

di snervamento e della resistenza a fatica. La resilienza e la duttilità sono invece legate alla struttura cristallina. Per materiali caratterizzati da reticolo cubico a corpo centrato (v. cap. 2.8.2) queste due proprietà tendono ad abbassarsi, pre-

Tab. 1.III – *Temperatura superiore di inversione di alcuni gas.*

Gas	Temperatura di inversione (K)
Anidride carbonica	1500
Ossigeno	760
Argo	720
Azoto	620
Aria	605
Neo	250
Idrogeno	202
Elio	40

#### 42.2.1.2. **Influenza delle basse temperature sulle proprietà fisiche della materia.**

L'indagine sull'andamento delle proprietà fisiche della materia al di sotto della temperatura ambiente si è sensibilmente intensificata con lo sviluppo e la diffusione delle applicazioni criogeniche. Metodi di interpolazione e di previsione teorica e numerosi dati sperimentali circa le più importanti proprietà meccaniche, termiche ed elettromagnetiche sono attualmente disponibili nella letteratura [6], [7]; un breve cenno sulle variazioni di tali proprietà appare utile in questa sede.

L'andamento delle proprietà meccaniche interessa principalmente per i materiali da costruzione in vista della loro scelta e del conseguente dimensionamento delle apparecchiature. Per tutti questi materiali al diminuire della temperatura si ha generalmente un incremento del modulo di elasticità, del carico di rottura, del carico al limite

sentando talvolta variazioni brusche con la temperatura; per materiali caratterizzati da reticolo cubico a facce centrate o da reticolo esagonale esse tendono invece a mantenersi costanti o addirittura ad aumentare leggermente. Le figg. 1-5 e 1-6 indicano a titolo di esempio gli andamenti del carico di rottura e della resilienza per alcuni materiali di comune impiego in campo criogenico.

L'interesse per l'andamento delle proprietà termiche riguarda tanto i materiali da costruzione quanto i fluidi oggetto delle lavorazioni. Gli andamenti di queste proprietà con la temperatura dipendono sensibilmente dallo stato di aggregazione; per esse esistono comunque i più raffinati metodi di previsione e di rappresentazione analitica. In linea generale, al diminuire della temperatura si ha nei solidi una diminuzione del calore specifico, della conducibilità termica, del coefficiente di dilatazione termica e dell'emissività. Nei liquidi il calore specifico, il coefficiente di dilatazione e l'emissività decrescono ancora, mentre la conducibilità, salvo che per l'idrogeno e l'elio, tende ad aumentare. Nei gas, purché a sufficiente distanza dal punto critico, si osserva la diminuzione della conducibilità e dell'emissività, l'incremento del coefficiente di dilatazione,

mentre il calore specifico è pressoché indipendente dalla temperatura.

La variazione delle proprietà elettriche e magnetiche ha interesse, infine, per i materiali conduttori e semiconduttori in relazione a varie parti-

colari applicazioni. Ci si limita qui a citare soltanto la resistività elettrica, la permeabilità magnetica e l'entità della forza elettromotrice dovuta a effetti termoelettrici, che diminuiscono tutte e tre progressivamente al diminuire della temperatura. In prossimità dello zero assoluto alcuni materiali presentano il fenomeno della superconduttività (v. cap. 4.1.2), cioè una repentina caduta della resistività elettrica accompagnata da perfetto diamagnetismo. La superconduttività si manifesta in corrispondenza di una particolare temperatura, caratteristica di ciascun materiale, detta temperatura di transizione. Essa tuttavia non appare se il materiale si trova immerso in un campo magnetico di determinata intensità.

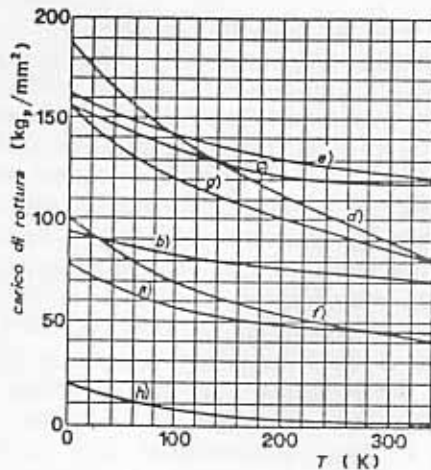


Fig. 1-5. Andamento del carico di rottura di alcuni materiali alle basse temperature: a) alluminio; b) rame legato; c) monel; d) titanio; e) acciaio inox; f) acciaio al carbonio; g) acciaio al nichel; h) teflon.

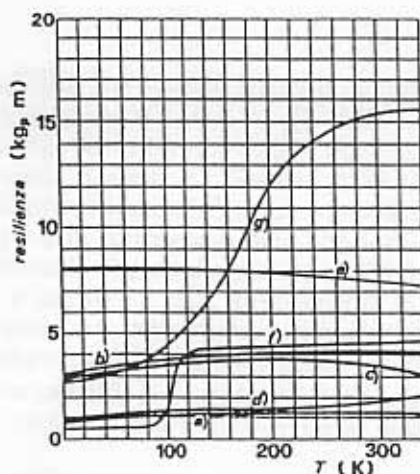


Fig. 1-6. Andamento della resilienza di alcuni materiali metallici alle basse temperature: a) alluminio; b) rame legato; c) monel; d) titanio; e) acciaio inox; f) acciaio al carbonio; g) acciaio al nichel.

#### 42.2.1.3. Materiali da costruzione per basse temperature.

La variazione delle proprietà meccaniche e in particolare la diminuzione di resilienza presentata al diminuire della temperatura da molti dei materiali correntemente impiegati per la costruzione della apparecchiature, ne limita sensibilmente la scelta per applicazioni criogeniche. Giacché, come è stato accennato, la variazione della resilienza è legata anche alla forma del reticolo cristallino, nella progettazione di tutti gli elementi destinati a lavorare a bassa temperatura, oltre alle caratteristiche intrinseche del materiale, occorre valutare anche quei fattori esterni come i procedimenti di fabbricazione e le modalità di collaudo che potrebbero essere fonti di alterazione della struttura cristallina.

I metalli che mantengono buone qualità meccaniche fino alle più basse temperature sono in definitiva pochi; tra questi sono da citare il rame e alcune sue leghe, l'alluminio e alcune sue leghe, gli acciai al nichel e inossidabili, la lega monel, il nichel, il titanio. I moderni metodi di saldatura in atmosfera inerte hanno molto favorito l'impiego delle leghe di alluminio e dell'acciaio inox 18/8. Le prime, contenenti magnesio e piccole quantità di cromo e manganese, permettono una certa economia e una notevole leggerezza; esse hanno perciò discreta diffusione per apparecchiature a media e bassa pressione fino a  $-200^{\circ}\text{C}$ . L'acciaio inox, in virtù delle sue qualità meccaniche indiscutibilmente migliori, si impone invece per condizioni di esercizio più severe, cioè per le pressioni maggiori e le più basse temperature.

#### 42.2.1.4. Misura delle basse temperature.

Numerosi tipi di termometri sono disponibili per la misura delle basse temperature. La scelta dell'uno o dell'altro tipo dipende di volta in volta dal livello termico a cui la misura deve avvenire e dalla precisione per essa richiesta. Rimandando al cap. 8.5.1 per la descrizione dei principi di funzionamento e della struttura delle varie categorie di termometri, si accenna qui alle