

## **CARATTERIZZAZIONE DI MATERIALI E COMPONENTI A LIVELLO DI MICRO- E NANO-SCALA MEDIANTE DIFFUSIONE NEUTRONICA A PICCOLI ANGOLI**

### **APPLICAZIONI INDUSTRIALI E CONSULENZA PER L'INDUSTRIA**

Le tecniche neutroniche hanno fornito sempre più, negli ultimi anni, un valido contributo per la soluzione di problemi di tipo industriale. La tecnica diagnostica non distruttiva della diffusione neutronica a piccoli angoli consente di fornire informazioni sulla micro- e nano-struttura di materiali e componenti d'interesse industriale quali: metalli (ad esempio, acciai, alluminio e sue leghe, materiali compositi a matrice metallica, titanio, ecc.); materiali ceramici; materiali plastici (es. poliuretani).

In particolare, si possono ottenere informazioni fondamentali - non acquisibili diversamente - sulle disomogeneità chimiche o magnetiche presenti, tipo eterogeneità della matrice (ad esempio, pori, precipitati, bolle di gas). Si possono, inoltre, individuare eventuali separazioni di fase ed investigare materiali nanocristallini.

I risultati conseguibili, oltre ad essere di primario rilievo nello studio del materiale e del componente industriale considerato, contribuiscono alla soluzione di problematiche riguardanti l'invecchiamento, fornendo dati di considerevole importanza per:

- pianificare i processi di produzione;
- migliorare le caratteristiche di qualità e di sicurezza di materiali e componenti ingegneristici;
- analizzare le condizioni d'esercizio ed i controlli nelle fasi di manutenzione.

La tecnica considerata, in definitiva, si rivela indispensabile per ottimizzare le prestazioni e l'affidabilità di componenti, macchine ed impianti.

Lo STUDIO D'INGEGNERIA ROGANTE:

- rappresenta un punto di riferimento per l'Industria in Italia ed all'estero per le Applicazioni Industriali delle Tecniche Neutroniche®, ed è fornitore qualificato di note Aziende in campo nazionale;
- grazie al suo network applicativo all'avanguardia, ha sviluppato, per tali applicazioni, apposite procedure di trattamento dati;
- è in grado d'offrire consulenza ed assistenza riguardo ad applicazioni industriali, che comprendono studi definitivi e di fattibilità, e corsi dedicati;
- per quanto concerne il presente argomento, organizza seminari-mini corsi dedicati espressamente all'Industria, che si svolgono direttamente in sede delle aziende interessate; si trasmette, in tal modo, un contributo fondamentale alle medie e grandi industrie italiane - che rappresentano una parte vitale dell'economia nazionale - le quali, per quanto riguarda la tecnica considerata, sono impossibilitate a completare le proprie strutture di ricerca;
- è oggi l'unica struttura privata esistente in Italia in grado di conciliare il mondo innovativo della Ricerca mediante le Tecniche Neutroniche con le esigenze concrete (reali) dell'Industria.

L'utilizzo dei risultati delle investigazioni compiute finora ha fornito un contributo concreto per migliorare le prestazioni del prodotto finito dando, perciò, una spinta nell'avanzamento dell'Industria coinvolta.

Per maggiori informazioni, si prega di [contattarci](#).

## BASI TEORICHE

La diffusione neutronica a piccoli angoli si basa su fondamenti teorici notevolmente simili a quelli della diffusione dei raggi X a piccoli angoli, la quale è però limitata a causa della scarsa capacità di penetrazione dei raggi X.

La tecnica consiste nell'allargamento di un fascio di neutroni dopo che lo stesso ha attraversato un campione avente delle eterogeneità. Gli angoli di diffrazione considerati debbono essere maggiori di  $\lambda/R$ , in cui  $R$  è la più grande dimensione delle disomogeneità e  $\lambda$  è la lunghezza d'onda del fascio di neutroni. La lunghezza di diffrazione è una quantità fortemente dipendente non solo dall'elemento considerato, ma anche dall'isotopo. Il fascio neutronico incidente possiede una quantità di moto:

$$\underline{P}_0 = (h/2\pi)\underline{k}_0 \quad (1)$$

mentre, per quello diffuso si ha:

$$\underline{P}_1 = (h/2\pi)\underline{k}_1 \quad (2)$$

in cui:

$h$  = costante di Planck;

$\underline{k}_0, \underline{k}_1$  = vettori d'onda =  $2\pi/\lambda$  (urto elastico).

Durante il processo di diffusione, la quantità di moto scambiata è:

$$\underline{P}_1 - \underline{P}_0 = (h/2\pi) (\underline{k}_1 - \underline{k}_0) = (h/2\pi)\underline{Q} \quad (3)$$

Dove  $|\underline{Q}| = (4\pi/\lambda) \sin\theta$  è il vettore di diffusione o vettore d'onda scambiato, in cui  $2\theta$  rappresenta l'angolo di deviazione del fascio diffuso rispetto a quello incidente, vale a dire l'angolo compreso tra i vettori d'onda  $\underline{k}_0$  e  $\underline{k}_1$ .

L'intensità di diffusione misurata nella direzione  $2\theta$  per un dato vettore  $\underline{Q}$  di diffusione (vale a dire, per una fissata lunghezza d'onda), risulta proporzionale alla sezione d'urto macroscopica di diffusione  $d\Sigma/d\Omega(\underline{Q})$ , la quale si riferisce al volume unitario. La stessa intensità di diffusione dipende dalla densità di lunghezza di diffusione (coerente) locale, la quale contiene informazioni strutturali sul campione ed è rappresentata dalla relazione:

$$\rho(\underline{r}) = \sum_i n_i b_i \quad (4)$$

in cui:

$\underline{r}$  = posizione generica all'interno del volume  $V$  di campione illuminato dal fascio incidente;

$n_i$  = numero di nuclei di tipo  $i$  contenuti nell'unità di volume attorno alla posizione  $\underline{r}$ ;

$b_i$  = lunghezza di diffusione coerente neutronica corrispondente, la quale è nota per ciascun tipo di nucleo.

La quantità  $\rho(\underline{r})$  è espressa, per convenienza, in termini delle sue fluttuazioni intorno al valore medio:

$$\rho(\underline{r}) = \langle \rho \rangle + \delta\rho(\underline{r}) \quad (5)$$

in cui, per  $Q \gg 0$ , il termine costante  $\langle \rho \rangle$  diventa nullo.

L'integrale della (5) rappresenta l'ampiezza dell'onda diffusa, dove i contributi dai diversi centri di diffusione sono moltiplicati per i fattori di fase  $e^{i\underline{Q}\underline{r}}$  riferiti al fenomeno d'interferenza.

Nella diffusione neutronica a piccoli angoli, il principale compito è l'estrazione della funzione incognita  $\rho(\underline{r})$  - la quale descrive la struttura del campione - dalla sezione d'urto misurata  $d\Sigma/d\Omega(\underline{Q})$ . La maggior parte dei casi pratici implica una soluzione mediante modelli matematici d'approssimazione (ad es., modello a due fasi, legge di Guinier, legge di Porod). Il modello d'approssimazione a due fasi dei dati raccolti durante la misurazione permette di ottenere, in via principale, la funzione di distribuzione delle dimensioni delle disomogeneità; inoltre, esso fornisce informazioni sulla quantità delle particelle, sulla frazione volumica e sulla loro forma.

La distribuzione delle forme delle disomogeneità può essere valutata, attualmente, nell'intervallo  $10^0 \div 10^4 \text{ \AA}$ . Tale tecnica, conseguentemente, risulta complementare a quella della microscopia elettronica in trasmissione (TEM); infatti, mentre dalla prima si ottengono informazioni mediate su di un volume compreso tra il  $\text{mm}^3$  ed il  $\text{cm}^3$ , la TEM si riferisce ad un'area più localizzata. Inoltre, mentre tramite SANS valori mediati su grandi volumi sono ottenibili dalle caratteristiche microstrutturali, la TEM impone un numero considerevole d'esami per ottenere lo stesso risultato.

Lo STUDIO D'INGEGNERIA ROGANTE ha sviluppato, per le Applicazioni Industriali delle Tecniche Neutroniche®, apposite procedure di misurazione e di trattamento dati, ed è fornitore d'importanti industrie ed Enti a livello internazionale.

## I NEUTRONI

I neutroni sono particelle elementari praticamente prive di cariche elettriche, costituenti - assieme ai protoni - il nucleo atomico. La caratteristica di non interagire elettricamente con gli elettroni ed i nuclei nella materia presenta il gran vantaggio di poter penetrare la stessa materia in profondità. Infatti, mentre i raggi x offrono un'eccellente risoluzione ma sono assorbiti facilmente dai materiali (riuscendo a penetrarne soltanto strati superficiali), i neutroni, possedendo un coefficiente d'assorbimento lineare circa 1000 volte più debole rispetto ai primi, penetrano la materia fino a diversi centimetri (circa 2-3 cm riguardo agli acciai, circa 5-6 cm riguardo all'alluminio e le sue leghe).

I neutroni sono prodotti da sorgenti continue (reattori nucleari) oppure da sorgenti pulsate (acceleratori). Nelle sorgenti continue, i neutroni sono prodotti dalla reazione di fissione di nuclei pesanti quali  $^{235}\text{U}$  oppure  $^{239}\text{Pu}$ , ed inizialmente sono caratterizzati da un'energia assai elevata; gli stessi neutroni sono successivamente rallentati ad energie termiche tramite dei moderatori, quindi sono sottoposti a collisioni che li rallentano ulteriormente per condurli in equilibrio termico col mezzo che li circonda. Lo stesso equilibrio termico consente di impiegare il teorema di equipartizione dell'energia come segue:

$$1/2 mv^2 = 3/2 kT \quad (6)$$

ed anche:

$$\lambda^2 = h^2/3mkT \quad (7)$$

in cui  $k$  è la costante di Boltzmann,  $m$ ,  $v$ ,  $\lambda$  sono rispettivamente la massa, la velocità e la lunghezza d'onda del neutrone,  $T$  è la temperatura.

La conseguente distribuzione dei neutroni in funzione delle velocità appartiene al tipo Maxwelliano, ed è tale che la relativa  $\lambda$  sia compresa tra 1.55 e 1.33  $\text{Å}$  per  $T$  compresa tra  $0^\circ\text{C}$  e  $100^\circ\text{C}$ .

Speciali tubi-guida hanno il compito di trasferire i neutroni prodotti dall'interno del nocciolo ai diversi strumenti (ad es., diffrattometri e spettrometri).