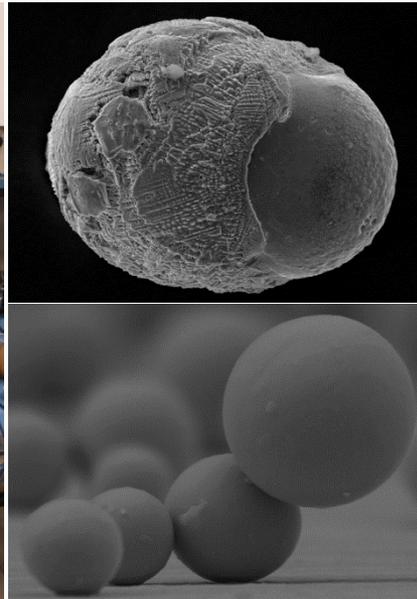
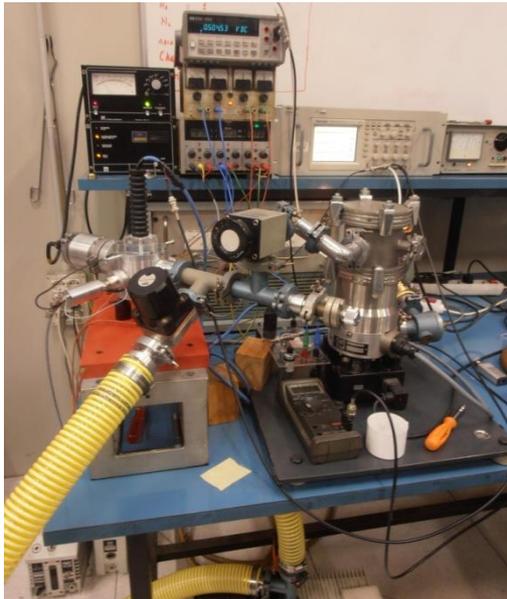




Consiglio Nazionale delle Ricerche

Istituto di Chimica della Materia Condensata e di Tecnologie per l'Energia

(sede di Milano)



***Polveri in impianti per fusione:
Caraterizzazione, Mobilizzazione,
Adesione***

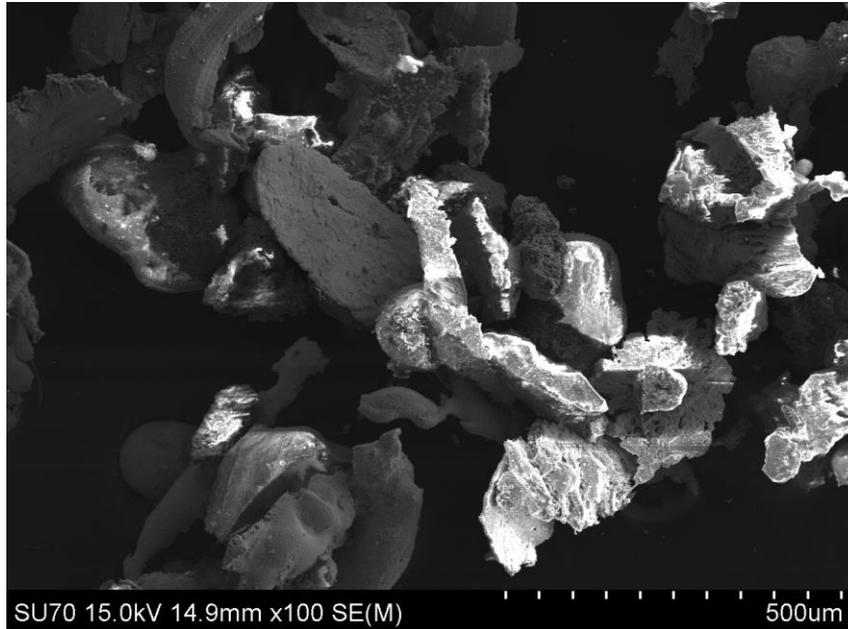
Dario Ripamonti

I tokamak sono impianti che utilizzano campi magnetici per confinare un plasma all'interno di un toroide al fine di produrre energia tramite processi di fusione termonucleare.

Le pareti esposte al plasma (PFCs, Plasma Facing Components) sono soggette a erosione e le polveri prodotte possono inquinare il plasma, riducendone l'efficienza e causando problemi di sicurezza.

ICMATE collabora con l'Istituto per la Scienza e Tecnologia dei Plasmi (ISTP, ex-IFP) nell'ambito del programma Plasma Facing Components di EUROfusion)

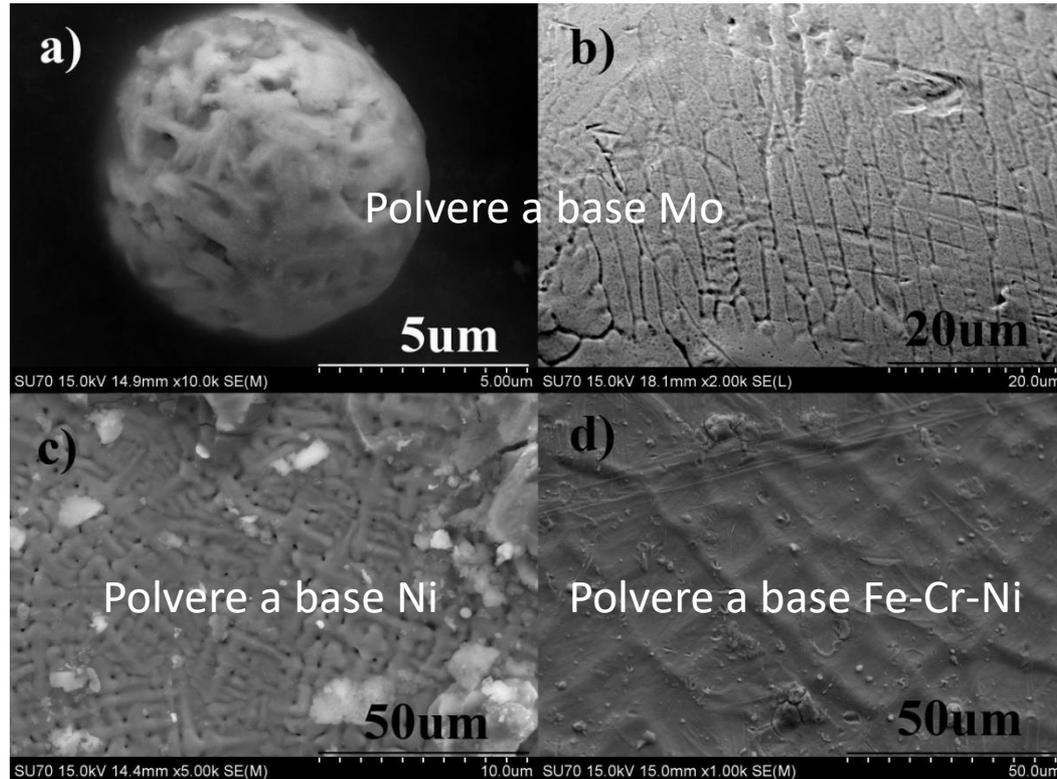
Polveri raccolte in FTU (Frascati Tokamak Upgrade)



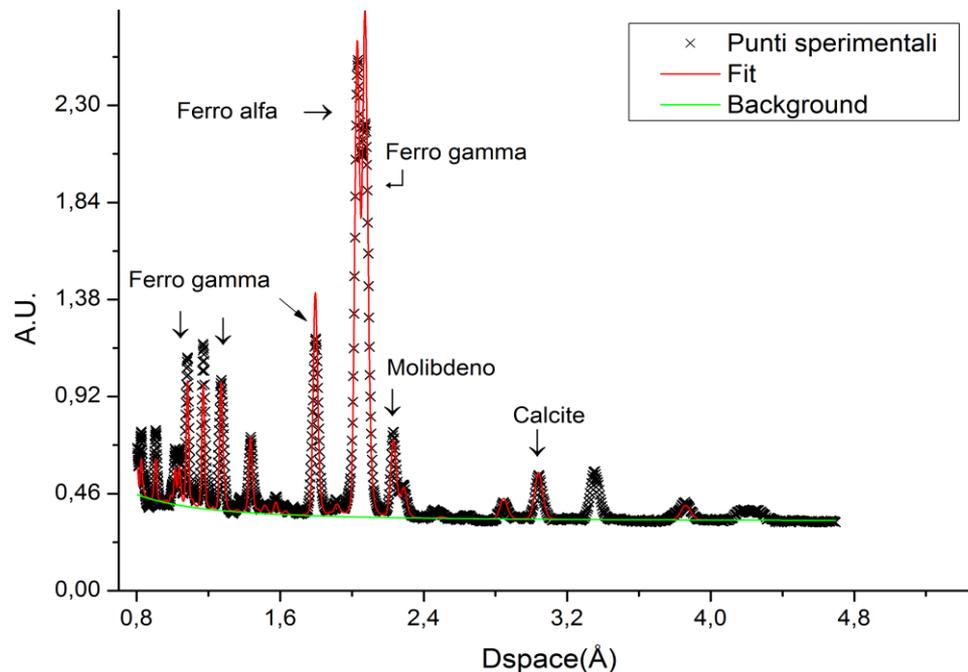
Le polveri hanno una composizione simile a quella dei materiali usati per i PFCs (acciaio AISI 304LN, lega di Mo TMZ, Inconel 625)

Forme e dimensioni dipendono dalle condizioni in cui si sono formate le polveri

Polveri raccolte in FTU (Frascati Tokamak Upgrade)



Polveri raccolte in FTU (Frascati Tokamak Upgrade)



Analisi ND mostrano la presenza di polveri magnetiche, anche se i materiali per PFC non sono magnetici.

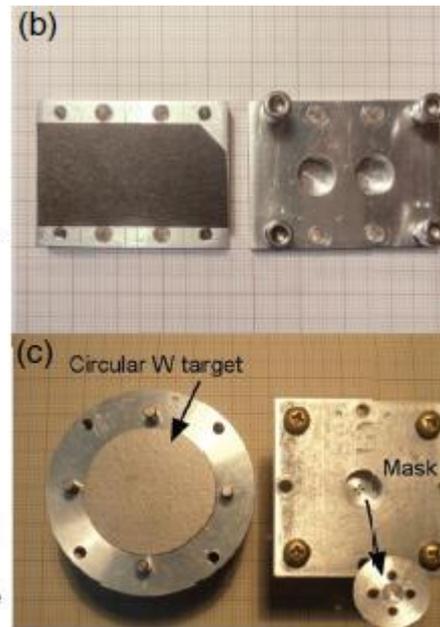
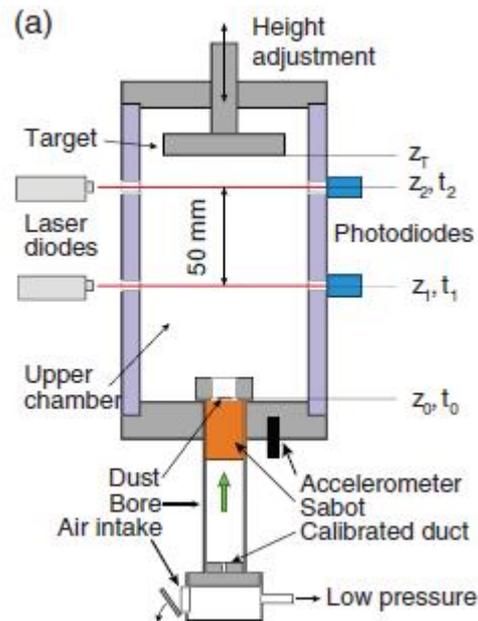
Ciò avviene a causa delle condizioni di solidificazione. Polveri magnetiche hanno maggiori possibilità di interagire con i campi all'interno del reattore e quindi di inquinare il plasma

M. De Angeli et al., Nucl. Fusion 55 (2015), 123005

Mobilizzazione delle polveri metalliche /1

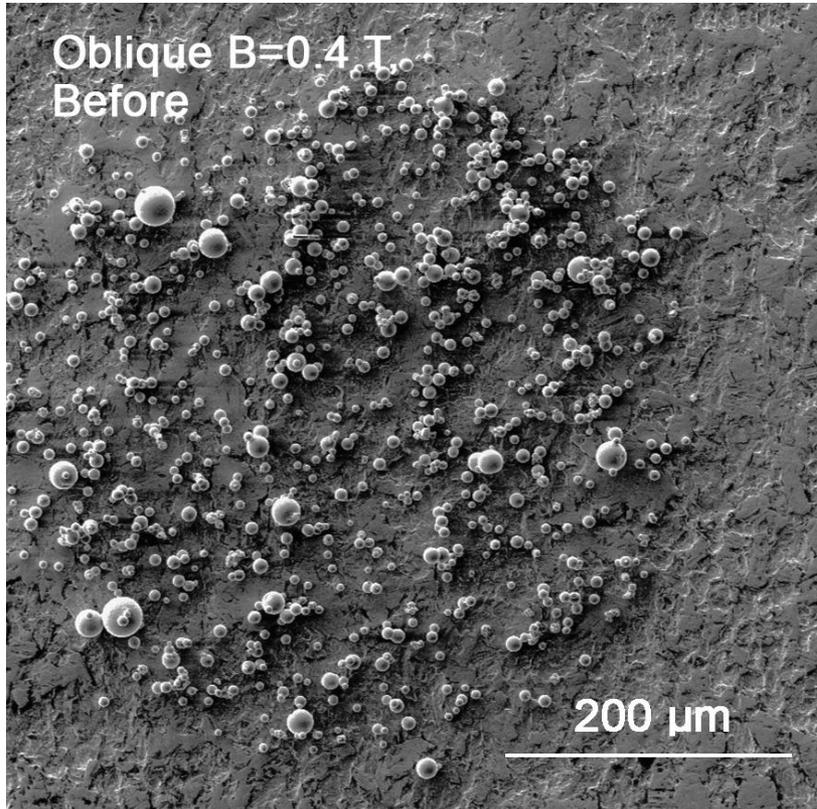
Accertata la presenza delle polveri occorre capire se, una volta depositate, possano essere nuovamente mobilizzate. A tal fine, campioni su cui sono state depositate polveri di W in condizioni controllate sono stati esposti a varie condizioni di plasma.

Schema del sistema di deposizione delle polveri



Esempi di substrati su cui sono depositate le polveri

L'effetto del plasma è stato valutato documentando i campioni prima e dopo l'esposizione.

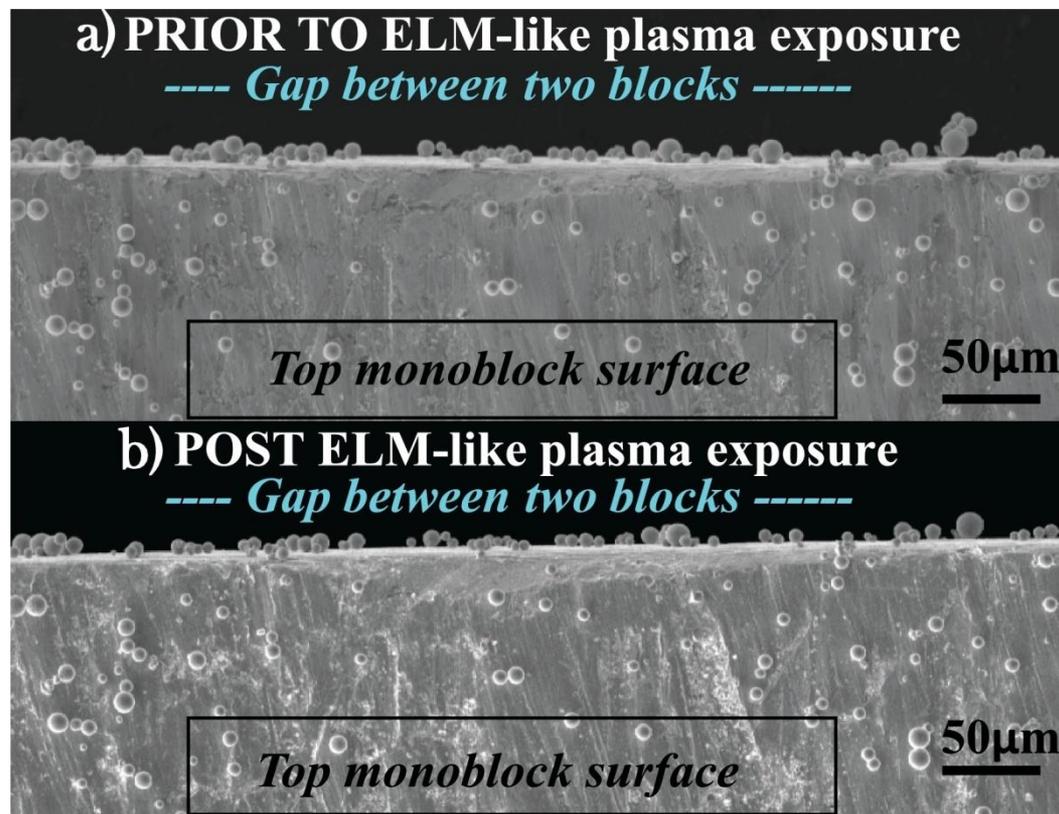


Immagini SEM di uno spot di polveri di W depositate su un substrato di W prima e dopo esposizioni multiple a plasma

P. Talias et al., Plasma Phys. Contr. F., 58 (2016), 025009

Mobilizzazione delle polveri metalliche /3

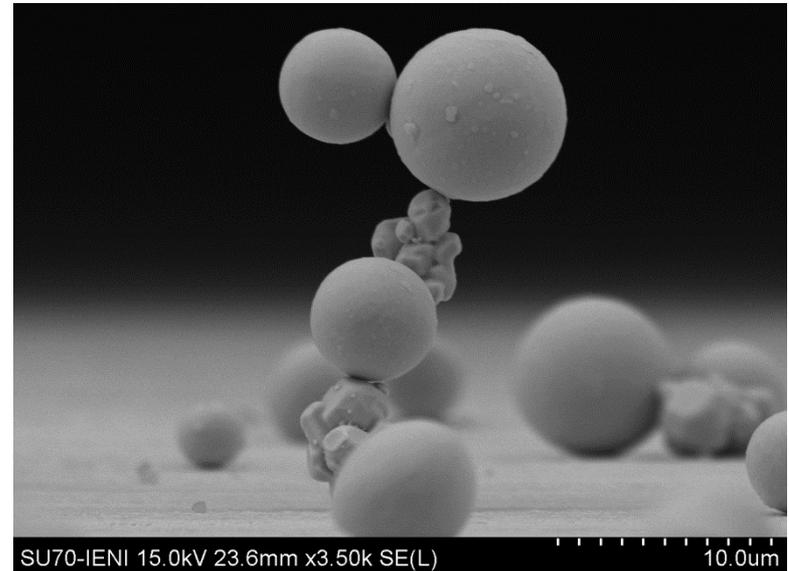
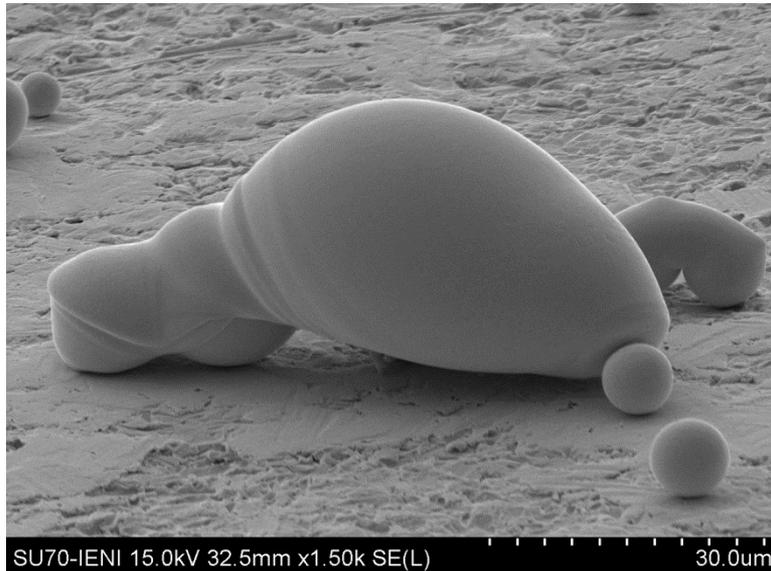
Sono stati valutati anche campioni “merlati” per valutare il comportamento delle polveri in eventuali interstizi



M. De Angeli et al., Nucl. Mat. En., 12 (2017), 536

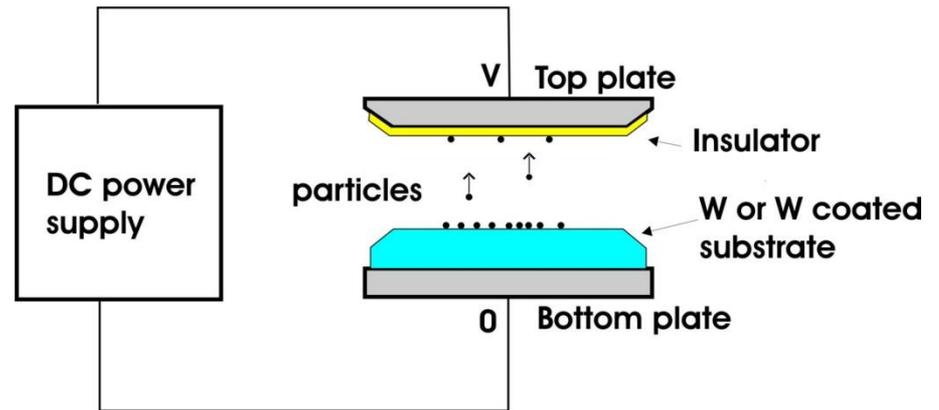
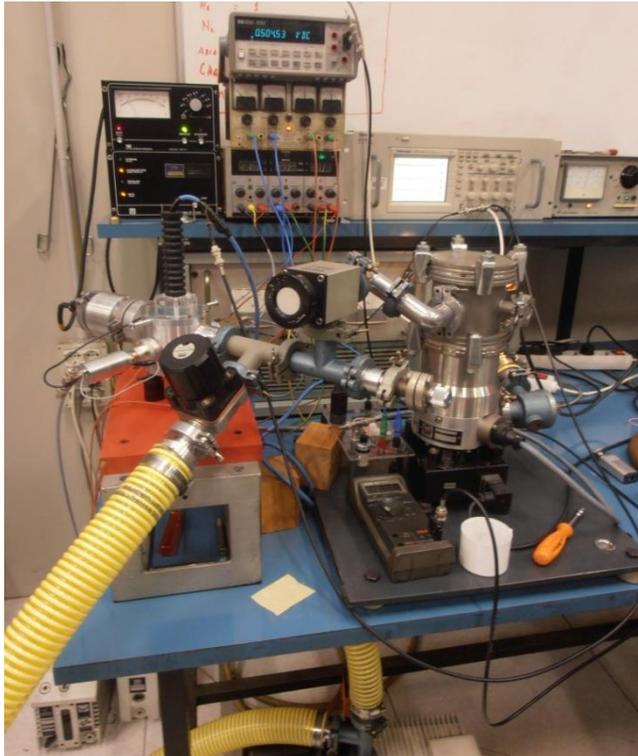
Mobilizzazione delle polveri metalliche /3

Stimare da questo genere di esperimenti le forze di adesione è complesso a causa dei molti parametri in gioco (rugosità superficiale, effettiva estensione della superficie di contatto, eventuali fusioni/microfusioni, agglomerazione).



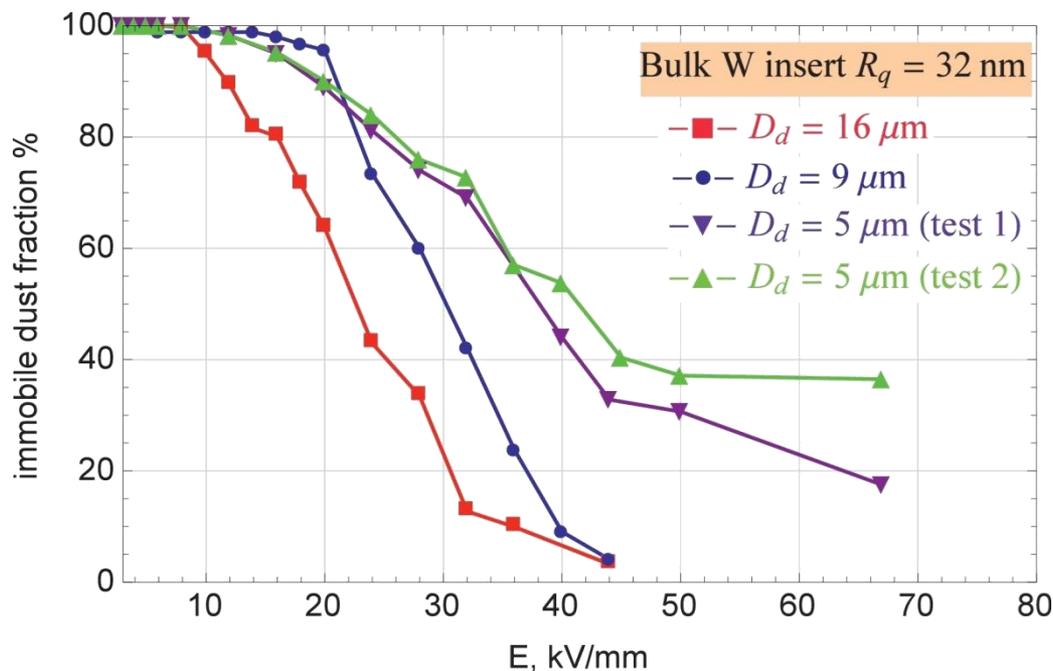
Misura delle forze di adesione /1

Quantificare le forze di adesione è necessario per sviluppare tecniche di rimozione delle polveri *in situ* nei reattori. È stata predisposta questa strumentazione.



Misura delle forze di adesione /2

Le particelle depositate su elettrodi vengono sottoposte a campi elettrici crescenti e tramite analisi di immagine si contano le particelle che vengono asportate



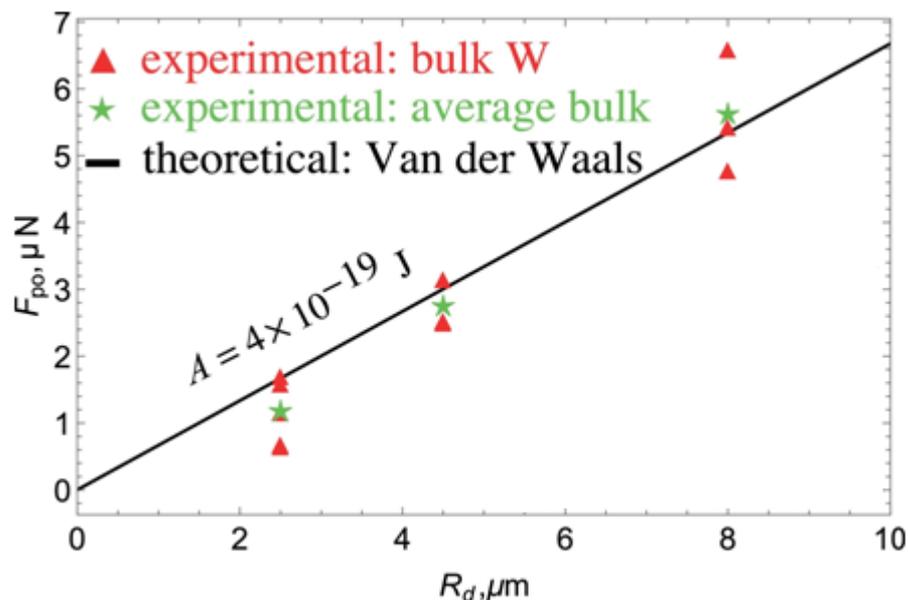
G. Riva et al., Nucl. Mat. En., 12 (2017), 593-598

Misura delle forze di adesione /3

La forza necessaria per strappare una particella sferica (*pull off force*) vale

$$F_e = kE^2d^2$$

Per calcolare la forza media occorre procedere a un'analisi statistica della distribuzione.



I dati mostrano come le forze di adesione siano ben descritte da un approccio alla Van der Waals, mentre modelli basati sulla meccanica del contatto tendono a sovrastimarle grandemente.

- Lo studio del comportamento delle polveri all'interno dei tokamak è necessario per ragioni di efficienza e di sicurezza.
- Sono state caratterizzate polveri raccolti all'interno di impianti pilota.
- È stata valutata la mobilizzazione di polveri depositate su campioni esposti a diverse condizioni di plasma.
- È stato sviluppato un sistema di misurazione delle forze di adesione