



asdf

INTERMETALLI & SMA

8 January 2012

Premessa

Nel seguente articolo vogliamo effettuare una breve rassegna di queste due tipologie di materiali, senza scendere nei particolari ma senza tralasciarne gli aspetti principali e cercheremo di approfondire per essi anche le loro applicazioni pratiche. Essi appartengono alla categoria delle **leghe per scopi speciali**.

Intermetalli

Gli **intermetalli** sono una classe di materiali metallici che è caratterizzata da una combinazione unica di proprietà che li rendono appetibili a molte industrie.

Esempi di intermetalli strutturali ad alta temperatura, che hanno avuto notevoli applicazioni pratiche nel settore motoristico degli aerei e dei jet, sono gli **alluminati di nichel** (Ni_3Al e $NiAl$), gli **alluminati di ferro** (Fe_3Al e $FeAl$) a gli **alluminati di titanio** (Ti_3Al e $TiAl$). Questi intermetalli contengono l'**alluminio**, il quale può creare uno strato sottile di passività di **allumina** (Al_2O_3) in un ambiente ossidante e permette di proteggere la lega dal pericolo della corrosione.

Confrontate con le densità di altre leghe, le densità di questi intermetalli sono basse e quindi sono maggiormente adatte per applicazioni aerospaziali. Queste leghe, inoltre, hanno punti di fusione elevati ed una buona resistenza meccanica ad alta temperatura.

Il fattore che ha limitato l'applicazione di questi metalli è la loro fragile natura a temperatura ambiente: ad esempio alluminati come l' Fe_3Al sono soggetti, a temperatura ambiente, ad **infragilimento**, dovuto alla reazione del vapor d'acqua presente nell'ambiente con altri elementi come l'alluminio. In quest'ultimo caso si viene a formare idrogeno atomico, che diffondendosi nel metallo produce una diminuzione della duttilità dello stesso portando a frattura prematura.

Ad esempio l'alluminato Ni_3Al è appetibile per la sua resistenza meccanica e a corrosione a temperature elevate ed è stato anche spesso utilizzato come costituente finemente disperso nelle superleghe a base di nichel per aumentare la resistenza meccanica delle leghe.

Si è appurato che aggiungendo lo 0.1 % in peso di boro a tale alluminio (con meno del 25 % di Al) la fragilità della lega è stata eliminata, ma anche che è aumentata del 50 % la sua duttilità con conseguente riduzione dell'infragilimento da idrogeno, a cui abbiamo prima accennato.

Oltre al boro viene aggiunto anche del Cromo (Cr) in percentuale variabile dal 6 al 9 % in modo da ridurre l'infragilimento ambientale ad elevata temperatura, mentre invece lo Zirconio Zr è aggiunto per incrementare la resistenza meccanica mediante indurimento da soluzione solida. Il Ferro (Fe) è aggiunto invece per aumentare la saldabilità.

Questo intermetallo trova largo impiego oltre che nel settore motoristico degli aerei, anche nella costruzione di parti di fornaci, dispositivi di fissaggio di aerei, pistoni e valvole utensili.

L'applicazione degli intermetalli non è comunque legata ai soli [impieghi strutturali](#), ma anche ad altri settori. Ad esempio l' Fe_3Si è stato sviluppato per **applicazioni magnetiche** per le sue spiccate proprietà magnetiche e per la resistenza all'usura.

O ancora: $MoSi_2$ è stato utilizzato per **elementi elettrici riscaldanti in forni ad alta temperatura**, in quanto possiede elevata conducibilità elettrica e termica.

L' $NiTi$, altresì detto *nitinol*, è adoperato come lega a memoria di forma (che tra poco vedremo) per le **applicazioni medicali**.



scarico in acciaio alluminato

Il motore [GEnx](#) è il primo motore civile che utilizza intermetalli $TiAl$ per le pale del rotore dell'ultimo stadio della turbina di bassa pressione.

SMA

Proprietà e caratteristiche generali

Le **SMA** (Shape Memory Alloys), o **leghe a memoria di forma**, sono capaci di recuperare una forma definita precedentemente quando sono soggetti ad una procedura appropriata di trattamento termico. Nel percorso di recupero della forma originale, possono anche applicare delle forze.

Sono esempi di SMA le leghe $Au - Cd$, $Cu - Zn - Ni$, $Cu - Al - Ni$, $NiTi$; le applicazioni maggiori riguardano le SMA che possiedono l'abilità di recuperare una significativa quantità di deformazione (**superelasticità**) oppure quelle che possono applicare ampie forze quando recuperano le loro forme originali.

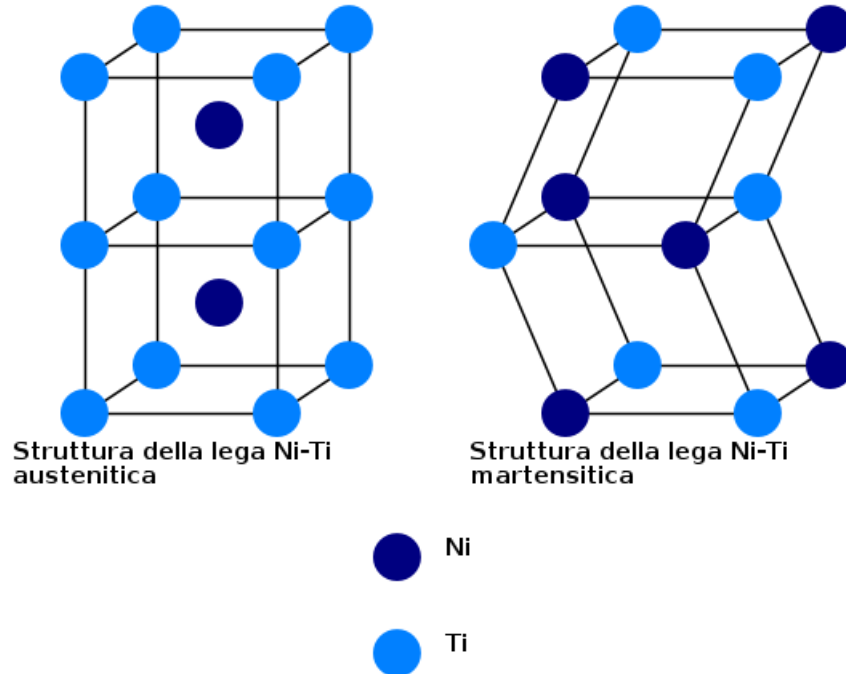
Produzione delle SMA e meccanismo di comportamento

La lega SMA può essere lavorata tramite tecnologie di formatura a caldo o a freddo, come la forgiatura, la laminazione, l'estrusione e la trafilatura in fili per produrre nastri, tubi, fili, lastre o molle.

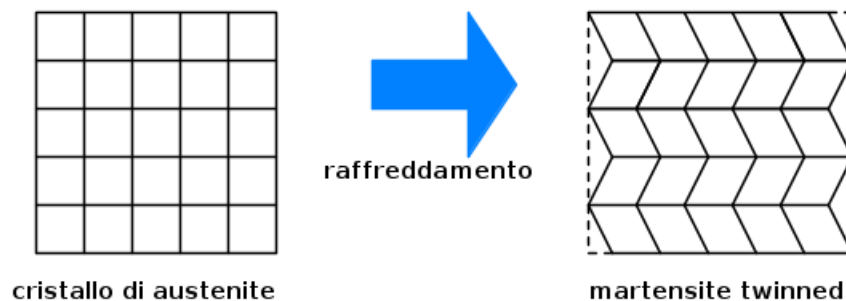
Al fine di impartire la memoria di forma desiderata, la lega viene trattata termicamente nell'intervallo di temperatura 550-800 °C. Durante il trattamento termico, la SMA è tenuta deformata nuovamente alla forma desiderata.

A tale temperatura il materiale ha una struttura cubica ordinata detta **austenite** (*parent phase*); quando il materiale è raffreddato, la sua struttura cambia in una struttura *twinned* (o termoelastica) a piani deformati, detta **martensite**.

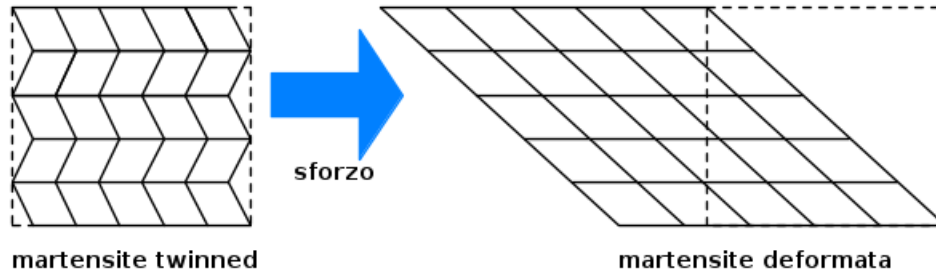
Quanto esposto nell'ultimo periodo è visibile dalla seguente figura schematica:



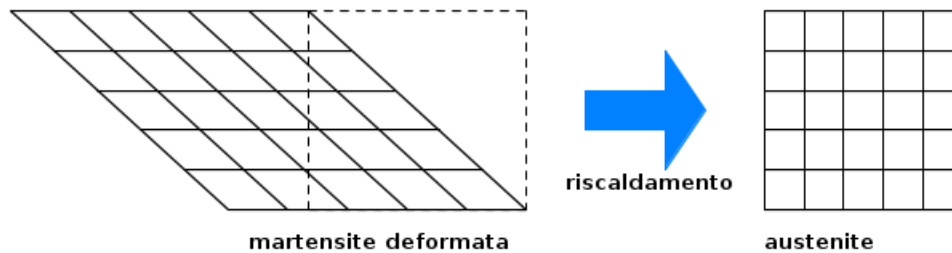
La struttura alternatamente deformata a taglio, cioè con sforzi di taglio opposti consecutivamente, mantiene la forma del cristallo nell'insieme, come mostrato schematicamente nella seguente figura:



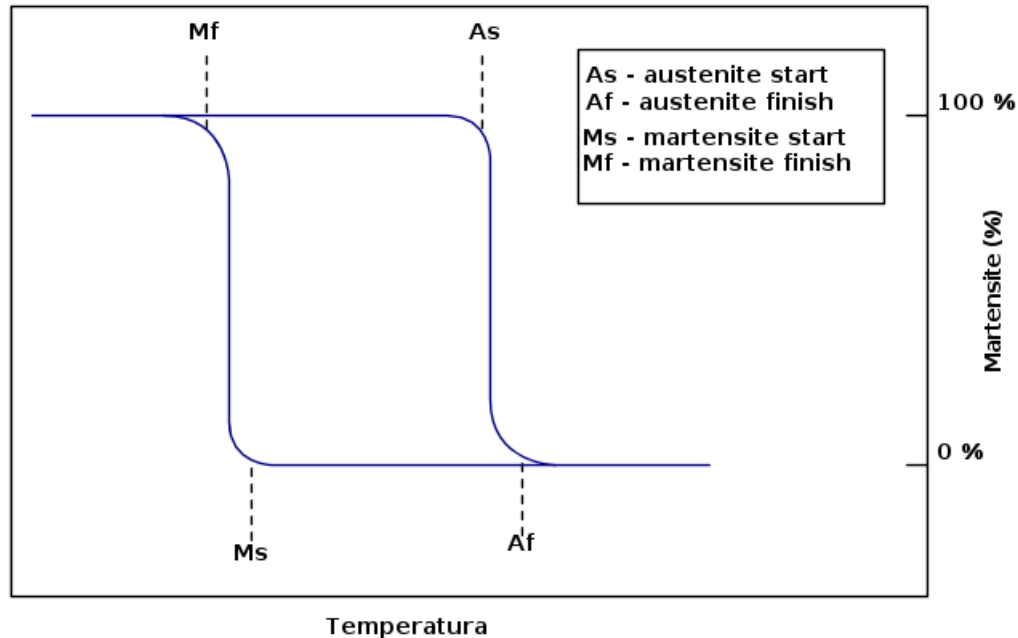
L'**effetto di recupero della forma** nelle SMA è un risultato della trasformazione solido-solido tra le due strutture del materiale, quella austenitica e quella martensitica. Nello stato martensitico, la SMA è molto facile da deformare tramite l'applicazione di uno sforzo per la propagazione del bordo di simmetria, come possibile vedere dalla figura che segue:



Se a questo stadio si rimuove il carico, la deformazione della martensite rimane, dando l'impressione di una deformazione plastica. Ad ogni modo dopo la deformazione nello stato martensitico, il riscaldamento provocherà la trasformazione da martensite ad austenite con il recupero della forma originale (vedi figura sotto).



La variazione nella struttura non avviene ad una determinata temperatura, ma in un intervallo di temperatura che dipende dal sistema della lega come è possibile appurare nella figura seguente:



Dopo il raffreddamento, ha inizio la trasformazione a M_s e termina a M_f , mentre una volta riscaldata, comincia la trasformazione ad A_s e finisce ad A_f .

Inoltre le trasformazioni durante il raffreddamento e il riscaldamento non si sovrappongono: il sistema mostra, cioè, **isteresi**.

Quando la SMA si trova ad una temperatura sopra A_f , l'applicazione di uno sforzo può deformare e trasformare SMA in uno stato martensitico. Se, a tal punto, si rimuove il carico, la fase martensitica diventa termodinamicamente instabile e recupera la sua struttura e forma originale in modo elastico.

Questa è la base per il comportamento superelastico delle SMA. La trasformazione, poiché avviene a temperatura costante e sotto l'azione del carico, è detta **stress-indotta**.

Uno sguardo al Nitinol

L'intermetallo *Ni – Ti* **Nitinol** (**N**ichel **T**itanium **N**aval **O**rdinance **L**aboratory) è una delle leghe SMA più comuni. Ha una deformazione recuperata (per la memoria di forma) di circa 8.5 %, è non magnetico, ha una eccellente resistenza alla corrosione e una duttilità maggiore di altre SMA.

Nella tabella che segue sono riportate **alcune proprietà del nitinol**:

Proprietà	Valore
Temperatura di fusione, °C	1300

Densità, g / cm^3	6.45
Resistività austenite, $\mu\Omega \cdot cm$	~ 100
Resistività martensite, $\mu\Omega \cdot cm$	~ 70
Conducibilità elettrica austenite, $W/m \cdot ^\circ C$	18
Conducibilità elettrica martensite, $W/m \cdot ^\circ C$	8.5
Resistenza a corrosione	simile all'acciaio inossidabile, serie 330 o alle leghe di titanio
Modulo di Young austenite, GPa	~ 83
Modulo di Young martensite, GPa	$\sim 28 - 41$
Carico di snervamento austenite, MPa	195 – 690
Carico di snervamento martensite, MPa	70 – 140
Sforzo a rottura, MPa	895
Calore latente di trasformazione, $kJ/kg \cdot atomo$	167
Deformazione recuperata (memoria di forma)	8.5 % <i>max</i>

Le applicazioni del nitinol prevedono **dispositivi di attuazione** in cui il materiale:

- può recuperare la sua forma originale liberamente;
- è così vincolato che, una volta che ha recuperato la forma, esercita una grande forza sulla struttura vincolata, oppure è parzialmente vincolata dal materiale deformabile circostante nel caso in cui la SMA lavora.

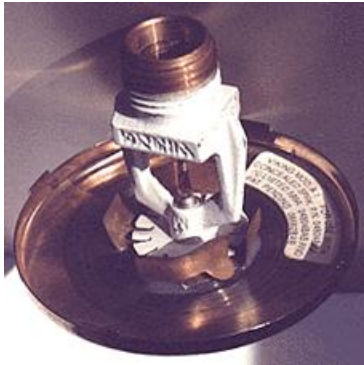
Esempi pratici di applicazione delle SMA

Alcuni esempi pratici di applicazione dei materiali a memoria di forma, nella fattispecie delle leghe a memoria di forma sono (le immagini proposte sono tratte da http://www.ing.unitn.it/~colombo/memoriatome'/HTM/09_Applicazioni.htm):

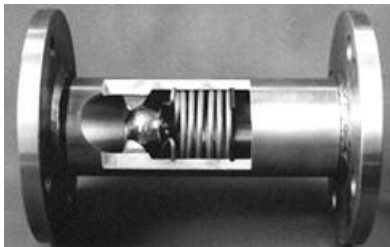
- antenne per telefoni cellulari:



- copertura spruzzatore anti-incendio ($Cu - Zn - Al$):



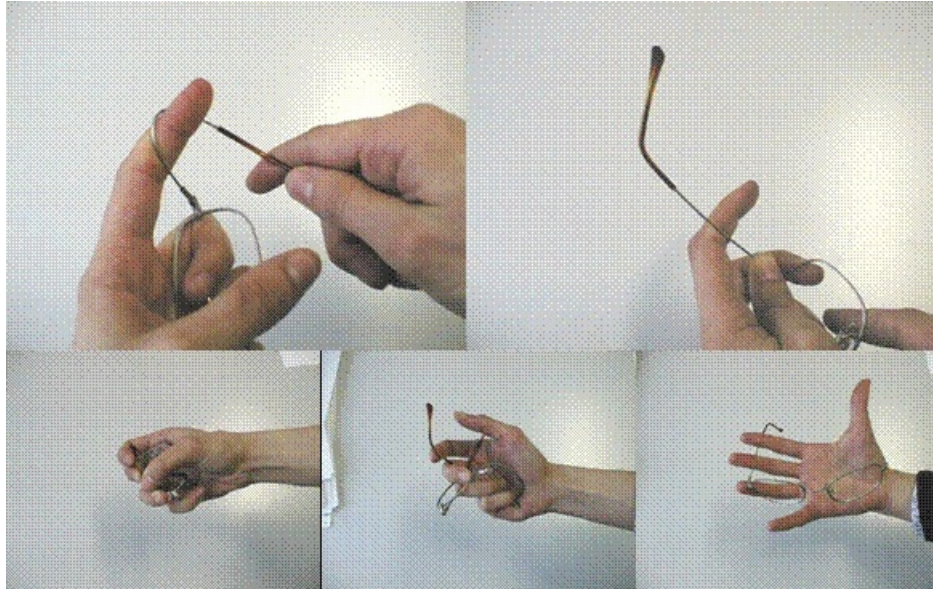
- valvola di sicurezza termica:



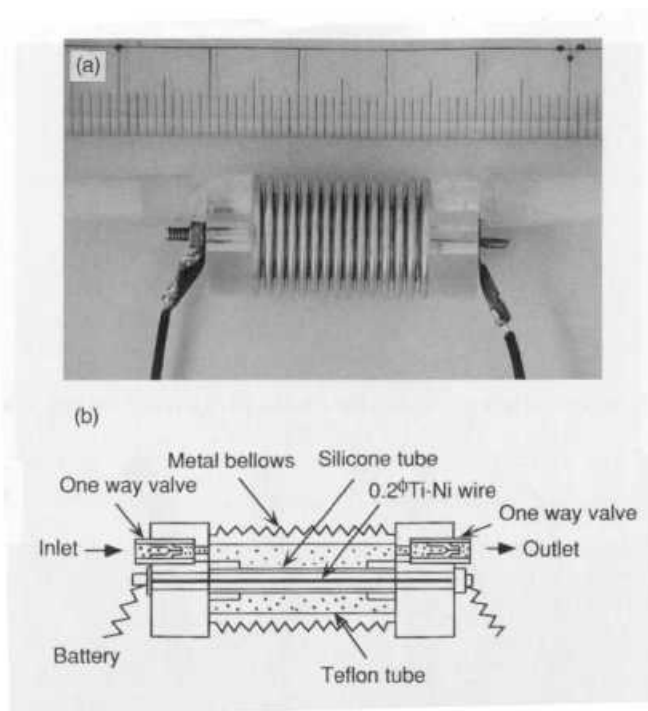
- manicotti, molle, flange, anelli, perni:



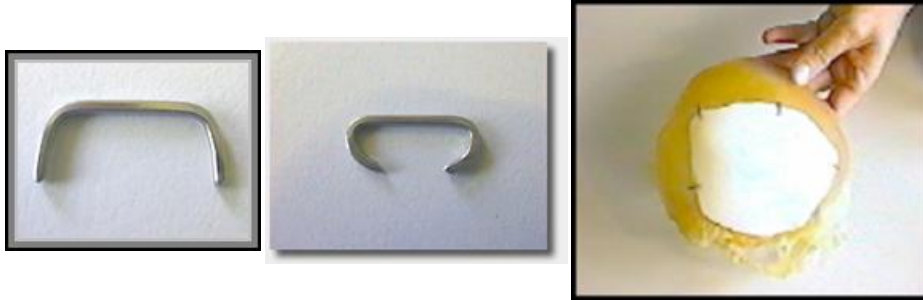
- montatura per occhiali (in questo caso la montatura sfrutta la pseudoelasticità delle leghe e memoria di forma):



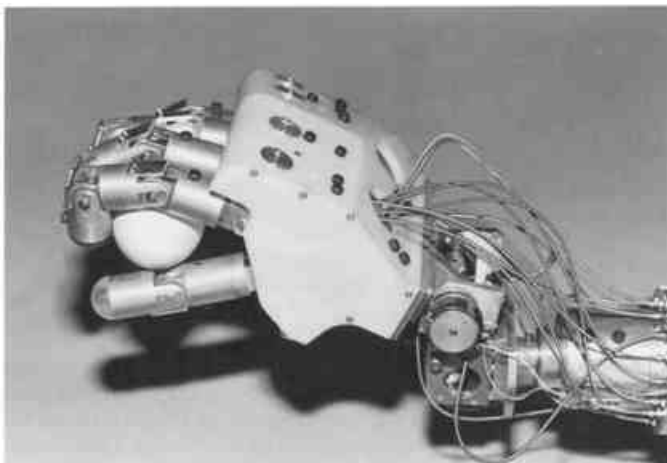
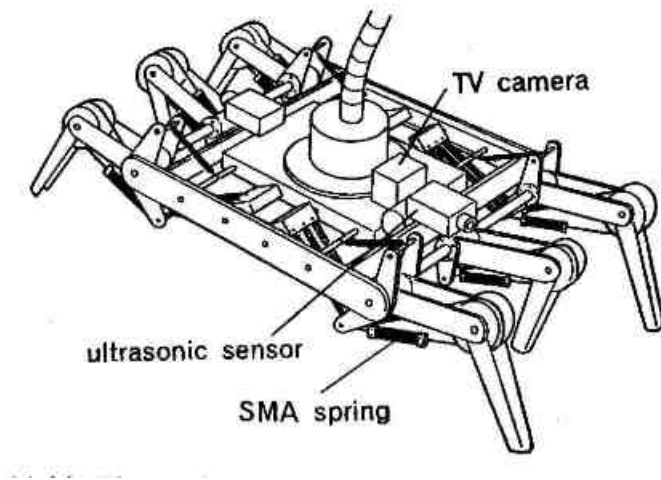
- micropompa per il cuore:



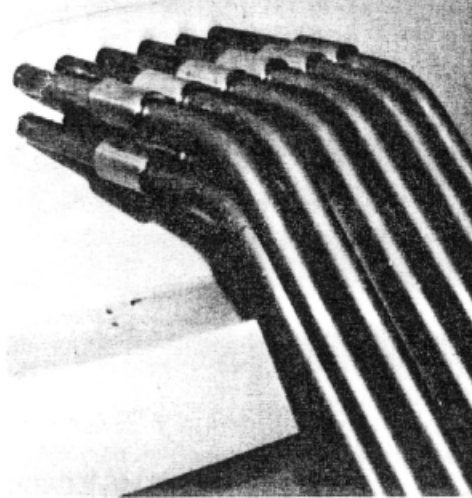
- camera per il fissaggio di protesi craniche:



- robot a sei gambe per esplorazione e mano artificiale:



- manicotti di giunzione per tubi:



Come avete potuto constatare le SMA sono impiegate in molti settori: quello **aeronautico, medico, robotico, elettronico, della sicurezza, meccanico di giunzione**, ma ci sono anche altri esempi di applicazione che potete trovare sempre raffigati nel sito segnalatovi sopra.

Cosa molto importante da sottolineare: quando si va a selezionare questi materiali per delle applicazioni specifiche come quelle viste sopra è ovviamente necessario prestare attenzione alla temperatura di esercizio rispetto alla temperatura di trasformazione delle SMA.

Bibliografia

Documento pdf: [I materiali nei motori aeronautici](#).

Scienza e tecnologia dei materiali - Hashemi, Smith.

Immagini tratte da: http://www.ing.unitn.it/~colombo/memoriatome'/HTM/09_Applicazioni.htm.

Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Asdf:intermetalli-sma-e-biomateriali>"