

IL NEOPRENE E L'ISOLAMENTO TERMICO

Di Michele Rubbini

Lo studio dei fenomeni di trasmissione del calore è relativo a tutti quei processi fisici nei quali una certa quantità di energia termica è trasferita da un sistema ad un altro a causa di una differenza di temperatura.

Questi processi avvengono in accordo con i principi della termodinamica: quindi per il primo principio, l'energia termica ceduta da un sistema deve essere uguale a quella ricevuta dall'altro e il calore, come afferma il secondo principio, passa dal corpo più caldo a quello più freddo.

Il nostro corpo si mantiene ad una temperatura normalmente superiore rispetto all'ambiente esterno (in considerazione del clima Italiano): con una termografia è possibile identificare un certo gradiente di temperatura dal busto e la testa (area più calda entro cui sono compresi gli organi vitali) verso le estremità degli arti.

Un ulteriore gradiente di temperatura è identificabile se si analizza l'andamento della stessa dalla superficie della pelle verso l'esterno: lo strato di aria che lambisce la pelle è all'incirca alla sua stessa temperatura, man mano che ci si allontana si assiste ad una riduzione di temperatura fino ad arrivare alla temperatura dell'ambiente.

Questo particolare andamento è dovuto al fatto che il nostro corpo cede costantemente una certa quantità di calore verso l'ambiente esterno in maniera in qualche modo proporzionale alla differenza di temperatura tra il nostro corpo e l'ambiente esterno stessi.

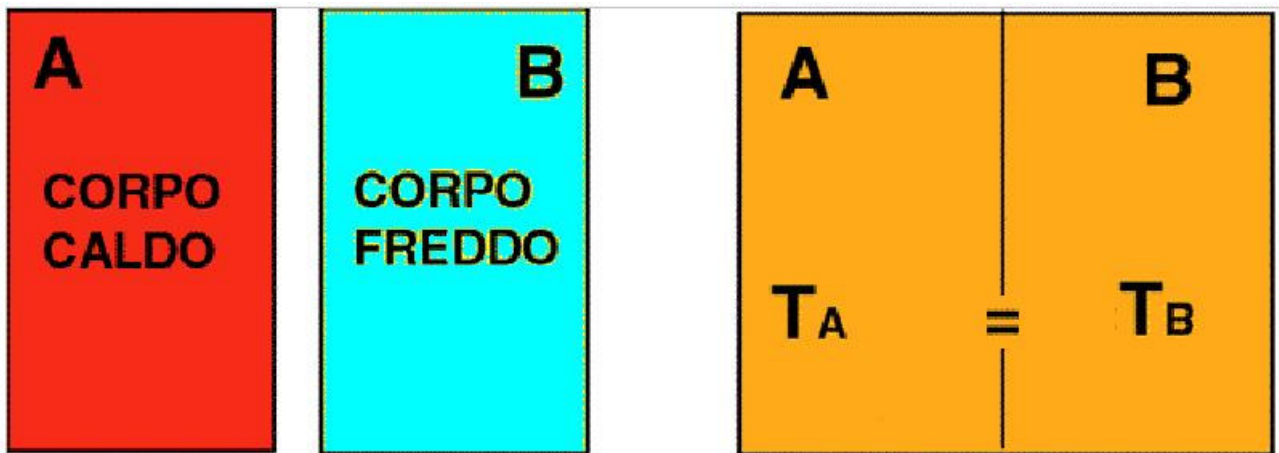
La trasmissione del calore avviene spontaneamente solo da un corpo caldo ad un corpo freddo, fino a che i due corpi raggiungono una stessa temperatura, detta di equilibrio termico. Il corpo caldo trasferisce a quello freddo parte della sua energia termica intensificandone l'agitazione molecolare.

Facciamo un passo indietro ed identifichiamo quali sono i fenomeni fisici per mezzo dei quali può avvenire questa trasmissione di calore (e quindi di energia): conduzione, convezione, irraggiamento ed evaporazione (propria esclusivamente dei sistemi biologici).

La conduzione

Il trasferimento per conduzione avviene tra corpi che sono in contatto reciproco, o tra parti di uno stesso corpo che si trovano a temperature diverse. Esso è causato dal trasferimento di energia cinetica da una molecola a quella adiacente che presenta una velocità di vibrazione minore: gli atomi "caldi", cioè quelli che si agitano di più, urtano tra loro e così trasmettono agli atomi vicini un po' della loro energia. La conduzione è un processo molto lento, perché il numero di atomi anche in un oggetto piccolo è molto grande. Siccome la velocità di vibrazione delle particelle è

direttamente proporzionale alla rispettiva temperatura, il corpo caldo cede energia a quello freddo, aumentandone la temperatura, finché non è raggiunto l'equilibrio termico. Considerando due corpi che si trovino a temperature diverse si può notare come una volta posti in contatto, per conduzione, il calore fluisca dal corpo più caldo a quello più freddo, fino a quando essi raggiungeranno una temperatura d'equilibrio.

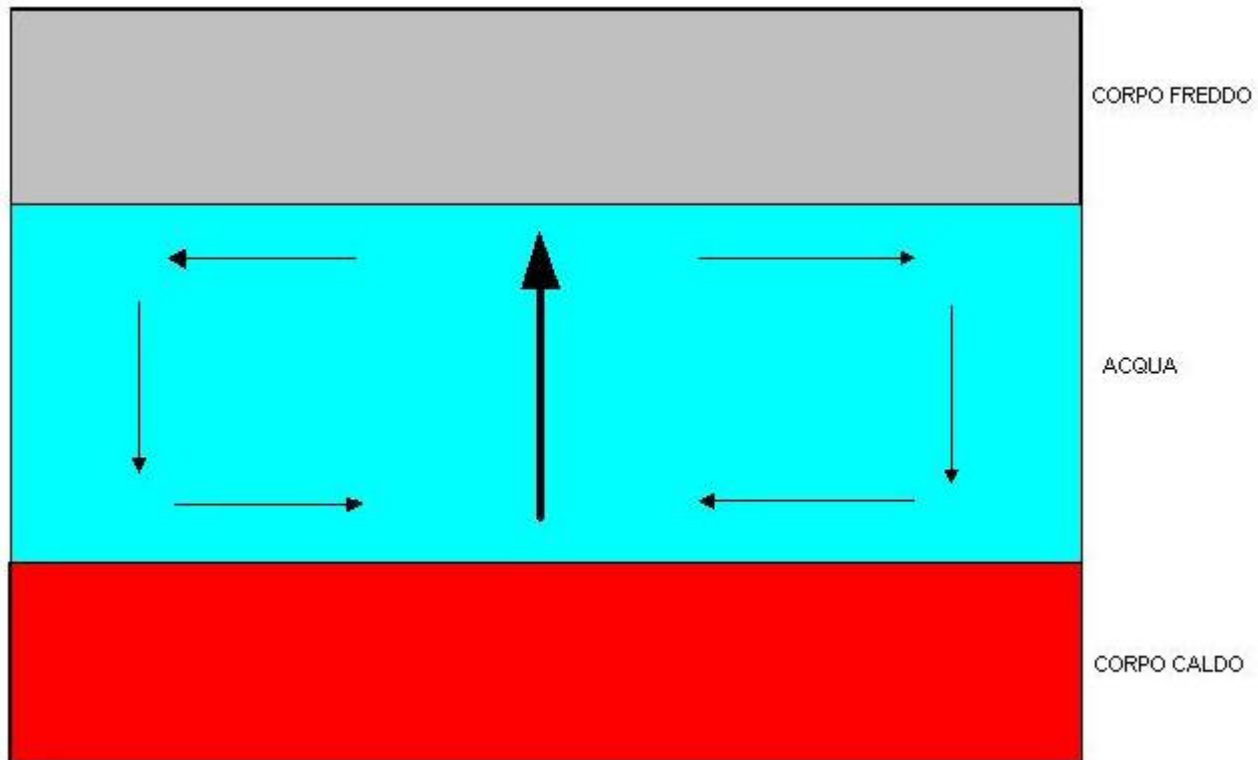


I metalli trasmettono in fretta il calore, perché gli elettroni più esterni di ogni atomo vengono condivisi da tutto il pezzo di metallo, cioè formano il legame metallico. Questo comporta che uno o due elettroni per atomo, un numero immenso complessivamente, possono spostarsi con grande libertà in tutto il pezzo di metallo, scambiando di tanto in tanto energia con gli atomi per urto. Se si scalda un'estremità di un filo metallico gli elettroni acquistano energia cinetica e quindi velocità, possono attraversare alcuni centimetri di filo prima di urtare contro un atomo e cedere così una parte della loro energia. I metalli sono ottimi conduttori di elettricità e di calore. I migliori sono: l'argento, il rame e l'alluminio.

La convezione

La convezione termica avviene solamente in presenza di un fluido, ad esempio aria o acqua. Tale fluido, a contatto con un corpo la cui temperatura è maggiore di quella dell'ambiente che lo circonda, si riscalda e, per l'aumento di temperatura subito, si espande (nella maggior parte dei casi). A causa della spinta di Archimede, questo fluido sale, essendo meno denso del fluido circostante che è più freddo. Contemporaneamente, il fluido più freddo scende e prende il posto di quello più caldo che sale; in questo modo si instaura una circolazione convettiva. Per esempio supponiamo di avere un sistema isolato dall'esterno costituito da due corpi aventi temperature differenti, l'uno al di sopra dell'altro, divisi da uno strato di acqua, che, come vedremo, svolgerà la

funzione del sopraccitato fluido. Supponendo che venga posto in superficie il corpo più freddo, siccome l'acqua calda tende a salire e l'acqua fredda a scendere (per la diversa densità), si sviluppa un moto convettivo per cui nella zona centrale l'acqua riscaldata a contatto con il corpo caldo sale verso il corpo freddo, mentre nelle zone più esterne si ha un movimento verso il basso dell'acqua che, raffreddata per il contatto con il corpo freddo, si dirige verso quello caldo.

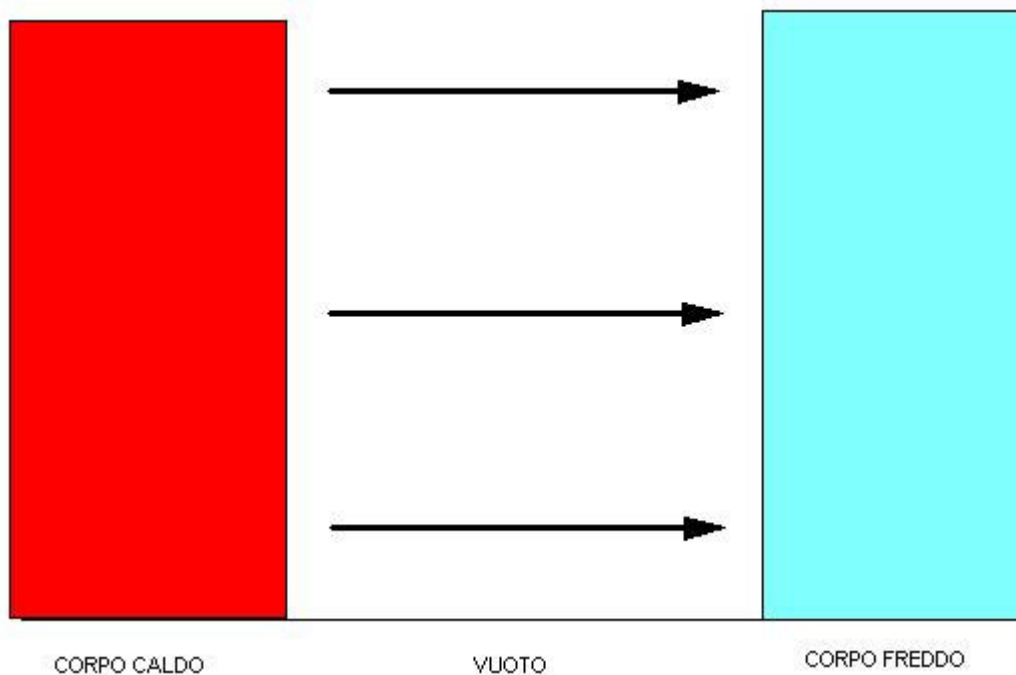


Si può osservare che si avrebbe una situazione molto diversa nel caso in cui i due corpi venissero invertiti, ossia se il corpo a temperatura maggiore fosse posto in superficie ed il corpo a temperatura minore sotto lo strato d'acqua: in questo caso non si avrebbe nessun moto convettivo, ma l'acqua rimarrebbe ferma trasferendo calore dal corpo più caldo a quello più freddo solo per conduzione.

L'irraggiamento

Quest'ultimo non richiede il contatto termico tra i corpi coinvolti nel processo di trasferimento. Mettiamo sotto una campana di vetro una radiolina ed una lampadina, entrambi in funzione. Con una pompa estraiamo l'aria dalla campana. Una persona non udrà più il suono della radiolina, ma potrà sentire il calore della lampadina e vederne la luce. Il vuoto esclude ovviamente il contatto termico tra i due sistemi e quindi sia i fenomeni di conduzione che di convezione. A che cosa è dovuto allora l'aumento di temperatura? Questo nuovo fenomeno si chiama irraggiamento termico

ed è legato ad energia in moto a velocità molto elevata, trasportata da onde elettromagnetiche. Nell'irraggiamento il calore viene quindi scambiato mediante emissione e assorbimento di radiazione elettromagnetica. Il calore così scambiato aumenta molto rapidamente con la differenza di temperatura. Si è visto come a differenza delle altre due modalità di scambio termico, l'irraggiamento non richiede la presenza di un mezzo perché vi sia trasmissione di energia. La radiazione elettromagnetica che opera da "trasmettitore" di calore, è generata dall'eccitazione termica della superficie del corpo, a sua volta causata dallo stato energetico degli atomi che la costituiscono, ed è emessa in tutte le direzioni. Quindi in questo caso il corpo avente temperatura maggiore emette radiazioni elettromagnetiche che vengono assorbite dal corpo più freddo.



Trasmissione combinata

A seconda della natura dei corpi in gioco nel fenomeno di trasmissione del calore, assume un ruolo predominante una modalità rispetto alle altre, oppure il calore viene trasferito grazie all'azione combinata di due o di tutte e tre le modalità. Questo è causato dalle caratteristiche fisiche, ad esempio dalla densità del corpo oppure se questo è più o meno trasparente. Ad esempio il calore, dissipato attraverso le pareti interne di un edificio verso l'ambiente esterno, attraversa per conduzione i vari strati che costituiscono la parete e per convezione e irraggiamento gli spazi tra i mattoni occupati dall'aria. Una volta che il calore ha raggiunto l'ambiente esterno, esso è dissipato tramite convezione e irraggiamento.

I materiali isolanti

Molti materiali isolanti basano il loro potere isolante sul fatto che sono materiali poco conduttori (trasmissione per conduzione ridotta al minimo) e molto porosi, intrappolando così, entro piccole celle al loro interno, dell'aria che quindi non si può avvalere della convezione. Il thermos per il caffè, in fisica noto come bottiglia Dewar, isola ancora meglio, perché è composto da due bottiglie, una dentro l'altra e nell'intercapedine identificata dalle stesse è creato il vuoto. Inoltre le sue superfici sono ricoperte di materiale riflettente per respingere i raggi infrarossi minimizzando anche il fenomeno dell'irraggiamento.

Ogni materiale in pratica ha un proprio comportamento nei confronti del trasferimento di calore, i metalli ad esempio sono ottimi conduttori mentre i materiali polimerici (specie se espansi) o il sughero sono degli isolanti.

In generale, lo scambio termico è un fenomeno non lineare, non esiste cioè una semplice relazione di linearità fra energia scambiata dai corpi coinvolti nel processo e temperature dei corpi, tant'è che, ad esempio, in un fenomeno di irraggiamento il calore scambiato è proporzionale alla quarta potenza delle temperature dei corpi.

Il fenomeno che maggiormente interessa il subacqueo in immersione è indubbiamente la conduzione perché la pelle del subacqueo è separata dall'acqua di mare solamente da un sottile strato di materiale poroso in intimo contatto con entrambe.

La quantità di calore trasmessa nell'unità di tempo per conduzione attraverso un materiale solido, o equivalentemente attraverso un fluido in quiete, è chiamata potenza termica.

Nel sistema internazionale essa si misura in watt. Il calore, essendo una forma di energia, si esprime in joule (1 watt=1joule/1secondo).

Si definisce **densità di flusso termico** la potenza termica per unità di superficie. Le sue dimensioni, nel Sistema Internazionale, sono quelle di una quantità di calore per unità di superficie.

Esiste una legge fisica che esprime la proporzionalità tra densità di flusso di calore ed il gradiente di temperatura: la legge di Fourier:

$$\text{densità di flusso termico} = (\text{conducibilità termica}) \text{ per } (\text{gradiente di temperatura})$$

Il termine di proporzionalità fra flusso termico specifico e gradiente di temperatura è detto coefficiente di conducibilità termica del materiale, si riportano di seguito alcuni esempi.

MATERIALE	Conducibilità termica a 20° C (W/mK)
Acciaio con 5% Ni	29
Acciaio con 30% Ni	105
Acqua (liquida in quiete a 20 °C)	0,63
Aria (in quiete a 20 °C)	0,026
Asfalto	0,64
Cartone	0,14 ÷ 0,23
Caucciù	0,13 ÷ 0,23
Sughero (200 Kg/m ³)	0,052

Si può ragionevolmente accettare che i polimeri che non inglobino bolle di aria (che ne modificano di fatto la struttura) abbiano valori di conducibilità termica compresi tra circa 0,1 e 0,3 W/mK.

La presenza di una certa porosità e, quindi, di un certo numero di bolle d'aria contribuisce a ridurre notevolmente la conducibilità termica del materiale: è il caso del neoprene.

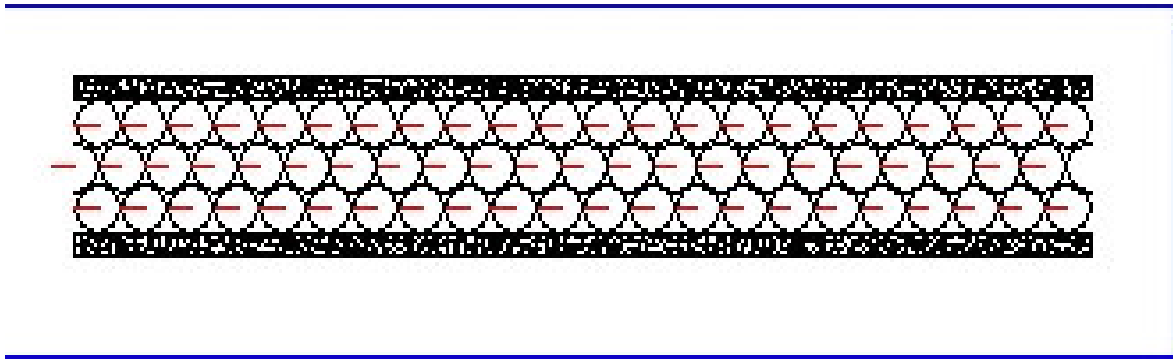
II NEOPRENE

Il policloroprene di solito è commercializzato con il nome commerciale di Neoprene. E' particolarmente resistente agli olii. E' stato scoperto da Arnold Collins nei laboratori della DUPONT nel 1931.

In pratica con il neoprene le mute subacquee divengono immediatamente più confortevoli ed isolanti rispetto al passato (si usavano capi in gomma caratterizzati da una certa rigidità ed il cui isolamento termico era solamente dovuto alle caratteristiche intrinseche del materiale in quanto non vi erano distribuite bolle d'aria con sufficiente densità).

La molecola del monomero di base (cloroprene) e del polimero in analisi (policloroprene) sono le seguenti:

(come ad esempio le miscele di acqua e sapone).



La fodera esterna, bagnata, è, in parte, affacciata oltre il pelo dell'acqua rimanendo esposta al vento.

Occorre a questo punto fare una premessa, l'acqua (tutta la materia in realtà) per cambiare di stato impiega una certa quantità di energia, detta calore latente di evaporazione, liquefazione, ecc.

Per i cambiamenti di stato da condizioni di energia immagazzinata maggiore a condizioni di energia immagazzinata minore (da vapore a liquido o da liquido a solido) questo calore latente è ceduto all'ambiente esterno, mentre nel caso opposto (da solido a liquido e da liquido a vapore) l'energia viene sottratta dall'ambiente esterno o dai corpi in contatto. La fodera bagnata investita dal vento comporta una continua evaporazione di liquido che la impregna con conseguente sottrazione di calore dalla superficie della muta.

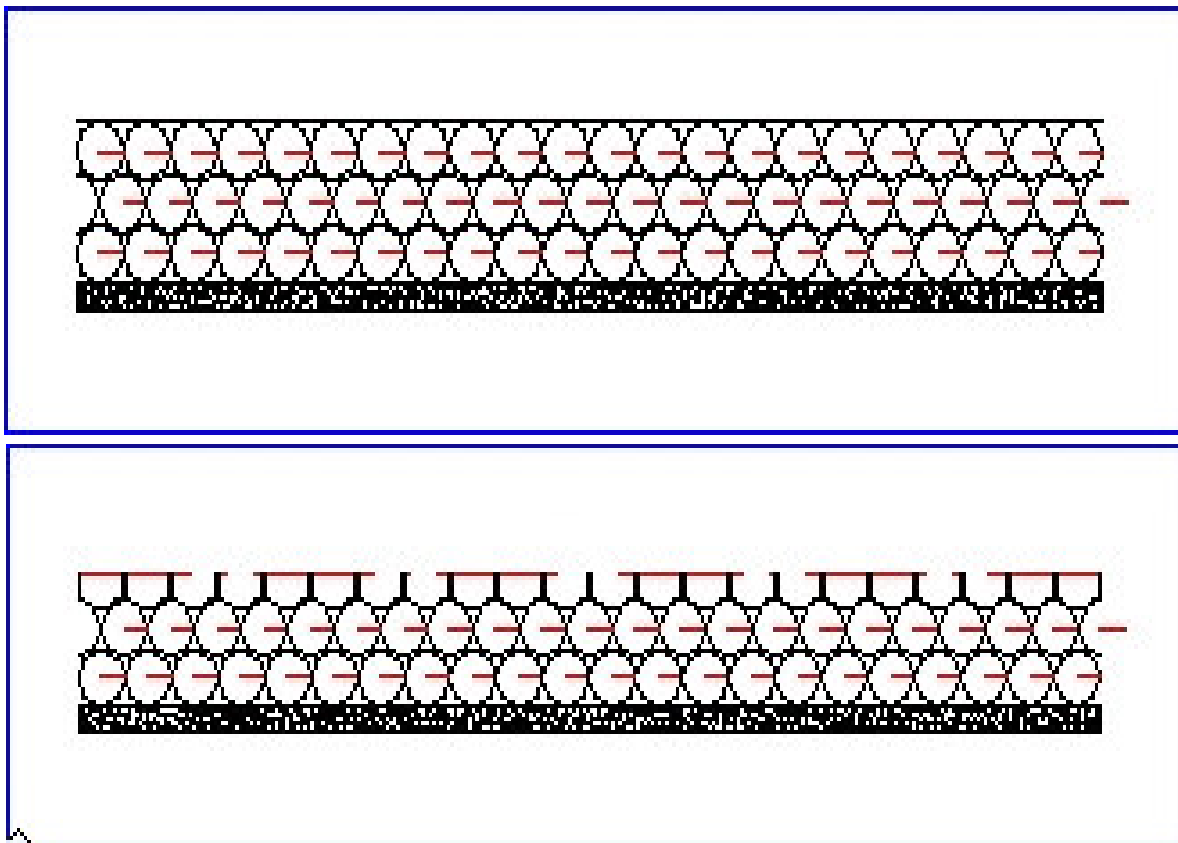
Il subacqueo noterà che la parte esposta fuori dall'acqua è sempre più fredda: la quantità di calore asportata è legata anche alla quantità di vento che investe la superficie della muta oltre che alla superficie esposta. Per questo motivo le mute foderate sono sconsigliate a chi compie lunghe trasferte in gommone con temperature esterne rigide: l'evaporazione continua di acqua dalla fodera (amplificata dal vento dovuto alla navigazione) sottrae grandi quantità di calore dal corpo del subacqueo.

Le mute monofoderate possono avere la fodera solamente all'interno (a contatto con il subacqueo) allo scopo di mantenere un'elevata vestibilità ed essere completamente lisce all'esterno per evitare il problema dell'evaporazione del liquido impregnato nella fodera con conseguente raffreddamento del subacqueo. La superficie liscia infatti non si intride di liquido, una volta evaporata la patina di liquido che si forma per adesione dello stesso alla superficie liscia, questa rimane asciutta (si evita quindi la sottrazione di calore dovuta all'evaporazione continua).

Nel caso la fodera sia all'esterno, questa avrà lo scopo di preservare la muta da eventuali abrasioni (il neoprene liscio è delicato) ma non potrà essere scongiurato il fenomeno di dispersione termica legato all'evaporazione del liquido.

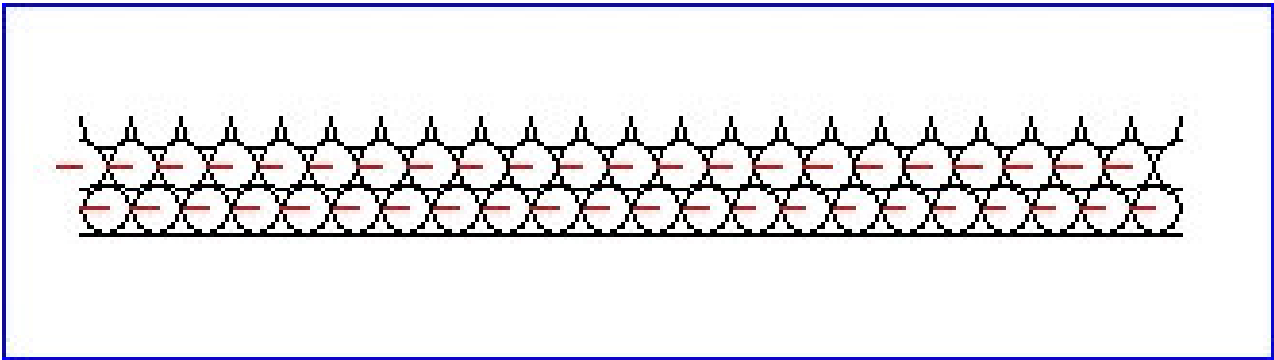
Le mute monofoderate con fodera esterna possono presentare diverse caratteristiche della superficie interna affacciata alla pelle dell'utilizzatore: cellula chiusa, cellula aperta eventualmente rivestite

con uno spalmatura.



La differenza tra cellula chiusa ed aperta è evidente anche solo osservando le relative figure: nel caso di cellula chiusa la superficie in contatto con la pelle dell'utilizzatore è molto estesa e non si verifica un'adesione tra le parti, quindi il liquido può scorrere tra la pelle ed il neoprene comportando anche eventuali reflussi dall'esterno che possono raffreddare l'utilizzatore; nel caso di cellula aperta ogni semi cellula affacciata alla pelle dell'utilizzatore si comporta come una piccola ventosa che aderisce impedendo al liquido di muoversi.

L'isolamento termico ottenibile con mute che presentano una superficie interna del tipo a cellula aperta è maggiore; qualora la muta sia su misura (non sono presenti sacche dovute a materiale in eccesso o zone di eccessiva compressione del neoprene sulla pelle) si evita quasi integralmente l'afflusso di acqua dall'esterno all'interno della muta: in questa situazione il neoprene a cellula aperta esalta ulteriormente le proprie qualità.



Altra caratteristica da verificare è la dimensione delle bolle di aria presenti in seno al materiale: si parla in questo caso di neoprene macro cellulare e micro cellulare.

Se le bolle di aria hanno grandi dimensioni (neoprene macro cellulare) si può sfruttare al meglio l'isolamento termico proprio dell'aria: ne consegue che il coefficiente di conducibilità termica complessivo sarà molto basso garantendo un ottimo isolamento.

Il problema è legato all'utilizzo di questo tipo di materiale per confezionare capi che possono essere sottoposti a pressioni idrostatiche anche ingenti (immergendosi, si assiste all'aumento di 1 atm di pressione ogni dieci metri di profondità percorsi). L'aria è un gas e come tale è comprimibile, quindi, ad elevate profondità, lo spessore della muta può ridursi in maniera evidente (le bolle di aria sottoposte a pressione subiscono una contrazione dimensionale). La coibenza termica cambia al cambiare della dimensione, in seno al materiale, delle bolle d'aria: quando il subacqueo si trova in profondità, una muta realizzata in neoprene macro cellulare può aver perso gran parte del suo potere isolante. Il problema è che proprio in profondità l'acqua è a temperatura più bassa e quindi proprio in quella condizione il subacqueo necessiterebbe un buon isolamento.

Le mute realizzate in neoprene macro cellulare sono maggiormente adatte ad utilizzi a profondità non troppo elevate associando, in tali condizioni, una grande morbidezza ad un ottimo isolamento termico.

Le mute realizzate in neoprene micro cellulare possono caratterizzarsi per una maggiore densità (il neoprene può essere percentualmente maggiore che in quelle macro cellulari): l'isolamento termico potrebbe, per questo motivo, risultare nel complesso leggermente inferiore ad un'equivalente in neoprene macro cellulare. In realtà le bolle d'aria, di piccolissime dimensioni, quando sono sottoposte ad elevata pressione, pur diminuendo le loro dimensioni, non modificano integralmente la struttura del materiale che conserva complessivamente un buon isolamento. Questo tipo di materiale è quindi molto adatto a chi faccia spesso tuffi ad elevate profondità perché le sue proprietà di isolamento termico sono grosso modo costanti alle varie profondità.

Va considerato che materiali a diversa densità hanno anche un galleggiamento diverso che deve essere contrastato con una sufficiente quantità di zavorra: anche la possibilità di ridurre il numero

dei blocchetti fissati alla cintura o il peso dello schienalino può essere una delle motivazioni che porta a prediligere un materiale rispetto ad altri.

Per quanto riguarda invece la spalmatura interna questa assolve essenzialmente a due scopi: il primo (e principale) è quello di rendere più facile la vestizione. Una muta in spaccato infatti per essere indossata necessita che il suo interno (o il corpo del subacqueo) sia bagnato e, eventualmente, lubrificato con misture di acqua e sapone e/o oli di varia natura. La stessa muta, qualora sia sottoposta ad una spalmatura interna con apposite vernici potrà essere indossata con facilità in quanto la vernice occlude parzialmente le semi celle riducendo l'effetto ventosa delle stesse e, generalmente, ha anche una consistenza atta allo scivolamento.

In secondo luogo le vernici utilizzate per la spalmatura sono riflettenti allo scopo di minimizzare la dispersione termica dovuta all'irraggiamento (si cerca di riprodurre quanto avviene in un thermos).

In realtà la coibenza assicurata dal neoprene spaccato, privo di spalmatura, grazie al fatto che le semi celle aderiscono alla pelle riducendo al minimo il riflusso d'acqua, è ottimale: il contributo volto alla riduzione di scambio termico per irraggiamento dato dalla spalmatura non è pari alla quantità di calore disperso in seguito al ricircolo di acqua che nelle mute con spalmatura interna è superiore.