

Se si considera l'equilibrio alla traslazione verticale tra la tensione superficiale e la forza peso del volume di acqua contenuta in un vaso capillare, si perviene all'espressione della quota h che può raggiungere l'acqua nella muratura:

$$h = (2 \gamma \cos \theta) / (\rho r g)$$

dove:

γ = tensione superficiale;
 θ = angolo di contatto;
 ρ = densità;
 r = raggio del tubo capillare;
 g = accelerazione di gravità.

PROPRIETÀ CHIMICHE, ELETTRICHE E MAGNETICHE DELL'ACQUA

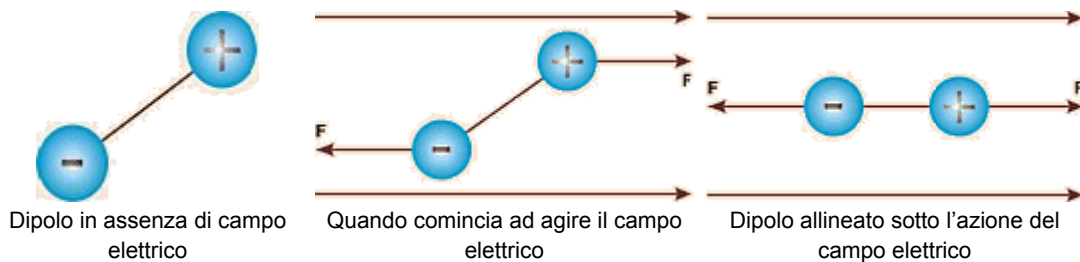
L'acqua ha notevoli e molteplici proprietà delle quali consideriamo le chimiche, le elettriche e le magnetiche.

Proprietà chimiche

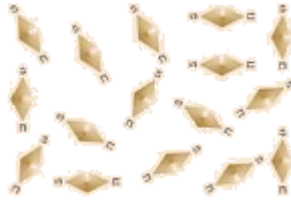
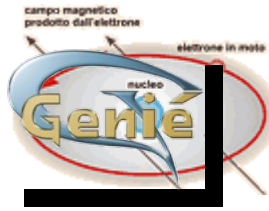
L'acqua è costituita da atomi di idrogeno ed ossigeno tra i quali si viene a stabilire un legame covalente eteropolare in cui l'ossigeno possiede una carica negativa pari a $2q^-$ mentre i due atomi di idrogeno possiedono, rispettivamente, una carica positiva pari a q^+ . Le cariche di segno opposto costituiscono un *dipolo elettrico*. Esso è caratterizzato quantitativamente dal suo momento dipolare μ dato dal prodotto del valore assoluto di una delle due cariche per la distanza tra le cariche stesse. Il suo valore misura la tendenza che ha un dipolo ad orientarsi sotto l'effetto di un campo elettrico uniforme.

Proprietà elettriche

Dal punto di vista "elettrico" l'acqua è considerata un *dielettrico* ovvero un corpo di bassissima conducibilità elettrica. Le molecole dei dielettrici come l'acqua, che possiedono momenti di dipolo elettrico permanenti ma che nel complesso sono elettricamente neutre, subiscono un particolare fenomeno, noto come *polarizzazione*, se sottoposte all'azione di un campo elettrico uniforme. Il campo esterno ha infatti l'effetto di allineare i dipoli lungo la direzione individuata dalle linee di forza dello stesso. La causa è da ricercarsi nella nascita di forze di natura elettrostatica (la cui risultante è nulla) le quali, agendo sulle cariche positive e negative del dipolo, generano un momento torcente che pone in rotazione il dipolo stesso che termina nel momento in cui il generico dipolo si trova allineato con il campo esterno.



Proprietà magnetiche



Magnetini elementari della materia

Dal punto di vista magnetico, le sostanze possono essere classificate in: *paramagnetiche*, *diamagnetiche* e *ferromagnetiche*.

Le sostanze le cui molecole contengono almeno un elettrone non accoppiato presentano la proprietà, detta paramagnetismo, di subire una leggera attrazione da parte di un corpo magnetico. Ciò si spiega tenendo conto che il moto di rotazione dell'elettrone produce un suo campo magnetico, per cui l'elettrone non accoppiato può essere paragonato ad un piccolo magnete. Sottoposto ad un campo magnetico esterno, l'elettrone si orienta secondo le linee di forza, in modo tale da rinforzare il campo; ne consegue una forza attrattiva. Se invece la molecola contiene solo elettroni accoppiati (cioè coppie di elettroni con spin opposto), come nel caso dell'acqua, essa subisce una repulsione da parte di un campo magnetico esterno uniforme, fenomeno noto come diamagnetismo.

Le coppie di elettroni accoppiati non producono per conto proprio un campo magnetico, in quanto il campo di un elettrone è annullato da quello uguale e contrario dell'altro elettrone che ruota con spin opposto. La coppia di elettroni accoppiati tende però anch'essa ad orientarsi secondo le linee di forza di un campo magnetico esterno, in quanto quest'ultimo ha l'effetto di accelerare la rotazione di uno degli elettroni e di ritardare quella dell'altro. La coppia allora produce un suo campo magnetico pari alla differenza tra i campi magnetici, ancora opposti ma non più uguali, dei due elettroni. Tale campo tende ad opporsi al campo esterno e ne deriva una forza repulsiva.

Infine per ciò che riguarda le sostanze ferromagnetiche, queste sono caratterizzate dall'aver un proprio momento magnetico molto elevato; per tale motivo la sostanza si magnetizzerà fortemente nello stesso verso del campo esterno rinforzandolo notevolmente.

EFFETTO DEI SALI PRESENTI IN ACQUA

Quando si scioglie un sale qualunque in acqua, le singole molecole del soluto (sale) si diffondono uniformemente nella massa liquida (solvente) in modo che ogni unità di volume della soluzione (miscela) si *dissocia* formando tanti ioni negativi e positivi i quali restano in soluzione insieme alle altre molecole non dissociate.

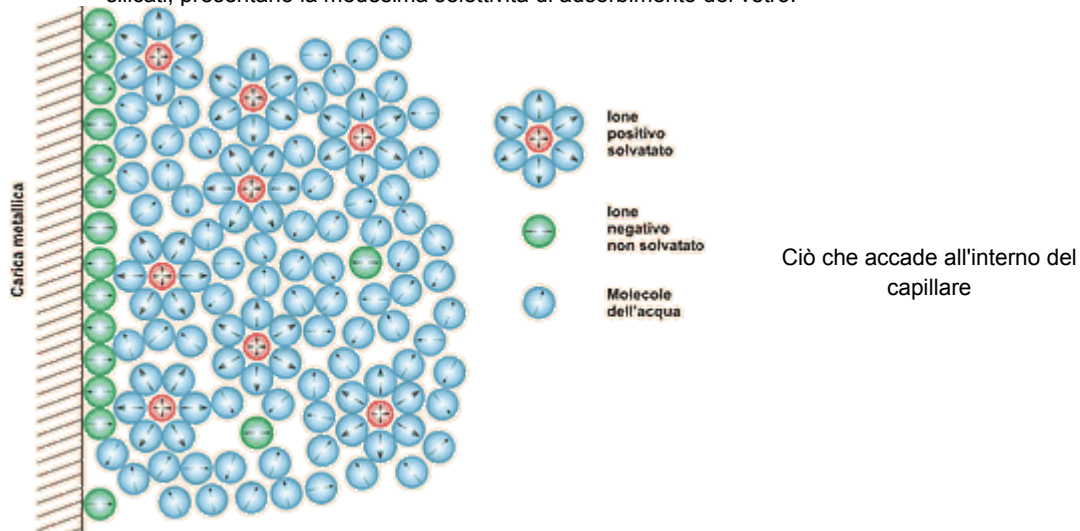
In ciò consiste il fenomeno della *dissociazione elettrolitica* e le soluzioni si chiamano *soluzioni elettrolitiche*. Esse hanno la proprietà caratteristica di lasciarsi attraversare dalla corrente elettrica per conduzione ionica, che prende il nome di *conducibilità elettrica* in contrapposizione all'acqua distillata (acqua pura) che si comporta come un perfetto isolante.

EFFETTI DEL SISTEMA GENIÈ SULLA MURATURA

Mediante opportuni circuiti racchiusi in una piccola apparecchiatura, la quale viene collocata direttamente sull'opera in muratura, si attiva l'emissione di un campo elettromagnetico che può essere definito **induttore**; esso, incidendo e quindi interagendo con la muratura, induce nella stessa la presenza di un campo elettromagnetico **indotto** che influenza il comportamento delle cariche elettriche (anioni, cationi e dipoli dell'acqua) presenti nell'opera muraria. La specifica forma d'onda CEM induttore implica che gli effetti del CEM indotto possono così essere riassunti:

- **componente costante del E:** *teoria del doppio strato di Helmholtz*. Immergendo un tubo di vetro in una soluzione contenente degli elettroliti la superficie solida è in grado di *adsorbire* (fisicamente) selettivamente su di essa una parte degli ioni negativi disciolti; ciò fa sì che sulla superficie del tubo si venga ad avere un eccesso di cariche negative. I cationi, liberi nella soluzione, tendono ad affollarsi in prossimità della superficie della fase solida, formando inizialmente un secondo strato, piuttosto ordinato, di cariche positive e via via verso l'interno della soluzione un terzo strato diffuso di cationi. L'insieme dei primi due strati viene chiamato *doppio strato compatto di Helmholtz* ed è assimilabile, come comportamento, a quello di un condensatore piano, la cui armatura negativa coincide con la superficie vitrea e la cui armatura positiva possiede una forma "diffusa" a partire dallo strato parzialmente ordinato di cationi. Lo spessore del doppio strato compatto è dell'ordine di circa 10^{-8} m ovvero una lunghezza pari al diametro di alcuni cationi. Gli effetti del doppio strato, essendo di tipo "superficiale", si manifestano maggiormente entro cavità cilindriche molto piccole come i capillari che nel nostro caso sono gli innumerevoli canali presenti nei

più comuni materiali litoidi usati nell'edilizia. Questi infatti, essendo costituiti quasi esclusivamente da silicati, presentano la medesima selettività di adsorbimento del vetro.



Inoltre, come può evincersi dalla figura, le molecole d'acqua, caratterizzate da un elevato momento dipolare, sottoposte al campo elettrico dello ione positivo si orientano rivolgendosi verso quest'ultimo la loro estremità carica di elettricità di segno opposto. Viene in tal modo a stabilirsi un vero e proprio legame ione-dipolo tra lo ione e le molecole d'acqua immediatamente circostanti che ne costituiscono il *primo strato di solvatazione*. Altre molecole d'acqua si dispongono a loro volta intorno alle prime, a distanze più grandi dallo ione e vincolate quindi da legami elettrostatici più deboli: si organizza così intorno a ciascun ione positivo esistente in soluzione una vera e propria atmosfera ionica o *sfera di solvatazione, che segue lo ione nei suoi movimenti all'interno della soluzione*. Tale fenomeno è noto con il nome di *solvatazione*. Gli ioni positivi contenuti nella zona diffusa creano una regione di soluzione con una densità media di carica non nulla la quale, sotto l'influenza di un campo elettrico esterno, è in grado di muoversi a causa delle forze di natura elettrostatica generate dallo stesso campo esterno, trascinando con sé le molecole d'acqua. Si può dimostrare che se E (V/m) è l'intensità del campo applicato, η è la viscosità dinamica del solvente, ξ il *potenziale elettrocinetico* o *potenziale zeta* ovvero la differenza di potenziale tra la soluzione "lontana", assunto come valore zero, e quello della superficie ed ϵ la costante dielettrica della soluzione allora la *velocità di flusso* v (m/s) della soluzione elettrolitica attraverso il capillare è data dalla relazione:

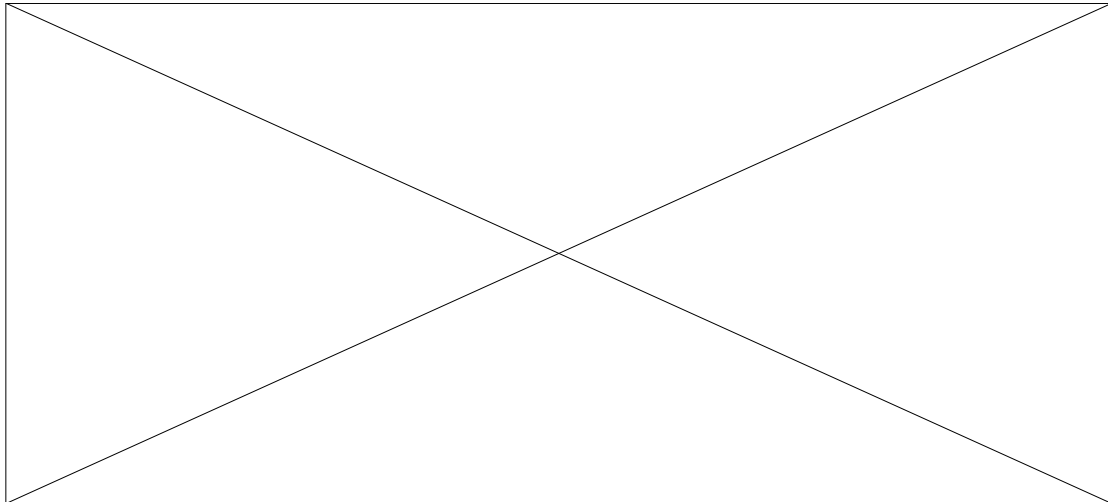
$$v = \epsilon E \xi / 4\pi \eta$$

moltiplicando per la sezione del capillare πr^2 otteniamo la *permeabilità elettrosmotica* ovvero la portata del liquido:

$$D = \epsilon E \xi r^2 / 4 \eta$$

- **componente** costante **del** **B**:
come già detto in precedenza l'acqua è una sostanza diamagnetica e quindi subisce una repulsione da parte di un campo magnetico esterno uniforme; tale repulsione dà un ulteriore contributo al movimento delle molecole d'acqua spingendole verso il terreno e impedendone quindi la successiva risalita. Inoltre è da tenere in considerazione il contributo alla mobilità degli ioni fornito dalla forza deflettente ($F = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$) agente su una carica in movimento immersa in un campo magnetico. Precisiamo come tale forza si sommi a quella nata per effetto della presenza del campo elettrico stazionario ($F = q \mathbf{E}$).
- **componente** variabile **del** **E**:
induce, negli ioni positivi e negativi stati vibro-traslazionali e nei dipoli dell'acqua stati vibro-rotazionali entrambi i quali implicano una conversione di energia meccanica in termica favorendo per evaporazione lo scambio di acqua tra muratura e ambiente circostante.

- **componente** **variabile** **del** **B:**
 induce nell'opera muraria, che presenta una propria resistenza elettrica, una f.e.m.i. che determina la presenza di correnti indotte di conduzione ionica le quali contribuiscono al movimento degli ioni in soluzione, determinando anch'esse un aumento di temperatura per effetto Joule. I fenomeni delle correnti indotte, degli stati vibrazionali indotti e dell'energia del CEM ceduta alla muratura, che determinano in definitiva generazione di calore all'interno dell'opera muraria, favoriscono l'effettivo risanamento accelerando il prosciugamento del muro.



Le condizioni

- il mantenimento di un campo elettromagnetico indotto interagente con i dipoli dell'acqua, localizzata nel terreno e nell'opera muraria;
- una configurazione hardware che abiliti l'apparecchio ad alimentare il campo richiesto;
- la non presenza di alcun effetto schermo (del tipo a gabbia di Faraday) sulla muratura che permette la propagazione delle onde elettromagnetiche.

L'evolversi del processo di deumidificazione, costituito dalla diminuzione percentuale dell'umidità contenuta nell'opera muraria, è verificato tramite misurazioni effettuate con il metodo CM (del carburo di calcio). I risultati ottenuti sono registrati in una scheda a rapporto di misurazione, ed i rispettivi risultati annotati e riportati in misure su data sheet (tabulati).

Impianto Geniè® con raggio d'azione fino a 15 m

Prima misurazione	durante o immediatamente dopo l'installazione del sistema
Misurazione di controllo	dopo 3-6 mesi, poi ad intervalli di circa sei mesi o secondo necessità

Eccezioni

I fenomeni di seguito descritti possono alterare l'effetto di deumidificazione

- l'umidità è causata da acqua che arriva dall'esterno e che esercita una pressione. In questo caso, il problema è costituito esclusivamente e soltanto dai punti stessi su cui agisce il flusso e non dalla muratura posta al di sopra;
- la diminuzione dell'umidità può essere disturbata e ritardata da ostacoli di costruzione esistenti (quali ad esempio infiltrazioni di acido silicico nel materiale di riporto, nelle piastre di struttura, etc.);
- porzioni di muratura rinforzati con eccessivo ferro risultano tali da costituire una gabbia di Faraday che ostacolerebbe, certamente, la trasmissione delle onde elettromagnetiche;
- i sali depositatisi nell'intonaco (efflorescenza) hanno effetto igroscopico e quindi in presenza di forte umidità atmosferica l'intonaco appare sempre bagnato.

Rendimento

Con l'applicazione del metodo Geniè®, si può constatare, in un periodo medio di dodici settimane, una

diminuzione d'umidità, misurata in proporzione di percentuale di peso, di circa il 20%-50%. In funzione del tipo di materiale con cui è stata realizzata l'opera muraria, si è rilevata, statisticamente, una diminuzione di umidità pari a

Pietra di estrazione naturale	dopo tre – sei mesi	circa 20,1%
Arenaria	dopo tre – sei mesi	circa 51,2%
Mattone regolare	dopo tre – sei mesi	circa 44,7%

Nelle settimane e nei mesi successivi, il processo continuerà più lentamente fino alla totale deumidificazione, per un periodo variabile da alcuni mesi fino a 2/3 anni, nei casi più complessi.

**I muri sono classificati
secchi se contengono un tasso d'umidità dall'1 al 2,5%;
umidi con umidità tra il 2,5 e il 5%;
bagnati con umidità superiore al 5%.**