

APPLICAZIONI INDUSTRIALI E CONSULENZA PER L'INDUSTRIA

La Radiografia Neutronica (RN) è una tecnica innovativa per le prove non distruttive sui materiali e componenti industriali. Il suo principio di funzionamento è simile a quello della radiografia a raggi X o di quella gamma, perciò si possono ottenere informazioni sulla struttura o su processi interni all'oggetto investigato per mezzo della trasmissione. Tale tecnica fornisce informazioni complementari o, addirittura, completamente originali, poiché l'interazione dei neutroni col materiale presenta delle differenze fondamentali rispetto a quella degli altri due tipi di radiazione.

La RN può essere impiegata, principalmente, nelle seguenti applicazioni industriali:

- industria automobilistica: studio del flusso dei fluidi e della lubrificazione in motori a combustione, e controllo della carica di gas negli airbag;
- materiali metallici, ceramici e compositi: distribuzione nelle leghe ed informazioni sulla struttura riguardanti inclusioni, fessure, porosità e densità, in componenti metallurgici, materiali ceramici ad alta tecnologia e strutture composite;
- industria chimica e petrolchimica, riguardo componenti meccanici, strutture e processi a due fasi (visualizzazione delle due fasi);
- ingegneria civile, riguardo a campioni di calcestruzzo, compreso il tipo con normali rinforzi e con quelli muniti di ricoprimenti plastici: permeabilità dell'acqua, invecchiamento del calcestruzzo, comportamento dell'acciaio nel calcestruzzo rinforzato;
- costruzione di turbine, manutenzione di aeromobili ed elicotteri: studio di corrosione, umidità, difetti di adesione, in palette di turbine, componenti d'alluminio, strutture composite ed a nido d'ape;
- trasferimento di calore: visualizzazione e comportamento delle due fasi in tubi di riscaldamento, tubi d'acciaio (ad esempio, gas ed acqua, metalli fusi, sali);
- industria della difesa ed artiglieria: controllo di cariche esplosive e strutture meccaniche in esplosivi ed ignitori;
- industria nucleare: sicurezza e testing in elementi combustibili, aste di comando, ecc.
- ricerca e sviluppo di prodotti industriali: ad esempio, prove sui materiali tipo freon, flussi d'olio in motori e componenti, studio del flusso dei fluidi in sistemi di refrigerazione e compressione;
- misurazioni di routine per il controllo della qualità relativamente a palette di turbine, zone di corrosione in aeromobili, materiale pirotecnico;
- diffusione dell'idrogeno nei metalli, proprietà termodinamiche di sistemi a due fasi.

La RN dinamica, impiegata simultaneamente a tecniche di diagnosi delle vibrazioni, può essere impiegata per il rilevamento del rumore, e per capire l'origine di questi ultimi. Tale abbinamento ha consentito, ad esempio, di investigare e studiare i difetti di funzionamento di refrigeranti del tipo a compressione, ed in particolare i fenomeni di rumore; dai risultati ottenuti, quindi, sono state proposte delle modifiche costruttive, e sono stati progettati nuovi prototipi.

Investigazioni tramite radiografia simultanea neutronica e gamma sono state effettuate su numerosi tipi d'estintori, onde ottenere informazioni riguardanti: stato dei meccanismi operativi, quantità di materiale estinguente, fase e pressione del gas propellente. La figura 1 rappresenta l'immagine di radiografia neutronica del cilindro interno di un estintore a polvere: la stessa mostra il livello di CO₂ liquida quale propellente all'interno dello stesso cilindro. La strumentazione ha consentito, durante l'esperimento, di visualizzare l'intero processo operativo dell'estintore, avviato mediante comando a distanza.

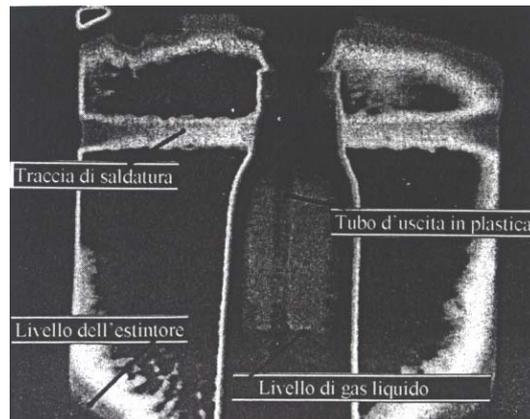


Fig. 1. Immagine di radiografia neutronica del cilindro interno di un estintore a polvere non più operativo.

La porosità delle fusioni è in grado, talvolta, di ridurre drasticamente la solidità di getti in lega d'alluminio; mentre la radiografia a raggi X consente di localizzare i pori, la RN dinamica – dopo aver sottoposto lo stesso getto ad uno speciale processo di “saturazione d'acqua” – permette di rilevare le porosità interne prossime alla superficie, le quali sono le più dannose. Entrambe le tecniche radiografiche possono essere impiegate per ottenere tali informazioni complementari.

Un altro esempio in cui la RN dinamica si rivela un efficiente strumento d'investigazione, è lo studio dei processi d'ebollizione e di condensazione in tubi di riscaldamento per uso industriale. Il processo di ebollizione pulsata è visualizzabile ed analizzabile fino ad una temperatura caratteristica dipendente dalla quantità di riempimento. Nel tubo, sono rilevabili le tre zone principali: una costantemente riempita di fluido, una bagnata periodicamente, ed una terza costantemente riempita di vapore. La tecnica impiegata consente di visualizzare entrambi i processi d'ebollizione e di condensazione. La RN dinamica consente di acquisire un video da cui è possibile misurare le linee di contorno delle zone sopra menzionate come funzione della temperatura di saturazione per differenti quantità di riempimento.

La RN è impiegabile, insieme alla radiografia gamma, per lo sviluppo di prototipi di strumenti di misurazione di consumo carburante. Il flusso del fluido contenente idrogeno è investigabile mediante RN, mentre il moto dei pistoni e di altre parti metalliche dello strumento mediante radiografia gamma, tramite il fluido. L'impiego di tali metodi complementari permette d'individuare le cause di difettoso funzionamento dello stesso strumento, mostrando che, ad esempio, eventuali dispersioni di fluido nella scatola degli ingranaggi conseguentemente al danneggiamento di una guarnizione.

Le immagini risultanti dall'investigazione mediante RN consistono in segnali elettronici trattati da un avanzato programma d'analisi e processo, e presentano il vantaggio di poter essere ulteriormente trattate ed archiviate secondo le varie necessità.

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 figura 2 mostra il principio generale dei metodi radiografici.

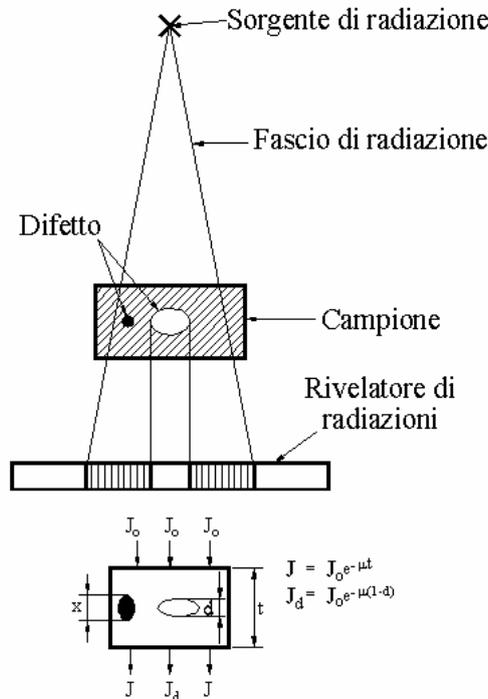


Fig. 2. Principio generale dei metodi radiografici.

L'oggetto studiato è sottoposto alla radiazione incidente, quindi il fascio trasmesso è investigato. Nella radiografia, il coefficiente di attenuazione μ rappresenta un parametro determinante, che comprende entrambe le proprietà di diffusione e di assorbimento del materiale. I valori μ_{atom} sono differenti, cosicché ogni eventuale disomogeneità nell'oggetto (struttura, difetti interni quali vuoti, fessure, inclusioni, porosità) compare come cambiamento nell'intensità rilevata misurata dietro l'oggetto, come mostrato in figura 1.

Mentre nei casi dei raggi X e gamma, la radiazione è assorbita in larga misura dagli elementi pesanti, penetrando i materiali leggeri, come l'idrogeno, senza importanti perdite di intensità, i neutroni riescono a penetrare quasi tutti i metalli strutturali con una piccola perdita d'intensità, mentre sono considerevolmente attenuati nel passaggio attraverso materiali contenenti idrogeno – ad es. acqua, olio o vari tipi di materiali sintetici. Le differenze riguardanti le varie radiazioni conferiscono alla RN ed a quella dei raggi gamma la caratteristica di complementarità.

La disposizione schematica di un apparato per RN è rappresentata in figura 3.

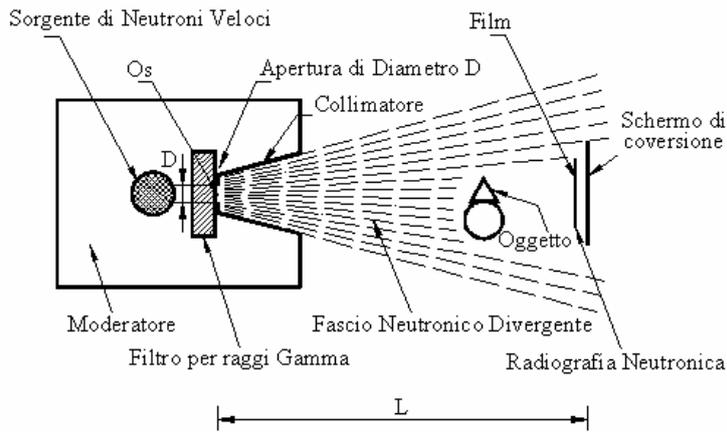


Fig. 3. Disposizione schematica di un apparato per radiografia neutronica.

La stessa consiste in una sorgente di neutroni, un collimatore del fascio neutroni ed in un sistema di rilevazione che registra l'immagine radiografica dell'oggetto investigato. Nel caso di rilevazione fotografica, s'impiega anche un filtro per i raggi gamma. Il parametro caratteristico più importante di una strumentazione per NR è il coefficiente di collimazione L/D , in cui:

L = distanza tra il punto incidente dei neutroni ed il piano dell'immagine;

D = diametro d'apertura.

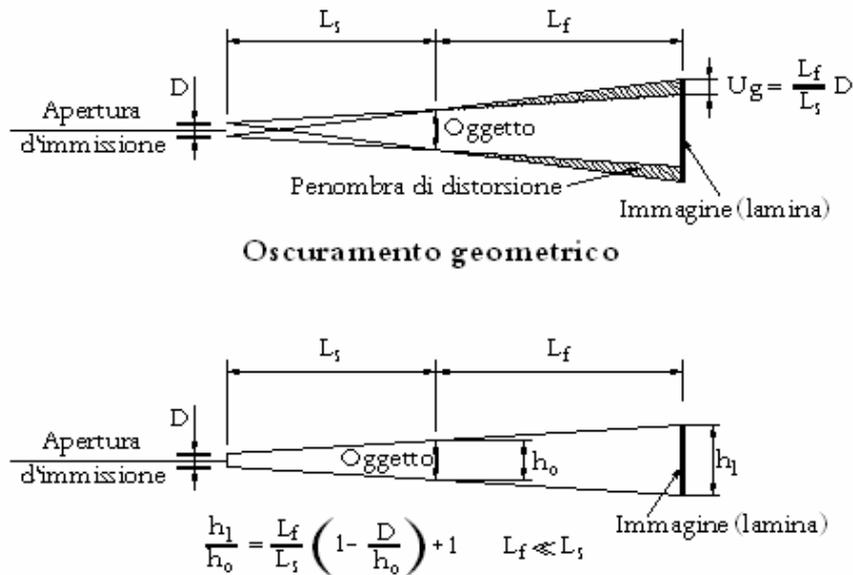
Grandi valori del coefficiente L/D comportano un flusso neutronico Φ_{NR} al piano dell'immagine relativamente debole ed un'alta precisione geometrica, e viceversa.

Φ_{NR} è espresso dalla seguente relazione di base:

$$\Phi_{NR} = \Phi_S / 16(L/D)^2 \quad (1)$$

in cui Φ_S è il flusso neutronico incidente.

La figura 4 mostra i dettagli geometrici del fascio neutronico e del collimatore.



Allargamento e diminuzione geometrici

Fig. 4. Geometria del fascio neutronico e del collimatore.

La precisione geometrica U_g e l'allargamento geometrico h_1/h_0 dell'immagine di NR sono determinati, in modo principale, dalla distanza dell'oggetto investigato dal piano dell'immagine L_f e della sua distanza dall'apertura L_s , dove:

$$L = L_s - L_f \quad (2)$$

Nella RN, essendo il neutrone una particella neutra, s'impiega un particolare materiale (di solito, una lamina) per convertire la radiazione neutronica in una diversa radiazione che possa essere rilevata direttamente quale, ad esempio, quella dei raggi X. La RN può suddividersi in due categorie principali: statica e dinamica.

La NR Statica registra un'immagine statica dell'oggetto investigato, ed è rappresentata mediante film radiografici; nella versione eseguita in tempo reale, invece, le immagini sono rilevate da speciali videocamere, quindi sono integrate tramite videoprocessori, consentendo di ottenere rappresentazioni statiche dell'oggetto di accurata precisione.

La NR Dinamica permette di investigare movimenti in seno all'oggetto esaminato (ad esempio, flussi di fluidi in tubi metallici, processi di condensazione o d'evaporazione all'interno di motori, sistemi a due fasi). Tale tecnica è basata sull'impiego di una videocamera a basso livello di luce con ciclo d'immagine corto; la visualizzazione è realizzata tramite un monitor e registrata con un videoregistratore. La stessa tecnica necessita di un flusso di neutroni relativamente alto rispetto alla NR statica (almeno 10^6 n/cm²sec).

L'impiego simultaneo della NR Dinamica e di quella a raggi X oppure a raggi gamma si rivela di particolare utilità in certi tipi di investigazioni, quando si vuole studiare la struttura interna di un oggetto in condizioni operative. Le due tecniche consentono di ottenere, infatti, informazioni complementari riguardo oggetti contenenti idrogeno ed anche parti metalliche ed altri materiali.

La figura 5 mostra lo schema di tale doppia strumentazione, mentre la fig. 6 ne rappresenta una pianta.

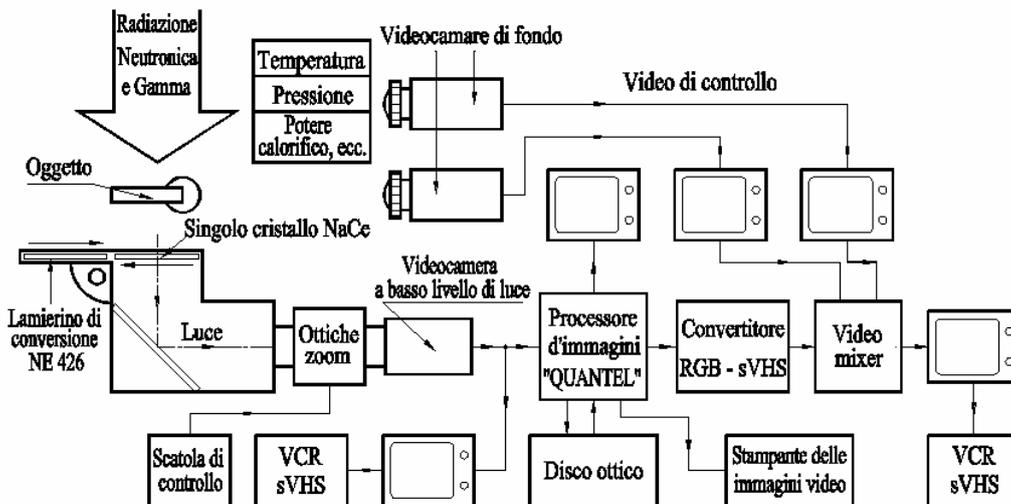


Fig. 5. Schema della strumentazione di radiografia simultanea neutronica e gamma installata presso il Reattore di Budapest.

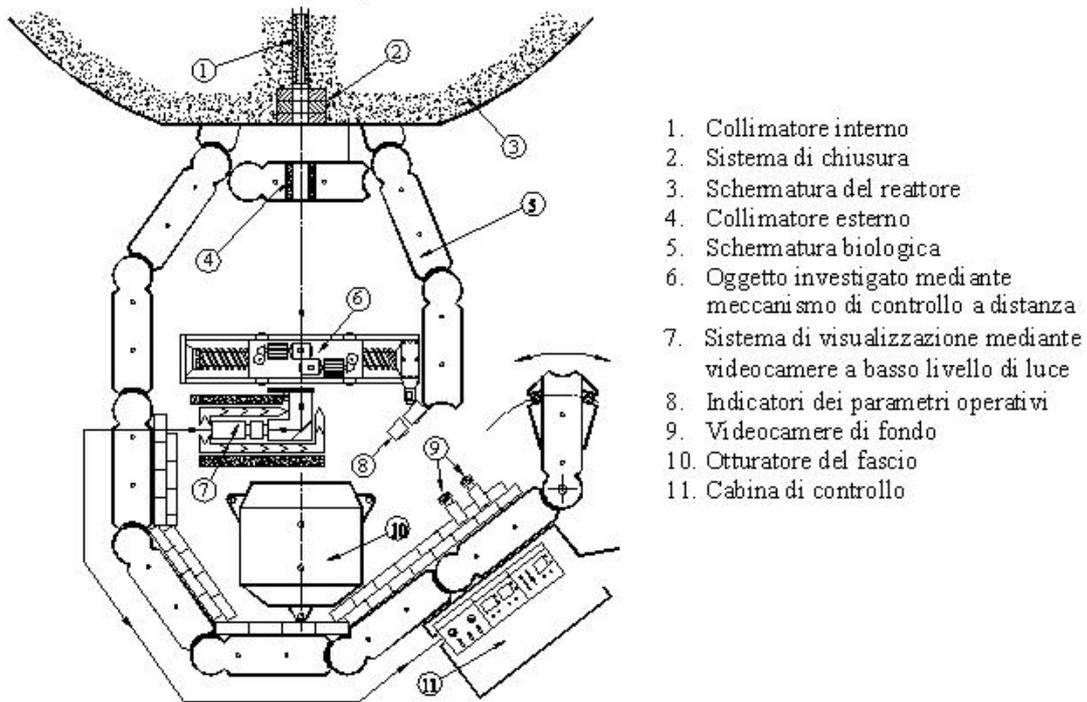


Fig. 6. Pianta della strumentazione di radiografia simultanea neutronica e gamma installata presso il reattore di ricerca di Budapest.

Le radiazioni neutroniche e quelle gamma che attraversano l'oggetto sono convertite in radiazioni luminose tramite materiali scintillatori sensibili rispettivamente ai neutroni ed ai raggi gamma. Queste ultime radiazioni sono rivelate, quindi, da una videocamera con ciclo d'immagine pari a 40 msec, la quale permette di visualizzare i movimenti di media velocità all'interno dell'oggetto investigato. Le immagini radiografiche sono mostrate attraverso un monitor e memorizzate da un videoregistratore. Ulteriori analisi quantitative dei dati sono effettuate mediante un processore d'immagini, mentre esiste la possibilità di rilevare e misurare parametri esterni di lavorazione dell'oggetto studiato.

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}U oppure ^{239}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:

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

ed anche:

$$\lambda^2 = h^2/3mkT \quad (4)$$

in cui k è la costante di Boltzmann, m , v , λ 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 λ sia compresa tra 1.55 e 1.33 Å per T compresa tra 0°C e 100°C.

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