

Utilizzo di elettroni per la diagnostica in profondità delle saldature

UN NUOVO APPROCCIO E UN NUOVO IMPIANTO PER INDAGARE IN MANIERA MENO INVASIVA I DIFETTI NELLE SALDATURE A SPESSORE.

Nel campo delle lavorazioni industriali, la saldatura a spessore rimane tutt'oggi una delle lavorazioni soggette alla maggiore criticità. Un ulteriore elemento di criticità è costituito dal fatto che, nel caso in cui la diagnostica evidenzia difettosità interne, molti codici impongono di "scavare" la saldatura fino a rimuovere la zona danneggiata e ripristinare la continuità della saldatura mediante un riporto a elettrodo. Un approccio sicuramente adeguato per quanto riguarda la continuità strutturale, ma drammaticamente rischioso per quanto riguarda

le tensioni interne, soprattutto quando tutto questo avvenga dopo il trattamento termico di distensione della saldatura. In questo caso, infatti, non è infrequente che si vengano a creare zone fortemente tensionate all'interno della massa della saldatura, magari a profondità tali da non avere alcun riflesso sullo stato tensionale superficiale, l'unico che comunque rimane misurabile con le tradizionali tecniche basate sull'asportazione di materiale, sulla diffrazione dei raggi x o sul rumore di barkhausen, quest'ultimo per altro non utilizzabile in

un materiale magneticamente aleatorio come quello della zona fusa o della zona termicamente alterata (zta). Da questo punto di vista l'utilizzo degli elettroni per la diagnostica in profondità costituisce indubbiamente un interessante possibilità già per il presente. In questo articolo presentiamo un impianto destinato a questo tipo di diagnostica, impianto basato su un acceleratore di elettroni classe rhodotron.

Cos'è un acceleratore di particelle

Un acceleratore di particelle è un dispositivo nel quale cariche elettriche, come per esempio elettroni, protoni e ioni, vengono prodotte e accelerate fino a raggiungere una voluta energia finale. Negli ultimi decenni, gli acceleratori sono stati oggetto di una diffusione su scala sempre più ampia, passando dalla ricerca di base in fisica fino alle più disparate applicazioni in chimica, biologia, medicina e nell'industria. Al giorno d'oggi, questo tipo di acceleratori stimolano in ambito industriale forti investimenti in ricerca e sviluppo e rappresentano uno strumento dal valore indiscusso per il progresso tecnologico. Oltre al tipo di particelle impiegate, l'energia massima che esse possiedono in uscita da un acceleratore è il parametro più importante della macchina: l'unità di misura dell'energia utilizzata in questo campo è l'elettronvolt (eV) che rappresenta la variazione di energia di un elettrone quando viene accelerato dalla differenza di potenziale di un Volt. Una seconda grandezza che caratterizza un acceleratore è la sua corrente massima, misurata in Ampere (A), che è direttamente proporzionale al numero di cariche elettriche che vengono generate per unità di tempo. Poiché, in generale, la produzione e l'accelerazione delle cariche avviene non in modo continuo ma "a impulsi", le particelle sono organizzate in gruppetti (bunch) l'insieme dei quali costituisce il cosiddetto fascio (beam). È di cruciale importanza che un acceleratore permetta il controllo molto preciso sia della posizione sia delle velocità delle particelle e, più precisamente, si mira ad avere bunch di piccole dimensioni nei quali gli elettroni abbiano una dispersione minima delle velocità rispetto a una direzione e un valore di riferimento. Poiché negli acceleratori vengono utilizzati campi elettrici molto intensi, sia la generazione che il successivo trasporto delle cariche deve avvenire in condizioni di ultra alto vuoto (ultra high vacuum, UHV). Tale requisito è essenziale al fine di minimizzare gli urti delle particelle con le molecole di gas, durante i quali esse vengono deviate perdendo parte della propria energia. In aggiunta, quando i singoli bunch contengono un numero elevato di cariche, l'ostacolo che si deve affrontare, per ottenere un fascio compatto e monoenergetico, è la repulsione Coulombiana che le cariche dello stesso segno esercitano le une sulle altre. Per questo motivo, al fine di compensare gli "effetti di carica spaziale" descritti sopra, è necessario introdurre quadrupoli magnetici in punti ben precisi lungo la traiettoria delle particelle, che garantiscano sempre il corretto allineamento del fascio di particelle.

ADVANCE ADV.IT

ALIMENTAZIONE AUTOMATIZZATA PRESSE THE NEXT STEP TO THE FUTURE



saronni spa

LINEE ALIMENTAZIONE PRESSE

LINEE DI TAGLIO TRASVERSALE

LINEE DI ACCUMULO NASTRO

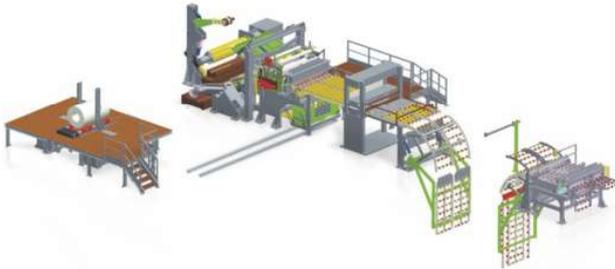
LINEE DI GOFFRATURA

BLANKING LINES

RADDRIZZATRICI PER PEZZI

Ampia gamma di soluzioni, in 60 anni di storia.

Oltre 60 anni di attività svolta con l'obiettivo costante di soddisfare il cliente, spesso anticipandolo, con soluzioni innovative pronte a rispondere alle più complesse necessità produttive. Saronni offre ai propri clienti una gamma di macchine utili a risolvere ogni problema nell'ambito della lavorazione del coil. Oltre alle linee per l'alimentazione presse e per il taglio trasversale della lamiera, Saronni propone anche macchine per trancitura, goffratura, arrotondamento bordi e di accumulo lamiera (SUPERCOIL).



Saronni spa
Strada per Castelletto 105
28040 Borgo Ticino (NO) ITALY
T +39.0321.90164 - info@saronni.it

www.saronni.it

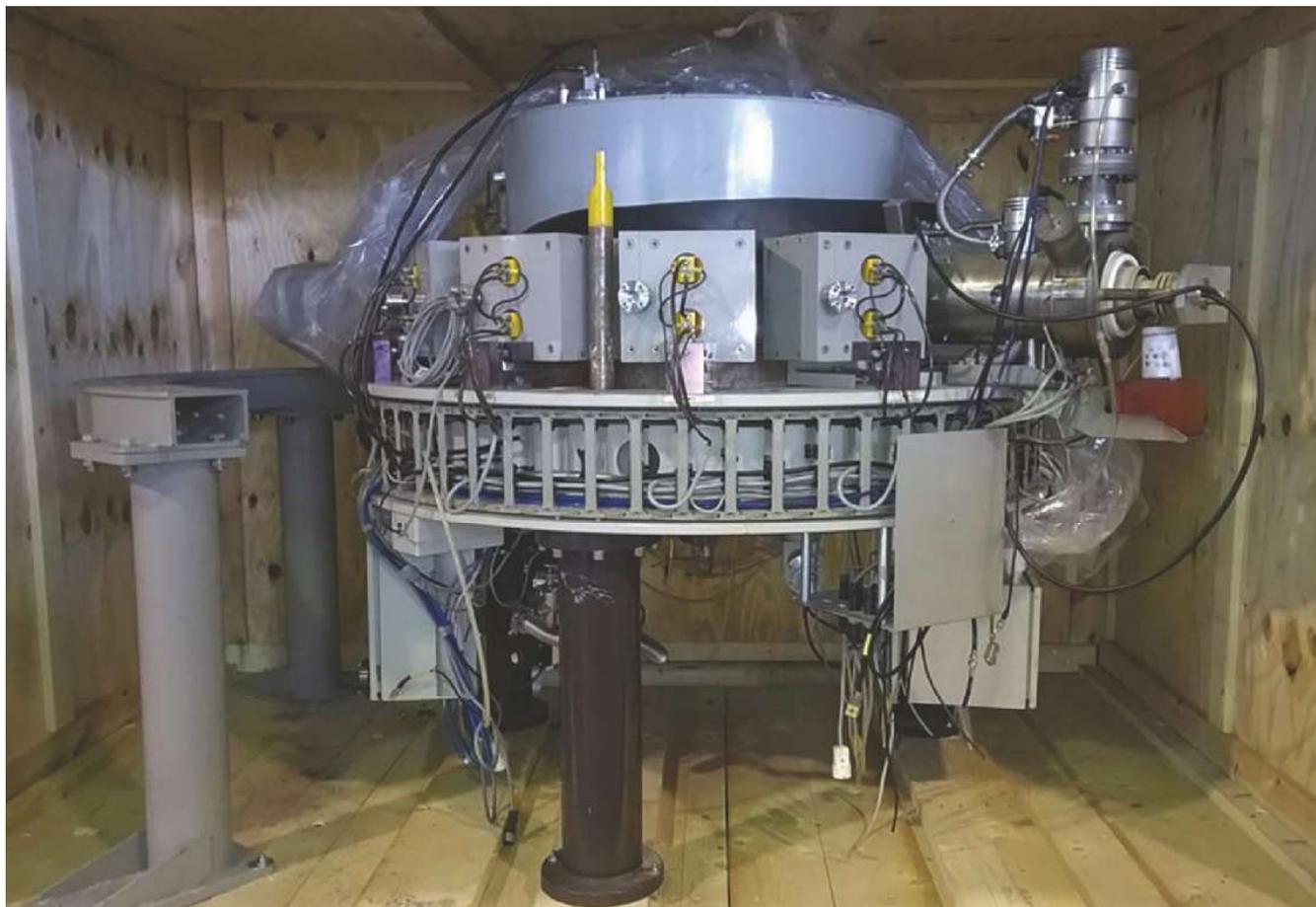


Fig. 1- Rhodotron TT100™ e i suoi componenti principali (per gentile concessione di 2Effe Engineering Srl).

Un acceleratore di particelle industriale: il rhodotron

Nel 1989, Jacques Pottier ha proposto un nuovo tipo di acceleratore di elettroni: il Rhodotron [1]. In particolare, il Rhodotron TT100™ (IBA) mostrato in figura 1, è un acceleratore estremamente compatto nel quale gli elettroni raggiungono l'energia cinetica massima di 10 MeV alla corrente di 3.5 mA, ovvero, vengono generati circa 2×10^{16} elettroni al secondo con una potenza di 35 kW. Per una breve descrizione del funzionamento del RhodotronTT100™ faremo riferimento alla figura 2, nella quale la traiettoria degli elettroni è evidenziata dalla linea rossa. All'interno di un cannone elettronico (electron gun), gli elettroni vengono estratti da un catodo per effetto termoionico dove subiscono un'accelerazione e una focalizzazione preliminari. In uscita dal gun, gli elettroni entrano in una cavità cilindrica risonante a radio-frequenza (cavità RF) dove la configurazione del campo elettrico è tale da accelerare gli elettroni ogni qualvolta essi ne attraversano il diametro. Dopo ogni passaggio nella cavità RF, gli elettroni guadagnano circa 0.83 MeV e devono percorrere il diametro 12 volte affinché possano raggiungere 10 MeV. Per questo motivo, sulla circonferenza esterna della cavità RF sono

installati undici elettromagneti (bending magnets) il cui compito è quello di deviare la traiettoria degli elettroni in modo che essi vengano re-iniettati in cavità, non solo parallelamente al diametro, ma anche «in fase» con il campo elettrico. Dopo l'ultimo passaggio, gli elettroni vengono guidati all'interno di una linea di trasporto (beamline) mediante dipoli e quadrupoli magnetici fino a colpire un bersaglio (target). Qualora il target sia lui stesso l'oggetto da "irraggiare", è necessario predisporre un sistema di trasporto automatico che gli permetta di traslare e/o ruotare. In alternativa, il bersaglio può rimanere fisso nel caso in cui venga utilizzato per produrre radiazione secondaria, come i raggi X.

L'interazione elettrone-materia e la produzione di raggi x

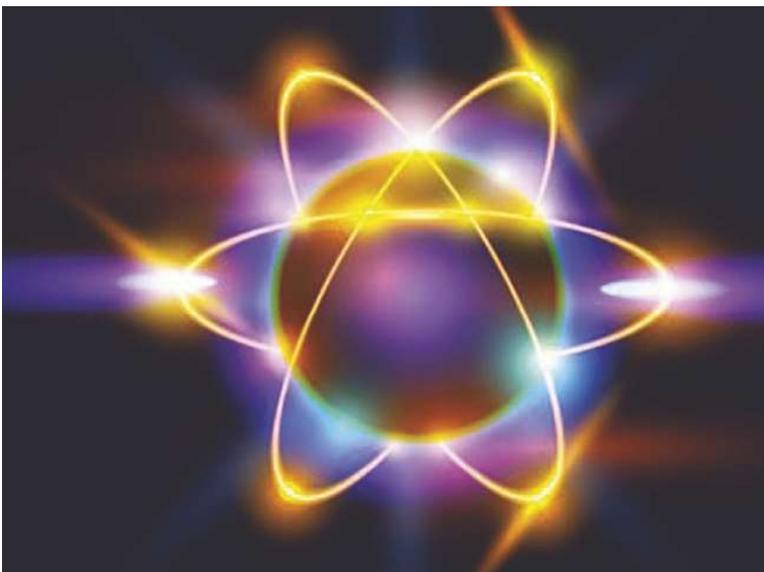
In termini un po' generali, possiamo dire che l'interazione di un elettrone con gli atomi di un target è governata dalle collisioni e dalla generazione di fotoni («quanti» di radiazione elettromagnetica). Le collisioni sono urti anelastici con gli elettroni degli atomi del bersaglio durante i quali l'elettrone incidente, oltre che cambiare la propria traiettoria, perde una frazione della propria energia causando transizioni elettroniche

interne agli atomi (eccitazione) o rimuovendo un elettrone atomico (ionizzazione). Mentre le collisioni avvengono in modo pressoché continuo lungo la traiettoria della particella incidente, l'emissione di radiazione elettromagnetica (radiazione di frenamento o bremsstrahlung) avviene quando la particella stessa subisce un'accelerazione violenta, in particolare quando essa transita in prossimità di un nucleo atomico, dove il campo elettrico è molto intenso. Quando questa circostanza si verifica, l'elettrone viene deviato e produce fotoni che possono avere una energia anche comparabile con l'energia cinetica dell'elettrone che lo ha generato. Mentre gli elettroni atomici espulsi per ionizzazione hanno energie relativamente basse e vengono riassorbiti entro piccole distanze, i fotoni con le energie più alte possono attraversare quasi indisturbati anche grandi spessori di materiale.

Per questa ragione, i raggi X vengono anche largamente utilizzati nella diagnostica per immagini in ambito medico oppure per l'analisi chimica o cristallografica di un dato campione per fluorescenza o diffrazione. Limitandosi alle energie dei raggi X, inferiori a circa 100 keV, l'interazione dei fotoni con gli atomi avviene per effetto fotoelettrico e Compton scattering. L'effetto fotoelettrico è dominante alle basse energie e consiste nell'eccitazione o nella ionizzazione dell'atomo a seguito del totale assorbimento del fotone.

Invece, il Compton scattering prevale all'aumentare dell'energia e si differenzia dall'effetto fotoelettrico per l'emissione anche di un secondo fotone in aggiunta ai fenomeni di eccitazione e ionizzazione dell'atomo.

Nonostante la complessità dei fenomeni di interazione degli elettroni e dei raggi X, è importante sottolineare che le radiazioni ionizzanti sono in grado di attraversare spessori sempre maggiori di un dato materiale all'aumentare della propria energia ed è per questa ragione che le particelle accelerate sono efficaci per trattamenti in profondità.





Getecno
INDUSTRIAL PRODUCTS

*competenza
ampiezza di gamma
qualità e prestazioni
servizio internazionale*



**AURORA®
RODOBAL®**



**ORIGINAL
PERMAGLIDE®**



RODOFLEX®



RODOGRIP®



RULAND®

info@getecno.com

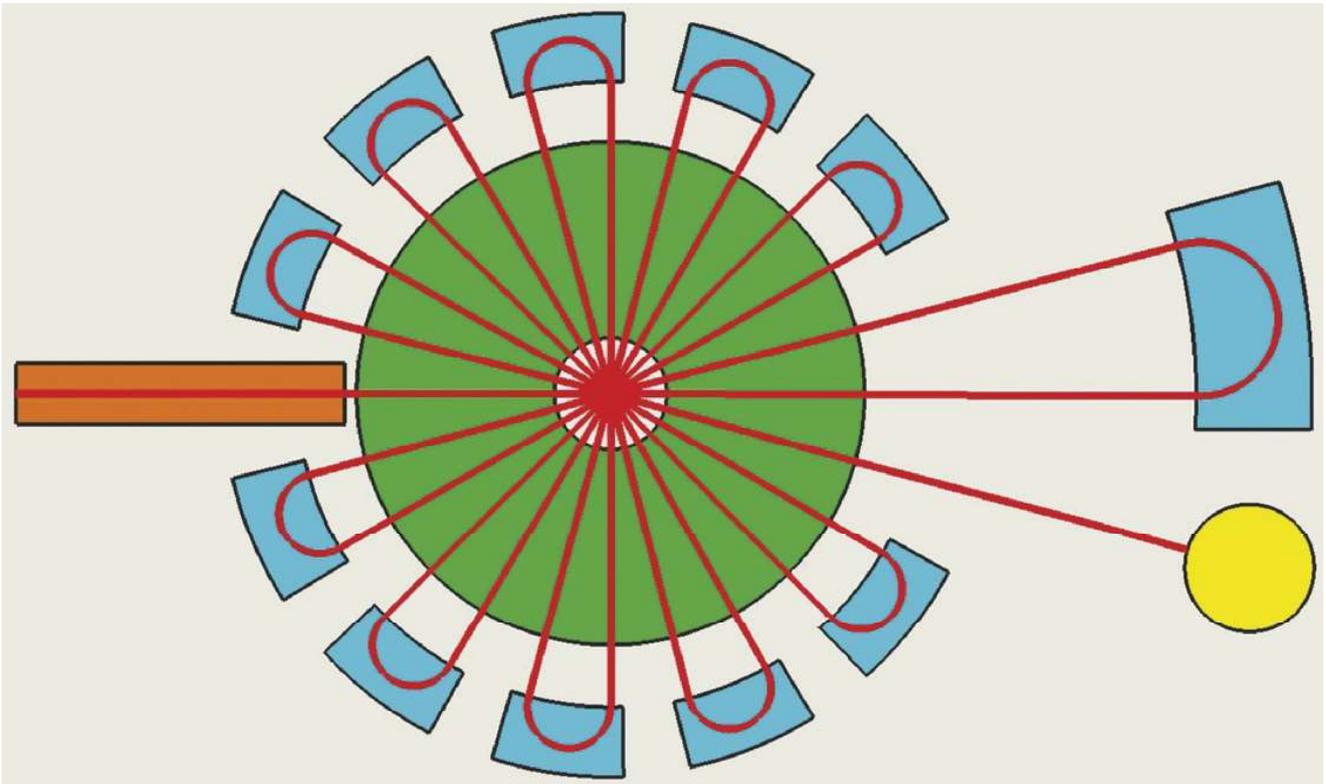


Fig. 2 – Traiettorie degli elettroni nel Rhodotron TT100™.

A titolo esemplificativo, in figura 3 è riportata la simulazione numerica del passaggio di un elettrone con energia cinetica $T = 10T$ MeV attraverso un bersaglio composto da ferro puro (numero atomico $Z = 26$, densità $d = 7.87 \text{ g/cm}^3$): nella simulazione è riportata la proiezione 2D del percorso dell'elettrone incidente e delle particelle secondarie da lui generate. Con lo scopo di rendere apprezzabile la perdita di energia, il colore della traiettoria degli elettroni è rappresentato con una gradazione di colore dal viola al rosso, man mano che l'energia cinetica scende dai 10 MeV iniziali fino a 50 eV. Quest'ultimo valore viene impostato come parametro di calcolo al di sotto del quale la particella in esame viene riassorbita nel target e non viene più seguita dalla simulazione. Analogamente, le traiettorie dei fotoni sono tratteggiate e passano dal bianco al giallo nel medesimo range di energie utilizzato per gli elettroni.

La misurazione delle tensioni residue a cuore

Nel caso dei metalli e delle relative leghe (ma non solo), la posizione assunta dagli atomi nella massa del materiale non soltanto non è casuale, ma risponde anzi a ben precise regole geometriche: in tali materiali gli atomi occupano infatti posizioni dello spazio che si ripetono con regolarità geometrica, dando luogo a una struttura regolare e articolata secondo la ripetizione spaziale di una cella elementare di base, realizzando il cosiddetto "reticolo cristallino". All'interno di un reticolo cristallino è sempre possibile individuare diverse

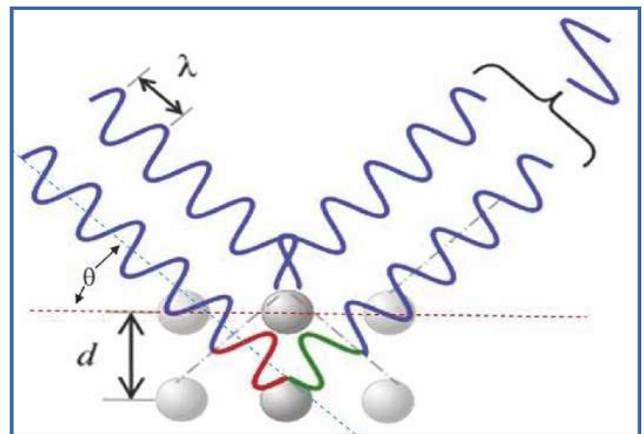


Fig.3 - Il principio base delle misure diffrattometriche: le onde incidenti su due piani cristallini si sommano (quindi danno un massimo nel segnale) quando la distanza tra tali piani è in un rapporto univoco con la lunghezza d'onda della radiazione incidente e l'angolo di incidenza (analogo all'angolo di diffrazione). In altri termini, nota la lunghezza d'onda λ della radiazione incidente, attraverso la misura dell'angolo di diffrazione θ per cui l'interferenza costruttiva è massima è possibile ricostruire trigonometricamente la variazione della distanza interplanare "d".

famiglie di piani, paralleli tra loro, su cui giacciono gli atomi del reticolo, e ognuna di queste famiglie di piani è caratterizzata da una distanza interplanare "d". Mediante le misurazioni diffrattometriche quello che si ottiene è proprio la misura di tale distanza interplanare: questo si ottiene colpendo il materiale

sotto osservazione con un fascio di raggi X e quando tale fascio incidente colpisce il materiale, eccita gli atomi appartenenti ai diversi piani reticolari, che a loro volta emettono una radiazione con lunghezza d'onda identica a quella della radiazione che li ha colpiti, e orientata nello spazio secondo un angolo identico a quello incidente rispetto alla normale al piano reticolare. In base a semplici considerazioni trigonometriche è possibile capire come le radiazioni emesse dagli atomi appartenenti a piani reticolari diversi risultino tra loro sfasate in maniera dipendente da:

λ = lunghezza d'onda della radiazione

θ = angolo di incidenza

d = distanza interplanare

Ruotando in maniera sincronizzata l'emettitore del fascio e il relativo ricevente è possibile determinare l'angolo θ per cui lo sfasamento tra le onde difratte si annulla, e dalla misura di tale angolo risalire alla distanza interplanare. Punto di partenza per tutte le successive considerazioni è che, per ogni materiale con struttura cristallina, le costanti reticolari del materiale in condizioni "ideali" sono univocamente determinate, ma che tali distanze interplanari vengono modificate a seconda delle condizioni di sollecitazione del materiale. Infatti, nel caso in cui un materiale venga sottoposto a una sollecitazione, esso

subirà una deformazione longitudinale coassiale alla direzione della sollecitazione conformemente alla legge di Hooke, e una seconda deformazione perpendicolare alla suddetta direzione secondo l'effetto Poisson, essendo ancora questa seconda componente di deformazione proporzionale alla sollecitazione iniziale. Poiché la distanza interplanare " d_0 " per un materiale non sollecitato è una grandezza che possiamo considerare nota a priori, è ovvio che dalla misura della distanza interplanare " d_1 " presente in un determinato momento è possibile risalire allo stato di deformazione trasversale del materiale, da cui al suo stato di deformazione longitudinale e quindi allo stato tensionale responsabile di tali deformazioni.

Bibliografia

- [1] J. Pottier, «A NEW TIPE OF RF ELECTRON ACCELERATOR: THE RHODOTRON», Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B40/41 (1989) 943-945
- [2] C. Patrignani et al. (Particle Data Group), Chin. Phys. C, 40, 100001 (2016) and 2017 update
- [3] http://pdg.lbl.gov/2017/reviews/contents_sports.html, «Passage of particles through matter»
- [4] International Atomic Energy Agency (IAEA) & International Irradiation Association (IIA), «Industrial Radiation ProcessingWith Electron Beams and X-rays», 1st May 2011 – Revision 6

© RIPRODUZIONE RISERVATA

PROFESSIONISTI

del **FREDDO**

per l' **INDUSTRIA**



Da 40 anni
a servizio del freddo
per le tue **macchine laser**





FORTI
REFRIGERAZIONE

Largo Brughetti, 1 - Bovisio Masciago (MB) - Tel.: 0362 55 85 11
assistenza@fortirefrigerazione.com - www.fortirefrigerazione.com