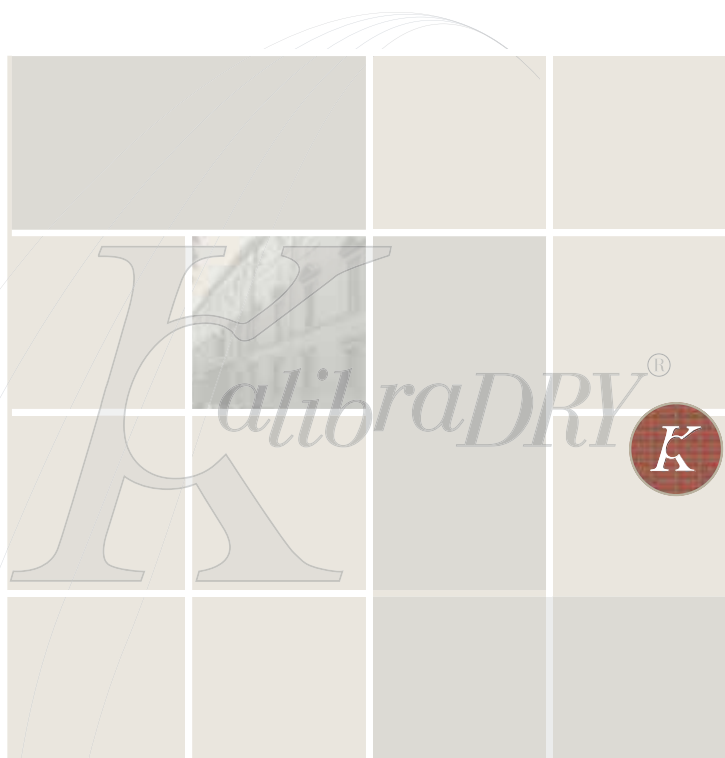


**DEUMIDIFICAZIONE
ELETTROFISICA
delle MURATURE**



**UMIDITÀ
DI RISALITA CAPILLARE**



**PRINCIPIO DI
FUNZIONAMENTO
DEL SISTEMA**

I. INTRODUZIONE

1. Informazioni generali

L'umidità nei lavori di muratura - Perché?

1.1 Cause

1.2 Forze capillari

1.3 Evaporazione

1.4 Forze ioniche

2. Metodi di prevenzione contro la risalita dell'acqua

2.1 Metodi di elettrocinetica – elettroosmosi

II. DESCRIZIONE DEI PRINCIPI FISICI

1. La natura del dipolo dell'acqua

1.1 Campo elettrico nella materia

1.2 Campo magnetico nella materia

2. La generazione del campo elettromagnetico (C.E.M.)

III. RIEPILOGO

1. Conclusioni

2. Il sistema KalibraDRY®

3. Dati KalibraDRY®

I. INTRODUZIONE

1. Informazioni generali

L'umidità nei lavori di muratura - Perché?

1.1 Cause

Molteplici cause possono determinare fenomeni di umidità nei lavori di muratura, le quali schematicamente di possono esemplificare in:

- umidità da costruzione: interessa la muratura, quando si realizza l'opera muraria stessa, ed è collegata con la necessaria presenza di acqua per la preparazione dei materiali edili;
- umidità accidentale: causata dalla rottura di qualche tubazione idrica e dalla conseguente infiltrazione di acqua nella muratura;
- umidità meteorica: dovuta alle precipitazioni atmosferiche le quali impregnano la muratura, attraverso l'intonaco esterno permeabile;
- umidità da condensazione: dipendente dalle condizioni termiche e di umidità, tra l'ambiente interno ed esterno, dall'isolamento termico e dalla capacità, delle pareti di separazione dei due ambienti, di resistere al passaggio del vapore;
- umidità ascendente: direttamente collegata ai fenomeni di risalita capillare in tutte le murature a diretto contatto con terreni umidi o con falde acquifere.

Quest'ultima è la causa più frequente del degrado delle murature.

1.2 Forze capillari

La capillarità è quella parte della fisica che studia l'insieme delle proprietà dei liquidi contenuti in tubi di dimensioni estremamente piccoli detti "**tubi capillari**".

Questo studio deriva dal fatto che in natura si riscontrano numerosi fenomeni che non obbediscono alle leggi classiche dell'idrostatica (come ad esempio l'acqua che risale spontaneamente in una zolletta di zucchero o in un tubo sottile, la benzina che risale in un accendino, l'olio che risale nello stoppino, la linfa nel tronco di una pianta, la risalita dell'acqua nel sottosuolo, ecc.).

Di conseguenza bisogna fare nuove ipotesi per riuscire a capire questi particolari fenomeni dovuti alla struttura intima della materia.

I fenomeni di capillarità si osservano nella zona di contatto di un liquido con una parete solida.

Se si immerge un tubo sottile in un liquido, il suo livello può risultare più alto o più basso di quello della superficie libera all'esterno del tubo a secondo che il liquido dentro il tubo si attacchi con le forze capillari alla parete, come nel caso dell'**acqua** o non si attacchi perché privo di forze di adesione alla parete, come il caso del **mercurio**.

Si vuol dire anche che nel primo caso il liquido *bagna* il tubo, nel secondo *non bagna*.

La superficie (**menisco**) del liquido all'interno del tubo risulta curva (convessa nel primo caso, concava nel secondo).

I fenomeni osservati si possono spiegare paragonando lo strato superficiale di un liquido ad una membrana elastica.

Dall'esperienza di Gauss fu dimostrato che le azioni esercitate su una molecola, che si trovi nello strato di separazione di due fluidi che non si mescolano, presenta una spiccata asimmetria tale che la superficie libera del liquido deve assumere la posizione corrispondente al valore minimo dell'area, compatibilmente ai vincoli che ad essa vengono imposti.

Tutto avviene, quindi, come se tale superficie libera fosse costituita da una membrana elastica *tesa* (solo così può essere garantita la minima superficie da ottenere).

Per impedire a tale membrana superficiale di contrarsi, è necessario applicare ad essa forze uguali ed opposte a quelle esercitate dal liquido.

Queste forze, rapportate all'unità di lunghezza, prendono il nome di **tensione superficiale o costante capillare** e dipendono dalla natura dei due mezzi separati dalla superficie.

La tensione superficiale dell'acqua alla superficie di separazione tra acqua e aria è di 74 dine/cm. Per esemplificare, meglio l'esistenza delle forze capillari, consideriamo una goccia di rugiada (fig. 1-2).

Le molecole interne alla goccia, quali ad esempio M subiscono, da parte di quelle che le circondano, attrazioni che all'interno del liquido si equilibrano vicendevolmente.

Lo stesso fenomeno, non si verifica per le molecole che stanno in prossimità della superficie, come ad es. M' ; in tal caso infatti, le forze di attrazione hanno una risultante R , non nulla diretta verso l'interno della goccia.

La superficie della goccia tende, pertanto a contrarsi, a restringersi, come se fosse una membrana elastica.

Un altro esempio analogo, molto evidente, è quello di considerare due molecole disposte rispettivamente, una dentro un liquido contenuto in un bicchiere e l'altra localizzata quasi in superficie. Il fenomeno che si osserva, ha origine sempre nelle forze di attrazione fra le molecole del liquido considerato: la molecola all'interno del liquido è attratta in uguale misura in tutte le direzioni dalle molecole che la circondano; pertanto la forza totale R a cui è sottoposta è uguale a zero; l'altra, invece, non avendo forze di attrazione molecolari al di sopra della superficie di separazione che riuscirebbero ad equilibrare quelle dovute all'attrazione delle molecole circostanti all'interno del liquido, viene sottoposta ad una risultante R non nulla diretta verso l'interno del liquido.

Questa risultante R è quella che fa ritirare leggermente la superficie, formando così una pellicola tesa ed elastica (fig. 3)

Tali forze superficiali agiscono anche sulla superficie di contatto tra un liquido e un solido (p.e. le pareti di un contenitore).

In questo caso la situazione è complicata dal fatto che una molecola di liquido è soggetta a due tipi di forze: le **forze di coesione** esercitate dal liquido circostante, che tendono a portare la molecola all'interno del liquido, e le **forze di adesione** esercitate dalle molecole del solido, che tendono a strappare la molecola dal liquido e agiscono perpendicolarmente alla superficie del contenitore.

Quando le forze di adesione predominano su quelle di coesione, la superficie del liquido si incurva in prossimità della parete verso l'alto e si dice che il liquido bagna la parete risalendo lungo essa.

Se invece predominano le forze di coesione, la superficie del liquido si incurva verso il basso e si dice che il liquido non bagna la parete.

Fig. 1 - 2 Goccia di rugiada

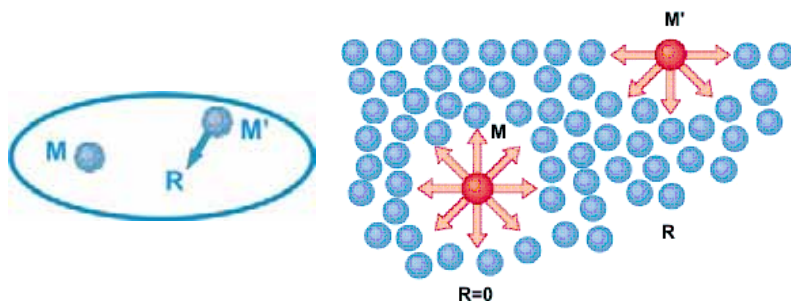
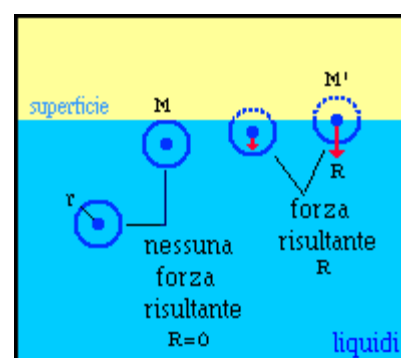


Fig. 3 Bicchiere ripieno di acqua



Affinché un lavoro in muratura risulti non asciutto, per effetto dell'aumento di umidità, devono entrare in gioco una serie di cause fisiche, tra cui quella delle *forze capillari*.

Esse sono il risultato dell'equilibrio tra le forze di gravità e l'effetto attraente della *tensione superficiale*. L'acqua, avendo una *tensione di superficie positiva*, tenderà, normalmente a risalire all'interno dei *capillari* (dalla formula seguente, infatti, se $\sigma > 0$ risulta $h > 0$).

Il livello dell'altezza che raggiungerà l'acqua in questo caso può essere calcolato mediante la seguente **formula di Jurin**:

$$h = \frac{2 \times \sigma}{d \times 1}$$

$$h = \frac{2 \times \text{tensione di superficie (acqua = 0,074 dine/cm)}}{d (\text{capillare}) \times 1 (\text{peso specifico})}$$

Considerando, infatti l'estremo di un tubo capillare di raggio **R** immerso in un liquido, si osserva che questo sale fino ad una certa altezza **h**, fino a quando cioè, viene raggiunto l'equilibrio tra il peso della colonna liquida spostata e le forze capillari che grazie alla loro adesione alle pareti del tubicino riescono a trattenere tale colonna (fig. 4).

Quando ci sarà l'uguaglianza tra queste due forze la colonna di acqua si fermerà alla quota di altezza **h** data dalla legge di Jurin.

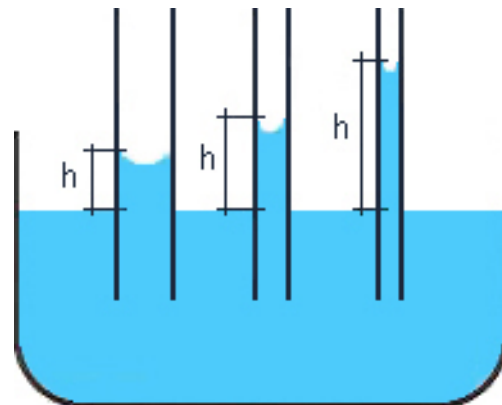
Si fa notare, come già detto, che se la superficie (menisco) del liquido del tubicino può assumere una posizione concava o convessa.

Ciò è dovuto al fatto che la tensione superficiale può essere rispettivamente negativa nel primo caso e positiva nel secondo.

L'acqua, mostrando in superficie una convessità, denota di avere una tensione superficiale positiva.

Questo significa che la risultante **R** delle forze agenti è diretta verso l'alto e spiega il motivo per cui l'acqua, sottoposta a tale forza, risale nel tubicino fino ad arrivare ad un'altezza **h** di equilibrio.

Fig. 4 Tubo capillare di raggio interno R in un liquido che "bagna".



Ritornando al **fascio di tubi capillari** che costituisce la nostra muratura si fa rilevare ad esempio che per *capillari* di $d = 0,1$ cm, il livello di altezza **h** dell'umidità raggiungerebbe i 14,8 cm.

Se tale livello dovesse raggiungere i 148 cm, vuol dire che i *capillari* hanno un $d = 0,01$ cm.

Nel maggior numero degli edifici, però, l'acqua di umidità supera di molto tale livello.

Si fa notare per ultimo che il livello **h** dipende anche dalla tensione superficiale che dipende, a sua volta, seppure in modo moderato, dalla *temperatura* e dalla *concentrazione salina* cui si vengono a trovare le molecole del liquido.

Ciò spiega, a parità degli altri parametri, il diverso livello **h** raggiunto dall'acqua in funzione dell'esposizione della muratura in questione e del grado di concentrazione salina che ha l'acqua nella muratura.

1.3 Evaporazione

A causa del processo di evaporazione, si produce in tutto il piano della muratura, una depressione all'interno dei *capillari*.

Nasce pertanto una ulteriore forza dovuta a tale depressione che agevola la risalita dell'acqua.

Tale forza può raggiungere un effetto massimo avvicinandosi a quella di gravità.

1.4 Forze ioniche

Quando si scioglie un sale qualunque nell'acqua, le singole molecole del soluto si diffondono

uniformemente nella massa liquida in modo che ogni unità di volume della soluzione contiene un eguale numero di molecole di sale disciolto.

Nell'atto stesso in cui si forma questa soluzione avviene, in via del tutto spontanea, un fenomeno importantissimo e cioè: una parte delle molecole del soluto, anziché conservare ciascuna la propria configurazione molecolare stabile e completo, si scinde ognuna in due parti (o eventualmente in più di due).

Questa scissione dell'edificio molecolare avviene in modo tale che una delle due parti trattiene una o più elettroni in eccesso, acquistando il carattere di **ione negativo**, mentre la parte rimanente che viene a mancare di altrettanti elettroni, acquista il carattere di **ione positivo**.

Si dice brevemente che un certo numero di molecole del soluto si dissocia, formando tanti ioni positivi e negativi che restano in soluzione insieme ad altre molecole non dissociate.

In ciò consiste il fenomeno della **dissociazione elettrolitica**.

Tutte le soluzioni in cui si hanno delle molecole dissociate in ioni positivi e ioni negativi si chiamano **soluzioni elettrolitiche** o anche semplicemente **elettroliti**.

Essi hanno la **proprietà** di lasciarsi attraversare dalla corrente elettrica per **conduzione ionica** (in cui cioè il trasporto di cariche elettriche avviene con un movimento di ioni positivi in un senso e di ioni negativi in verso opposto).

È noto dalla chimica che l'acqua, se chimicamente purissima, pur presentando una debolissima concentrazione ionica, dovute ad alcune molecole dissociate (H^+ , OH^-), risulta un liquido avente caratteristiche abbastanza isolanti (a 20° la resistività = $20 \cdot 10^6$ ohm x cm quindi molto alta), e tale rimane se si aggiungono sostanze chimiche, *purché* queste non si abbiano a dissociare, dando origine a ioni, creando così, la **ionizzazione dell'acqua**.

Tale ionizzazione è dovuta alla dissociazione delle molecole dell'acqua $H_2O = H + OH^-$ Si stabilisce un equilibrio chimico nell'acqua tra le molecole H_2O e gli ioni H ed OH : l'esperienza mostra che esso corrisponde, nell'acqua pura a 25°, ad una molecola dissociata per 10 milioni di molecole H_2O .

Si deduce quindi che **l'acqua pura è un elettrolito molto debole**.

Se invece all'acqua viene aggiunto del sale, diventando una soluzione salina, come quella che risale dal terreno verso la muratura, diventa più ionizzata perché maggiore diventa la dissociazione delle molecole, funzione della concentrazione della soluzione.

2. Metodi di prevenzione contro la risalita dell'acqua

2.1 Metodi di elettrocinetica - Elettroosmosi.

La **elettroosmosi** è il fenomeno che ha luogo quando si applica una differenza di potenziale (ad es. una batteria) tra due parti di un liquido separate da un **setto poroso** (fig. 5): si osserva allora un movimento del liquido attraverso il setto, che non si arresta se ad esso non si contrappone una pressione idrostatica conveniente.

Questo fenomeno è provocato dai **capillari del setto poroso**.

Il trasporto di acqua in un solido poroso per **elettroosmosi**, è dovuto alla ionizzazione della superficie del solido, con separazione di carica tra solido e acqua che riempie i capillari del solido.

Sotto l'azione di una differenza di potenziale, l'acqua migra verso uno degli elettrodi secondo la sua carica.

I metodi che si basano sull'elettroosmosi tendono a realizzare una polarità tale che il polo negativo (catodo) coincide con il sottosuolo ed il polo positivo (anodo) con la parete da risanare, al fine di creare una inversione della direzione di migrazione dell'acqua, orientandola verso il sottosuolo.

L'elettroosmosi può essere **attiva o passiva**: nel caso specifico, si definisce attivo il sistema che provoca una differenza di potenziale tra la parete ed il terreno, interponendo nel circuito una batteria; si definisce passivo il sistema che prevede un collegamento tra i conduttori della parete e la presa di terra al fine di annullare la differenza di potenziale esistente tra la parete ed il terreno, che si instaura naturalmente durante la risalita dell'acqua e che contribuisce a questo fenomeno.

Si è trovato che l'acqua, a causa della sua natura dipolare, sarà sempre attratta, all'interno di un campo elettrico, dal polo negativo ossia sarà diretta dal polo positivo a quello negativo.

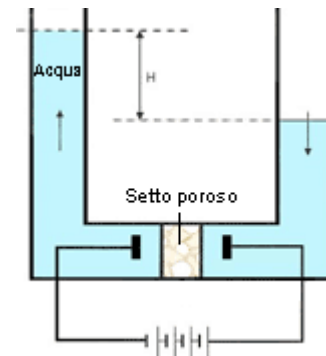
Tale proprietà era stata impiegata all'inizio nei lavori di muratura ancora umidi inserendo un elettrodo carico positivamente, quindi riconducendo il flusso d'acqua dal muro al terreno (che in questo caso agisce da polo negativo).

Purtroppo però tale processo poteva avere luogo solo qualora fosse stato garantito un collegamento per il passaggio di elettricità dal polo positivo alla struttura in muratura umida.

In caso contrario l'umidità avrebbe ripreso ad aumentare.

Ciò contribuì, alla ricerca di altre soluzioni di studio con la sperimentazione di un gran numero di circuiti elettronici, in cui si è pensato di poter trasferire l'energia necessaria nella zona interessata attraverso un **gradiente di potenziale indotto** da stabilire tra aria, muratura e terreno.

Fig. 5 Trasporto di acqua in un solido poroso per elettrosmosi



II. DESCRIZIONE DEI PRINCIPI FISICI

1. La natura del dipolo dell'acqua

1.1 Campo elettrico nella materia

Quando un campo elettrico viene ad agire su di un corpo costituito da materiale isolante, essendo questi privo di elettroni di conduzione o di altre cariche libere, a differenza dei corpi conduttori, non si può più avere il fenomeno dell'induzione elettrostatica poiché ciò implica uno spostamento di elettroni liberi che nel materiale isolante non ci sono.

Tuttavia il campo elettrico agente determina anche nei materiali isolanti un fenomeno fisico assai interessante ed importante che va sotto il nome di **polarizzazione dielettrica**.

Consideriamo allora un materiale isolante soggetto ad un campo elettrico e quindi attraversato da un certo numero di linee di forza.

Per effetto delle forze elettrostatiche che nascono, gli elettroni periferici degli atomi, non riusciranno più a ruotare su orbite centrate rispetto al nucleo, come erano prima di applicare il campo elettromagnetico (fig. 6), ma su orbite discentrate rispetto al loro nucleo (fig. 7), il quale a sua volta sarà sollecitato a spostarsi nello stesso verso in cui agisce il campo.

Naturalmente le forze attrattive che tengono uniti gli elettroni periferici al loro nucleo si opporranno a tali deformazioni, così come fanno le forze di natura elastica nei corpi materiali deformati quando questi sono sollecitati da forze meccaniche esterne.

Il campo elettrico dunque deforma gli atomi dei materiali dielettrici; il risultato pratico dell'azione di deformazione subita dall'atomo è che questo non appare più elettricamente neutro come lo era prima di essere sottoposto al campo elettrico.

In tali condizioni l'atomo può essere schematizzato come in fig. 7-8, cioè con due cariche elettriche uguali ma di segno opposto, poste ad una distanza piccolissima fra di loro.

Tale sistema nella fisica prende il nome di **dipolo elettrico**.

Concludendo dunque, ciascuno atomo di un materiale isolante soggetto all'azione di un campo elettrico, si comporterà come un minuscolo dipolo elettrico il cui asse coinciderà con la direzione presentata dalle linee di forza del campo.

Questo è il fenomeno della **polarizzazione per deformazione**.

Fig. 6 Atomo.



Fig. 7 Atomo polarizzato

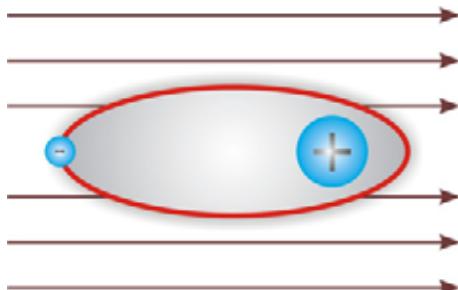
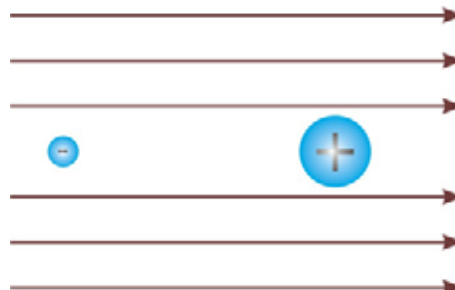


Fig. 8 Schematizzazione atomo polarizzato



Al fenomeno della polarizzazione per deformazione si aggiunge quello della **polarizzazione per orientamento** quando le molecole che costituiscono il materiale presentano già di per se stesse carattere polare cioè quando **di per sé esse non sono neutre**, ma costituiscono appunto dei minuscoli dipoli elettrici ovvero possiedono un momento di dipolo intrinseco e sono perciò detti **dipoli permanenti** (Fig. 9 - 12).

Fig. 9 Dipolo in assenza di campo elettrico

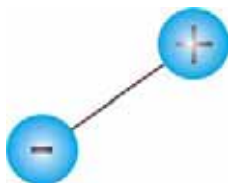


Fig. 10 Quando comincia ad agire il campo elettrico

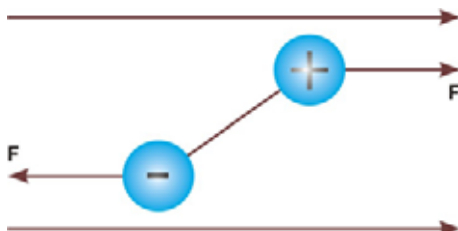
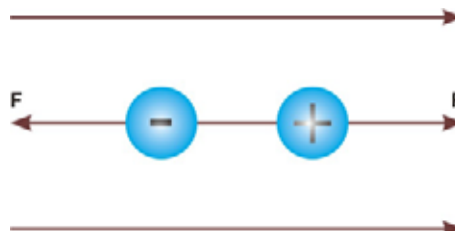


Fig. 11 Dipolo allineato sotto l'azione del campo elettrico



A queste sostanze appartiene l'**acqua**, l'ammoniaca, ed alcune sostanze plastiche.

La polarizzazione nasce poiché queste molecole tendono ad orientarsi nella direzione del campo elettrico, quando sono sottoposti alla sua azione (Fig. 10 - 11).

Fig. 12



Fig. 13

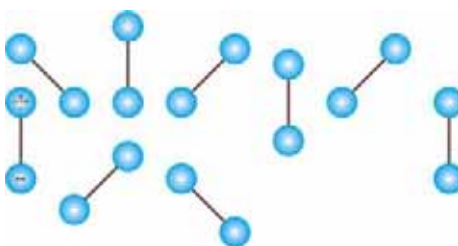
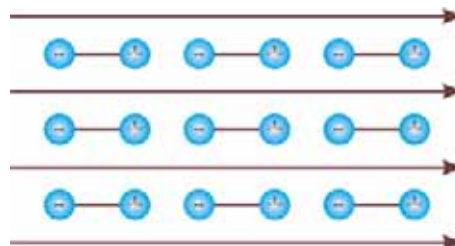


Fig. 14



Una nota da fare rilevare subito è che anche questi tipi di molecole polari si presentano esternamente elettricamente neutri in quanto l'agitazione termica tende a disorientare l'elevatissimo numero di dipoli, di cui il corpo sarà costituito, in modo tale che la loro risultante elettrica all'esterno è nulla (fig. 13).

Concludendo possiamo dire dunque che un dielettrico sottoposto all'azione di un campo elettrico subisce il fenomeno della **polarizzazione per deformazione**, più quella per **orientamento** se il materiale a carattere polare.

Esso potrà essere schematizzato, al fine del suo comportamento, rispetto ai campi elettrici, con un numero infinitamente grande (tanto quanto è il numero degli atomi o delle molecole) di minuscoli dipoli elettrici orientati secondo le linee di forza del campo (fig. 14).

Nel caso della molecola dell'**acqua** il dipolo è dovuto al fatto che di per se stessa la distribuzione delle diverse cariche è asimmetrica (cioè la carica positiva e negativa degli atomi che compongono la molecola non sono distribuite nello stesso modo) ed il campo elettrico da esse generato è assimilato con ottima approssimazione a quella di un dipolo.

Per questo motivo la molecola presenta una **natura dipolare permanente**.

Ha come proprietà di indurre vibrazioni naturali interne in sincronismo con opportune frequenze del campo elettromagnetico induttore la cui utilità sarà più avanti evidenziata.

1.2 Campo magnetico nella materia

Per poter capire il comportamento dell'acqua sottoposta all'azione di un campo magnetico, bisogna fare delle premesse di carattere fisico sulla origine elettronica delle proprietà magnetiche della materia che porteranno successivamente alla classificazione delle sostanze in diamagnetiche, paramagnetiche, ferromagnetiche.

L'acqua appartiene ad una di queste sostanze e di conseguenza si comporterà con determinate proprietà sotto l'influenza di un campo magnetico.

Le proprietà magnetiche della materia dipendono naturalmente da quelle delle sue molecole e quindi anche da quella dei suoi atomi.

A loro volta queste ultime sono dovute al movimento orbitale degli elettroni periferici ed al momento magnetico presentato dagli elettroni stessi (spin; l'elettrone possiede un momento magnetico poiché esso può essere considerato una piccolissima sfera carica ruotante con velocità elevatissima attorno al suo asse - fig. 15).

Dato che gli elettroni periferici ruotando attorno al proprio nucleo, costituiscono cariche in movimento lungo la propria traiettoria, possono considerarsi dei piccolissimi circuiti elettrici costituite da spire (le relative traiettorie) percorse da corrente (costituite da cariche in movimento).

Daranno quindi effetti magnetici (forze di natura magnetica) equivalenti a quelli di una minuscola spira percorsa da corrente.

Osservando subito che la molecola contiene più elettroni periferici, possono presentarsi due casi pratici:

- o la molecola risulta all'esterno **priva di effetti magnetici**, cioè è magneticamente neutra, in quanto le orbite dei singoli elettroni danno luogo a campi che si compensano (ossia si elidono) fra di loro;
- oppure la molecola presenta una risultanza magnetica non nulla, cioè, come si dice, possiede un **momento magnetico non nullo**.

In questo caso le molecole, dal punto di vista magnetico, possono essere rappresentate schematicamente come in fig. 16.

Fig. 15

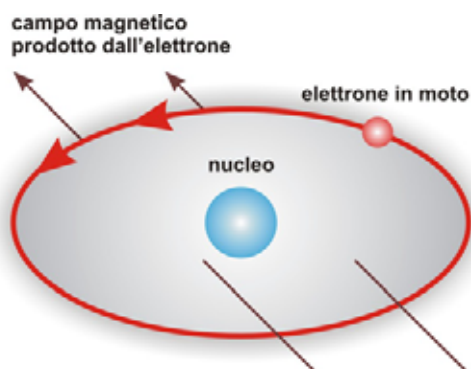
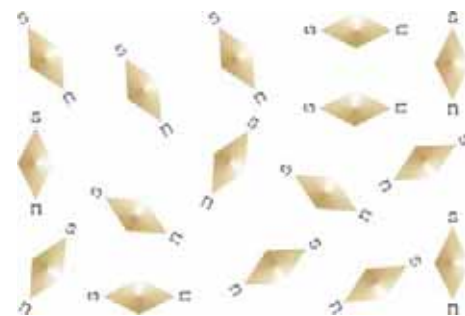


Fig. 16 Magnetini elementari della materia



Rimane però da chiarire come mai un corpo, costituito da molecole aventi un momento magnetico proprio non nullo, si presenti a noi sempre in condizioni neutre, cioè tale da non generare all'esterno un campo magnetico.

Si spiega facilmente questo fatto ricordando che l'agitazione termica, mettendo in movimento le molecole del materiale in tutti i sensi, faccia sì che l'azione risultante di tutti i magnetini elementari, con cui si può schematizzare la materia, risulti nulla ad una certa distanza da essi.

La fig. 16, che rappresenta la situazione in un determinato istante, renderà più chiara l'idea del fenomeno.

Vediamo ora che cosa succede quando un corpo viene sottoposto ad un campo magnetico esterno.

Si viene a dimostrare, a tal proposito, che:

- quelle molecole, che hanno le orbite elettroniche, magneticamente compensate nel loro insieme, non rimangono più neutre, ma esse stesse vengono a generare un campo magnetico, poiché ora le orbite elettroniche si sono scompenstate sotto l'azione del campo esterno in quanto gli elettroni periferici hanno dovuto variare la loro velocità di rotazione in seguito all'azione del c.m. esterno agente sull'atomo.

Questo fenomeno è noto come “**precessione di Larmor**”.

Questo campo magnetico molecolare risultante è di verso opposto a quello magnetizzante, ma la sua intensità è molto debole.

- quelle molecole che sono dotate, invece, di un momento magnetico proprio, che si possono quindi considerare come tanti magnetini elementari, subiscono sia il fenomeno della precessione di Larmor, sia il fenomeno della **polarizzazione per orientamento**.

Quest'ultimo fenomeno, che è del tutto analogo a quello della polarizzazione dielettrica per orientamento, si manifesta in quanto ogni molecola (magnetino) tende a disporsi parallelamente alle linee di forza del campo agente, determinando, quindi un aumento della intensità di quest'ultimo.

Tale orientamento è disturbato ovviamente dall'agitazione termica molecolare, ma l'effetto di orientamento sarà tanto più notevole quanto più forte risulterà l'intensità del campo magnetico esterno, in quanto prevarrà maggiormente su quello creato dalle molecole per l'agitazione termica.

Si comprende a questo punto il motivo del differente comportamento fisico dei materiali appartenenti alle tre categorie (diamagnetiche, paramagnetiche, ferromagnetiche) di seguito classificate:

- **sostanze diamagnetiche** in cui si ha la sola “precessione di Larmor”.

Pertanto la loro magnetizzazione avverrà in direzione opposta al c.m. agente.

Poiché questo tipo di polarizzazione determina effetti estremamente deboli, le sostanze diamagnetiche si comportano praticamente come il vuoto in quanto la μ_r risulta leggermente inferiore ad uno ($\mu_r \cong 1$ quindi $\mu \cong \mu_0$).

Appartengono a questo tipo il bismuto, il rame, l'oro, l'argento, il piombo, la grafite, il mercurio, l'**acqua**, l'idrogeno e qualche altra.

Hanno la proprietà di essere respinte in zone in cui il campo magnetico è più debole poiché la loro debole magnetizzazione ha verso opposto a quello del campo magnetico esterno.

- **sostanze paramagnetiche** in cui le molecole hanno un proprio momento magnetico.

Siccome la polarizzazione dovuta all'orientamento è superiore quella dovuta alla precessione di Larmor, il materiale si magnetizza pertanto nella direzione del campo magnetico agente.

Si precisa subito che dato che il momento magnetico in questi materiali è molto piccolo, il campo agente viene rinforzato in maniera molto debole, quasi trascurabile.

La μ_r risulta leggermente maggiore ad uno ($\mu_r > 1$ quindi $\mu > \mu_0$).

Appartengono a questo tipo la maggior parte delle sostanze, come l'ossigeno, l'aria, l'alluminio, il platino, il manganese, lo stagno, il titanio, il tungsteno ed altri.

Hanno la proprietà di essere attratte con forze deboli verso zone in cui il c.m. è più forte poiché la loro magnetizzazione, peraltro debole, ha lo stesso verso del campo magnetico esterno.

- **sostanze ferromagnetiche** in cui le molecole possiedono un proprio momento magnetico molto elevato.

Per questo motivo il materiale, si magnetizzerà fortemente nello stesso verso del campo magnetico agente, rinforzandolo fortemente.

In sostanza il campo magnetico prodotto dalle molecole orientandosi in direzione del campo agente si sovrappone a quello preesistente rinforzandolo notevolmente.

La μ_r risulta molto maggiore di uno ($\mu_r \gg 1$ quindi $\mu \gg \mu_0$).

Appartengono a questo tipo il ferro, il nichel, il cobalto, le leghe d'acciaio al silicio, il permalloy, il mumetal, le leghe di cromo e ferro, le leghe di ferrite (Mn-Zn e Ni-Zn), l'alnico.

Hanno la proprietà di essere attratte con forze intense verso zone in cui il campo magnetico è più forte poiché la loro magnetizzazione è forte e permanente (sottoposte a c. m. esterne diventano magneti permanenti).

Nel caso dell'acqua, considerata come dipolo, dato che appartiene alle sostanze **diamagnetiche**, per la proprietà di queste, dovendo il campo magnetico da esse prodotto opporsi a quello agente, la magnetizzazione dei suoi magnetini elementari avverrà in modo che il campo magnetico da essi creato in modo induttivo avrà direzione opposta al c.m. agente.

Nascerà quindi una debole forza che farà dirigere i dipoli dell'acqua verso il terreno riportandoli al suo habitat naturale.

Si noti che il **diamagnetismo** è una proprietà universale della materia e tutte le sostanze sono in linea di principio diamagnetiche.

Tale fenomeno è però molto debole e pertanto nelle sostanze para e ferromagnetiche il diamagnetismo è completamente mascherato da altri effetti e risulta del tutto trascurabile.

In conclusione si può dire che:

- **da un punto di vista magnetico** quando si viene a formare un campo magnetico esterno, il campo indotto influenza la molecola, producendo un effetto tale che l'intero dipolo inizierà a compiere un moto rotatorio fino a quando il suo asse geometrico sarà parallelo alla direzione delle linee di forza del c.m. indotto, mentre il verso cui tenderà a spostarsi il dipolo sarà concorde o discorde a quello del campo magnetico indotto, a secondo del tipo di sostanza cui è formato e quindi dalle proprietà magnetiche che presenta di conseguenza.

Nel caso che a noi interessa, tra il campo magnetico indotto, e i dipoli dell'acqua, dovendosi essi dirigersi dove il c.m. presenta minore intensità, data la natura diamagnetica, si deduce che deve nascere una modesta forza di repulsione, che, induce la molecola ad opporsi alla direzione del campo magnetico induttore e quindi, spingerla verso il terreno.

- **da un punto di vista elettrico** ricordando che l'acqua, a causa della sua natura dipolare, sarà sempre attratta, all'interno di un campo elettrico, dal polo negativo, ossia sarà diretta (vedi elettrosmosi) dal polo positivo (muratura ad altezza h) a quello negativo (terreno a potenziale zero), la molecola dell'acqua, immersa nel campo elettrico indotto, sarà trascinata verso il terreno.
- **da un punto di vista energetico** essendo il campo elettrico esterno variabile, lo sarà anche quello indotto sul dipolo elettrico dell'acqua.

Ciò produrrà una variazione continua del momento di torsione applicato al dipolo ovvero una vibrazione ordinata delle molecole che, incrementando l'agitazione termica produrrà ulteriore energia cinetica che verrà, a sua volta, dissipata in calore per effetto dell'incremento di attrito tra le molecole contribuendo quindi, in ultima analisi, alla evaporazione dell'acqua nella muratura.

Le condizioni da rispettare per la generazione del c.e.m. esterno opportuno sono essenzialmente due:

- la prima è quella di poter generare un **c.e.m. variabile** in modo da poter produrre un c.e.m. indotto di intensità adeguata nel luogo che interessa
- la seconda è quella di trasmettere ad una **frequenza opportuna** tale che possa eccitare quanto più possibile gli atomi del dipolo-acqua in modo da potere ottenere il massimo traferimento di energia utile a creare il **lavoro di spostamento** verso il terreno.

Una situazione analoga si ha quando, trasmessa energia a mezzo di un c.e.m. da un'antenna, può essere ricevuta da un'altra posta a distanza, solo se le due antenne risuonano alla stessa frequenza (di risonanza).

2. La generazione del campo elettromagnetico (C.E.M.)

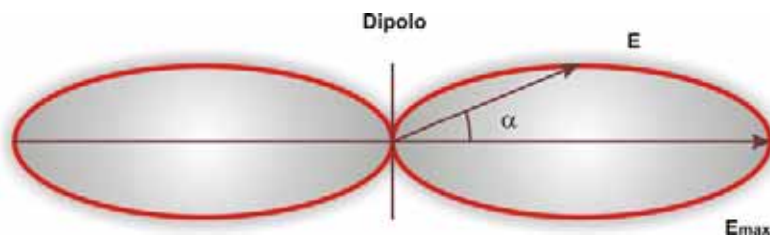
La generazione del campo elettromagnetico polarizzante esterno si ottiene tramite un circuito particolare in grado di generare un **campo polarizzante** a distanza.

Dalla teoria sulle onde elettromagnetiche piane nel vuoto si sa che, il campo elettrico ed il campo magnetico risultano variabili nel tempo e nello spazio.

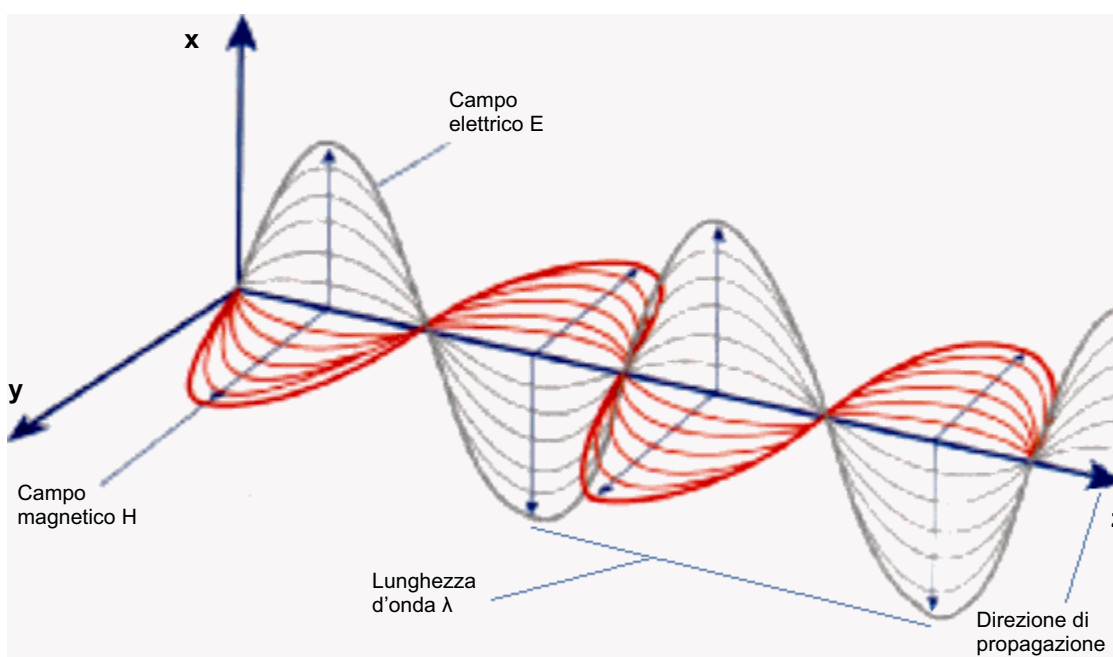
Come conseguenza di ciò, viene generato un c.e.m. indotto nel luogo esatto in cui devono essere messi in moto i dipoli dell'acqua nella muratura.

Il diagramma di radiazione è pressochè simile al tipo rappresentato in fig. 17 dove vengono raffigurati i due lobi di irradiazioni del c.e.m. nei piani (x, z) e (x, y) come nel caso, ad esempio, di un'antenna a forma di dipolo di lunghezza $\lambda/2$, disposto secondo l'asse z .

Fig. 17 Irradiazione di energia di un dipolo.



I campi elettrico \mathbf{E} e magnetico \mathbf{H} oscillano con una frequenza uguale a quella con cui vibrano gli elettroni nel dipolo trasmittente, rappresentati nello spazio con vettori, *sfasati di 90°* , (fig. 18), creando onde elettromagnetiche che vengono dette anche **onde trasversali** in quanto \mathbf{E} (che viaggia sul piano x-z) e \mathbf{H} (che viaggia sul piano y-z) oscillano perpendicolarmente alla direzione di propagazione dell'onda (asse z).

Fig. 18 Istantanea all'istante t di un'onda e.m. che si propaga sull'asse z. Il campo elettrico \mathbf{E} e magnetico \mathbf{H} sono ortogonali tra loro.

Se in un punto P dello spazio sistemiamo una sbarretta di metallo quale antenna ricevente (dipolo acqua nel caso nostro) lungo la direzione del campo elettrico, gli elettroni liberi al suo interno, vibreranno con la stessa frequenza di quelli che hanno dato origine all'onda di partenza.

Abbiamo così realizzato un'antenna ricevente (dipolo-acqua nel nostro caso) che capta l'onda trasmessa ed utilizza il suo campo elettrico per generare una corrente alternata.

Poiché il campo elettrico compie lavoro per fare oscillare gli elettroni, significa che una parte dell'energia trasportata dall'onda viene assorbita dall'antenna ricevente (dipolo-acqua).

III. RIEPILOGO

1. Conclusioni

Se le molecole dell'acqua poste ad una certa altezza della muratura vengono sottoposte all'azione di un opportuno campo elettromagnetico, esse verranno dirette verso il terreno a causa:

- a) della **forza di gravità**
- b) della **forze di repulsione** di tipo elettrico e magnetico che nascono per interazione del campo elettromagnetico esterno e quello indotto creato dagli atomi del dipolo-acqua grazie alle proprietà suddette.

2. Il sistema KalibraDRY®

Tramite opportuni circuiti, racchiusi in una piccola apparecchiatura che viene collocata direttamente sull'opera in muratura, si attiva l'emissione di un debole campo elettromagnetico (induttore), interagente con il campo elettromagnetico (indotto) dei dipoli dell'acqua, creando una forza di tipo elettromagnetica che spinge i dipoli dell'acqua verso il terreno.

Le condizioni necessarie perché si verifichi tale effetto sono:

- 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'apparecchio è installato, preferibilmente, all'interno dell'edificio e, se possibile, al di sopra del livello massimo di umidità visibile

Il campo di azione, con raggio di circa 15 metri a livello sferico, permette che la deumidificazione avvenga in tutta la struttura, interessando anche le pareti interne e le pavimentazioni a contatto con il terreno.

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).

3. Dati KalibraDRY®

- Alimentazione 230 V - 50 HZ
- Potenza assorbita circa 3 Watt
- Isolamento classe II secondo le norme CEI EN 60335-1 (1998)
- Grado di protezione IP65 secondo le norme CEI EN 60529 (1997)
- Raggio di azione da 6 a 15 metri in funzione del modello
- Marcatura **CE** attesta la conformità dell'apparecchiatura KalibraDRY® alla direttiva CEE 73/23 (sicurezza prodotti elettrici) e CEE 89/336 (compatibilità elettromagnetica)

Certificazioni TÜV Italia

- **Sicurezza** conforme norma CEI EN 60335-1 (2002)
- **EMC**
 - Emissioni** conforme norme CEI EN 55011 (2009) - CEI EN 61000-6-3 (2007)
 - Immunità** conforme norme
 - CEI EN 61000-3-2 (2007) - CEI EN 61000-3-3 (2009)
 - CEI EN 61000-4-2 (1996) - CEI EN 61000-4-3 (2007)
 - CEI EN 61000-4-4 (2006) - CEI EN 61000-4-5 (2007)
 - CEI EN 61000-4-6 (2009) - CEI EN 61000-4-8 (1997)
 - CEI EN 61000-4-11 (2006) - CEI EN 61000-6-2 (2006)
- **Sicurezza Esposizione Umana Campi Elettromagnetici** conforme norma CEI EN 62233 (2008)

La tecnologia KalibraDRY® è considerata Bioedile, totalmente Reversibile e Non Invasiva.

Responsabile di zona:



Soluzioni Kalibrate per Murature®

I - 90143 PALERMO
Via Tommaso Gargallo, 12
Tel. +39 091 6262447 / Fax +39 091 303790

PROGETTAZIONE - MONTAGGIO - SERVIZI

Internet: www.skm-italia.eu / www.kalibradry.eu
eMail: infoskm@skm-italia.eu



Azienda certificata
UNI EN ISO 9001:2008

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati per tutti i paesi.
Nessuna parte può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata
tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto di S.K.M. srl Soluzioni Kalibrate per Murature.