

Applicazioni industriali delle tecniche neutroniche nel settore della metalmeccanica

Le tecniche basate sui neutroni si sono sviluppate in modo crescente, nel corso degli ultimi anni, contribuendo alla soluzione di importanti quesiti industriali e di problematiche correlate alle limitazioni metodologiche della caratterizzazione tradizionale. In quest'articolo sono brevemente presentate le principali tecniche neutroniche applicabili a livello industriale. Sono mostrate, quindi, alcune applicazioni riguardanti principalmente il settore dell'industria metalmeccanica.

I progressi recentemente acquisiti nella nano-tecnologia stanno suggerendo in modo sempre più chiaro, attualmente, di applicare gli approcci in essa adottati anche nei settori della meccanica tradizionale e della scienza dei materiali. Le "Applicazioni Industriali delle Tecniche Neutroniche" nella caratterizzazione di materiali e componenti si sono notevolmente ampliate, nel corso degli ultimi anni, in seguito al perfezionamento delle strumentazioni e alla disponibilità di procedure di misurazione e di trattamento dati appositamente studiate, fornendo indicazioni fondamentali per il miglioramento della qualità e della durata, non ottenibili tramite altre tecniche di indagine [1-4].

I neutroni rappresentano il più potente mezzo d'indagine della materia condensata, essendo capaci di dare informazioni sulle strutture e sulle dinamiche atomiche, nell'ingegneria dei materiali, in chimica, fisica, geologia, biologia, e in altre discipline tecnologiche e scientifiche. Particelle elementari sostanzialmente prive di cariche elettriche, essi costituiscono, insieme ai protoni, il nucleo atomico. I neutroni sono sensibili agli atomi leggeri alla presenza di quelli pesanti; inoltre, consentono di indagare in maniera non-distruttiva l'interno di componenti e materiali in modo indipendente dalle condizioni superficiali. La peculiarità di non

interagire elettricamente con gli elettroni e i nuclei nella materia, infatti, offre il vantaggio di poter penetrare in profondità: mentre i raggi-x offrono un'ottima 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 fino a diversi centimetri. I neutroni sono prodotti da sorgenti continue (reattori nucleari) oppure da sorgenti pulsate (acceleratori). Nelle sorgenti continue, essi sono prodotti dalla reazione di fissione di nuclei pesanti quali ^{235}U oppure ^{239}Pu , e inizialmente sono caratterizzati da un'energia assai elevata; successivamente, sono rallentati a energie termiche tramite dei moderatori, quindi sono sottoposti a collisioni che li rallentano ulteriormente per condurli in equilibrio termico col mezzo che li circonda. Speciali tubi-guida hanno la funzione di trasferire i neutroni prodotti dall'interno del nocciolo ai diversi strumenti, ad esempio, diffrattometri e spettrometri [1]. Le tecniche neutroniche possono fornire informazioni microstrutturali e su scala atomica molecolare, mediate su volumi di dimensioni macroscopiche ($\text{mm}^3 \div \text{cm}^3$). Esse possono essere impiegate sia per la caratterizzazione di campioni e componenti industriali definiti, sia per lo sviluppo di progetti e metodi progettuali, ad esempio nel

Industrial Applications of Neutron Techniques in the Metal and Mechanical Sector

The recently achieved progresses in the field of nanotechnologies allow to think of applying these principles also in the sectors of traditional mechanics and science of materials. The 'Industrial Applications of Neutron Techniques' in characterizing both materials and components increased in a considerable way in recent years. This is a result of the improvement of instruments and availability of both measurement procedures and data processing that were studied on purpose and may supply essential indications, that cannot be attained with any other research technique. This way, it is possible to improve both quality and life of manufactured products. As a matter of fact, neutrons represent the most powerful investigation mean for condensed matter, because they can supply information concerning both structures and atom dynamics, useful in material engineering, chemistry, physics, geology, biology, and other technological and scientific branches. This paper expounds the main neutron techniques applicable in industry. In addition, some applications concerning mainly the sector of metal and mechanic industry are presented.

campo della saldatura [7]. I dati ottenibili sono in grado di offrire alle tecnologie tradizionali esistenti il contributo essenziale di precisi metodi strutturali.

Determinazione delle tensioni residue mediante diffrazione neutronica

La tecnica di diffrazione dei neutroni consente di ricavare in maniera non distruttiva le tensioni residue nei materiali (ad esempio acciai, alluminio e sue leghe, superleghe) e componenti (ad esempio rivestimenti, ingranaggi, giunti saldati, tubi), compresi quelli sottoposti a lavorazioni o a trattamenti termici, meccanici e di superficie.

Le tensioni residue sono definite come quelle interne esistenti in un sistema isolato in equilibrio meccanico, non sottoposto ad alcuna forza o momento dall'esterno. Esse insorgono conseguentemente a processi di produzione e formatura o in seguito a trattamenti, e possono raggiungere livelli assai rilevanti. Tale è il caso, ad esempio, dei processi di saldatura, i quali coinvolgono gradienti elevati di temperatura da cui possono derivare tensioni residue paragonabili a quelle di snervamento: la contrazione del metallo fuso, durante la solidificazione, è ostacolata dal metallo circostante più freddo, e di conseguenza si inducono delle tensioni. Deformazioni e tensioni ancora ad esempio possono insorgere in ingranaggi, oppure in dischi di freni in seguito alla produzione e/o all'uso.

Per quanto riguarda le superfici di componenti, è noto che trattamenti superficiali tipo pallinatura o asportazione mediante laser possono facilmente indurre tensioni residue anche alle profondità di svariati millimetri. La variazione di tali tensioni può salire ai massimi livelli entro il primo millimetro sotto la superficie. La deposizione di ricoprimenti superficiali ottenuti tramite differenti tecniche produttive dà origine a forti gradienti di tensioni residue (di trazione o di compressione) che implicano una variazione dei parametri reticolari del materiale costitutivo del ricoprimento. Le tensioni residue, nel caso di campioni

rivestiti, possono manifestarsi con formazione di delaminazione all'interfaccia (compressione nel ricoprimento), cricche superficiali (trazione nel ricoprimento associata a un'interfaccia forte) e distacco del ricoprimento (trazione nel ricoprimento associata a un'interfaccia debole). Le informazioni sulle tensioni residue sia in fase di progetto, sia in quella di manutenzione, possono rivelarsi utili per ottimizzare prestazioni e affidabilità di componenti, macchine e impianti. La conoscenza delle tensioni, oltre a svolgere un ruolo di primario rilievo nello studio della microstruttura, contribuisce alla soluzione di importanti

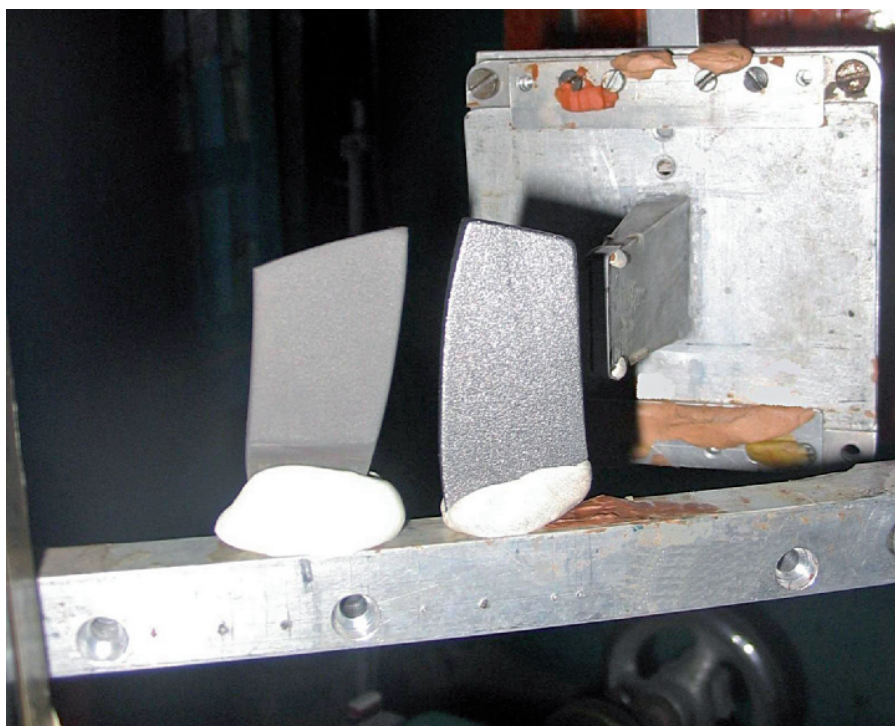


Fig. 1 - Due provini di acciaio inossidabile martensitico 13Cr4Ni, di cui uno con riporto antiusura HVOF (a sin.), durante la caratterizzazione mediante diffrazione neutronica.

problematiche riguardanti materiali e ricoprimenti, fornendo dati di considerevole importanza per: pianificare i processi di produzione, migliorare le caratteristiche di qualità e sicurezza nei materiali e componenti ingegneristici, analizzare le condizioni d'esercizio e controllare le fasi di manutenzione.

La diffrazione neutronica consente di determinare le deformazioni e tensioni residue sino a diversi centimetri di profondità dalla superficie esterna (circa 2-3 cm negli acciai, e 5-6 cm nell'alluminio e sue leghe). Per materiali e componenti delle tipologie sopra riferite, può essere ottenuta anche una mappa tridimensionale sia delle deformazioni, sia delle tensioni. La tecnica descritta, inoltre, fornisce informazioni fondamentali nelle seguenti operazioni: analisi degli esiti della concentrazione di tensioni in corrispondenza di intagli o di cricche, in condizioni di carico; controllo dell'efficacia di trattamenti distensivi successivi alla saldatura; determinazione della frazione di rilassamento delle tensioni, alle temperature operative, in componenti quali giunti laminati e tubi curvi. Tecniche convenzionali quali la diffrazione dei raggi-x, consentono di misurare le deformazioni residue solo fino alla profondità di alcuni micron dalla superficie esterna; la diffrazione neutronica, pertanto, è l'unico strumento valido per poter realmente conoscere lo stato delle deformazioni e tensioni residue interne [1].

La figura 1 mostra due provini di acciaio inossidabile martensitico 13Cr4Ni - di cui uno con riporto antiusura HVOF di carburo di tungsteno, l'altro con una superficie sottoposta a pallinatura - durante l'investigazione effettuata mediante diffrazione neutronica attraverso l'intero spessore di circa 3 mm. Mentre per il provino senza riporto sono state rilevate tensioni comprese in un limitato intervallo di valori, in quello col riporto le tensioni hanno mostrato un andamento crescente da valori prossimi allo zero in corrispondenza della superficie opposta a quella col riporto sino al massimo valore di circa 250 MPa dell'intervallo in corrispondenza del riporto. La diffrazione dei raggi-x, in modo complementare, ha permesso di investigare lo strato più esterno del riporto (sino alla profondità di circa 10 μm), rilevando un valore massimo di tensione di compressione di circa -540 MPa e dimostrando l'auto-equilibrio delle tensioni nel campione considerato [5]. La diffrazione dei raggi-x è il tradizionale metodo di ispezione impiegato per verificare la quantità richiesta di tensioni residue di parti soggette a fatica di piegatura. I raggi-x permettono di investigare soltanto la superficie: ma, come mostrato in questo lavoro eseguito per mezzo della diffrazione dei neutroni, le reali condizioni di stress potrebbero essere molto differenti (e potenzialmente critiche) a differenti profondità.

La figura 2 mostra i valori delle tensioni residue radiale e tangenziale determinati mediante diffrazione neutronica in un disco di compressore assiale per turbina a gas (materiale: acciaio NiCrMoV - ASTM A 471) [4]. La conoscenza della distribuzione spaziale delle tensioni residue, ottenibile tramite diffrazione dei neutroni, può consentire in definitiva una più corretta valutazione di come un componente industriale è stato influenzato dai precedenti trattamenti, e fornire informazioni molto utili sia per la progettazione, sia per la costruzione.

Caratterizzazione di materiali e componenti a livello di micro- e nano-scala mediante diffusione neutronica a piccoli angoli

Le proprietà meccaniche di un materiale, come la resistenza allo scorrimento e l'invecchiamento, dipendono notevolmente dalla nanostruttura (precipitati, gruppi di pori e dislocazioni) formata nel metallo [6]. Una degradazione non uniforme del materiale può portare a un rapido sviluppo delle cricche e a una riduzione critica della durata. La tecnica diagnostica non distruttiva della diffusione neutronica a piccoli angoli consente di fornire informazioni sulla micro- e nano-struttura di materiali e componenti di interesse industriale quali: metalli (ad esempio acciai, alluminio e sue leghe, materiali compositi a matrice

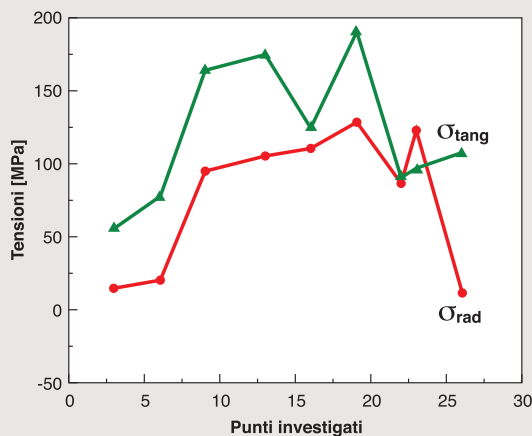
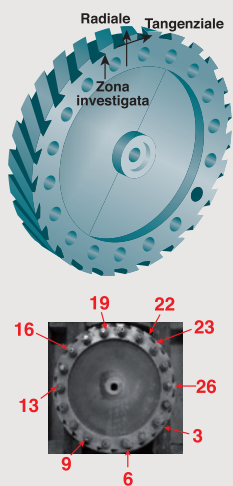


Fig. 2 - Tensioni residue radiale e tangenziale, in un disco di acciaio NiCrMoV (i segmenti rappresentano una guida per l'occhio).

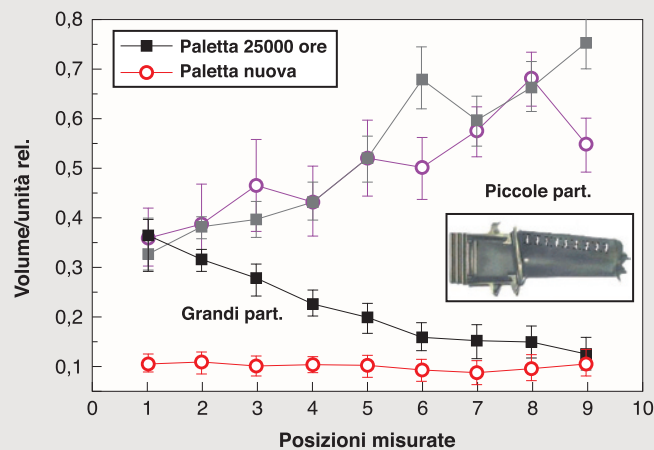


Fig. 3 - Valori integrati delle frazioni volumiche per piccole e grandi particelle, ottenuti mediante diffusione neutronica a piccoli angoli, per palette di turbina di Inconel 738 [1].

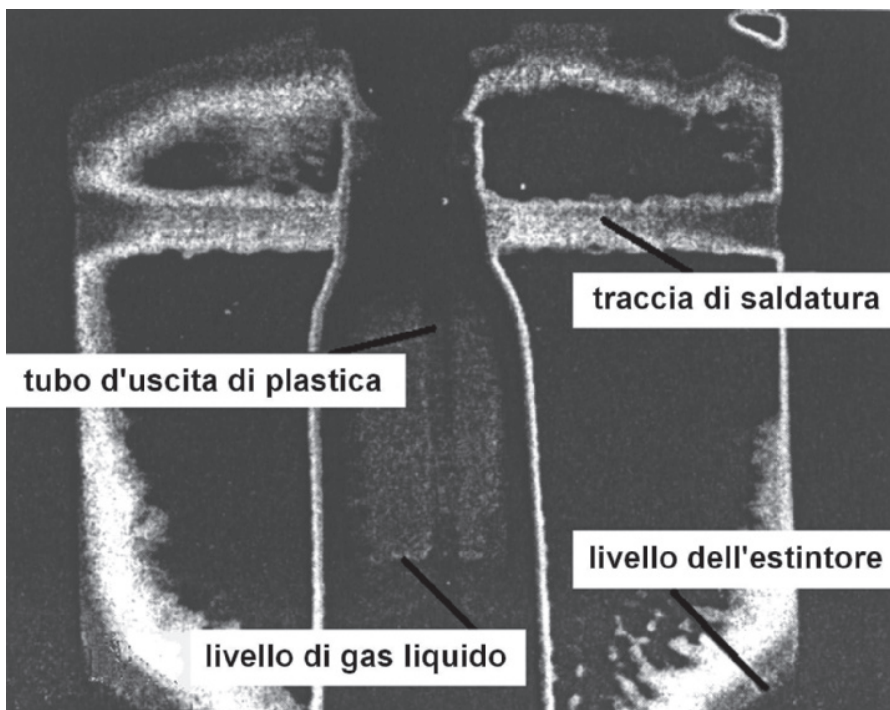
metallica e titanio); materiali ceramici; materiali plastici (ad esempio poliuretani). La scansione mediante diffusione neutronica a piccoli angoli, perciò, permette di ottenere in maniera esclusiva dati sulle caratteristiche nanoscopiche all'interno del componente - considerando anche le eventuali deviazioni locali nella composizione e nella tecnologia - e informazioni fondamentali sulle disomogeneità chimiche o magnetiche presenti, tipo eterogeneità della matrice (ad esempio pori, precipitati e bolle di gas). La diffusione neutronica a piccoli angoli consente anche di verificare la natura frattale di strutture e di trovare le dimensioni frattali. I raggruppamenti di dislocazioni possono portare alla formazione di superfici e vuoti interni che, insieme ai bordi dei cristalli e alle cricche microscopiche, inducono una diffusione caratterizzata da particolari parametri. Tale diffusione è in grado di rivelare i difetti aventi dimensioni caratteristiche (~100nm) sviluppati soprattutto nella zona di frattura, ove le principali fonti di diffusione sono le cricche microscopiche [6]. La diffusione neutronica a piccoli angoli consente, inoltre, di individuare

eventuali separazioni di fase e di investigare i materiali nano-cristallini. La tecnica descritta, in definitiva, si rivela indispensabile per ottimizzare le prestazioni e l'affidabilità di componenti, macchine e impianti. 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 e i controlli nelle fasi di manutenzione. La figura 3 riguarda la caratterizzazione di due palette di turbina di Inconel 738, una nuova, l'altra dopo 25.000 ore di operatività, mostrando i valori integrati delle frazioni volumiche (in unità relative) per piccole e grandi particelle, con riferimento a 9 zone investigate. I valori del raggio medio e della frazione volumica delle particelle possono essere considerati e impiegati quali parametri indicativi del livello di degradazione del materiale.

Radiografia Neutronica

La radiografia neutronica (RN) è una tecnica innovativa per la caratterizzazione non distruttiva di materiali e componenti industriali. Il suo principio di funzionamento è simile a quello della radiografia a raggi-x o gamma, quindi si possono ottenere informazioni sulla struttura o su processi interni all'oggetto investigato, per mezzo della trasmissione. Questa 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, in particolare, nelle seguenti applicazioni industriali: studio del flusso dei fluidi e della lubrificazione in motori a combustione; distribuzione nelle leghe e informazioni sulla struttura riguardanti inclusioni, fessure, porosità e densità; componenti meccanici, strutture e processi a due fasi (visualizzazione delle fasi) nell'industria chimica e petrolchimica; costruzione di turbine, manutenzione di aeromobili ed elicotteri: studio di corrosione, umidità, difetti d'adesione, in

Fig. 4
Immagine di
radiografia neutronica
del cilindro interno di
un estintore a polvere
non più operativo.



palette di turbine, componenti d'alluminio, strutture composite e a nido d'ape; trasferimento di calore (visualizzazione e comportamento delle due fasi in tubi di riscaldamento); controllo di strutture meccaniche in esplosivi e ignitori; misurazioni di routine per il controllo della qualità riguardo palette di turbine e zone di corrosione in aeromobili; diffusione dell'idrogeno nei metalli; controllo della carica di gas negli airbag.

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

Investigazioni tramite radiografia simultanea neutronica e gamma sono state compiute su numerosi tipi di estintori, onde ottenere informazioni riguardanti: stato dei meccanismi operativi, quantità di materiale estinguente, fase e pressione del gas propellente. La figura 4 si riferisce alla RN del cilindro interno di un estintore a polvere: la stessa immagine mostra il livello di CO₂ liquida quale propellente all'interno dello stesso cilindro. La RN ha consentito, durante la caratterizzazione, di visualizzare

l'intero processo operativo dell'estintore [8].

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, che sono le più dannose. Entrambe le tecniche radiografiche possono essere impiegate per ottenere tali informazioni in modo complementare. Un altro esempio in cui la RN dinamica si rivela un efficiente strumento di investigazione, è lo studio dei processi di ebollizione e di condensazione in tubi di riscaldamento per uso industriale. Il processo di ebollizione pulsata è visualizzabile e analizzabile fino a una temperatura caratteristica dipendente dalla quantità di riempimento. Nel tubo, sono rilevabili le tre zone principali: una costantemente riempita di fluido, una bagnata periodicamente, e una terza costantemente riempita di vapore. La tecnica descritta consente di visualizzare entrambi i processi di 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, infine, è impiegabile - insieme alla radiografia gamma - per lo sviluppo di prototipi di strumenti per la 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 lo stesso fluido. L'impiego di tali metodi complementari consente di individuare le cause di difettoso funzionamento degli strumenti in questione, mostrando, 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 avanzati programmi d'analisi e processo appositamente studiati per le applicazioni industriali, e presentano il vantaggio di poter essere ulteriormente trattate ed archiviate secondo le varie necessità [8].

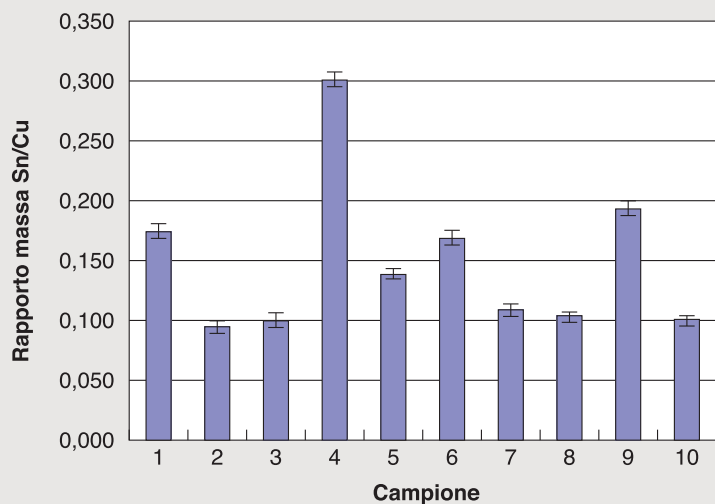


Fig. 5 - Rapporti massa Sn/Cu ottenuti mediante PGAA per diversi provini di bronzo.

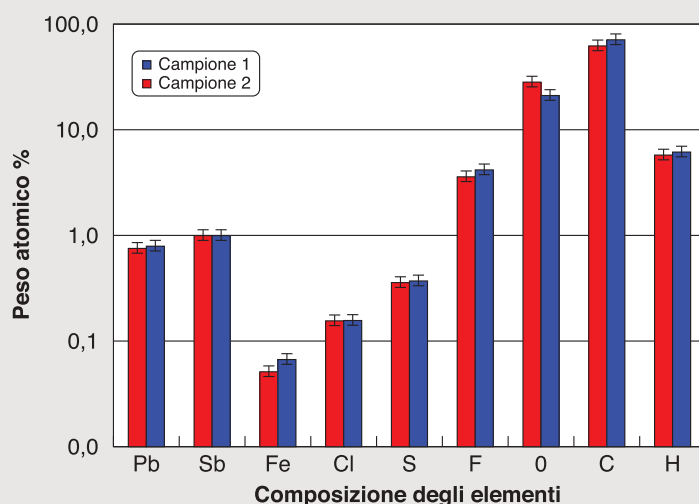


Fig. 6 - Grafico delle percentuali del peso atomico rispetto alla composizione degli elementi, per due campioni di micro-turbine prodotti attraverso differenti pre-trattamenti di solidificazione.

Prompt Gamma Activation Analysis

L'analisi chimica di materiali e componenti per l'industria ha acquistato, recentemente, una particolare attenzione in vista della disponibilità di tecniche di indagine innovative. La conoscenza della composizione degli elementi - includendo i principali e quelli in traccia - può fornire importanti informazioni riguardo al processo di manifattura o ai materiali costitutivi. I procedimenti più comuni, quali l'investigazione microscopica e i metodi analitici - ad esempio, la fluorescenza dei raggi-x o la spettrometria di massa ICP-MS - sono distruttivi, e ciò può rappresentare un ostacolo notevole nel caso che gli stessi componenti da investigare devono rimanere intatti dopo l'esame. Fino a poco tempo fa, di conseguenza, tali componenti potevano essere investigati soltanto a livello macroscopico. L'analisi mediante fluorescenza dei raggi-x, ad esempio, è limitata di solito allo studio di superfici lisce. La *Prompt Gamma Activation Analysis* (PGAA) costituisce uno strumento innovativo per risolvere il problema, potendo essere impiegata

per l'analisi della composizione elementare [9]: grazie alla bassa intensità del fascio neutronico (10^6 - 10^8 cm⁻²·s⁻¹), può essere considerata una tecnica non distruttiva, perciò applicabile a campioni che devono essere conservati inalterati. Dopo qualche giorno di raffreddamento (vale a dire, di decadimento di prodotti radioattivi), gli oggetti investigati possono essere restituiti nelle loro condizioni originali. Un altro gran vantaggio è che la PGAA rappresenta un metodo multi-elemento, vale a dire sia gli elementi principali, sia molti elementi in traccia possono essere individuati, in seguito alla stessa misurazione, grazie alle radiazioni gamma indotte, e può essere stimato il loro ammontare per ottenere la massa totale. Rinormalizzando la massa rilevata con la massa totale, si possono ottenere direttamente le concentrazioni dell'elemento, senza necessità di misurare separatamente gli elementi standard. I dati di composizione ottenuti, principalmente espressi in massa % oppure in unità µg/g, possono essere trattati mediante la cosiddetta "Analisi del Componente Principale" onde trovare similitudini e diversità tra gli oggetti studiati.

La PGAA consente di investigare svariate tipologie di materiali industriali, e le misurazioni non richiedono alcuna preparazione del campione, il quale può essere posto direttamente nel fascio neutronico. Grazie all'alta penetrabilità dei neutroni, la PGAA è in grado di fornire una composizione media del materiale interno, vale a dire del componente nella sua interezza. Parti ben definite di oggetti di grandi dimensioni, se necessario, possono essere investigate separatamente. La PGAA può essere impiegata, ad esempio, per caratterizzare interi componenti di acciaio, o loro frammenti. In particolare, può essere organizzato uno studio sistematico comprendente l'indagine del campione principale e di vari campioni nuovi aventi la stessa composizione e diversamente prodotti, onde individuare la tecnica di produzione più vicina a quella dell'oggetto considerato. Come altro esempio, si può citare l'analisi di componenti di bronzo, per i quali, in generale, si possono identificare gli elementi principali (Cu, Sn, Pb e Zn), e anche elementi in tracce (As, Cd, Sb e Ag). Si può compiere, inoltre, una distinzione tra ottone (alto

Fig. 7 - Sala strumentazioni ed edificio esterno del Reattore di Budapest.



tenore di Zn), bronzo con alto tenore di Sn e bronzo con alto tenore di Pb [9]. Il diagramma di figura 5 mostra i rapporti tra la massa di stagno e quella di rame ottenuti mediante PGAA per diversi provini di bronzo, evidenziando che il provino n°4 si distingue in maniera particolare dagli altri.

Il grafico di figura 6, invece, raffronta le percentuali del peso atomico rispetto alla composizione degli elementi, per due campioni di micro-turbine in materiale polimerico

prodotti attraverso differenti pre-trattamenti di solidificazione [10]. La figura 7, infine, mostra il reattore di Budapest, del cui pannello scientifico l'ing. Massimo Rogante è il membro italiano.

Conclusioni

Le tecniche neutroniche sono sempre più adottate nella caratterizzazione di materiali e componenti industriali,

in seguito alla disponibilità di procedure di misurazione e di trattamento dati appositamente sviluppate dallo Studio d'Ingegneria Rogante. L'utilizzo dei risultati delle investigazioni finora compiute ha fornito un contributo concreto per migliorare le prestazioni del prodotto finito dando, perciò, una spinta nell'avanzamento dell'industria coinvolta.

Bibliografia

- [1] M. Rogante, Atti del 1° Workshop Nazionale per l'Industria "Applicazioni Industriali delle Tecniche Neutroniche®" AITN2008, organizzato dallo Studio d'Ingegneria Rogante - Rogante Engineering, Civitanova Marche, 12-14 Giu. 2008. <http://www.roganteengineering.it/aitn2008.html>.
- [2] M. Rogante, Misurazione delle tensioni residue mediante diffrazione neutronica, Rivista Italiana della Saldatura, Istituto Italiano della Saldatura, Ed., Genova, Vol. 4 (2001), pp. 461-465.
- [3] M. Rogante, Industrial applications of neutron techniques: a recent overview related to materials and components of technological interest, Proc. Int. Conf. "MATRIB '03", Vela Luka, Croatia, 26-28/06/2003, K. Grilec, Ed., Croatian Society for Materials and Tribology, Zagreb, Croatia (2003), pp. 235-241.
- [4] M. Rogante, L. Rosta, Nanoscale characterisation by SANS and residual stresses determination by neutron diffraction related to materials and components of technological interest, Proc. SPIE Vol. 5824 (2005), p. 294-305.
- [5] M. Rogante, G.P. Marconi, Residual Stress determination by Neutron Diffraction in Tungsten carbide coated and shot peened steel samples, Proc. Int. Conf. "MATRIB 2008", Vela Luka, Croatia, 26-28/06/2008, K. Grilec, G. Marić, S. Jakovljević, Eds., Croatian Society for Materials and Tribology, Zagreb, Croatia (2008), pp. 295-300.
- [6] M. Rogante, V. T. Lebedev, Nanostructure characterisation by SANS for investigation on ageing, Proc. 31st ESReDA Seminar: "Ageing", Smolenice Castle, Slovakia, November 7-8, 2006. EUR 22887 EN - JRC 8030, Ispra, Italy (2007), pp. 67-78.
- [7] M. Rogante, Tecniche Neutroniche per lo sviluppo dei metodi progettuali di saldatura, Rivista Italiana della Saldatura, Istituto Italiano della Saldatura, Ed., Genova, in press.
- [8] M. Balasko, M. Rogante, La radiografia neutronica al servizio dell'industria, Progettare, VNU, Ed., Cinisello B., Milano, Vol. 273 (2003), pp. 35-39.
- [9] M. Rogante, Neutroni per l'investigazione di componenti e materiali industriali, ICP n°2 - Feb. 2008, Reedbusiness, Milano (2008), pp. 72-75.
- [10] M.E. Heaton, M. Rogante, Zs. Kasztovszky, Prompt Gamma Activation Analysis of impurity and elemental consistency for two SU-8 organic polymer samples having different solidification pre-treatment, The Open Inorganic Chemistry Journal, in press.

indice inserzionisti & aziende citate

Azienda	Pagina	Azienda	Pagina	Azienda	Pagina
A.G.M.	78	FIRBIMATIC	82	PLAST-INOX	1COP-36-77
ASMEGA	1COP-26	FORMECO	83	POWEREL	91
ASV STUBBE ITALIA	21	GALVO SERVICE	1COP-2COP	PROGALVANO	3COP
BARBERA SAVINO	93	GIUSSANI	61	R.C.V.	33-89
BUFFOLI IMPIANTI	46	GLOMAX	1COP-12/13	ROLLWASCH ITALIANA	77-92
C.M. SPRAY	93	GROWERMETAL	43-44	S.T.A.	4COP
CAEV	83	HELMUT FISCHER	1COP-63-84	SALL	Ins.
CDR POMPE	78	I.L.E.S.	42	SELEMA	81
CIE INTERNATIONAL	11-70	ILT TECNOLOGIE	75	SENAF	16-17
CMA ROBOTICS	1COP-85	IMET	55	SIE	6
CORALLO	79	IMPREGLO Italia	47	SIMPEC	75
COSTACURTA	25	INFRAGAS NOVA IMPIANTI	61-84	STAME	91
COVENTYA	1COP-2-3	INNOVA.TEK	1COP-69	TECAM	90
COVER	63	ITALLAK	87	TECNO SUPPLY DIVISIONE DI IBIX	29-85
CPS	79	ITW GEMA	1COP-35	TECNORIV	27
CRS	89	IVO GALVANICA	70	TECRES	36
DICOSTA GIUSEPPE	80	LA FONTE	41	TOBALDINI	4
ECOZINC	80	LA GALVANICA TRENITINA	86	TREVISAN	1
ELLEGELLEMACHINERY	80	LM FINISHING SYSTEMS	1COP-14	UNITECH	8
ELSY RESEARCH	79	MEG	19-86	VENETA IMPIANTI	90
EUROPOLVERI	1COP	METCO	82	VENPLAST	81
FELTANI RETI	1COP-82-89	MULTICHIMICA	88	VEOLIA WATER SOLUTIONS ITALIA	69-76-91
FINIMAC	5	NGL CLEANING TECHNOLOGY	86	ZINI	92
FINISHING GROUP	87	OTEC PRÄZISIONSFINISH	88		

L'indice inserzionisti è fornito come servizio supplementare dell'editore, il quale declina ogni responsabilità per errori e omissioni.



Per la pagina attiva del cliente collegarsi a www.rivistedigitali.com



N. 2 - Anno 49 - aprile 2009

Direzione, Redazione, Abbonamenti
Head office, editorial office, subscriptions
Amministrazione e Pubblicità
Administration and advertising:
Casa Editrice/Publishing firm

© tecniche nuove spa
 Via Eritrea, 21 - 20157 Milano - Italy
 Telefono 02390901 - 023320391

Direttore responsabile/Publisher: Giuseppe Nardella

Direttore Tecnico/Technical director: Marco Bianco

Direzione Editoriale/Editorial Direction:
 Enzo Guaglione, Mario Palmisano

Redazione/Editorial staff:
 Paola Pagani, tel. 0239090293 - fax 0239090331,
 paola.pagani@tecnichenuove.com

Comitato Tecnico-Scientifico Technical and Scientific Committee: M. Boniardi, P.L. Bonora, P.L. Cavallotti, M. Comoglio, L. Dalla Torre, L. Fedrizzi, M. Guagliano, L. Magagnin, L. Paracchini, M. Perucca, F. Rabezana, M. Rostagno, S. Vezzù

Relazioni pubbliche/Public relations:
 Sergio Savona, Gianfranco Ferilli

Coordinamento stampa e pubblicità
Printing and advertising coordination:
 Fabrizio Lubner (Responsabile)
 Viviana Curatolo (tel. 0239090369 - Fax 0239090236)

Abbonamenti/Subscriptions: Luisa Branchi (responsabile)
 luisa.branchi@tecnichenuove.com
 Alessandra Caltagirone:
 alessandra.caltagirone@tecnichenuove.com
 Domenica Sanrocco:
 domenica.sanrocco@tecnichenuove.com
 Tel. 0239090440 - Fax 0239090335
 abbonamenti@tecnichenuove.com

Hanno collaborato a questo numero/Contributors to this issue:
 V. Ariete, M. Bianco, F. Biondi, V. Boneshi, F. Capelli,
 P. Cattaneo, Clean NT Lab - Environment Park, B. Gasco,
 T. Giordano, L. Magagnin, L. Paracchini, V. Pesce, M. Rogante,
 A. Rucci, M. Villa.

Abbonamenti/Subscriptions: ITALIA: annuale € 35,00, biennale € 60,00. ESTERO: € 70,00 (Europa), € 90,00 (Extra Europa). Per abbonarsi a Trattamenti e Finiture è sufficiente versare l'importo sul conto corrente postale n. 394270 oppure a mezzo vaglia o assegno bancario intestati alla Casa Editrice Tecniche Nuove S.p.A. - Via Eritrea, 21 - 20157 Milano. Gli abbonamenti decorrono dal mese successivo al ricevimento del pagamento. Costo copia singola € 2,50 (presso l'editore, fiere e manifestazioni). Copia arretrata (se disponibile) € 5,00 + spese di spedizione. Ordini online www.tecnichenuove.com

Ufficio commerciale-vendita spazi pubblicitari/ Commercial department - sale of advertising spaces:
 Milano - Via Eritrea, 21 Tel. 0239090283-39090272 - Fax 023551535

Uffici regionali/Regional offices: Bologna - Via Corticella 181/3 - Tel. 051325511 - Fax 051324647. Vicenza - Contrà S. Caterina, 29 - Tel. 0444540233 - Fax 0444540270.

Stampa/Printing: Grafiche SIMA - Strada Prov.le Francesca, 52 - Ciserano (Bg)

Responsabilità/Responsibility: la riproduzione delle illustrazioni e articoli pubblicati dalla rivista, nonché la loro traduzione è riservata e non può avvenire senza espressa autorizzazione della Casa Editrice. I manoscritti e le illustrazioni inviati alla redazione non saranno restituiti, anche se non pubblicati e la Casa Editrice non si assume responsabilità per il caso che si tratti di esemplari unici. La Casa Editrice non si assume responsabilità per il caso di eventuali errori contenuti negli articoli pubblicati o di errori in cui fosse incorsa nella loro riproduzione sulla rivista.

Associazioni/Associations

A.N.E.S.

ASSOCIAZIONE NAZIONALE
 EDITORIA PERIODICA SPECIALIZZATA



ADERENTE A
 CONFINDUSTRIA



Organo Ufficiale
 di Assogalvanica

Periodicità/Frequency of publication: bimestrale - Poste Italiane Spa - Spedizione in abbonamento Postale - D.L. 353/2003 (conv. In L. 27/02/2004 n. 46) art. 1, comma 1, DCB Milano.

Registrazione/Registration: Autorizzazione del Tribunale di Milano n° 5552 del 10/03/1961. Iscritta al ROC Registro degli Operatori di Comunicazione al N. 6419 (delibera 236/01/Cons del 30.6.01 dell'Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni)

Tecniche Nuove pubblica le seguenti riviste/Tecniche Nuove publishes the following magazines

Apparecchi Elettrodomestici, Apparecchi Elettrodomestici - Componenti, Arredo e Design, Automazione Integrata, Backstage, Bagno Design, Beauty Line, Bitech, Biotecnologie, Commercio Idrotermosanitario, Commercio Porte & Finestre, Computer Music & Project Studio, Confezione, Cucina Naturale, Dermakos, Elettro, Farmacia News, Fluid Trasmissioni di Potenza, Fonderia, GEC Il Giornale del Cartolaio, Global Metalworking, Global Power Transmission, Griffe, GT Il Giornale del Termoidraulico, Hotel Domani, Il Commercio Edile, Il Dentista Moderno, Il Latte, Il Nuovo Cantiere, Il Pediatra, Il Progettista Industriale, Imbottigliamento, Impianti Solari, Imprese Agricole, Imprese Edili, Industria della Carta, Italia Grafica, Kosmetica, L'Erborista, La Griffe Collection, Laboratorio 2000, Lamiera, Lasertech, L'Impianto Elettrico, Logistica, Logistica Più, Luce e Design, Luce e Design China, Macchine Agricole, Macchine Alimentari, Macchine Edili, Macchine Utensili, Medicina Naturale, Nautech, NCF Notiziario Chimico Farmaceutico, Noleggio, Oleodinamica Pneumatica Lubrificazione, Organi di Trasmissione, Ortopedici e Sanitari, Plastix, Progettare, Progetto Colore, RCI Riscaldamento Climatizzazione Idronica, Selezione Tessile, Serramenti + Design, Stampi Progettazione e Costruzione, Strumenti Musicali, Subfornitura News, Tecnica Calzaturiera, Tecnica Ospedaliera, Tecnologie del Filo, Tema Farmacia, Trattamenti e Finiture, Utensili & Attrezzature, VQ - Vite, Vino & Qualità, Watt Elettroforniture, ZeroSottoZero.

LF

trattamenti E FINITURE



ISSN 0041-1833
Anno II - Bimestrale - Poste Italiane Spa
Spedizione in abb. postale D.L. 353/2003
(conv. in L. 27/02/2004 n. 46)
art. 1, comma 1, DCB Milano



Organo ufficiale
Assogalvanica

■ Misura e controllo

**Applicazioni industriali
delle tecniche neutroniche**

■ Trattamenti meccanici

Lucidatura elettrolitica dell'acciaio inox

■ MECSPE 2009

**Dal progetto all'oggetto:
anche il trattamento vuole la sua parte**

armega
PLATING® S.p.A.

CRF
robotics

COVENTYA

**EURO
POLVERI**

Feltani
RETI Small metal items

GALVO
SERVICE

GLOMAX

fischer

innovatek
innovazioni tecnologiche

ITW Gema

FINISHING SYSTEMS

PLAST-INOX S.N.C
DI PERETTO E BASSAN

2
apr09