

Nuovo Esperimento	Gruppo
NAIMP	5

Struttura
NAPOLI

Rappresentante Nazionale: Filippo Terrasi

Struttura di appartenenza: Napoli

Posizione nell'I.N.F.N.: Associato

Ricercatore responsabile locale: **Filippo Terrasi**

PROGRAMMA DI RICERCA

A) INFORMAZIONI GENERALI

Linea di ricerca	Sviluppo di una tecnica basata sulla impiantazione di ioni radioattivi con fasci accelerati per applicazioni tribologiche
Laboratorio ove si raccolgono i dati	Lab. acc. Tandem del Dipartimento di Scienze Fisiche e laboratori del Dipartimento di Ingegneria Meccanica per Energetica dell'Università "Federico II" di Napoli
Acceleratore usato	Tandem TTT-3
Fascio (sigla e caratteristiche)	7Be, 7Li, 22Na
Processo fisico studiato	Usura superficiale di parti meccaniche in movimento
Apparato strumentale utilizzato	"Sistema per impiantazione sotto vuoto. Rivelatori gamma ed elettronica associata. Apparato pin-on-disk"
Sezioni partecipanti all'esperimento	Napoli
Istituzioni esterne all'Ente partecipanti	Experimental Physik III - Ruhr Universitaet Bochum (D) Dipartimento di Ingegneria Meccanica per l'Energetica - Univ. di Napoli Federico II
Durata esperimento	1 anno

B) SCALA DEI TEMPI: piano di svolgimento

PERIODO	ATTIVITA' PREVISTA
1/1/2001-30/6/2001	Progettazione e realizzazione della camera di impiantazione e del sistema di controllo pressione gas-target. Progettazione e realizzazione del sistema di raccolta e ricircolo polveri da usura.
1/4/2001-30/9/2001	Acquisizione e messa a punto del sistema di rivelazione e analisi degli spettri gamma
1/6/2001-31/12/2001	Produzione di 7Be e dei catodi per la sorgente dell'acceleratore mediante tecniche di chimica calda. Irraggiamento dei provini. Misura dell'usura con la macchina pin-on-disk completa di sistema stagno di ricircolo delle polveri e dell'apparato di rivelazione gamma.

Nuovo Esperimento	Gruppo
NAIMP	5

Struttura
NAPOLI

PREVENTIVO LOCALE DI SPESA PER L'ANNO

2001

In ML

VOCI DI SPESA	DESCRIZIONE DELLA SPESA					IMPORTI		A cura della Comm.ne Scientifica Nazionale	
						Parziali	Totale Compet.		
Viaggi e missioni	Interno	Contatti con laboratori e industrie nazionali					5	5	
	Estero	6 settimane uomo a Bochum + 3 viaggi aerei A.R.					21	21	
Materiale Consumo	gas, ricambi da vuoto, cavi, connettori, azoto liquido					10	22		
	camera per impiantazione					10			
	set di manipolatori per materiale radioattivo					2			
Trasp.e facch.									
Spese Calcolo	Consorzio	Ore CPU	Spazio Disco	Cassette	Altro				
Affitti e manutenz. apparecchiati.									
Materiale Inventariabile	stazione controllo dosimetria					5	86		
	4 dosimetri digitali					4			
	bagno a ultrasuoni					5			
	1 Ge Pop-top 30% con elettronica e acquisizione					50			
	pompa turbomolecolare e pompa a membrana					12			
	Sistema per stabilizzazione pressione gas					10			
Costruzione Apparati									
Totale							134		
Note:									

Nuovo Esperimento	Gruppo
NAIMP	5

Struttura
NAPOLI

ALLEGATO MODELLO EN 2

Nuovo Esperimento	Gruppo
NAIMP	5

Struttura
NAPOLI

PREVISIONE DI SPESA: PIANO FINANZIARIO LOCALE**PER GLI ANNI DELLA DURATA DEL PROGETTO****In ML**

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Mater. di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2001	5	21	22				86		134
TOTALI	5	21	22				86		134

Note:

Osservazioni del Direttore della Struttura in merito alla disponibilità di personale e di attrezzature:

Presso la sezione di Napoli i tecnici afferiscono ai Servizi della Sezione, per cui non viene indicato un elenco nominativo delle partecipazioni ai singoli esperimenti.
La disponibilità assicurata dai servizi della Sezione è riportata nel mod.EC/EN 7a.

Mod. EN. 3

(a cura del responsabile locale)

Nuovo Esperimento	Gruppo
NAIMP	5

Struttura
NAPOLI

PREVISIONE DI SPESA**Piano finanziario globale di spesa****In ML**

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Materiale di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2001	5	21	22				86		134
TOTALI	5	21	22				86		134

Note:

Nuovo Esperimento	Gruppo
NAIMP	5

Struttura
NAPOLI

PROPOSTA DI NUOVO ESPERIMENTO

Vedi allegato

Nuovo Esperimento	Gruppo
NAIMP	5

Struttura
NAPOLI

PROPOSTA DI NUOVO ESPERIMENTO

NAIMP

Per l'anno 2001

Premessa

In diversi settori della produzione industriale, nei quali vengano realizzati o utilizzati dispositivi con parti meccaniche in movimento, è di fondamentale importanza il controllo dell'usura delle superfici di contatto, sia per il controllo dello stato dei dispositivi durante il loro funzionamento, sia per lo sviluppo di componenti costruiti con nuovi materiali. Nel primo caso, la possibilità di controllare lo stato di usura di un dispositivo permette di ridurre i costi di esercizio, attraverso, per esempio, l'ottimizzazione degli intervalli di manutenzione e sostituzione, e di innalzare il livello di sicurezza durante il funzionamento del dispositivo, riducendo fortemente il rischio di rottura nel caso di processi di usura anomala: questi elementi possono rendere remunerativo l'investimento di notevoli risorse per lo sviluppo di sofisticati sistemi di controllo, compatti e trasportabili.

Nel caso dello studio di nuovi materiali, alla moderna tribologia sono richiesti sistemi di analisi affidabili con sensibilità dell'ordine dei micron utilizzabili in esperimenti con usure dell'ordine delle decine o delle centinaia di μm . La misura dell'usura, in generale, costituisce un problema di non poco conto, in particolare nelle macchine di prova, ove sono richieste precisione e ripetibilità notevoli. In particolare per le prove su macchina Pin-on-Disk, di cui è prevista l'utilizzazione in questo progetto di ricerca e che sarà descritta in seguito, la norma ASTM G99-95a prescrive che la misura dell'usura sul provino cioè la misura del materiale asportato venga fatta al termine della prova misurando l'altezza del provino e rapportando tale misura a quella del provino prima della prova (usura lineare) ovvero, per quantitativi d'usura molto modesti, pesando il provino al termine della prova e rapportando tale misura a quella del provino prima della prova (usura massica). Si comprende come tali misure vadano fatte con strumenti di elevatissima precisione e quindi costosi e come l'errore di misura possa essere in ogni caso sensibile quando si vogliono misurare usure confinate agli strati subsuperficiali micrometrici. Vi è, d'altra parte, un grande interesse per lo sviluppo di sistemi di misura submicrometrici, che permetterebbero di studiare con grande dettaglio i fenomeni di usura di materiali sottoposti a trattamenti superficiali e di condurre esperimenti con basso tasso di usura.

Alcuni dei settori nei quali investimenti consistenti per lo sviluppo di tali metodi sono considerati remunerativi sono:

1. settore motoristico: studio di nuovi materiali metallici e ceramici e/o nuovi disegni per parti meccaniche in movimento (camme, fasce elastiche, cuscinetti);
 2. settore automobilistico: studio della possibilità di utilizzare materiali plastici per componenti meccanici, sviluppo di nuove mescole per i pneumatici;
 3. settore medico: sviluppo di nuovi tipi di protesi articolari in materiale plastico;
 4. settore aeronautico: studio di sistemi di movimentazione delle pale per elicotteri, turbine per impiego aeronautico, apparati ausiliari di bordo, per i quali sono necessarie tolleranze estremamente basse;
 5. lavorazioni meccaniche: sviluppo di tecniche di misura in linea dell'usura degli utensili (trafile, utensili da taglio ecc.) per il controllo dello stato e la sostituzione solo se necessario.
- diagnostica industriale: sviluppo di sistemi diagnostici basati sulla velocità d'usura come indice di malfunzionamenti negli accoppiamenti tra organi di macchine in moto relativo.

Un possibile approccio al problema è l'utilizzazione di radionuclidi come strumento di misura submicrometrico dell'usura superficiale di parti meccaniche in movimento, che è un metodo già applicato nel caso di materiali metallici o ceramici. Finora la tecnica utilizzata (Surface Layer Activation, nel seguito SLA) consiste nell'irraggiare con protoni i componenti da analizzare, o meglio

le parti di essi prese in considerazione, in modo da produrre nello strato superficiale isotopi radioattivi; l'usura meccanica viene poi misurata lasciando lavorare su banco i componenti e misurando l'attività presente nel liquido di lubrificazione, oppure l'attività residua sulle parti meccaniche in movimento, nel caso in cui non sia prevista lubrificazione. Il primo metodo viene preferito per il fatto che il liquido di lubrificazione può facilmente essere trasportato fino a un rivelatore ben schermato e ad alta efficienza, che misura l'incremento della attività rimossa, laddove nel secondo metodo il rivelatore misura all'inizio la piena attività e poi la riduzione dell'attività residua. Questo significa che, a parità di altre condizioni, la stessa quantità di attività rimossa nel primo caso è misurata come differenza di piccoli numeri, nel secondo come differenza di grandi numeri, le cui oscillazioni statistiche sono, in termini assoluti, molto più ampie.

I principali difetti della SLA:

la relativamente alta intensità ed energia dei protoni necessarie per attivare il materiale, la qual cosa limita l'applicabilità del metodo a materiali con buona resistenza al danno da particelle ionizzanti (ceramiche e metalli), che possono essere attivati senza subire danni che ne alterino le caratteristiche meccaniche;

l'impossibilità di controllare la distribuzione in profondità dei radionuclidi, che in ultima analisi dipende dalla sezione d'urto di produzione del radionuclide di interesse e dalla perdita di energia del fascio di protoni nel materiale in esame, nonché la difficoltà di attivare selettivamente gli isotopi di interesse. Questo rende necessario delle accurate e relativamente complicate procedure di calibrazione per risalire dall'attività misurata all'usura meccanica del componente studiato;

la difficoltà di compiere studi comparativi di diversi materiali, poiché, a seconda del tipo di materiale preso in considerazione, diversi possono essere i radionuclidi che possono essere prodotti per impiantazione e, per quanto visto al punto 2., diversa la distribuzione in profondità che è possibile ottenere.

Questi problemi sono superati con la tecnica di impiantazione (Radioactive Ion Implantation, nel seguito RII), il cui sviluppo è l'oggetto del progetto di ricerca proposto: in questo caso, infatti, i radionuclidi vengono prima prodotti e in una seconda fase impiantati utilizzando una macchina acceleratrice per raggiungere la profondità voluta. L'impiantazione risolve i problemi più gravi incontrati nel metodo dell'attivazione. I principali vantaggi di questa tecnica sono:

1. drastica riduzione del danno, il che permette l'utilizzazione di questo metodo, in principio, per ogni materiale, senza una sensibile alterazione né della struttura polimerica o cristallina, né delle caratteristiche meccaniche;
 2. possibilità di modulare l'energia di impiantazione in modo da ottenere una distribuzione in profondità controllata, per esempio una distribuzione in profondità uniforme, in modo da avere una diretta proporzionalità tra attività residua (e, ovviamente, quella rimossa) e usura meccanica;
- possibilità di confrontare direttamente diversi materiali, poiché l'impiantazione può essere eseguita con lo stesso radionuclide e la stessa distribuzione in profondità su qualunque materiale indipendentemente dalla sua composizione.

Il ${}^7\text{Be}$ è considerato uno dei

i nuclidi più promettenti per l'impiantazione in quanto si tratta di un nucleo leggero che decade per cattura elettronica al ${}^7\text{Li}$, da cui segue una drastica riduzione del danno subito dal materiale da irraggiare. La probabilità di emissione β^- ($E = 478 \text{ keV}$) durante il decadimento è del 10%. Il suo tempo di dimezzamento ($T_{1/2} = 53 \text{ d}$) lo rendono particolarmente adatto a esperimenti della durata di qualche settimana, senza richiedere l'uso di grandi quantità di materiale radioattivo; questo e soprattutto

il suo modo di decadimento riducono il rischio connesso all'uso di ^7Be , che infatti è inserito nel quarto, cioè l'ultimo, gruppo di radiotossicità (d.l. 17.3.1995 n.230 GU 13 giugno 1995). Per i radionuclidi appartenenti a tale gruppo è fissato un limite di 5 MBq, al di sotto del quale le norme di radioprotezione previste per i materiali radioattivi non si applicano. Per le applicazioni tipiche di questo metodo non è prevista l'impiantazione di una quantità di materiale superiore a questo limite. Analoghe considerazioni valgono per il ^{22}Na , che ha $t_{1/2} = 2.6$ anni.

Per questi motivi è stato proposto di utilizzare tali nuclidi per la tecnica RII [1]: l'attività di ricerca per lo sviluppo di questo metodo è stata condotta utilizzando fasci di ^7Be prodotto per frammentazione di fasci di ioni pesanti su bersaglio sottile. Gli svantaggi principali di questo approccio sono la complessità e gli alti costi della produzione del fascio, che inoltre risulta essere di bassa purezza e intensità, da cui segue che con questo metodo è possibile impi

È possibile ottenere un significativo miglioramento di questa tecnica utilizzando un fascio accelerato da un acceleratore elettrostatico Tandem, che permette di ottenere fasci di ^7Be sostanzialmente privi di contaminanti e di intensità molto maggiori di quelli prodotti per frammentazione. Con questa tecnica è possibile impiantare attività di dell'ordine di 1 MBq e la sua semplicità e flessibilità, legata alla separazione tra il processo di produzione e di accelerazione del ^7Be , la rendono ideale per applicazioni industriali.

È interessante presentare una tabella di materiali con la profondità massima di impiantazione raggiungibile nelle condizioni attuali ($E_{\text{max}}^7\text{Be}=8.0$ MeV) al tandem da TTT3 (3MV) del

Dipartimento di Scienze Fisiche dell'Università di Napoli, che sarà utilizzato per questo progetto di ricerca:

Materiale

Profondità di impiantazione massima (SRIM2000)

Acciaio inossidabile (Cr8Fe74Ni18)

5 m

Teflon (C2F4)

11 m

Mylar (H8C10O4)

14 m

Polipropilene (C2H4)

20 m

Come sarà evidenziato in seguito, in determinati casi sarà possibile effettuare misure su spessori di usura maggiori e/o energie inferiori.

Proposta di esperimento

La proposta di esperimento qui descritta mira allo sviluppo della tecnica e della metodologia di misura dell'usura tramite l'impiantazione di ^7Be e alla sua validazione attraverso prove sperimentali. Sulla base dei risultati conseguiti, che saranno eventualmente protetti da brevetto, sarà possibile prendere contatto con industrie interessate alle applicazioni di questa tecnica.

Le prove verranno condotte su una macchina "Pin-on-Disk", che risulta particolarmente adatta al tipo

di indagine in questione dal momento che il provino, il Pin, del quale misurare l'usura, può avere una forma estremamente semplice e di dimensioni molto ridotte. Ciò consente procedure e modi di impianto dei radionuclidi semplici e versatili.

Come descritto dalla norma ASTM G99-95a, il Pin ha una forma cilindrica di dimensioni molto contenute (tipicamente da 2 a 10 mm di diametro ed altezza non specificata, ma comunemente di qualche centimetro) e viene alloggiato in un semplice portaprovino di forma cilindrica cava. Il provino viene caricato sul "Disk", in rotazione, con il quale verrà a contatto sulla superficie di base realizzando un contatto strisciante. L'usura procede quindi nella direzione dell'altezza del Pin.

Con la tecnica di impiantazione proposta appare possibile una notevole semplificazione delle prove ed una definizione e precisione dei risultati sensibilmente migliore rispetto al metodo di misura convenzionale, cui si è già fatto cenno. Questo vale anche per la misura della velocità d'usura, cioè la legge con cui procede l'usura nel tempo, che, secondo la norma citata, va ricavata "per punti" effettuando tante prove di durata diversa su altrettanti provini simili dei quali al termine delle prove si misura l'usura. Si comprende non solo la lunghezza della procedura, ma anche le insite fonti di errore ed il fatto che comunque la legge temporale d'usura sarà ottenuta per punti a distanza discreta di tempo.

Per ottenere l'usura globale e la velocità d'usura sarà invece possibile eseguire una sola prova su un singolo provino nel quale siano stati impiantati, in maniera uniforme, radionuclidi nei substrati superficiali interessati al fenomeno d'usura. Un rilevatore di radiazione misurerà "in continuo" la riduzione della radioattività, che procede di pari passo con l'asportazione del materiale usurato. La

aniera continua a partire dai primissimi strati superficiali fino agli ultimi e ciò consentirà una informazione dettagliata e quanto mai utile se si considera che proprio la non linearità del fenomeno d'usura caratterizza la bontà tribologica di una superficie e del trattamento termico al quale è stata sottoposta. La misura tempo-continua, mediante cella di carico, del coefficiente d'attrito, contemporanea a quella tempo-continua, mediante rilevazione della radioattività, dell'usura consentirà un giudizio tribologico veramente dettagliato del materiale in esame.

Come già notato, questa tecnica di misura richiede un profilo di impiantazione uniforme: a tal scopo sarà sperimentata una nuova tecnica che prevede la degradazione dell'energia del fascio attraverso un assorbitore gassoso la cui estensione è definita attraverso un sistema di pompaggio differenziale. Tale sistema sarà ottenuto modificando il bersaglio gassoso disponibile presso il dipartimento, utilizzato in precedenza come per lo studio di reazioni di cattura (

) e (p,) in cinematica inversa. L'impiantazione di ^7Be sarà eseguita presso il laboratorio dell'acceleratore Tandem del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II", dove anche sarà sviluppato il sistema per l'assorbitore gas

avrà luogo all'Atomki Research Center di Debrecen (Ungheria), mentre i catodi per la sorgente a sputtering dell'acceleratore saranno prodotti nel laboratorio isotopico della Ruhr-Universität Bochum.

t für Experimentalphysik III, dove opera un gruppo con una notevole esperienza nel campo dell'impiantazione e dell'ottica di ioni, della stessa università sarà disegnata la camera di impiantazione e le unità di scansione del fascio.

Infine presso il Dipartimento di Ingegneria Meccanica per l'Energetica (DIME) dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II" verranno condotte le prove sperimentali per la definizione e la validazione di tecniche e metodologie di misura dell'usura da utilizzare in campo industriale, sia sul campo come mezzo diagnostico, sia nelle prove d'usura standard su macchine specifiche.

Produzione e impiantazione del fascio di ^7Be

Un fascio radioattivo di ^7Be è stato sviluppato nell'ambito dell'esperimento NaBoNA (Napoli Bochum Nu

uclear Astrophysics) per misurare la sezione d'urto della reazione $^7\text{Be}(p,)^8\text{B}$. Una sorgente sputtering

produzione dei catodi contenenti ^7Be per la sorgente di ioni. In entrambi i casi i nuclei di ^7Be sono stati prodotti mediante la reazione $^7\text{Li}(p,n)^7\text{Be}$ ($E_p=10-20$ MeV, $I_p>10$ A). La prima tecnica [2] consisteva nell'irraggiare con un fascio di protoni un catodo di Li_2O , che veniva poi direttamente inserito nella sorgente senza alcun ulteriore trattamento. Questo metodo era più semplice e riduceva drasticamente i problemi di radioprotezione, ma, d'altro canto, poneva gravi problemi per quanto riguardava la stabilità meccanica dei catodi durante l'irraggiamento, dovuti alla difficoltà di dissipare l'alta potenza del fascio (oltre 100 Watt) nel piccolo volume disponibile nei catodi per il Li_2O (un cilindro di 1.5 mm di altezza e 5 mm di diametro). A causa di questi problemi questa tecnica ha avuto un successo solo parziale. Quindi è stata sviluppata una nuova tecnica [3]: i nuclei di ^7Be sono stati prodotti attivando ^7Li in forma metallica (un cilindro di 2.5 mm di altezza e 20 mm di diametro) e successivamente è stato ottenuto un catodo di ^7BeO con metodi chimici. L'assenza di ossigeno nel ^7Li metallico ha permesso di ottenere una densità di nuclei bersaglio molto più alta e quindi, a parità di irraggiamento, una produzione di ^7Be molto più alta rispetto al caso precedente. Inoltre è stato possibile dissipare la potenza del fascio in un volume molto più ampio, risolvendo così i problemi di stabilità meccanica del bersaglio. A partire dal settembre 1999 sono stati prodotti circa 40 GBq di ^7Be in due periodi di attivazione presso il Atomki Research Center (Debrecen-Ungheria), ciascun periodo della durata di due settimane, e il materiale così ottenuto è stato trattato nel laboratorio di radiochimica del Laboratorio Isotopico della Ruhr-Universität Bochum per produrre 4 catodi per la sorgente di ioni di Napoli. La preparazione dei catodi, avvenuta in gruppi di due, ha avuto luogo dopo ogni periodo di attivazione: durante la preparazione dei primi due catodi si è verificata una perdita di circa il 40% del materiale disponibile, mentre la successiva ottimizzazione del procedimento ha ridotto questa frazione a circa il 15% nel corso della preparazione dei secondi 2 catodi. Per la produzione del fascio di ^7Be da 8 MeV il fascio di $^7\text{BeO}^-$ di 23 keV viene iniettato nell'acceleratore Tandem e accelerato con una

tensione al terminale di 2.414 MV. L'interazione con un sottile foglio di carbonio (5 g/cm^2) nel terminale rompe il legame molecolare degli ioni $^7\text{BeO}^-$ e produce ioni atomici positivi di ^7Be , in tutti gli stati di carica possibili: un dipolo magnetico a 90° viene usato per selezionare gli ioni nello stato di carica di interesse al terminale, cioè $^7\text{Be}^{3+}$ ($3+(0.8 \text{ MeV})=15\%$), che possiedono l'energia voluta di 8.0 MeV.

a)

b)

Fig.1 Esperimento NaBoNA: corrente analizzata di $^7\text{Be}^{4+}$ in funzione del tempo per 2 dei 4 catodi prodotti e utilizzati nel corso del 1999.

In realtà, al fine di purificare il fascio di $^7\text{Be}^{3+}$ dalla contaminazione di $^7\text{Li}^{3+}$, dovuta alla presenza nei catodi di resti di ^7Li , estratto poi dalla sorgente sotto forma di $^7\text{LiO}^-$, un sottile foglio di carbonio è stato posto tra acceleratore e magnete al fine di popolare lo stato di carica $4+$ del ^7Be ($4+(8.0 \text{ MeV})=80\%$), inaccessibile al ^7Li . La figura 1a mostra la corrente analizzata di $^7\text{Be}^{4+}$ in funzione del tempo per il catodo di maggiore attività (circa 8 GBq) ottenuto dalla prima preparazione. Il rapporto tra il numero di ioni ottenuto dall'integrazione della corrente analizzata, che rappresenta la quantità di materiale in principio disponibile per l'impiantazione, e il numero totale di nuclei di ^7Be disponibili inizialmente nel catodo è risultato essere di 3.2×10^{-5} . La figura 1b mostra il risultato del catodo di più alta attività ottenuto nella seconda preparazione (ca 11 GBq): in questo caso l'ottimizzazione del procedimento chimico e del disegno del catodo ha portato a un significativo miglioramento del rapporto prima definito, risultato essere pari a 6.7×10^{-5} .

Innanzitutto verrà condotta una serie di misure utilizzando un fascio di ^7Li per valutare il danno provocato a questi materiali in seguito all'impiantazione e per valutare se, ed eventualmente in che misura, è tollerabile una contaminazione di ^7Li nel fascio di ^7Be . Poi sarà pianificato e condotto un test

di impiantazione di ^7Be , sullo stesso materiale, per sviluppare la tecnica necessaria a ottenere profili di impiantazione uniforme utilizzando un assorbitore gassoso. Lo sviluppo di questa tecnica di impiantazione è di per sé interessante, giacché allo stato attuale i profili di impiantazione vengono di impiantazione e/o inserendo una serie di assorbitori solidi: entrambi i metodi non permettono di variare con continuità l'energia del fascio e provocano un notevole aumento dei tempi di impiantazione. Sulla base dei risultati ottenuti saranno condotte misure tribologiche utilizzando circa 20 GBq di ^7Be , cui corrisponde una dose impiantabile di circa 1.3 MBq.

Dal punto di vista della radioprotezione, è prevista l'installazione di un sistema di dosimetri digitali collegati a una centralina di controllo per avere un controllo on line della dose assorbita da ciascun operatore durante le fasi di installazione e rimozione del catodo dalla sorgente, che verranno effettuate utilizzando opportuni manipolatori.

Misure tribologiche

L'apparecchiatura impiegata, del tipo pin-on-disk (schematicamente riportata in Fig. 2), è formata da un'incastellatura sulla quale è disposto un disco in acciaio avente diametro di 600 mm, girevole intorno all'asse verticale con velocità costante. Esso costituisce uno dei provini (l'elemento secondario) del sistema di accoppiamento.

Fig. 2 Macchina pin-on-disk per le misure di tribologia

Sulla faccia superiore del disco viene compresso l'altro provino (elemento principale) di forma cilindrica, con diametro di 10mm, realizzato con il materiale da esaminare. Tale provino, sorretto da idoneo supporto è caricato mediante pesi noti ed è solidale ad un sistema di aste, che, alloggiando in cuscinetti a ricircolazione di sfere possono scorrere in essi.

Il sistema aste-portaprovino, opportunamente fulcrato all'incastellatura della macchina per garantire, durante la prova, il continuo contatto fra gli elementi accoppiati, viene bilanciato, in assenza di carico, mediante un contrappeso.

Due slitte consentono lo spostamento del complesso nella direzione verticale ed in quella radiale, con riferimento al disco in acciaio, rispettivamente per rendere conformanti le superfici del provino e del disco all'inizio di ogni prova e per consentire diverse velocità relative di strisciamento, per ogni di rotazione del disco.

Quest'ultima può essere preselezionata scegliendo opportunamente le ruote che costituiscono la trasmissione a cinghia dentata e mediante la regolazione del motore asincrono grazie ad un inverter.

Una cella di carico, solidale all'incastellatura e vincolata alle aste, contrasta il trascinarsi dei provini indotto dalla forza d'attrito che si genera all'interfaccia, consentendone la misura.

All'interno del provino cilindrico è disposta una termocoppia per il rilievo della temperatura media di lavoro mentre una termocoppia strisciante fornisce il valore della temperatura sulla superficie di contatto disco-provino.

I segnali prelevati dalla cella di carico e dalle termocoppie vengono inviati, opportunamente amplificati, ad idonea strumentazione di rilievo e registrazione. Il dispositivo di carico consente di produrre pressioni specifiche comprese tra 0 e 0.7 MN/m² mentre la velocità angolare del disco, mosso da un motore elettrico di 5.5 CV, può essere scelta nell'intervallo 0.30 - 7.15 m/s.

Il sistema sarà modificato per soddisfare le norme di radioprotezione: l'intero apparato sarà contenuto in una cappa a tenuta ermetica e sarà realizzato un sistema di aspirazione e rimozione delle polveri, la a quella dell'attività residua. Le misure saranno realizzate utilizzando 2 cristalli iperpuri di Germanio opportunamente schermati.

Si prevede di realizzare più provini di materiale diverso, plastici, ceramici, ferrosi. Per questi ultimi si

prevedono trattamenti superficiali di più tipi e più o meno penetranti, allo scopo di indurre durezze diverse e diversamente distribuite negli strati sottosuperficiali.

L'impianto di radionuclidi sarà fatto con flusso ortogonale alla superficie di base del provino sulla quale si realizza il contatto strisciante e quindi nella direzione dell'usura lineare, quando è sufficiente usurare strati dello spessore di pochi micron. Qualora si voglia invece realizzare un'usura lineare flusso ortogonale ad una o più generatrici del Pin andando così ad interessare strati molto profondi rispetto alla superficie originale d'usura.

Tale ultima tecnica sarà certamente utilizzata in una prima fase iniziale di taratura, quando sarà necessario riprodurre una velocità d'usura lineare e consistente perchè possa essere misurata anche con tecnica tradizionale con ottima precisione. Per questo si produrranno provini di diverso materiale, omogeneo per quanto possibile, ed assicurando condizioni di prova non severe. Se i risultati saranno incoraggianti, sarà studiata la possibilità di utilizzare questa tecnica a energie di impiantazione più basse, che permetterebbe, in principio, di utilizzare macchine acceleratrici molto meno costose del tandem (p.e. impiantatori). Altra serie di prove sarà condotta, nelle stesse condizioni, su provini simili ma sottoposti o meno all'impianto di radionuclidi. I risultati comparati delle prove valideranno l'ipotesi di non alterazione delle caratteristiche tribo-meccaniche del materiale da parte dei nuclidi stessi e del loro impianto.

Per quanto riguarda la sensibilità raggiungibile, supponendo di impiantare con una distribuzione uniforme fino alla profondità massima x circa 1 MBq di ^7Be e di misurare l'attività rimossa, è possibile avere una sensibilità migliore di $10^{-2} x$, cioè dell'ordine di 100 nm o meno; un analogo risultato è ottenibile tramite la misura della attività residua sul campione, a condizione di allungare opportunamente i tempi dell'esperimento.

Bibliografia

Wm.C. McHarris et al, Radioactive ion implantation for wear studies, Nucl. Instr. Meth. A352(1994)583

L. Campajola et al, Production of an 8.0 MeV ^7Be beam at the Naples TTT-3 accelerator, Zeitsch. Phys. A356 (1996)107

L. Gialanella et al, Absolute cross section of $p(^7\text{Be}, ^8\text{B})$ using a novel approach, Eur. Phys. J. A 7(2000)303

ASTM Designation:G99 – 95 a – Standard test method for wear testing with a Pin-on-Disk apparatus

R. Benzing I. Goldblatt, V. Hopkins, W. Jaminson, K. Mecklenburg, M. Peterson: Friction and wear devices, ASME, Park Ridge, 1976

GM.G. Gee: Wear testing of advanced materials, ASTM stp 1167, eds. R.DWAKAR & P.J. Blau ASTM 1992

R. Blickensderfer: Design criteria and correction factors for field wear testing. Wear, 1988, 122, 165-182

A. Erdemir: Friction and wear of ceramics, ed. S. jahanmir (Dekker) New York 1994

K. Sato: Material Test Technology, 39 (1 and 2) 1994

D. Dowson, C.M. Taylor: A survey of research on tribology and future priorities. Wear, 1985, 106, 347-358

S.L. Rice, S.F. Wayne: Specimen material reversal in pin-on-disc tribotesting. Wear, 1995, 189, 77-85

F. Sedov: The self-energizing effect in certain pin-disc wear machines. Wear, 1981, 71, 259-262

M. Meozzi: On the influence of kinematics in the performance of the pin-disc machine. Proc. Instn. Mech. Engrs, Vol. 214, Part J, 201-217

A. Ravikiran: Effect of pin specimen contact length in the sliding direction on tribological results of pin

– on- disc tests. Tribology letters, 4 1998

Codice	Esperimento	Gruppo
	NAIMP	5

Struttura
NAPOLI

REFEREES DEL PROGETTO	
Cognome e Nome	Argomento

MILESTONES PROPOSTE PER IL 2001	
Data completamento	Descrizione
03/31/2001	Realizzazione camera di impiantazione
07/31/2001	Completamento e test sistema di rivelazione gamma
11/30/2001	Irraggiamento provini
12/31/2001	Misura usura provini

COMPETITIVITA' INTERNAZIONALE
Il metodo di monitoraggio dell'usura con impiantazione di ioni radioattivi non è stato implementato in nessun paese.

LEADERSHIPS NEL PROGETTO	
Cognome e Nome	Funzioni svolte

Codice	Esperimento	Gruppo
	NAIMP	5

Struttura
NAPOLI

Consuntivo anno 1999/2000

LAUREATI		
Cognome e Nome	Titolo della Tesi	Sbocco professionale
Laurea in		
DOTTORI di RICERCA		
Dott in		
PRESENTAZIONI A CONFERENZE SU INVITO E SEMINARI SIGNIFICATIVI		
Relatore	Titolo	Conferenza o luogo

Codice	Esperimento	Gruppo
	NAIMP	5

Struttura
NAPOLI

Consuntivo anno 1999/2000

SIGNIFICATIVE VARIAZIONI DI BILANCIO

Capitolo	Variazione (ML)	Motivazione
Missioni Interne	_____	
Missioni Estere	_____	
Consumo	_____	
Trasporti e Facchinaggio	_____	
Spese Calcolo	_____	
Affitti e Manutenzioni	_____	
Materiale Inventariabile	_____	
Costruzione Apparati	_____	
Totale storni	_____	

CONFERENZE, WORKSHOP e SCUOLE ORGANIZZATE in ITALIA

Data	Titolo	Luogo

SIGNIFICATIVE COMMESSE E RELATIVO IMPORTO

ANAGRAFICA FORNITORE	DESCRIZIONE PRODOTTO O COMMESSA	IMPORTO (ML)

Codice	Esperimento	Gruppo
	NAIMP	5

Struttura
NAPOLI

Consuntivo anno 1999/2000

MILESTONES RAGGIUNTE	
Data completamento	Descrizione
Commento al conseguimento delle milestones	

SVILUPPO DI STRUMENTAZIONE INNOVATIVA

Ricadute su altri gruppi, sul sistema industriale e su altre discipline

Codice	Esperimento	Gruppo
	NAIMP	5

Struttura
NAPOLI

Elenco delle pubblicazioni anno 1999/2000

Esperimento

gruppo

Rappresentante nazionale

Struttura res. naz

nuovo continua

NAIMP

5

Filippo Terrasi

Napoli

nuovo

STR.	ESPERIM.	Missioni interno	Inviti ospiti stran.	Missioni estero	Mater. di Cons.	Spes Sem	Tras. e Fac.	Pub. Scien.	Spese Calc	Aff. e Manut. App.	Mater. invent.	Costruz. apparati	TOTALE
NAPOLI	Personale												
	Ricercatori	7,0	Tecnologi			Tecnici			Servizi mesi uomo				
	FTE	1,3	FTE			FTE							
	Rapporti (FTE/numero) Ricercatori				0,19				Ricercatori+Tecnologi				0,19
	NAIMP	5		21	22						86		134
	di cui sj												
	Totali	5		21	22						86		134
	di cui sj												
Richieste/(FTE ricercatori+tecnologi)				103,08									
TOTALI													
Totali	5		21	22						86		134	
di cui sj													
Confronto con il modello EC4													
Mod. EC4 dati													
Totale-Dati EC4	5,0		21,0	22,0						86,0		134,0	
Personale													
Ricercatori	7,0	Tecnologi			Tecnici			Servizi mesi uomo					
FTE	1,3	FTE			FTE								
Rapporti (FTE/numero) Ricercatori				0,19				Ricercatori+Tecnologi				0,19	
Richieste/(FTE ricercatori+tecnologi)				103,08									