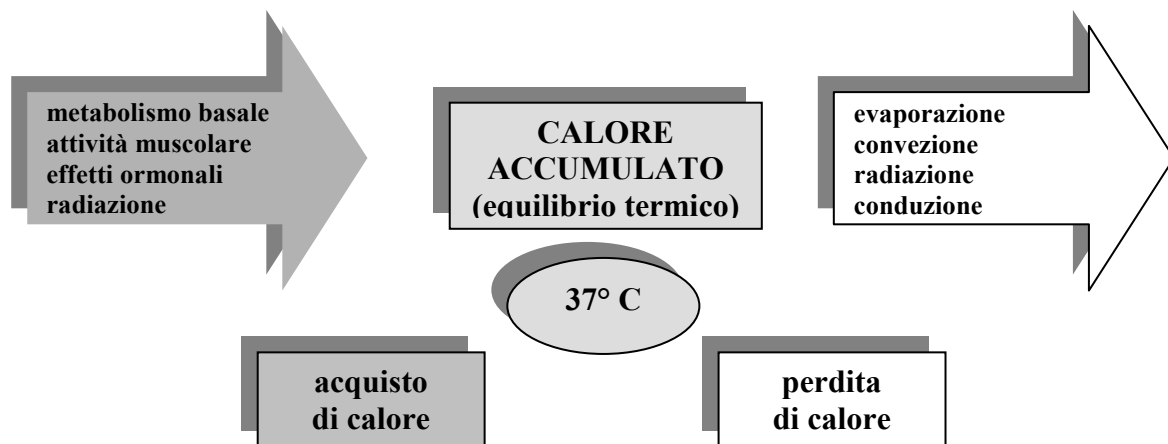


# NOZIONI DI TERMOREGOLAZIONE

**Marco Bonifazi**  
**Dipartimento di Fisiologia**  
**Università degli Studi di Siena**

## Il calore acquistato e quello prodotto devono essere in equilibrio

Il calore prodotto dall'organismo deve essere dissipato affinché la temperatura corporea si possa mantenere costante. Per temperatura corporea si intende la temperatura della parte interna del corpo (nucleo) e viene misurata come temperatura rettale, o in modo più pratico, alla piega dell'ascella. In condizioni di riposo o di moderato impegno fisico, la temperatura corporea si mantiene al valore di 37° C perché tanto calore viene acquistato e altrettanto viene perduto. Di solito, entro certi limiti, anche l'aumento del calore prodotto a seguito dell'attività fisica viene dissipato per mantenere la temperatura dell'organismo.



## Gli scambi di calore

Il corpo umano è sottoposto continuamente a scambi di calore con l'ambiente che lo circonda. Il corpo acquista o perde calore per:

- **Convezione.** La convezione è il passaggio di calore fra un corpo e un fluido in movimento intorno al corpo. Per esempio, il ventaglio serve per spostare aria riscaldata dal corpo e sostituirla con aria fresca. Lo stesso avviene se ci si espone al vento o se ci si immerge in acqua fresca mossa da correnti.
- **Conduzione.** La conduzione è il passaggio di calore fra due corpi di temperatura diversa che siano in contatto fra loro. Per esempio, prendendo in mano un pezzo di ghiaccio, il calore viene trasferito dalla superficie della mano (che si raffredda) al ghiaccio (che scaldandosi si scioglie).
- **Evaporazione.** Durante l'esercizio, tuttavia, la maggior parte del calore viene smaltito per evaporazione del sudore dalla superficie del corpo. Evaporazione significa la formazione di vapore da un liquido. Per trasformare il liquido in vapore è necessaria energia termica che viene fornita dal corpo. L'estrazione di energia dal corpo determina il raffreddamento. Il corpo viene

raffreddato solo se il sudore evapora: sudare copiosamente con la maggior parte del sudore che cade a terra non serve a raffreddare il corpo.

- **Irraggiamento o radiazione.** Il principio della radiazione si basa sul fatto che tutti i corpi con temperatura superiore allo zero assoluto sono formati da molecole in uno stato di costante agitazione. Questa agitazione determina l'emissione di calore sotto forma di onde elettromagnetiche (che sono nel campo dell'infrarosso). Con questo sistema il corpo può, naturalmente, sia guadagnare sia perdere calore. Per esempio, una persona nuda che si trova in una stanza a 20° C di temperatura perde calore principalmente per questo processo. Al contrario, una notevole quantità di calore può essere acquistata per irraggiamento solare.

### **La produzione di calore da parte dell'organismo**

Il calore veniva misurato in calorie. Una caloria (cal) è la quantità di calore che serve per far aumentare di 1° C di temperatura 1 grammo di acqua. Fino ad oggi si usava la kilocaloria (kcal o Cal, corrisponde a 1000 calorie) per definire il valore energetico degli alimenti. Attualmente il sistema SI delle unità di misura internazionali prevede l'uso del joule (J) come unità di misura del calore. Naturalmente cal e J sono convertibili fra loro: 1 cal corrisponde a 4.2 J.

Il calore specifico (il calore necessario per modificare di 1° C un certa massa di una determinata sostanza) dell'acqua è, come già detto, di 1 kcal per litro. Dal momento che l'organismo è formato da acqua per il 60-70 % e per almeno il 20 % da grassi, il suo calore specifico è inferiore a quello dell'acqua e corrisponde a circa 0.8 Kcal per kg di massa corporea per grado di temperatura. Questo significa che per fare aumentare di 1° C la temperatura corporea di una persona di 70 kg servono circa 54 kcal (0.8 x 70).

L'organismo produce calore. La quantità di calore prodotto dipende dalla quantità (e in piccola misura anche dalla qualità) degli alimenti che sono stati consumati. Mediamente per ogni litro di ossigeno consumato (cioè per ogni 5 litri di aria respirati) l'organismo a riposo produce circa 5 kcal. A riposo si consumano circa 0.3 litri di ossigeno ogni minuto. Quindi il calore prodotto, per esempio in un'ora, è ammonta a circa 90 kcal (5 x 0.3 x 60). Considerando il calore specifico del corpo umano, la quantità di calore accumulato in un'ora farebbe aumentare la temperatura corporea di circa 1.5° C (90 diviso 54) se non esistessero i meccanismi di smaltimento del calore per convezione, conduzione, evaporazione e irraggiamento.

Il calore prodotto dall'organismo aumenta moltissimo durante l'esercizio fisico. Durante il lavoro muscolare intenso si possono produrre sino a 25 kcal al minuto (cioè oltre 15 volte il calore prodotto a riposo) che basterebbero a far aumentare la temperatura corporea di parecchi gradi ogni ora in modo incompatibile con la vita se non intervenissero i meccanismi già visti. Va anche tenuto presente che il corpo può anche acquistare calore dall'ambiente come, per esempio, durante l'esposizione al sole.

Se il corpo diventa incapace di smaltire il calore accumulato può andare incontro ad un colpo di calore.

### **La regolazione della temperatura corporea**

La temperatura corporea è mantenuta il più possibile costante attraverso un sistema di termoregolazione basato su risposte riflesse (che avvengono cioè in modo involontario). Esso sfrutta in modo ottimale la produzione del calore e i sistemi di scambio descritti. Il sistema termoregolatore è composto da:

1. **termocettori** o recettori termici. Si tratta di microscopici sensori che informano il sistema nervoso centrale delle variazioni di temperatura. Esistono termocettori per il caldo e per il freddo. I termocettori centrali sono nell'ipotalamo (una parte dell'encefalo) e misurano le

variazioni di temperatura del sangue (anche per variazioni di 0.1° C). I termocettori periferici sono nella cute e misurano le variazioni di temperatura ambientale.

2. **centro termoregolatore**, che si trova nel sistema nervoso centrale e riceve le informazioni dai termocettori. Il centro termoregolatore, sulla base delle informazioni ricevute, influenza l'attività di organi effettori termici che possono aumentare o smaltire l'accumulo di calore nell'organismo.
3. **Organi effettori**. Essi sono rappresentati da:
  - a. **I muscoli scheletrici** che possono aumentare la produzione di calore con il brivido
  - b. **Le piccole arterie che portano il sangue alla cute**. Il sangue funziona anche da liquido di trasporto del calore e la sua temperatura è mantenuta costante attorno ai 37° C. Se arriva più sangue alla cute, viene trasportata ad essa (e conseguentemente dispersa) una maggiore quantità di calore. Quindi la vasodilatazione (che consente un maggior flusso di sangue) facilita la perdita di calore e dunque il raffreddamento del corpo. Al contrario, la vasocostrizione di queste piccole arterie facilita il mantenimento di calore nell'organismo.
  - c. **Le ghiandole sudoripare**. Il corpo umano possiede oltre 2.000.000 di ghiandole sudoripare per la produzione del sudore. Esse sono concentrate soprattutto nella testa e nel tronco (oltre che nel palmo delle mani e nella pianta dei piedi). Come già detto, il sudore, evaporando sulla cute, raffredda l'organismo.
  - d. **Alcune ghiandole endocrine**. Alcuni ormoni sono prodotti durante una prolungata esposizione al freddo. Essi sono gli ormoni prodotti dalla tiroide e l'adrenalina prodotta dalla midollare del surrene. La loro azione potenzia la produzione di calore e i sistemi di mantenimento dello stesso.

## LE RISERVE D'ACQUA E IL SUDORE

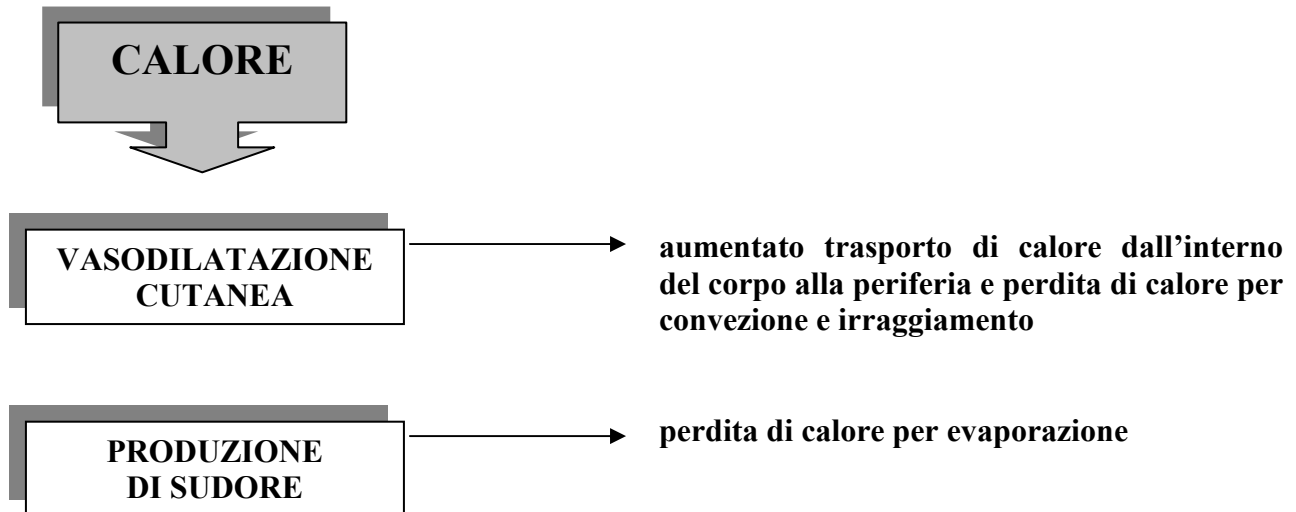
**Il mantenimento di uno stato d'idratazione adeguato e' fondamentale per l'attività fisica. Il nostro corpo e' formato principalmente da acqua, tuttavia le riserve effettive d'acqua non sono cosi' grandi. Una perdita del 1 % del peso (da mezzo litro ad un litro d'acqua) non determina effetti, ma se la perdita raggiunge il 2-3 % (un litro e mezzo o due) compaiono i problemi da disidratazione. Per mantenere una buona idratazione e' necessario bere sia prima sia durante l'esercizio, che soprattutto dopo. Il bisogno d'acqua dipende dalle condizioni ambientali di temperatura ed umidita'.**

**La maggior parte d'acqua viene, infatti, perduta con il sudore che e' formato, appunto, da acqua e sali minerali. Se e' molto caldo, il sudore prodotto puo' arrivare a 20-25 millilitri per ogni minuto (1.2-1.5 litri ogni ora). A questo si deve aggiungere una perdita d'acqua tramite la respirazione (sino a 0.2-0.3 litri ogni ora) e con l'urina (circa 0.1 litri l'ora). Per esempio, lo sportivo che effettua l'attivita' in ambiente sfavorevole puo' perdere quindi sino a circa 2 litri per ogni ora d'allenamento.**

**Con il sudore si perdono anche i sali minerali, anche se non cosi' tanti come comunemente si crede. Un litro di sudore contiene circa 2 grammi di cloruro di sodio (il comune sale da cucina) e circa 0.3 grammi di potassio. L'allenamento determina favorevoli adattamenti nella sudorazione: gli atleti iniziano a sudare ad una temperatura inferiore (quindi accumulano meno calore) e il loro sudore presenta una minore concentrazione di sali (meno della meta' rispetto ai sedentari, quindi gli atleti risparmiano sale). Le concentrazioni nel sudore di K, Mg, Ca e Fe non sembrano condizionabili dall'allenamento.**

## RISPOSTE AL CALDO

Il corpo perde calore durante l'esposizione al caldo o nel corso dell'esercizio fisico per mezzo di due meccanismi fondamentali: a) vasodilatazione cutanea e conseguente aumento del flusso di sangue alla cute e b) produzione di sudore.

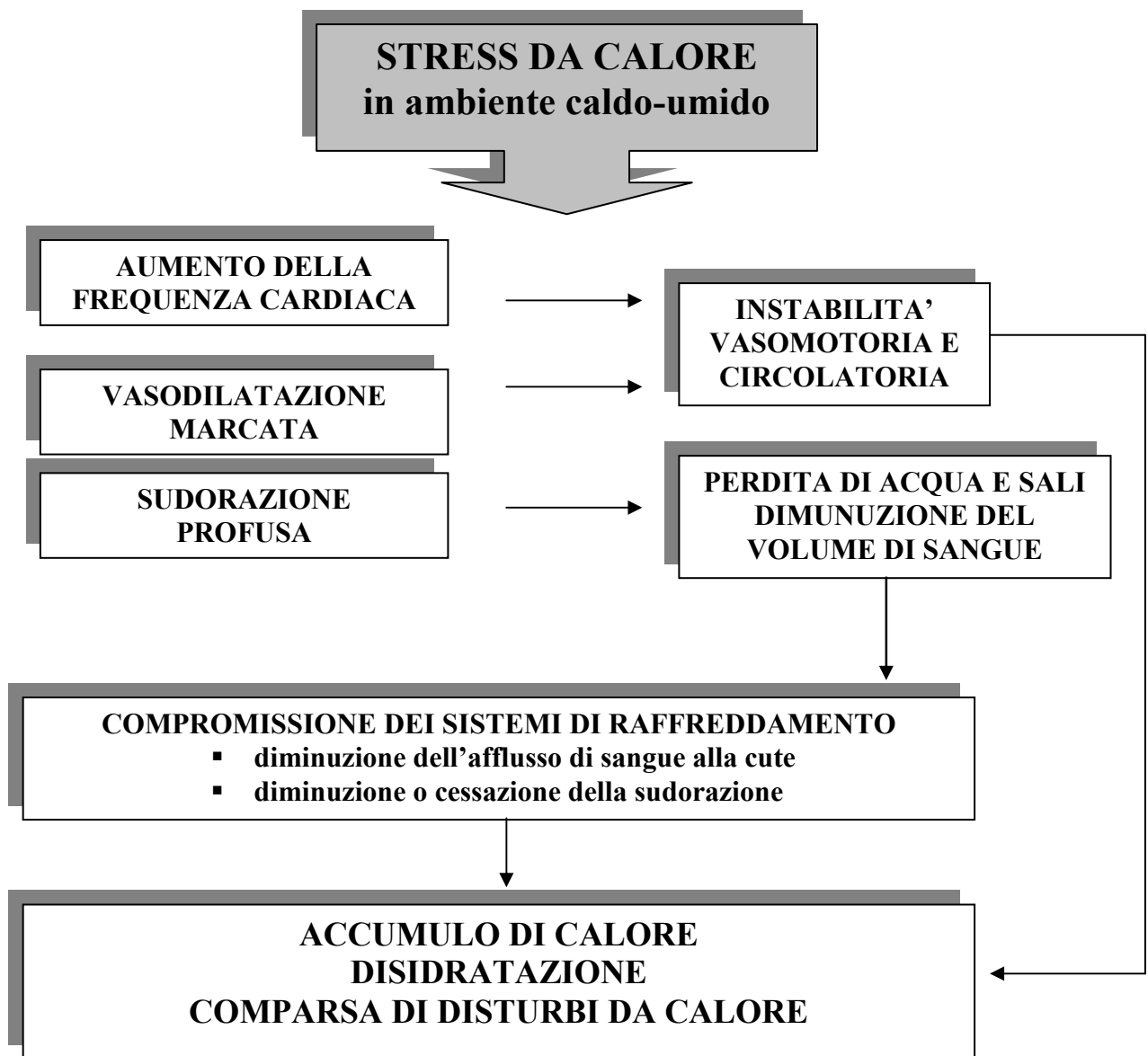


Lo smaltimento del calore dal corpo dipende dalla differenza di temperatura (gradiente termico) fra l'ambiente e la superficie cutanea. Ovviamente se l'ambiente circostante ha una temperatura maggiore di quella della cute il corpo acquista calore. Un fattore che condiziona la perdita di calore è l'umidità: se essa è elevata crea una sorta di barriera alla perdita di calore per l'evaporazione del sudore. Infatti, l'evaporazione è legata alla differenza di pressione del vapore acqueo dell'aria e del sudore che bagna la superficie del corpo. Se l'aria è secca ed è mossa da correnti che facilitano l'evaporazione del sudore, una persona sana può sopportare per diverse ore temperature dell'aria anche superiori a 60° C. Quando, invece, l'aria contiene oltre il 90 % di umidità oppure il corpo è immerso in acqua, la temperatura corporea aumenta per temperature ambientali superiori a 35° C, in condizioni di riposo, o anche solo di 30-32° C se la persona è impegnata in un lavoro fisico.

### La difficoltà a smaltire il calore in ambiente caldo-umido

Quindi in ambiente caldo-umido si ha difficoltà a smaltire il calore e la temperatura corporea aumenta. Per contrastare questo aumento i sistemi di smaltimento del calore sono sottoposti ad un grande lavoro. Questo si manifesta soprattutto con un aumento della frequenza cardiaca, che può essere anche molto importante, per permettere un maggior afflusso di sangue alla cute e il rifornimento di acqua alle ghiandole sudoripare. In queste condizioni la temperatura del corpo raggiunge facilmente i 38.5° C; oltre questo valore la prestazione fisica inizia a calare e iniziano a comparire i disturbi da calore.

Inoltre la profusa sudorazione determina una notevole perdita di liquidi corporei (vedi riquadro) causando una disidratazione che aumenta la predisposizione ai disturbi da calore. Infatti la disidratazione determina una diminuzione del sangue circolante (con peggioramento quindi degli scambi di calore fra cute e ambiente esterno) e, alla fine, anche diminuzione o addirittura cessazione della sudorazione compromettendo il raffreddamento per evaporazione.



### I disturbi da calore

I disturbi da calore possono essere classificati in ordine crescente di gravità. Fra i disturbi da calore sono da ricordare: a) la sincope da calore b) l'esaurimento da calore e c) il colpo di calore che rappresenta l'evenienza medica di maggiore gravità spesso con pericolo di vita imminente. Tutti questi disturbi sono caratterizzati dalla permanenza prolungata e dalla attività fisica in ambiente caldo, dalla perdita elevata di acqua e sali minerali e dall'ipertermia (che è l'aumento della temperatura interna del corpo). Quando la temperatura corporea sale oltre i  $41.5 - 42^{\circ} \text{C}$  iniziano a essere danneggiati diversi tessuti e possono comparire piccole emorragie cerebrali con distruzione di cellule nervose. In questi casi i danni al fegato e ai reni possono essere anche letali per la comparsa di una insufficienza di questi organi che spesso si manifesta dopo parecchi giorni.

### RISPOSTE AL FREDDO

Gran parte degli studi sulla risposta fisiologica al freddo sono stati effettuati durante l'immersione in acqua. Infatti l'acqua ha una conducibilità termica, a parità di temperatura, che è circa 25 volte superiore a quella dell'aria. Quindi, per esempio, rimanere fermi immersi in acqua di mare può provocare dei brividi per la grande efficacia dei fenomeni convettivi.

Una persona a riposo che si trova esposta al freddo ha differenti risposte riflesse (cioè involontarie) per contrastare gli effetti della bassa temperatura ambientale. Esse sono:

- a) **la vasocostrizione cutanea** per conservare il calore interno del corpo
- b) **l'aumento della secrezione di adrenalina** per aumentare il metabolismo corporeo e quindi la produzione di calore
- c) **il brivido**, che è una forma di lavoro muscolare involontario per aumentare la produzione di calore. In realtà, il brivido non così efficace come l'esercizio e riesce ad aumentare il calore prodotto solo di 2 o 3 volte rispetto alle condizioni di riposo (durante l'esercizio intenso, come già ricordato, può aumentare di oltre 15 volte)
- d) **la piloerezione** (la **"pelle d'oca"**), che, per gli esseri umani è insignificante nella produzione di calore e rappresenta solo un'eredità dei nostri antenati.

### **Esposizione al freddo dei bambini**

**I bambini hanno minore tolleranza al freddo degli adulti e può capitare con una certa frequenza di osservare, in piscina, dei bambini con brividi di freddo. Ciò dipende dal fatto che i bambini (e più in generale le persone di piccola taglia) hanno un elevato rapporto fra area della superficie corporea (da cui dipende lo smaltimento del calore) e massa corporea (da cui dipende la produzione). Il fenomeno è più evidente nei bambini magri. Comunque i bambini compensano meglio degli adulti con una maggiore capacità di aumentare il metabolismo e con una vasocostrizione periferica più marcata (che in alcuni distretti può determinare fenomeni di cianosi come le "labbra blu").**

### **Grasso corporeo, età e risposte al freddo**

Il tessuto adiposo rappresenta il più importante termoisolante naturale e quindi la percentuale di grasso corporeo influenza molto la risposta al freddo. Quindi le persone magre soffrono il freddo maggiormente di chi ha un pannicolo adiposo florido. Quindi la risposta fisiologica al freddo è molto variabile da persona a persona. Di solito temperature dell'acqua comprese fra 26 e 30° C sono adeguate per l'esercizio fisico in acqua per la maggior parte delle persone. E' importante ricordare anche che gli anziani tollerano il freddo in modo peggiore rispetto ai giovani. Ciò, forse, per una risposta ormonale di adattamento al freddo meno efficace.

### **Perché è importante coprirsi la testa al freddo**

**La superficie della testa è di circa 0.12 metri quadri e corrisponde a circa l'otto per cento della intera superficie corporea. Tuttavia, ad una temperatura ambientale di 0° C può essere dissipato dalla testa oltre il 30 % del calore totale prodotto dall'organismo. E' quindi importante proteggere la testa in ambienti freddi.**

### **Raffreddamento da vento**

Anche nel caso di esposizione al freddo, come per il caldo, la sola temperatura ambientale non definisce in modo adeguato la condizione termica e i possibili effetti sull'organismo. Il meccanismo che condiziona maggiormente la termodispersione è quello convettivo. Esso dipende dalla esposizione alle correnti d'aria e la velocità del vento, aumentando il meccanismo convettivo, determina una dispersione termica proporzionale alla velocità stessa. Nella tabella sono riportate le

temperature equivalenti in assenza di vento e per velocità del vento sino a 60 km/h. Come si può notare dalla tabella essere esposti a un vento di 60 km/h (come succede per esempio andando in moto o sciando) a una temperatura di 5 ° C corrisponde a essere esposti a una temperatura ambientale inferiore a oltre meno 10° C. Questo, ovviamente, è di grande importanza per le parti scoperte del corpo.

Velocità del vento (km/h)	Temperatura equivalente (C°)				
	10	5	0	-5	-10
0	10	5	0	-5	-10
15	3	-2	-9	-16	-23
30	0	-7	-15	-23	-30
60	-5	-13	-21	-30	-38

### **Assideramento (ipotermia, congelamento)**

L'esposizione protratta al freddo può determinare una condizione di ipotermia. Si parla di ipotermia quando la temperatura del nucleo corporeo scende sotto i 35° C. I sintomi si fanno sempre più gravi sino ai limiti della sopravvivenza per temperature corporee di 27-24° C. L'abuso di alcolici e di psicofarmaci può aumentare il rischio di ipotermia

Il congelamento si verifica per temperature della superficie della cute inferiori a -2° C. Per congelare le parti esposte del corpo è necessaria una temperatura equivalente di almeno -30° C. Dalla tabella precedente si vede che il rischio di congelamento per le parti nude inizia già a una temperatura ambientale di -5° C se esposti a un vento di 60 km/h oppure a -10° C con un vento di 30 km/h. Segni premonitori di congelamento sono l'insensibilità (di solito alle dita) o il bruciore intenso (naso, orecchie).