patologie cardiovascolari quali infarto miocardico, ipertensione arteriosa e morte cardiaca improvvisa. Sebbene la natura osservazionale di tali studi non consenta di stabilire relazioni causali definitive, la convergenza dei dati ottenuti in diverse coorti e contesti geografici rafforza l'ipotesi che l'apporto di magnesio attraverso l'acqua potabile possa rappresentare una misura preventiva di sanità pubblica, soprattutto in gruppi di popolazione a rischio o in aree a basso contenuto minerale. Alla luce di ciò, è stato proposto da vari gruppi di lavoro scientifici e istituzionali di definire un valore minimo raccomandato di magnesio nelle acque potabili, pari ad almeno 10-20 mg/L, in particolare nei contesti in cui l'alimentazione non ne assicura un apporto sufficiente o nei soggetti con fabbisogni aumentati (es. neonati, anziani, persone con patologie cardiovascolari o renali lievi). Anche per il calcio, sebbene l'evidenza epidemiologica sia meno estesa rispetto al magnesio, alcuni studi indicano un potenziale effetto protettivo sull'ipertensione arteriosa e sulla riduzione del rischio di ictus, pur con risultati più eterogenei a causa della maggiore variabilità dell'assunzione alimentare e della presenza di fattori confondenti. L'assunzione regolare di acqua potabile contenente quantità adeguate di calcio e magnesio può quindi contribuire in modo significativo al soddisfacimento dei fabbisogni nutrizionali giornalieri, soprattutto in soggetti con regimi dietetici selettivi (vegani, intolleranti al lattosio), in età avanzata o con ridotta efficienza dell'assorbimento intestinale. In tale ottica, l'acqua non rappresenta soltanto un elemento neutro, ma un nutriente funzionale capace di apportare benefici sistemici a livello osseo, muscolare, cardiovascolare e metabolico. Tali evidenze rafforzano la necessità di tutelare la composizione salina naturale delle acque potabili anche nei processi di trattamento

(desalinizzazione, addolcimento), predisponendo interventi correttivi per garantire una remineralizzazione adeguata, ove necessaria. Diverso è il discorso in ambito impiantistico, dove la durezza assume un significato squisitamente tecnologico. In questo contesto, la presenza di sali di calcio e magnesio può provocare fenomeni di incrostazione nelle caldaie, negli scambiatori di calore, nei circuiti idraulici e negli elettrodomestici, riducendo l'efficienza energetica, aumentando i consumi e danneggiando le componenti meccaniche. In ambito industriale e civile, l'adozione di sistemi di addolcimento o di condizionamento chimico dell'acqua è spesso necessaria per garantire la continuità operativa degli impianti. La norma UNI 8065:2019 fornisce indicazioni tecniche dettagliate sui valori soglia della durezza dell'acqua per impianti termici stabilendo, ad esempio, che per potenze superiori ai 100 kW è obbligatorio intervenire se la durezza supera i 15 °F.

La confusione tra le due accezioni della durezza può indurre a decisioni inappropriate, come l'adozione generalizzata di trattamenti domestici anche in assenza di reale necessità. In tali circostanze, l'impiego non motivato di dispositivi che rimuovono calcio e magnesio, come addolcitori a scambio ionico o impianti a osmosi inversa, può ridurre il valore nutrizionale dell'acqua e, a seconda della tecnologia impiegata, aumentarne la sodicità o renderla eccessivamente povera di sali. Ciò può determinare un peggioramento delle proprietà organolettiche, alterazioni del pH, incremento della corrosività e riduzione del residuo fisso, con possibili implicazioni anche in termini di conformità ai requisiti normativi. Appare dunque evidente la necessità di mantenere ben distinta la valutazione della durezza nei due ambiti di applicazione, evitando sovrapposizioni fuorvianti. In particolare, la comunicazione rivolta al pubblico e ai professionisti del settore deve contrastare l'erronea percezione secondo cui l'acqua "dura" sarebbe di per sé non potabile o addirittura nociva, promuovendo invece una lettura contestualizzata e basata sull'evidenza scientifica.

Il D.lgs. 18/2023 contempla il parametro "durezza totale" solo nell'allegato I parte C2, ovvero tra i parametri raccomandati per le acque sottoposte a trattamento di desalinizzazione e addolcimento nei sistemi idropotabili, togliendolo di fatto dai parametri indicatori (parte C1): quali sono stati i criteri di questa scelta?

La transizione normativa dal D.lgs. 31/2001 al D.lgs. 18/2023 ha determinato un cambiamento sostanziale nel ruolo attribuito al parametro "durezza totale" all'interno della regolamentazione della qualità delle acque potabili. In particolare, mentre il D.lgs. 31/2001 inseriva la durezza tra i parametri indicatori riportati nella parte C dell'Allegato I, con un valore consigliato compreso tra 15 e 50 °F, il D.lgs. 18/2023 ne delimita l'ambito applicativo, spostandolo nella parte C2 dell'Allegato I, ossia nell'ambito dei parametri indicatori raccomandati specifici per le acque trattate con tecnologie di desalinizzazione e addolcimento. Tale spostamento, apparentemente formale, riflette una profonda revisione dei criteri di classificazione e gestione dei parametri, coerente con l'approccio "risk-based" introdotto dalla Direttiva (UE) 2020/2184, recepita con il nuovo decreto.

Nel previgente D.lgs. 31/2001, il parametro "durezza" era trattato come indicatore generale della qualità dell'acqua potabile, con un intervallo di valori consigliati validi per tutte le acque distribuite, indipendentemente dal trattamento subito. Il valore minimo di 15 °F era esplicitamente associato alle acque dissalate o addolcite, riconoscendo la necessità di una soglia minima di mineralizzazione per garantire stabilità chimica e compatibilità con i materiali a contatto. In caso di non conformità ai valori di parametro indicatore, il sistema normativo imponeva l'intervento dell'Autorità d'ambito, la quale, previo parere della ASL sulla sussistenza di un rischio sanitario, poteva richiedere misure correttive per il ripristino della qualità dell'acqua, qualora ciò fosse ritenuto necessario per la tutela della salute pubblica. Si trattava dunque di una disciplina che, pur non imponendo valori obbligatori, attribuiva rilevanza gestionale e

sanitaria alla durezza, intesa anche come parametro di prevenzione della corrosione e della cessione di metalli dai materiali.

Con l'entrata in vigore del D.lgs. 18/2023, il parametro viene esplicitamente escluso dalla parte C1 (indicatori di riferimento per tutte le acque potabili) e inserito nella parte C2, che introduce valori raccomandati esclusivamente per le acque in uscita da impianti di desalinizzazione e addolcimento utilizzati nei sistemi idro-potabili. I nuovi valori soglia sono espressi come raccomandazioni su base statistica (medie mensili o trimestrali), con una tolleranza del 25% per i superamenti annuali, e sono i seguenti: durezza totale ≥ 15 °F, calcio ≥ 30 mg/L, magnesio ≥ 10 mg/L, solidi disciolti totali ≥ 100 mg/L. Tali valori devono essere perseguiti nel medio-lungo periodo, al fine di garantire una corretta stabilizzazione chimica dell'acqua, contrastare fenomeni di corrosività eccessiva, migliorare le caratteristiche organolettiche dell'acqua trattata e, al tempo stesso, assicurare la presenza di adeguate concentrazioni di calcio e magnesio, la cui assunzione attraverso l'acqua potabile è riconosciuta come favorevole alla salute ossea, muscolare, cardiovascolare e metabolica. La norma, tuttavia, chiarisce che l'eventuale superamento di tali valori raccomandati non comporta automaticamente l'obbligo di adottare provvedimenti correttivi: l'intervento da parte dell'ASL è subordinato all'accertamento di un rischio concreto per la salute umana, in conformità a quanto previsto dall'articolo 15, comma 1, lettera d), del decreto. In tal modo, il legislatore adotta un approccio proporzionale e basato sull'evidenza, riconoscendo la funzione strategica della durezza e dei parametri associati nella gestione delle acque trattate, ma evitando prescrizioni generalizzate non giustificate da esigenze sanitarie oggettive.

Per quanto riguarda il controllo della durezza, quando può essere raccomandato diminuirne la concentrazione nelle acque destinate al consumo umano e quali sono le principali tecniche riconosciute?

La riduzione della durezza nelle acque potabili può essere raccomandata nei casi in cui il contenuto totale dei sali di calcio e magnesio generi fenomeni di incrostazione negli impianti idrici interni agli edifici, soprattutto in presenza di acque riscaldate. In tal senso, la formazione di depositi calcarei (carbonato di calcio principalmente) nelle caldaie, negli scaldabagni, nelle lavatrici e negli elettrodomestici comporta una diminuzione dell'efficienza energetica, un aumento dei costi di esercizio, una maggiore frequenza degli interventi di manutenzione e, nel lungo termine, una riduzione della vita utile delle apparecchiature. Questo fenomeno si manifesta in modo più marcato quando la durezza totale supera i 30 °F. Tuttavia, qualora l'acqua trattata sia utilizzata per bere o per la preparazione di alimenti è necessario garantire che la durezza residua non scenda al di sotto del valore minimo consigliato di 15 °F, al fine di assicurare un adeguato apporto di calcio e magnesio, elementi essenziali sotto il profilo fisiologico, e di mantenere l'equilibrio chimico dell'acqua, prevenendo fenomeni corrosivi nei sistemi di distribuzione. In quest'ottica, ove tecnicamente fattibile, è opportuno limitare il trattamento di riduzione della durezza alle sole linee di alimentazione delle apparecchiature soggette a incrostazioni (es. caldaie, scaldabagni, lavatrici), evitando di sottoporre a trattamento l'intera rete idrica domestica e in particolare l'acqua destinata al consumo umano.

Le principali tecnologie attualmente riconosciute e utilizzate per la riduzione della durezza dell'acqua potabile comprendono i seguenti sistemi:

- Scambiatori ionici (addolcitori a resina cationica): questa è la tecnologia più diffusa per applicazioni domestiche e collettive. Il principio si basa sullo scambio di ioni calcio e magnesio con ioni sodio, presenti sulla matrice polimerica della resina cationica forte. Il processo avviene in regime di equilibrio e necessita di rigenerazioni periodiche mediante soluzione di cloruro di sodio (salamoia). L'acqua trattata risulta priva di durezza ma arricchita in sodio. L'impiego di

tali dispositivi è soggetto a regolamentazioni nazionali ed europee per quanto concerne i materiali a contatto con acqua potabile, la gestione delle rigenerazioni e lo smaltimento delle acque di scarico.

- **Osmosi inversa:** questa tecnica è particolarmente efficace per il trattamento delle acque dure e salmastre, grazie all'impiego di membrane semipermeabili che separano le specie ioniche disciolte mediante un gradiente di pressione. L'osmosi inversa consente l'abbattimento anche di altri sali minerali e contaminanti, ma richiede una gestione attenta dei flussi di concentrato (scarto), una prefiltrazione accurata e una reimmissione controllata di minerali essenziali per il consumo umano. L'elevato grado di rimozione rende necessaria una remineralizzazione post-processo per garantire il rispetto dei requisiti di potabilità e il mantenimento della stabilità chimica.
- **Nanofiltrazione:** simile all'osmosi inversa ma operante a pressioni inferiori, questa tecnologia consente la rimozione selettiva, sebbene non completa, di ioni bivalenti (Ca^{2+} e Mg^{2+}) mantenendo in soluzione gran parte degli ioni monovalenti (Na^+ , K^+). Il vantaggio della nanofiltrazione risiede nella sua efficienza energetica e nella qualità dell'acqua prodotta, con una durezza significativamente ridotta ma non azzerata. Come per l'osmosi inversa, è necessaria la valutazione dell'equilibrio minerale finale.
- **Precipitazione chimica controllata:** si basa sull'aggiunta di reagenti alcalini (come idrossido di sodio o calce) che provocano la precipitazione di carbonato di calcio e idrossido di magnesio. Tale processo è più comune nei grandi impianti industriali o nelle centrali di trattamento delle acque, dove può essere integrato con sistemi di sedimentazione e filtrazione. Tuttavia, questa tecnica presenta limiti operativi legati alla gestione dei fanghi prodotti e alla complessità impiantistica.

Quando invece può essere raccomandato aumentarne la concentrazione e quali sono le principali tecniche riconosciute?

Le situazioni più tipiche in cui si rende necessaria una remineralizzazione dell'acqua riguardano i sistemi di trattamento mediante osmosi inversa, deionizzazione o desalinizzazione, tecnologie ampiamente utilizzate per la potabilizzazione di acque salmastre, marine o contaminate da sostanze indesiderate. Tali trattamenti, sebbene estremamente efficaci nella rimozione di contaminanti, eliminano anche i sali minerali disciolti, compresi gli ioni calcio e magnesio. Il risultato è un'acqua "demineralizzata", la cui durezza totale è prossima allo zero.

Le tecnologie attualmente riconosciute per aumentare la durezza dell'acqua sono consolidate e ben documentate nei manuali tecnici e nelle linee guida internazionali. Le principali sono:

Miscelazione con acqua grezza o parzialmente trattata: In alcuni casi, la remineralizzazione può essere ottenuta mediante miscelazione controllata tra acqua completamente trattata e una frazione di acqua non completamente demineralizzata. Tale approccio consente di ridurre i costi di remineralizzazione e di sfruttare le caratteristiche naturali dell'acqua di origine, mantenendone al contempo i benefici del trattamento principale.

Reintegro con miscele concentrate di sali: È una tecnica molto utilizzata negli impianti di osmosi inversa e prevede l'aggiunta controllata di sali di calcio (come cloruro di calcio o carbonato di calcio solubilizzato) e magnesio (generalmente sotto forma di cloruro o solfato). La concentrazione dei sali aggiunti viene modulata per ottenere il livello desiderato di durezza e di alcalinità.

Passaggio su filtri remineralizzanti a base di calcite o dolomite: Tali materiali, costituiti da carbonati naturali di calcio e magnesio, rilasciano progressivamente ioni Ca^{2+} e Mg^{2+} in funzione dell'aggressività e dell'acidità dell'acqua in ingresso. I filtri a calcite sono indicati per aumentare la durezza e al contempo correggere il pH di acque tendenzialmente acide. La dolomite, contenente anche magnesio, consente di bilanciare il rapporto Ca/Mg nell'acqua trattata.

Reattori di calce o dosaggio di idrossido di calcio (Ca(OH)_2): Questa tecnica viene adottata soprattutto in impianti di potabilizzazione di grandi dimensioni. Il dosaggio di calce consente di aumentare rapidamente il contenuto di calcio e la durezza, con la possibilità di regolare anche il pH e l'alcalinità.