

Allegato 6

**SUP&RMAN – Superfici & Ricoprimenti per la Meccanica
Avanzata e la Nanomeccanica**

Target Settoriale: Meccanica Avanzata e Nanomeccanica

Indice

Strutture	3
Struttura 1: INFM - National Research Center on nanoStructures and bioSystems at Surfaces (S ³).	4
Struttura 2: Dipartimento di Fisica (UNIMORE)	25
Struttura 3: DIMeC - Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile (UNIMORE).....	36
Struttura 4: DIMA - Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e dell’Ambiente (UNIMORE).....	45
Struttura 5: Dipartimento di Fisica (UNIFE).....	64
Struttura 6: ISMN (CNR) - Sezione Bologna	72
Struttura 7: Democenter e CSM – Centro Sviluppo Materiali.....	78
Struttura 8: CINECA	85

Strutture

INFN - National Research Center on nanoStructures and bioSystems at Surfaces (S³)

Università di Modena e Reggio Emilia

Dipartimento di Fisica

DIMEC - Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile

DIMA - Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e dell'Ambiente

Università di Ferrara

Dipartimento di Fisica

CNR - Area di Ricerca di Bologna

ISMN - Istituto per lo Studio di Materiali Nanostrutturati – sezione di Bologna

Democenter

CINECA

Struttura 1: INFM - National Research Center on nanoStructures and bioSystems at Surfaces (S³)

INFM - National Research Center on nanoStructures and bioSystems at Surfaces (S³)

Sito web: <http://www.s3.infm.it>

Indirizzo: Via Campi 213/a – 41100, Modena

Tel. 059 2055282

Direttore: Prof. Elisa Molinari

secretary e-mail: montauto.stefania@s3.infm.it

Attività

Il centro INFM-S3 svolge attività di studio delle proprietà e della caratterizzazione delle superfici dei materiali, affrontando le seguenti tematiche:

TEMA 1 - Strutturazione nano/micrometrica e macroscopica di superfici

TEMA 2 - Deposizione e caratterizzazione di ricoprimenti superficiali inorganici ed organici: sviluppo di metodologie, processi, modellistica e strumentazione (in particolare sorgenti)

TEMA 3 - Studio della tribologia a livello microscopico, connessione col livello macroscopico

TEMA 4 - Studio della interazione di fasci di particelle con le superfici solide; trattamenti e modifiche controllate di superfici mediante ioni ed elettroni

Laboratori/strumentazioni già disponibili presso la struttura inerenti la tematica

- ◆ **Laboratori di scienza delle superfici.** Sono disponibili 2 laboratori di tecniche superficiali, equipaggiati con sistemi di preparazione di analisi multitecnica. I sistemi di analisi sono: XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy), UPS (Ultra-violet Photoelectron Spectroscopy), AED (Auger Electron Diffraction), XPD (X-ray Photoelectron Diffraction), HREELS (High Resolution Electron Energy Loss Spectroscopy), scanning AES (Auger Electron Spectroscopy), LEED (Low Energy Electron Diffraction), STM (Scanning Tunneling Microscopy) e AFM (Atomic Force Microscopy) a temperatura variabile, ESCA (Electron Spectroscopy for Chemical Analysis) ad alta risoluzione. I sistemi di preparazione sono: cannoni ionici per sputtering e deposizione, celle MBE (Molecular Beam Epitaxy), deposizione assistita, celle a bombardamento elettronico, sorgente di clusters
- ◆ **Laboratorio TEM (Transmission Electron Microscopy).** Microscopio elettronico in trasmissione della JEOL USA Inc. mod. 2011 EFTEM (Energy Filtered Transmission Electron Microscopy) (200 kV), con tilt, alta risoluzione spaziale, *electron energy loss* spettrometro, unità digitale EDX (Energy Dispersive X-ray) per analisi composizionali e dispositivi per la preparazione dei campioni da analizzare. Lo strumento è messo a disposizione dal Centro Interdipartimentale grandi Strumenti della Università di Modena e Reggio Emilia
- ◆ **Laboratorio nano-bio.** Questo laboratorio è equipaggiato con STM e AFM per misure in aria, in atmosfera controllata, umidità controllata, celle per liquidi e celle elettrochimiche. AFM è accoppiato con un microscopio ottico. Il laboratorio è dotato inoltre di: apparato elettrochimico per misure LV e CV; evaporatori di metalli, microgravimetro per misure in aria e in ambiente liquido, spettroscopia FTIR-ATR
- ◆ **Laboratorio FIB (Sistema Focused Ion Beam).** È una macchina della FEI Company, modello StrataTM DB 235, a due fasci che combina una colonna FIB di alta risoluzione con sorgente di gallio liquido ed una colonna SEM (Scanning Electron Microscopy) equipaggiata con sorgente di elettroni Schottky Field Emission. FIB offre la possibilità di scolpire o patternare nano-strutture su differenti materiali con risoluzione spaziale fino a 20 nm
- ◆ **Sistema per deposizione di materiali organici da soluzioni liquide in atmosfera non reattiva**
- ◆ **Sistema per deposizione attraverso maschera.** È un dispositivo per la preparazione di strutture superficiali micro-nanometriche di grande regolarità mediante deposizione di metalli attraverso maschere

Tematica 1: Strutturazione nano/micrometrica e macroscopica di superfici

Descrizione

La studio di questa tematica ha la finalità di indagare la preparazione di superfici strutturate su scala nanometrica e micrometrica (sia come dimensioni laterali che come dimensioni verticali dei patterning) e di superfici strutturate su scala significativamente macroscopica (> 10 micrometri), nella forma sia di arrays bidimensionali di elementi zero-dimensionali (dots e antidots) di diversa forma dimensioni e separazione, sia di elementi uni-dimensionali (fili) di diversa sezione, dimensione e separazione. La strutturazione delle superfici è orientata al controllo di rilevanti proprietà meccaniche, come il coefficiente di attrito statico e dinamico, la resistenza alla usura, la durezza, l'adesione, il rilascio di particelle, così come al controllo di proprietà non strettamente meccaniche ma di rilevante interesse in sistemi meccanici (biocompatibilità, idrofobicità, ecc.). Connesso alla strutturazione di superfici e coatings è il tema dell'attrito anisotropo, cioè la possibilità di vincolare i movimenti relativi di due superfici solide introducendo una marcata anisotropia nei coefficienti di attrito. La strutturazione può riguardare la superficie di materiali massivi oppure strati o multistrati spessi di materiali depositati sulla superficie di materiali massivi.

Filoni di ricerca in atto e da sviluppare nel futuro inerenti la tipologia/tematica

I principali filoni di ricerca in cui INFM-S3 risulta essere impegnato relativamente alla tematica della strutturazione nano/micrometrica e macroscopica di superfici sono descritti di seguito.

- ◆ Strutturazione della superficie di materiali massivi utilizzando tecniche top-down con asportazione spazialmente selettiva di materiale
- ◆ Strutturazione di strati o multistrati spessi di materiali depositati sulla superficie di materiali massivi, utilizzando sia tecniche top-down con erosione spazialmente selettiva del film pre-depositato, sia tecniche bottom-up con deposizione spazialmente selettiva di singoli strati o multistrati. Su superfici e ricoprimenti di materia *hard* si utilizzano ambedue le modalità di strutturazione (top-down e bottom-up), mentre per strutturazione di materia *soft* (organico) si utilizza la sola modalità bottom-up
- ◆ Utilizzo della assistenza di *probes* esterni (fasci di ioni, fotoni od elettroni) o delle proprietà di autoassemblaggio dei materiali depositati
- ◆ Pre-strutturazione del substrato¹

¹ Un importante ruolo della strutturazione superficiale è, infatti, quello di "guidare" la successiva crescita di ulteriori strati sulla superficie.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ S. Valeri and A. di Bona, "Modulated Electron Emission for structural characterization of buried layers and interfaces", *Progress in Surface Science* 59, 91 (1998)
- ◆ S. D'Addato, C. Binns, and P. Finetti, "Surface Extended X-Ray Absorption Fine Structure Investigation of Fe Islands Grown on C(2×2)N/Cu(100) Surface", *Surface Science* 442, 74-80 (1999)
- ◆ A. Borghi, A. di Bona, P. Luches, S. Valeri, "Structural characterisation of Fe layers on Co(11-20)", *Surf. Sci.* 466, 30 (2000)
- ◆ S. Valeri, C. Giovanardi, A. Borghi, A. di Bona, P. Luches, "Breakdown of the bi-dimensional symmetry in *bct* Fe layers by epitaxy on Co(11-20) surface", *Appl. Surf. Sci.* 175-176, 123 (2001)
- ◆ P. Finetti, V.R. Dhanak, C. Binns, K.W. Edmonds, S.H. Baker, and S. D'Addato, "Structural and Magnetic Properties of Self-Assembled Nanoscale Fe Islands on Cu(100)", *J. of Electr. Spectr. and Rel. Phen.* 114-116, 251 (2001)
- ◆ S. Valeri, S. Altieri, A. di Bona, P. Luches, C. Giovanardi, T. S. Moia, A. Rota, "Thickness dependent strain in epitaxial MgO layers on Ag(001)", *Surf. Sci.* 507-510, 311 (2002)
- ◆ S. Valeri, S. Altieri, U. del Pennino, A. di Bona, P. Luches, A. Rota., "Scanning tunneling microscopy of MgO ultrathin films on Ag(001)", *Phys. Rev. B* 65, 245410 (2002)
- ◆ Carlo Lamberti, Elena Groppo, Carmelo Prestipino, Silvia Casassa, Anna Maria Ferrari, Cesare Pisani, Chiara Giovanardi, Paola Luches, Sergio Valeri, Federico Boscherini, "Oxide/metal interface distance and epitaxial strain in the NiO/Ag(001) system" *Phys. Rev. Lett.* in press
- ◆ A.Alessandrini, G. Valdrè, B. Morten, M. Prudenziati, "Electric force microscopy investigation of the microstructure of thick film resistors" *J. Appl. Phys.*, (2002), 92, pp. 4705-4711
- ◆ P.Facci, D.Alliata, L.Andolfi, B.Schnyder, R.Koetz, "Formation and Characterization of Monolayers of Metalloproteins onto Oxygen Exposing Surfaces by Multiple Step Self-Assembly", *Surf. Sci.* 504c, 282 (2002)
- ◆ R. Zivieri, G. Santoro, and V. Bortolani, "Premelting of the Al(110) Surface From a Local Perspective", *Phys. Rev. B* 62, 9985-9988 (2000)
- ◆ M.C. Righi, C.A. Pignedoli, G. Borghi, R. Di Felice, C.M. Bertoni and A. Catellani, "Surface-induced stacking transition at SiC(0001)", *Physical Review B* 66, 045320 (2002)
- ◆ M.C. Righi, C. A. Pignedoli, R. Di Felice, C.M. Bertoni and A. Catellani, "Ab initio simulation of homoepitaxial SiC Growth", submitted for publication (2003)
- ◆ C.M. Bretoni and R. Di Felice, "Basic Principles of Surface Science", *Surf. Review and Letters*, 2, 817 (1995)
- ◆ R. Di Felice, A.I. Shkrebtii, F. Finocchi, C.M. Bertoni, and G. Onida, "Surface vibration at clean and hydrogenated GaAs(110) from ab-initio molecular dynamics" *Journal of Electron Spectroscopy*, 64/65, 697-706 (1993)

- ◆ A. Calzolari, R. Di Felice, E. Molinari, and A. Garbesi, "G-Quartet Biomolecular NanoWires", Applied Physics Letters. 80, 3331 (2002)

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ FEI-Italia: processi e metodologie per implementare significativamente la velocità di erosione del fascio ionico in apparati FIB
- ◆ Università di Ferrara, Università di Perugia, Università di Firenze: creazione di strutture nano-micrometriche mediante erosione ionica in film e multistrati di interesse magnetico
- ◆ CNRS-Marsiglia, CEA-Grenoble, Università Paris VI, Università di Ulm (Ge): microstrutturazione di superfici di ossidi
- ◆ CNR di Pisa: auto-organizzazione di nanostrutture metalliche sulla superficie di ossidi
- ◆ Università di Genova: studio delle modifiche morfologico-strutturali di superfici, indotte da bombardamento mediante fasci ionici in condizioni controllate
- ◆ Karolinska Institutet, Università di Barcellona, NIDA-NIH: strutturazione di substrati inorganici per deposizione di coatings organici
- ◆ Jujitsu Europe Lab, Walter Schottky Institute-TUM, LPN-CNRS, Università di Princeton: biosensori micro-elettro-meccanici

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Cofin97, "Dalle superfici ideali a quelle reali: struttura, dinamica, transizioni ed interazioni alle superfici ed interfacce dei materiali": questo progetto includeva uno studio delle modifiche composizionali-strutturali di superfici mediante ioni
- ◆ Progetti di Ricerca Applicata di Ateneo 1999: studio della crescita di film e multistrati di metalli e loro ossidi per Arcotronics S.p.A.
- ◆ Progetto di Ricerca Industriale 2002/2003: materiali e trattamenti superficiali negli alimentatori automatici per prodotti farmaceutici
- ◆ FIRB 2002: "Microsistemi basati su nuovi materiali magnetici strutturati su scala nanoscopica"
- ◆ FIRB 2002: "Correlazione in sistemi 1D di metalli 3D autoassemblati su superfici vicinali di ossidi"
- ◆ FIRB 2002 NOMADE: nanobio elettronica molecolare
- ◆ STREP FP6 "Prosens" Matrici di MEMS su SOI per rivelazione integrata di reazioni biochimiche

- ◆ STREP FP6 "GSOMEN" strutturazione della superficie di metalli e ossidi per successive crescite di film "guidate" dal substrato
- ◆ Cofin 2003: Crescita epitassiale e studio di nanostrutture magnetiche confinate lateralmente, modellate mediante fascio ionico focalizzato

Sfruttamento dei risultati

Alcune applicazioni possibili

Lo sfruttamento delle conoscenze prodotte dallo studio della strutturazione nano/micrometrica e macroscopica delle superfici permette di ottenere i seguenti risultati: aumento della capacità di carico, elevata durezza, elevata tenacità, riduzione degli stress, diminuzione dell'uso di lubrificanti liquidi, riduzione dell'usura a fatica, aumento dell'adesione di coatings superficiali, della resistenza all'abrasione e abbassamento del coefficiente di attrito di guarnizioni, ghiere, segmenti di pistoni, cilindro/pistone, utensili, "sistemi mobili in contatto". Dunque, le applicazioni che possono generarsi da questa ricerca riguardano i seguenti aspetti funzionali:

- ◆ nella tecnologia degli utensili: la micro-texturing superficiale allunga la vita media di un utensile;
- ◆ nelle parti meccaniche in movimento reciproco: attrito ed usura sono efficacemente ridotti mediante intrappolamento dei lubrificanti nelle microstrutture superficiali;
- ◆ nel direzionamento dei flussi di fluidi: questa applicazione interessa: a) liquidi che scorrono in un condotto (facilitando l'incanalamento verso specifiche direzioni); b) lubrificante all'interfaccia tra superfici solide in movimento (attrito anisotropo); c) aria su superfici esterne (aerodinamicità delle superfici);
- ◆ nella riduzione dell'attrito anisotropo: direzioni preferenziali, di movimento relativo, di parti meccaniche a contatto (guide virtuali);
- ◆ nell'adesione di ulteriori strati da depositare su parti meccaniche (vernici, strati protettivi, biocompatibili, ecc.);
- ◆ nella capacità di dotare le superfici di specifiche e controllate proprietà magnetiche.

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Industria biomedicale
- ◆ Aerospaziale
- ◆ Meccanica
- ◆ Autotrasporti
- ◆ Movimento terra
- ◆ Oleodinamica

- ◆ Turbine a gas
- ◆ Utensilerie
- ◆ Computer hardware

I principali rapporti realmente operativi con aziende della regione inerenti la tipologia/tematica

- ◆ PARTENA S.p.A.: Materiali e trattamenti superficiali negli alimentatori automatici per prodotti farmaceutici: rilascio di particelle, scorrevolezza, aderenza alle normative F.D.A. Il progetto include la preparazione, caratterizzazione e test di scorrevolezza e rilascio per coatings innovativi di differente micro e macro rugosità su piastre di caricamento in alluminio
- ◆ Gapedue Srl (MO): Applicazione di rivestimenti superficiali resistenti all'usura e a basso coefficiente di attrito per stampi per ceramica
- ◆ OCS Srl (MO): Coating a basso coefficiente di attrito e resistente all'usura per "distributori oleodinamici"

I possibili link per informazioni

- ◆ <http://www.s3.infm.it/>
- ◆ [http://www.star-lab.net. \)](http://www.star-lab.net.))
- ◆ <http://www.sesamo.unimo.it>
- ◆ <http://www.biophysics.unimo.it>

Tematica 2: Deposizione e caratterizzazione di ricoprimenti superficiali inorganici ed organici: sviluppo di metodologie, processi, modellistica e strumentazione (in particolare sorgenti)

Descrizione

La finalità dello sviluppo di questa tematica di ricerca è connessa alla realizzazione di ricoprimenti superficiali in un ampio intervallo di spessori (dal singolo strato atomico alle centinaia di micrometri) per una vasta gamma di materiali organici e inorganici (sia come ricoprimento che come substrato) orientati a molteplici funzionalità. L'attività è intesa a conoscere e controllare rilevanti proprietà meccanico-strutturali dei ricoprimenti in funzione del loro spessore (transizioni di fase cristallina, *strain* e stress, formazione di domini, reattività e quindi resistenza alla corrosione, proprietà magnetiche, ecc.), e a conoscere e controllare proprietà meccaniche (attrito, durezza, ecc.) in dipendenza dai materiali, dalle modalità di preparazione e dalle condizioni in cui operano. La preparazione dei ricoprimenti viene effettuata mediante diversi metodi, dalla deposizione mediante *sputtering*, alla deposizione termica (assistita o meno con ioni), alla laser ablation, alla deposizione da soluzione.

In aggiunta, la ricerca si allarga anche al campo dei ricoprimenti organici (es: molecole organiche su silicio), data la loro importanza strategica in vista di una loro potenziale utilizzazione per il controllo della tribologia interfacciale.

Assai rilevante è poi l'attività teorico computazionale che, in stretta connessione con l'attività sperimentale, supporta operativamente la modellizzazione delle proprietà e dei processi che interessano i ricoprimenti superficiali. Tale modellizzazione si svolge a più livelli:

- 1) a livello atomistico si possono descrivere pochi piani atomici cristallini e i legami chimici che si formano in termini di studio diretto delle energie totali e delle forze interatomiche, basandosi sulla descrizione quantistica degli elettroni di valenza, determinando le strutture stabili e simulando l'evoluzione sulla scala dei processi atomici (fino a un migliaio di atomi);
- 2) a livello di più grande scala, l'interazione tra gli atomi è descritta in termini di potenziali efficaci interparticella, modellizzati sui risultati della descrizione atomistica, che permette di descrivere simulazioni fino a milioni di atomi;
- 3) espandendo ulteriormente la scala spaziale e temporale ai metodi del continuo e ai metodi statistici (Monte Carlo), è possibile effettuare modellazioni già significative per i componenti macroscopici.

Filoni di ricerca in atto e da sviluppare nel futuro inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Sviluppo di strumentazioni e metodi di analisi dei ricoprimenti, dalla diffrazione degli elettroni energetici per lo studio strutturale di interfacce "sepolte", alla misura di proprietà

meccaniche a livello microscopico, a metodi di indagine ad elettroni che siano applicabili a ricoprimenti isolanti

- ◆ Sistemi di deposizione multipli (es: PVD alternato a CVD), di elevata resa, a bassa temperatura
- ◆ Realizzazione di ricoprimenti ultrasottili (con conseguente criticità per la continuità e uniformità degli spessori), ovvero ricoprimenti che seguano nei dettagli (fino al nanometro) la morfologia del substrato
- ◆ Trasferimento sul coating di funzionalità proprie dei nano-oggetti
- ◆ Determinazione dei parametri di controllo della nucleazione e crescita di film sottili

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ S. Valeri and A. di Bona, "Modulated Electron Emission for structural characterization of buried layers and interfaces", *Progress in Surface Science* 59, 91 (1998)
- ◆ Gian Carlo Gazzadi and Sergio Valeri, "In-depth structural characterisation of the *bct-hcp* phase transition in Co epitaxial films", *Europhysics Letters*, 45, 501 (1999)
- ◆ S. Valeri, P. Paradisi, P. Luches and A. di Bona, "Growth and morphology of Te films on Mo", *Thin Solid Films* 352, 114 (1999).
- ◆ A. Borghi, A. di Bona, P. Luches, S. Valeri, "Structural characterisation of Fe layers on Co(11-20)", *Surf. Sci.* 466, 30 (2000)
- ◆ I. I. Pronin, D. A. Valdaitsev, N. S. Faradzhev, M. V. Gomoyunova, P. Luches, S. Valeri, "Imaging of the structure of ultra-thin cobalt silicide films by inelastically backscattered electrons", *Appl. Surf. Sci.* 175-176, 83 (2001)
- ◆ M. Rossi, G. Gabrielli, T. Papa, S. Piccirillo, V. Sessa, M. L. Terranova, S. Valeri, M. Materassi, "Pulsed laser ablation of glassy carbon targets for the coating of ion accelerator electrodes", *Surf. and Coating Technology* 139, 87 (2001)
- ◆ M. L. Terranova, V. Sessa, S. Piccirillo, M. Rossi, S. Valeri, M. Materassi, "Diamone-based composite layers as protective coatings for ion beam extraction systems", *J. Vac. Sci. Technol. A* 19(6), 2920 (2001)
- ◆ S. Valeri, S. Altieri, A. di Bona, P. Luches, C. Giovanardi, T. S. Moia, A. Rota, "Thickness dependent strain in epitaxial MgO layers on Ag (001)", *Surf. Sci.* 507-510, 311 (2002)
- ◆ S. Altieri, M. Finazzi, H. H. Hsieh, H. -J Lin, C. T. Chen, T. Hibma, S. Valeri, G. A. Sawatzky, "Magnetic dicroism and spin structure of antiferromagnetic NiO(001) films" *Phys. Rev. Lett.* in press
- ◆ P. Facci, V. Erokhin, A. Tronin, C. Nicolini, "Formation of ultrathin semiconductor films by CdS nanostructure aggregation", *J. Phys. Chem.*, 98, 13323-13327, (1994)
- ◆ V. Erokhin, P. Facci, A. Kononenko, G. Radicchi, C. Nicolini "On the role of molecular close packing on the protein thermal stability", *Thin Solid Films*, 284-285, 805-808, (1996)

- ◆ P. Facci, V. Erokhin, C. Nicolini "Formation and characterization of an ultrathin semiconductor polycrystal layer for transducer applications" *Biosensor & Bioelectronics*, 12(7), 607-611, (1997)
- ◆ P. Facci, M. P. Fontana, "Evidence of the Anisotropy of Structure and Electronic Properties of CdS nanocrystal layers from Langmuir-Blodgett film precursors" *Solid State Commun.*, 108(1), 5-9, (1998)
- ◆ R. Di Felice, C. M. Bertoni and A. Catellani; "First-principle study of β -AlN thin films on β -SiC(001)", *Appl. Phys. Lett.* 74, 2137-9 (1999)
- ◆ R. Di Felice, C. A. Pignedoli, C. M. Bertoni, A. Catellani, P. L. Silvestrelli, C. Sbraccia, F. Ancilotto, M. Palumbo and O. Pulci, "Ab initio investigation of the adsorption of organic molecules at Si(1 1 1) and Si(1 0 0) surfaces", *Surface Science*, 532-535, 10 June 2003, Pages 982-987
- ◆ A. Calzolari, R. Di Felice, E. Molinari, and A. Garbesi, □ "Self-Assembled Guanine Ribbon As Wide-Bandgap Semiconductors", *Physica E* 13, 1236 (2002)
- ◆ F. Corni, S. Frabboni, R. Tonini, D. Leone, W. De Boer and A. Gasparotto, "The effect of biaxial stress on the solid phase epitaxial crystallization of $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ films", *Japanese Journal of Applied Physics* 3B (1998) L339-L342
- ◆ S. Frabboni, F. Gambetta, A. Armigliato, R. Balboni, S. Balboni, F. Cembali, "Lattice strain and static disorder determination in Si/ $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ /Si heterostructures by convergent beam electron diffraction", *Physical Review B* 60 (1999) 13750-13761
- ◆ A. Armigliato, R. Balboni, G. P. Carnevale, G. Pavia, D. Piccolo, S. Frabboni, A. Benedetti, A. G. Cullis, "Application of convergent beam electron diffraction to two-dimensional strain mapping in silicon devices", *Applied Physics Letters* 82 (2003) 2172-2174

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland: XPS di monostrati organici
- ◆ Università di Padova: sintesi di fullereni
- ◆ Università di Graz, Austria: caratterizzazione della morfologia e struttura di superfici mediante STM e AFM, procedure per lo studio mediante STM di superfici di materiali ceramici (altamente isolanti)
- ◆ Joffe Institute, S. Pietroburgo, Russia: utilizzo e sviluppo della tecnica SEI basata sulla focalizzazione degli elettroni backscatterati, per lo studio strutturale delle interfacce sepolte in singoli strati e multistrati di metalli e ceramici
- ◆ Fritz-Haber Institute, Berlino, Germania: crescita di strati cristallini di ossidi di silicio su metalli
- ◆ Università di Milano-Bicocca, Università di Torino, Università di Genova: crescita di strati di ossidi di metalli semplici (Mg, Ni) su metalli, studio della uniformità della copertura, della morfologia e struttura, studio della reattività vs spessore

- ◆ Università di Roma II Tor Vergata: strati composti protettivi ultraduri *diamond-like* preparati mediante ablazione con laser, studio della composizione e resistenza alla erosione
- ◆ CNR-LAMEL (Bologna): stress e *strain* in composti a base Silicio studiati mediante tecniche di diffrazione di elettroni
- ◆ CNR-IMEM (Parma): assorbimento di molecole organiche su Silicio e SiC
- ◆ CNR-ISOF (Bologna): proprietà elettroniche di strati di biomolecole su semiconduttori
- ◆ TU Graz, Austria; LPN Marcoussis, France; AGH University of Science and Technology (AGH-UST), Krakow, Poland; Manchester, UK; Sheffield University, UK; TU, Dresden/IFW, Germany; University of Glasgow, UK; Humboldt- Universität zu Berlin, Germany: misura degli *strain* e stress e della morfologia e cristallografia di strati mediante microscopia elettronica in trasmissione

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Cofin97: "Dalle superfici ideali a quelle reali: struttura, dinamica, transizioni ed interazioni alle superfici ed interfacce dei materiali". Il progetto includeva lo studio di un gran numero di film (principalmente metallici) depositi su superfici
- ◆ PAIS "spHEP" (surface processes in High Efficiency Photocathodes) 1997/98
- ◆ Diversi contratti di ricerca con Arcotronics S.p.A. nel triennio 1996-1999
- ◆ Progetti di Ricerca Applicata di Ateneo 1998: Studio della distribuzione angolare di atomi e clusters emessi da un solido in seguito a bombardamento ionico; in collaborazione con la ditta Laben S.p.A. che ha provveduto alla preparazione di campioni di alta efficienza di emissione
- ◆ Progetti di Ricerca Applicata di Ateneo 1999: Studio della crescita di film e multistrati di metalli e loro ossidi; in collaborazione con la ditta Arcotronics S.p.A., che ha messo a disposizione gli impianti per la preparazione dei substrati e dei campioni
- ◆ PRA-INFM 2000/2002 "ISADORA": strati sottili di ossidi su metalli
- ◆ Progetto di Ricerca Industriale 2002/2003: "Materiali e trattamenti superficiali negli alimentatori automatici per prodotti farmaceutici: rilascio di particelle, scorrevolezza, aderenza alle normative F.D.A". Il progetto include la preparazione di coatings innovativi e la caratterizzazione dei coatings in uso
- ◆ FIRB 2002: "Microsistemi basati su nuovi materiali magnetici strutturati su scala nanoscopica". Il progetto include la preparazione di multistrati, e lo studio dei coatings di passivazione e protezione degli elementi magneticamente attivi
- ◆ FIRB 2002: "Correlazione in sistemi 1D di metalli 3D autoassemblati su superfici vicinali di ossidi"
- ◆ Cofin 2003: Crescita epitassiale e studio di nanostrutture magnetiche confinate lateralmente, modellate mediante fascio ionico focalizzato
- ◆ PRA "1MESS": crescita di strati superficiali bidimensionali

- ◆ STREP FP6 "Prosens": strati sensibili organici e biologici
- ◆ STREP FP6 "GSOMEN": strutturazione della superficie di metalli e ossidi per successive crescite di film "guidate" dal substrato
- ◆ FP6: Progetto di ricerca finanziato dalla comunità europea STREAM sulla caratterizzazione dello *strain* in strati superficiali di silicio ricoperti da film sottili patternati
- ◆ NoE FP6 "TEMNET": rete europea di microscopia elettronica in trasmissione

Sfruttamento dei risultati

Alcune applicazioni possibili

- ◆ Aumento delle proprietà funzionali (tribologiche, protettive, magnetiche, ecc.) di dispositivi elettronici (sensori, condensatori, etc.)
- ◆ Stampi ceramici e per materie plastiche
- ◆ Dispositivi utensili ed apparecchiature biomedicali
- ◆ Distributori oleodinamici, utensili, ingranaggi, dispositivi ottici, hard disk, componenti meccanici, nano/micromeccanica
- ◆ Nobilitazione di materiali secondari o a basso costo
- ◆ Biocompatibilità ed Alimentarità di superfici. Crescita di rivestimenti autolubrificanti per l'eliminazione delle sostanze lubrificanti "bagnate" o ecologicamente incompatibili
- ◆ Sostituzione o riduzione dell'uso della deposizione galvanica
- ◆ Deposizione di rivestimenti funzionali a temperatura ambiente (rivestimenti su plastica, su carta, su tessuti)
- ◆ Crescita di multistrati funzionali mediante tecnologie differenti per l'aumento delle proprietà tribologiche
- ◆ Analisi di qualità su strati di vernici applicate
- ◆ Realizzazione di coating lubrificanti con molecole alchiliche e fluorinate
- ◆ Analisi di ricoprimenti mediante FIB/SEM ad alta risoluzione (osservazione in vista planare e sezione dello stesso oggetto). Preparazione di campioni TEM sullo stesso particolare per osservazione e caratterizzazione spettroscopico-strutturale ad elevatissima risoluzione laterale

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Industria elettronica
- ◆ Industria optoelettronica

- ◆ Industria meccanica
- ◆ Industria automobilistica
- ◆ Industria biomedicale
- ◆ Packaging
- ◆ Industria aerospaziale
- ◆ Informatica
- ◆ Sensoristica
- ◆ Utensilerie
- ◆ Trattamenti superficiali
- ◆ Vetro
- ◆ Industria Ceramica
- ◆ Industria di stampaggio
- ◆ Industria alimentare

I principali rapporti realmente operativi con aziende della regione inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Arcotronics SpA (BO): caratterizzazione di multistrati sottili metallici su polipropilene
- ◆ Gambro SpA (MO): rivestimenti conduttivi su substrati polimerici a bassa temperatura di fusione
- ◆ GapeDue Srl (MO): rivestimenti indurenti a basso coefficiente di attrito per la nobilitazione di substrati a bassa durezza
- ◆ OCS Srl (MO): rivestimenti anticorrosive e a basso coefficiente di attrito per applicazioni oleodinamiche
- ◆ Samputensili SpA (BO): caratterizzazione di rivestimenti innovativi mediante spettroscopie elettroniche, studio della difettosità superficiale
- ◆ Partena S.p.A.: materiali e trattamenti superficiali negli alimentatori automatici per prodotti farmaceutici

I possibili link per informazioni

- ◆ <http://www.s3.infm.it/>
- ◆ [http://www.star-lab.net. \)](http://www.star-lab.net.))
- ◆ <http://www.sesamo.unimo.it>
- ◆ <http://www.biophysics.unimo.it>

Tematica 3: Studio della tribologia a livello microscopico, connessione col livello macroscopico

Descrizione

Comprendere i processi fisici fondamentali che avvengono tra due superfici in moto relativo, sia pure a lungo termine, è di rilevante importanza in termini di frizione, adesione, abrasione, frattura, indentazione, ecc. Questa attività è quindi rivolta allo studio e comprensione dei meccanismi fondamentali dell'attrito a livello microscopico e la loro correlazione con gli effetti macroscopici di corrente interesse applicativo. Infatti, sebbene l'attrito sia uno dei più antichi problemi scientifici, ancora manca una conoscenza profonda delle sue leggi fondamentali, specie a scala atomica.

Si intende in particolare studiare come, nella ridotta dimensionalità di tanti sistemi micromeccanici, i lubrificanti convenzionali spesso agiscono come "colla", attraverso un approfondito studio della dinamica di non equilibrio di film sottili confinati. Ci si propone di conseguire un significativo avanzamento delle conoscenze e specifici input tecnologici grazie all'utilizzo di avanzati dispositivi sperimentali come il microscopio a forza atomica (e sue varianti specificamente orientate a studi tribologici), unitamente ad un'attività di modellistica e simulazione avanzata (in particolare dinamica molecolare a scala microscopica) che può produrre risultati molto vicini al comportamento reale.

Per quanto riguarda specificamente il calcolo, la dinamica molecolare, accoppiata a recenti simulazioni macroscopiche basate sul modello di Frenkel-Kontorova, ha mostrato grandi capacità predittive per realistici modelli di attrito. Questo approccio modellistico permette di scomporre un fenomeno complicato, come l'attrito, in step elementari che possono essere individualmente compresi e successivamente combinati per produrre previsioni, ragionevolmente verificate tramite i risultati sperimentali.

Filoni di ricerca in atto e da sviluppare nel futuro inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Si indagherà la dipendenza dell'attrito dalla natura atomica e chimica delle superfici a contatto e l'estrema sensibilità a piccole quantità di atomi o molecole assorbite. L'attività sarà rivolta principalmente alla comprensione dei meccanismi e della velocità di dissipazione di energia nello scorrimento ed alla determinazione dei parametri di lubrificazione e regimi di operatività che minimizzano l'attrito
- ◆ Si affronterà anche il problema di lubrificanti altamente confinati, eventualmente in modo anisotropo mediante superfici nanostrutturate

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ A. Vanossi, J. Röder, A. R. Bishop and V. Bortolani, "Underdamped Commensurate Dynamics in a Driven Frenkel-Kontorova Type Model", Phys. Rev. E 67, 016605 (2003)
- ◆ A. Vanossi, A. Franchini and V. Bortolani, "Anharmonic Effects in a Finite Frenkel-Kontorova Type Chain", Surface Science 502-503, 437 (2002)
- ◆ A. Vanossi, J. Röder, A. R. Bishop, and V. Bortolani, "The Driven, Underdamped Frenkel-Kontorova Model on a Quasiperiodic Substrate", Phys. Rev. E 63, 17203 (2001)
- ◆ M. Rossi, G. Gabrielli, T. Papa, S. Piccirillo, V. Sessa, M. L. Terranova, S. Valeri, M. Materassi, "Pulsed laser ablation of glassy carbon targets for the coating of ion accelerator electrodes", Surf. and Coating Technology 139, 87 (2001)
- ◆ M. L. Terranova, V. Sessa, S. Piccirillo, M. Rossi, S. Valeri, M. Materassi, "Diamone-based composite layers as protective coatings for ion beam extraction systems", J. Vac. Sci. Technol. A 19(6), 2920 (2001)
- ◆ P. Facci, D. Alliata, S. Cannistraro, "Potential-Induced Resonant Tunneling through a Redox Metalloprotein Probed by Electrochemical Scanning Probe Microscopy", Ultramicroscopy, 89(4), 291-298, (2001)

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale la tipologia/tematica

- ◆ Università di Lyon (FR), Università di Nijmegen (NL), Università di Tel-Aviv (Israele), Università di Kiev (Ucraina), Università di Mosca (Russia), Università di Los Alamos (USA): studio teorico e sperimentazione dell'attrito microscopico, da modelli supersemplificati al mondo reale
- ◆ Università di Milano, Scuola Internazionale di Studi Superiori ed Avanzati (SISSA) Trieste, Università di Hannover (GE), Università di Ulm (GE), KFA Juelich (GE), Università di Saragozza (Spagna), University College London (UK): attrito microscopico e dinamiche non lineari
- ◆ Università di Padova, Università di Genova: esperimento inteso a definire l'esistenza o meno di un significativo contributo elettronico alla frizione

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Cofin97: "Dalle superfici ideali a quelle reali: struttura, dinamica, transizioni ed interazioni alle superfici ed interfacce dei materiali". Questo progetto include lo studio delle superfici vicino al punto di fusione, in particolare delle proprietà di viscosità

- ◆ PRA-INFM 2000/2002 "ISADORA" su strati sottili di ossidi su metalli. L'attività include la movimentazione di particelle di ossidi su metalli mediante punta STM (Scanning Tunneling Microscopy)
- ◆ Progetto di Ricerca Industriale 2002/2003: "Materiali e trattamenti superficiali negli alimentatori automatici per prodotti farmaceutici". Il progetto include lo studio della rugosità microscopica e di quella macroscopica di coatings di vario tipo su substrati di alluminio, della loro reciproca interazione e influenza sulle performances di scivolamento dei prodotti da confezionare
- ◆ PRA INFM "Nanorub": studio dell'attrito di molecole su substrati metallici e semiconduttori
- ◆ NoE FP6: "Nano-friction & nonlinear dynamics network"

Sfruttamento dei risultati

Alcune applicazioni possibili

- ◆ Studio, comprensione e controllo del comportamento tribologico delle superfici con applicazioni alla nano/micromeccanica di dispositivi MEMS, ai microingranaggi, alle superfici di scorrimento.
- ◆ Definizione di metodologie per la misura della nano-micro durezza, nanoindentazione e attrito a livello nano-microscopico per applicazioni nei ricoprimenti di nano-micromeccanismi. Controllo della tribologia a livello nanoscopico mediante la morfologia superficiale a livello atomico.

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Settore della industria micromeccanica
- ◆ Micromovimentazione (MEMS, attuatori, ecc.)
- ◆ Apparatrici micromeccaniche per applicazioni sanitarie ed aerospaziali

I possibili link per informazioni

- ◆ <http://www.s3.infm.it/>
- ◆ [http://www.star-lab.net. \)](http://www.star-lab.net.)
- ◆ <http://www.biophysics.unimo.it>

Tematica 4: Studio della interazione di fasci di particelle con le superfici solide; trattamenti e modifiche controllate di superfici mediante ioni ed elettroni

Descrizione

L'attività è orientata alla comprensione dei processi fisico-chimici fondamentali connessi all'interazione di particelle con le superfici solide, con l'obiettivo di identificare i parametri in gioco (energia, geometria di incidenza, temperatura, tipo di particella, ecc.) e le loro mutue interazioni al fine di conseguire per tale via un efficace controllo sui processi stessi. Tale tematica è altresì orientata alla identificazione, controllo ed ottimizzazione degli aspetti tecnologici connessi a questa interazione. Sono indagati i processi di amorfizzazione/ricristallizzazione e più in generale di modifica della morfologia superficiale che determinano la rugosità microscopica e macroscopica. La natura ed estensione della cascata collisionale sottosuperficiale viene studiata per quanto attiene alla formazione di nuove fasi termodinamicamente non permesse nei solidi poliatomici o in strati e multistrati pre-depositati, così come per quanto attiene al miglioramento dell'adesione di un ricoprimento al substrato. In un intervallo di alta energia, l'impiantazione ionica fornisce la possibilità di modulare in profondità la composizione e la struttura di strati depositati.

Per quanto riguarda lo studio delle modifiche superficiali e la caratterizzazione degli strati modificati, accanto alle usuali tecniche di superficie occorre approntare strumentazione ed approfondire metodologie che consentano di studiare i profili in profondità degli strati depositi e/o modificati, fino all'interfaccia con il substrato. La raccolta ed analisi delle particelle emesse dal solido in seguito all'interazione con particelle incidenti fornisce parte delle informazioni richieste e verrà perseguita come metodologia utile in questo contesto.

Va infine sottolineato che le interazioni oggetto di questo tema sono di rilevante importanza anche per le altre tematiche, in particolare per quanto riguarda la preparazione delle superfici per una successiva deposizione e per quanto riguarda l'assistenza con fasci ionici od elettronici alla crescita realizzata con metodologie convenzionali.

Filoni di ricerca in atto e da sviluppare nel futuro inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Ottimizzazione delle strumentazioni e delle procedure per l'introduzione di modifiche controllate nella regione superficiale e/o sottosuperficiale di un solido
- ◆ Comprensione dei meccanismi fondamentali delle interazioni di particelle con le superfici

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ S. Valeri, S. Altieri, T. Di Domenico and R. Verucchi, "Substrate amorphization induced by sputter deposition process: geometrical aspects", J. Vac.Sci. Technol. A, 13, 394 (1995)

-
- ◆ R. Verucchi, S. Baraldi and S. Valeri, "Particle induced Auger emission from Si monolayers", Surf. Sci. 352-354, 719 (1996)
 - ◆ S. Valeri, S. Baraldi and R. Verucchi, "Auger emission by impact of energetic atoms on Si monolayer(s)", Surf. Sci. 365, 517 (1996)
 - ◆ S. Valeri, G. C. Gazzadi, A. Rota and A. di Bona, "Early stage in low energy ion-induced damage on InP(110) surface", Appl. Surf. Sci. 120, 323 (1997)
 - ◆ S. Valeri, M. Liberi and R. Verucchi, "P LVV and LMM Auger emission induced by Ar+ impact on the InP(110) surface", Phys. Rev. B15, 56, 15272 (1997)
 - ◆ P. Luches, A. di Bona, A. Borghi, C. Giovanardi, S. Valeri, "Growth mode of ultrathin Co films on Fe(001) prepared by low energy ion-assisted deposition", Surf. Rev. and Letters 6, 747 (1999)
 - ◆ C. Giovanardi, P. Luches, A. di Bona, A. Borghi, S. Valeri, "Structure and growth mode of thin Co films on Fe(001): comparison of purely thermal and ion-assisted deposition", Thin Solid Films 397,116 (2001)
 - ◆ M. Rossi, G. Gabrielli, T. Papa, S. Piccirillo, V. Sessa, M. L. Terranova, S. Valeri, M. Materassi, "Pulsed laser ablation of glassy carbon targets for the coating of ion accelerator electrodes", Surf. and Coating Technology 139, 87 (2001)
 - ◆ S. Valeri, S. Altieri, A. di Bona, C. Giovanardi, T. S. Moia, "Structural study of thin MgO layers on Ag(001) prepared by either MBE or sputter deposition", Thin Solid Films 400, 16 (2001)
 - ◆ A. Alessandrini and U. Valdrè, "Work function dependence on thickness and substrate of the carbon contamination layers in Kelvin Probe Force Microscopy", Philosophical Magazine B in press, (2003)
 - ◆ S. Frabboni and F. Gambetta, "Static disorder depth profile in ion implanted materials by means of Large Angle Convergent Beam Electron Diffraction", Physical Review Letters 81 (1998), 3155-3158
 - ◆ R. Tonini, F. Corni, S. Frabboni, G. Ottaviani and G. F. Cerofolini, "High-dose helium-implanted single-crystal silicon: Annealing behavior", Journal of Applied Physics 84 (1998), 4802-4808
 - ◆ F. Gambetta, S. Frabboni, R. Tonini, F. Corni, "Large Angle convergent beam electron diffraction strain measurements in high dose Helium implanted silicon", Materials Science and Engineering B 71 (2000) 87-91
 - ◆ S. Frabboni, "Lattice strain and static disorder in hydrogen implanted and annealed single crystal silicon as determined by large angle convergent beam electron diffraction", Physical Review B 65 (2002) 165436-165447

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ FEI-Italia: collaborazione relativa allo sviluppo di strumentazione FIB per la lavorazione di superfici

- ◆ Laben - Divisione Proel Tecnologie (Firenze): coatings e materiali resistenti alla erosione ionica (bassa resa di sputtering accoppiata ad elevata remissività elettronica)
- ◆ Università di Roma II Tor Vergata: strati compositi protettivi ultraduri *diamond-like* preparati mediante ablazione con laser, studio della composizione e resistenza alla erosione dovuta a ioni per applicazioni in motori ionici satellitari
- ◆ Laboratoire TECSEN, Marseille (France), University of Barcelona (Spain), EPFL Lausanne (Switzerland), Vienna University of Technology (Austria), MFA Budapest (Hungary), EPFL Lausanne (Switzerland): interazione ione-materia, per assottigliamento di campioni per la microscopia elettronica
- ◆ NASA, Cleveland, Ohio (USA): erosione di coatings protettivi da parte di ioni ed elettroni e pulviscolo spaziale
- ◆ Centro Atomico Bariloche (Argentina): anisotropie angolari nella emissione di particelle da superfici solide, processi collisionali a cascata

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Progetti di Ricerca Applicata di Ateneo 1996: studio dei processi di erosione ionica in film a più componenti, in collaborazione con Proel Tecnologie che ha provveduto ai test di erosione in condizioni reali
- ◆ Cofin97: "Dalle superfici ideali a quelle reali: struttura, dinamica, transizioni ed interazioni alle superfici ed interfacce dei materiali". Questo progetto include lo studio e l'implementazione di procedure e metodologie per la deposizione e per la modifica superficiale mediante sputtering, e per le deposizioni con altre procedure ma assistite da ioni (es: ion assisted MBE)
- ◆ PAIS "spHEP": surface processes in High Efficiency Photocathodes (1997/98). Il progetto include lo sviluppo di procedure per analisi di multistrati molto sottili mediante *sputter depth profile*, e quindi la comprensione dei processi collisionali su scala atomica
- ◆ Progetti di Ricerca Applicata di Ateneo 1998: studio della distribuzione angolare di atomi e clusters emessi da un solido in seguito a bombardamento ionico, in collaborazione con Laben S.p.A. che ha fornito campioni ad alta emissività
- ◆ PRA-INFM 2000/2002 "ISADORA" su strati sottili di ossidi su metalli. Il progetto include la preparazione di strati di ossidi mediante deposizione per sputtering
- ◆ FIRB 2002: "Microsistemi basati su nuovi materiali magnetici strutturati su scala nanoscopica"
- ◆ FIRB 2002: "Correlazione in sistemi 1D di metalli 3D autoassemblati su superfici vicinali di ossidi". Il progetto include lo sviluppo di metodologie per la preparazione mediante sputtering di superfici vicinali
- ◆ Cofin 2003: crescita epitassiale e studio di nanostrutture magnetiche confinate lateralmente, modellate mediante fascio ionico focalizzato
- ◆ NoE Fp6 "TEMNET": Rete europea di microscopia elettronica in trasmissione

Sfruttamento dei risultati

Alcune applicazioni possibili

- ◆ Modifica delle seguenti caratteristiche:
 - proprietà meccaniche di materiali metallici o plastici;
 - controllo della rugosità superficiale;
 - proprietà elettriche (finiture antistatiche per elementi filtranti);
 - proprietà biologiche (controllo dello sviluppo di cellule su tessuti per colture test o fermentazione, diminuzione della proliferazione cellulare su tessuti per cateteri e membrane biologiche);
 - bagnabilità di superfici polimeriche, di cavità e interno di tubi;
 - permeabilità (modifica della selettività nella permeabilità).
- ◆ Micro-nano strutturazioni di superfici, ottenimento di fasi fuori dall'equilibrio termodinamico, plasmatura per il controllo della adesione

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Produttori di strumentazione nel campo delle sorgenti di ioni ed elettroni
- ◆ Industria aerospaziale
- ◆ Industria meccanica
- ◆ Industrie produttrici di leghe leggere e di materiali polimerici

I principali rapporti realmente operativi con aziende della regione inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Arcotronics-Italia S.p.A.: sviluppo di metodologie per la profilatura di strati metallici ultrasottili depositati su polipropilene, trattamenti preliminari di substrati plastici per la successiva deposizione di metalli

I possibili link per informazioni

- ◆ <http://www.s3.infm.it/>
- ◆ [http://www.star-lab.net. \)](http://www.star-lab.net.))
- ◆ <http://www.sesamo.unimo.it>
- ◆ <http://www.biophysics.unimo.it>

Struttura 2: Dipartimento di Fisica (UNIMORE)

Università di Modena e Reggio Emilia

Dipartimento di Fisica

Indirizzo: Via Campi 213/a – 41100 Modena

Tel. 059 2055248

e-mail: fisica@unimore.i

Direttore: Prof. Umberto del Pennino

e-mail: delpennino@unimore.it

Attività

TEMA 1 - Coatings ultra-duri a base di Carburo di Silicio

TEMA 2 - Funzionalizzazione di *hard coatings* su base metallica e ceramica con tecnologia *screen printing*

TEMA 3 - Sviluppo di processi per la realizzazione e funzionalizzazione di rivestimenti duri e molli con irraggiamento elettronico e/o thermal spray

Laboratori/strumentazioni già disponibili presso la struttura inerenti la tematica

- ◆ Sistema per spettroscopia elettronica dotato di spettrometri per X-ray e Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy, utilizzato per ottenere informazioni sulla composizione chimica e strutturale delle superfici solide
- ◆ Spettrometro per spettroscopia Auger. Il sistema consente l'analisi composizionale, chimica e strutturale di film sottili, interfacce e superfici strutturate
- ◆ Microscopio ad effetto Tunnel e microscopio a forza atomica, per lo studio della morfologia delle superfici a livello micro e nano metrico
- ◆ Impianti e camere da vuoto e strumentazione relativa
- ◆ Generatori di alta tensione apparati elettro-ottici
- ◆ Software per la simulazione e progettazione di fasci elettronici con adeguate caratteristiche di focalizzazione
- ◆ Software per la progettazione delle condizioni ottimali di irraggiamento; calcolo delle dosi di energia deposta in diverse matrici
- ◆ Apparat per thermal spray, ancora in fase di acquisizione
- ◆ Laboratorio Master in cui sono presenti diverse apparecchiature, quali:
 - strumentazioni e apparati per lo sviluppo di materiali, depositi e trattamenti termici inerenti la tecnologia screen printing;
 - strumentazioni per la caratterizzazione funzionale di strati depositi, comprese le strumentazioni per la rilevazione di proprietà resistive, termoresistive, piezoresistive, magnetoresistive, piezoelettriche, magnetiche, ferroelettriche ed alcune proprietà meccaniche;
 - strumentazioni per la rilevazione di caratteristiche macro-strutturali (spessori) e microstrutturali dei rivestimenti.

Tematica 1: Coatings ultra-duri a base di Carburo di Silicio

Descrizione

Il Carburo di Silicio, è un materiale di notevoli caratteristiche di resistenza ad elevate temperature così come in ambienti corrosivi. Per questo motivo sta suscitando un crescente interesse lo studio delle sue proprietà e dei metodi per ottenere film più o meno spessi di questo materiale. Ampiamente studiati sono i processi di crescita di film di SiC a partire da Silicio di volume, portato ad elevata temperatura ed esposto a vapori organici. In particolare sono argomenti tuttora oggetto di numerose indagini la definizione del composto organico più efficiente e della temperatura più bassa alla quale il SiC si forma in film omogenei di sufficiente spessore.

Un processo investigato, sia dal punto di vista teorico che sperimentale, è l'interazione del Si cristallino con la molecola di acetilene (C_2H_2). Dato il triplo legame C-C presente in questa molecola è più facile che uno dei tre legami si spezzi e il Carbonio interagisca con il Silicio in superficie per dare SiC. E' stato verificato che in questo processo si può scendere fino a temperature di circa $700^\circ C$ e ancora ottenere film di SiC di buona uniformità. Lo svantaggio di tale tecnica è che essa richiede la migrazione di atomi di Silicio dal volume alla superficie, per far progredire il processo di formazione del SiC. Questo produce microcanali che rendono non completamente uniforme il film.

Pertanto, è stato proposto come meccanismo alternativo l'utilizzo, come molecola organica, del metilsilano CH_3SiH_3 (o molecole simili) che, contenendo già la coppia Si-C, non dovrebbe richiedere la migrazione del silicio dal volume e dovrebbe quindi favorire la crescita di film più compatti.

Tutte le indagini sperimentali sono state svolte tramite spettroscopia elettronica condotta in vuoto su campioni realizzati all'interno dello stesso sistema di analisi.

Teoricamente, tramite tecniche di simulazione di dinamica molecolare, sono stati studiati i meccanismi che portano alla formazione del legame Si-C e alla crescita dei film.

Filoni di ricerca in atto e da sviluppare nel futuro inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Preparazione di strati di carburo di silicio mediante interazioni di molecole organiche
- ◆ Studio delle proprietà degli strati e dell'interfaccia col silicio
- ◆ Sviluppo della dinamica molecolare per lo studio di tali sistemi

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ V. De Renzi, R. Biagi, U. del Pennino, "Acetylene adsorption on the Si (111)-(7x7) surface, using ultraviolet and high-resolution-electron-energy-loss spectroscopies", Phys. Rev. B 64, 155305 (2001)
- ◆ V. De Renzi, R. Biagi, U. del Pennino, " Temperature dependence of Acetylene Adsorption and Reaction on Si(111)-(7x7)", Appl. Surf. Sci 184, 90 (2001)
- ◆ De Renzi, R. Biagi, U. del Pennino, "Study of the transition from the ideal Si(111)-H(1x1) surface to the (7x7) reconstruction", Surf. Sci. 497, 247 (2002)
- ◆ R. DiFelice, C.M. Bertoni, A. Castellani "FIRST-PRINCIPLES STUDY OF BETA-AIN THIN FILMS ON BETA-SiC(001)", Appl. Phys. Letters. 74, 2137-213 (1999)
- ◆ C. Righi, C. A. Pignedoli, G. Borghi, R. Di Felice, C. M. Bertoni, and A. Catellani 2, "Surface-induced stacking transition at SiC (0001)", Phys. Rev. B 66, 045320 (2002)

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ CNR-IMEN Parma: studio teorico del carburo di Silicio
- ◆ Politecnico di Torino, Università di Torino (Dipartimento di Fisica), Università Tor Vergata (Dipartimento di Fisica), Università di Camerino (Dipartimento di Fisica) e Technol-IFM (Department of Physics and Measure): preparazione e caratterizzazione di strati sottili e spessi di carburo di Silicio
- ◆ Linköping University, Svezia: crescita e funzionalizzazione di strati di SiC a partire da Si massivo, tramite reazione con idrocarburi

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Progetto Avanzato dell'INFM "Silicon Carbide Surface Alloy Formation (SICSAF)" 2000-2001

Sfruttamento dei risultati

Alcune applicazioni possibili

- ◆ Ricoprimento di superfici metalliche con strati resistenti ad elevatissime temperature e/o ambienti corrosivi. Possibilità di integrare nello strato anche sensori di pressione e temperatura.

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Industria automobilistica (motori endotermici)
- ◆ Industria chimica
- ◆ Industria Spaziale (rivestimenti e motori a razzo)

I possibili link per informazioni

- ◆ <http://www.sesamo.unimo.it/>

Tematica 2: Funzionalizzazione di hard coatings su base metallica e ceramica con tecnologia screen printing

Descrizione

La tecnologia screen printing, introdotta alla fine degli anni '60 per la realizzazione di circuiti ibridi integrati, ha dimostrato dalla metà degli anni '70 ad oggi ampie potenzialità per la realizzazione di elementi atti a trasdurre grandezze fisiche e chimiche in segnali elettrici, così come per realizzare materiali "intelligenti" e attuatori.

L'impegno riguardo tale tematica è quello di identificare composizioni di materiali, processi e strutture atte ad ampliare i campi applicativi di materiali che possano venire depositi per screen printing su supporti diversi e verificarne le prestazioni.

Esempi di materiali studiati e dispositivi realizzati sono: sensori di temperatura, di deformazione, di pressione, di distanza e prossimità, di accelerazione, di umidità, di momento torcente, di flusso, micro-pisizionatori, riscaldatori.

Filoni di ricerca in atto e da sviluppare nel futuro inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Deposizioni serigrafiche su superfici non piane e strutture complesse
- ◆ Progettazione, realizzazione e prove funzionali di rivestimenti di ceramiche e/o metalli per ottenere coatings funzionali mediante stampa serigrafica e trattamento termico per ottenere ad esempio riscaldatori integrati (ad esempio per estrusori di polimeri), microposizionatori, misurazioni in sito di stress, deformazione, temperatura, ecc.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ M. Prudenziati, "Thick Film Sensors", Elsevier, Amsterdam (1994). Questo volume contiene i seguenti contributi:
 - M. Prudenziati e R. Dell'Acqua, "Thick film resistors"
 - M. Prudenziati, "Pastes, inks and slurries"
 - B. Morten e M. Prudenziati, "Piezoresistive thick-film sensors"
 - G. De Cicco, B. Morten e M. Prudenziati, "Piezoelectric thick-film sensors"
 - B. Morten, M. Prudenziati e G. De Cicco, "Magnetoresistive thick-film sensors"
 - M. Prudenziati, "Other sensors, actuators and ancillary parts for measuring systems"

- M. Prudenziati, "Present and future of thick film sensors"
- ◆ M. Prudenziati, B. Morten, A. Taroni, "Characterization of thick-film resistor strain gauges on enamel steel", *Sensors and Actuators* 2, 17-27 (1981/82)
- ◆ M. Prudenziati, "Device for pressure measurement using a resistor strain gauge", U.S. Patent 4,311,980, Jan 19, 1982
- ◆ M. Prudenziati, "Force measurement device for controlling the position of an implement for towing by an agricultural machine", U.S. Patent 6,344,484, Feb.1, 1982

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Università di Milano-Bicocca, Dipartimento di Scienza dei Materiali, Milano: collaborazione per lo sviluppo di sensori planari
- ◆ Ben-Gurion University of the Negev, Institute of Chemistry and Chemical Technology, Beer-Sheva, Israel: collaborazione per la preparazione di materiali in tecnologia screen-printing

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Progetto "Sensori a film sottile e spesso" nell'ambito del Progetto Finalizzato del CNR MADESS I e MADESS II- Contratto di Ricerca 97.01391.PF48 Pos. 115.12582
- ◆ Progetto "Sensore elettrochimico a stato solido per la determinazione di CO in ambiente domestico"

Sfruttamento dei risultati

Alcune applicazioni possibili

- ◆ Realizzazione di celle di carico – misuratori di pressione, distanza, posizione, ecc.
- ◆ Realizzazione di macchine manifatturiere con elementi riscaldanti integrati e sensori termici integrati nella struttura (ad esempio in estrusori di polimeri)
- ◆ Realizzazione di parti per robot industriali

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Aziende di produzione di sensori e trasduttori
- ◆ Aziende coinvolte nella produzione di macchine manifatturiere
- ◆ Aziende coinvolte nella produzione di strumentazione da vuoto

I principali rapporti realmente operativi con aziende della regione ed inerenti la tipologia/tematica

- ◆ High Vacuum Process Parma (PR): sviluppo di fasci elettronici per trattamenti superficiali

I possibili link per informazioni

- ◆ <http://www.eln.uniroma2.it/aisem/>

Tematica 3: Sviluppo di processi per la realizzazione e funzionalizzazione di rivestimenti duri e molli con irraggiamento elettronico e/o thermal spray

Descrizione

La sostituzione di sorgenti di "energia alternativa" alle sorgenti "tradizionali" (termiche) offre una gamma estremamente vasta di nuove potenzialità per processi industriali, sia in termini di miglioramenti nelle prestazioni dei materiali, sia in termini di economia di consumo energetico e di inquinamento ambientale. Fra queste sorgenti alternative, la radiazione elettronica a medio-alta energia promette ricadute significative per l'industria.

Alcuni fra i più semplici esempi di impiego, di interesse nel campo dei rivestimenti per la meccanica avanzata, sono individuabili in:

- 1) rivestimenti di ampie superfici con materiali "soft" per il controllo della bagnabilità, biocompatibilità, adesione, estetica, ecc. di superfici metalliche, senza impiego di prodotti chimici e senza implicazioni su modifiche strutturali del rivestimento (ad es. il ritiro conseguente ad trattamento termico);
- 2) rivestimenti di specifiche zone di superfici con materiali diversi per speciali funzionalizzazioni e integrazione di sensori/attuatori su materiali strutturali. Analoghe considerazioni valgono per rivestimenti realizzabili con thermal spray per la realizzazione di dispositivi sensori/attuatori.

Filoni di ricerca in atto e da sviluppare nel futuro inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Sviluppo di processi per la realizzazione e funzionalizzazione di rivestimenti di materiali metallici mediante strati a base polimerica (ad esempio per funzionalizzazione ottica, anti-adesione, anticorrosione, resistenza all'acqua e a molteplici solventi) ottenuti tramite polimerizzazione della base organica tramite fasci elettronici di bassa energia
- ◆ Sviluppo di processi per rivestimenti di metalli tramite fusione in plasma da fasci elettronici di elevata densità
- ◆ Sviluppo di processi per la realizzazione e funzionalizzazione di rivestimenti di materiali metallici tramite thermal spray per barriere termiche o per il miglioramento delle caratteristiche estetiche, fisiche e chimico-fisiche del supporto

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ G. Cirri, M. Prudenziali, M. Affronte, M. Campani, "Estrazione, accelerazione, condizionamento di correnti di elettroni da plasma generato da catodo cavo di opportuna costruzione e loro impiego in apparecchiature e sistemi industriali di irraggiamento di elettroni", MO97A000138, 29 Luglio 1997

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Center for Thermal Spray Research: identificazione di materiali e processi adatti alla realizzazione di rivestimenti funzionali per sensori/attuatori, per thermal spray
- ◆ NSF Materials Research Science and Engineering Center, Dept. of Materials Science and Engineering, SUNY - Stony Brook, NY 11794-2275: tecnologia di deposito in thermal spray
- ◆ HVP (High Vacuum Process – Parma): sviluppo di sorgenti di elettroni di media (<400 KeV) energia

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Progetto per la costruzione di una sorgente di elettroni di adeguate caratteristiche per il trattamento "near surface" di materiali polimerici. Il progetto fa parte del Progetto di ricerca "Processo innovativo di igienizzazione di prodotti alimentari". Contratto fra Università di Modena, High Vacuum Process (Parma) e COMACER (Castelbolognese, Ravenna) 2001-2002
- ◆ Progetto di ricerca "High density electron current source for industrial applications" cofinanziato da INFN e High Vacuum Process (Parma). Il Progetto ha attinenza con le tematiche del coatings e dei processi di fusione di materiali metallurgici in quanto relativo alla progettazione e realizzazione di una sorgente di elettroni, di bassa energia (200-2000 eV) ed alta corrente (fino a decine di Amp), potenzialmente utile per processi di deposito di materiali al elevato punto di fusione
- ◆ Progetto di ricerca "Fusione di leghe speciali mediante correnti elettroniche di elevata densità", cofinanziato da INFN - Progetto Borse di studio professionalizzanti. Il Progetto ha attinenza con le tematiche dei processi di raffinazione di materiali metallurgici in quanto condotto con la sorgente di elettroni, di bassa energia (200-2000 eV) e alta corrente (fino a decine di Amp), ove la sorgente consiste in un catodo cavo

Sfruttamento dei risultati

Alcune applicazioni possibili

- ◆ Realizzazione di rivestimenti con caratteristiche estetiche (colorazione, riflettività, opacità) e/o funzionali (anti-aderenza, anticorrosione, durezza) per applicazioni a temperature medio-alte
- ◆ Preparazione di ricoprimenti speciali (ad esempio per lingottiere)

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Industria manifatturiera
- ◆ Produzione di macchine per l'industria tessile, metalmeccanica, biomedicale
- ◆ Industria alimentare (packaging)
- ◆ Industria conserviera

I principali rapporti realmente operativi con aziende della regione ed inerenti la tipologia/tematica

- ◆ High Vacuum Process: sviluppo di sorgenti di elettroni di media (<400 KeV) energia – Parma (PR)

I possibili link per informazioni

- ◆ <http://www.bo.cnr.it/>
- ◆ <http://www.matscieng.sunysb.edu/>

Struttura 3: DIMeC - Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile (UNIMORE)

Università di Modena e Reggio Emilia

DIMeC - Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile

Indirizzo: Via Vignolese 905 - 41100 Modena

Tel. 0592056300

Direttore: Prof. Angelo Oreste Andrisano

Attività

TEMA 1 - Modificazioni superficiali e subsuperficiali di lavorazioni non convenzionali su materiali innovativi

TEMA 2 - Utilizzo di coatings nelle lavorazioni meccaniche

Laboratori/strumentazioni già disponibili presso la struttura inerenti la tematica

◆ **Laboratorio Tecnologico.** Questo laboratorio include:

- Microscopia ottica con acquisizione di immagini da computer, macroscopia ottica con acquisizione di immagini da computer, impianto per elettrodeposizione, durometri e microdurometri, rugosimetro
- Controlli non distruttivi ad ultrasuoni, scratch test, macchina di prova statica/dinamica da 5 kN, 10 Hz
- Macchina di prova statica/dinamica da 20 kN, 10 Hz, macchina di prova statica/dinamica da 100 kN, 20 Hz

◆ **Laboratorio Lavorazioni**

- Microscopia e macroscopia ottica con acquisizione di immagini da computer
- Impianto per elettrodeposizione
- Durometri e microdurometri
- Rugosimetro
- Controlli non distruttivi ad ultrasuoni
- Scratch test
- Macchine di prova statica/dinamica da 5 kN, 10 Hz, da 20 kN, 10 Hz e da 100 kN, 20 Hz
- Microscopio elettronico a scansione (presso Centro Grandi Strumenti)
- Fresatrice CNC
- Macchine utensili

Tematica1: Modificazioni superficiali e subsuperficiali di lavorazioni non convenzionali su materiali innovativi

Descrizione

La ricerca è principalmente rivolta a studiare gli effetti di differenti processi di lavorazione e/o di carico sulle proprietà meccaniche e anticorrosive di superfici di materiali metallici o a matrice metallica. Dal punto di vista operativo la ricerca si articola nelle seguenti attività:

- ◆ determinazione della morfologia della superficie di frattura e della velocità di avanzamento di cricche su campioni in acciaio AISI 4340DVM sottoposti a carico ciclico in funzione della temperatura di rinvenimento utilizzata e della quantità di idrogeno nell'ambiente di lavoro
- ◆ caratterizzazione del comportamento a fatica del materiale utilizzato per le condotte sottomarine in ambiente sottomarino in funzione delle modifiche indotte dal processo di saldatura utilizzato per la giunzione dei vari tratti di condotta
- ◆ prove di foratura, tornitura ad alta velocità e fresatura su materiali compositi a matrice metallica, con utensili di diversi materiali e con diversi angoli di taglio, per individuare meccanismi di formazione del truciolo e di usura al fine di migliorare la finitura superficiale degli oggetti lavorati
- ◆ studio della sostituzione della ghisa con composti a matrice metallica nella costruzione dei dischi freno di impiego automobilistico. Vengono indagate le caratteristiche superficiali del prodotto lavorato e i micro danneggiamenti indotti dalla lavorazione. Si è in particolare impiegata l'elettroerosione per valutare i meccanismi di modificazione superficiali e sub-superficiale che l'alto gradiente di temperatura associato a questa lavorazione provoca
- ◆ studio della applicabilità della elettroerosione a filo ad una vasta gamma di materiali, incluso INCONEL 718 e composti a matrice metallica in lega di Alluminio rinforzata con SiC. Si è messa in evidenza la possibilità di una proficua utilizzazione di questa tecnologia di lavorazione

Filoni di ricerca in atto e da sviluppare nel futuro inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Caratterizzazione e valutazione delle modificazioni superficiali e subsuperficiali
- ◆ Ottimizzazione dei parametri di processo, nella lavorazione di leghe innovative di alluminio mediante elettroerosione e asportazione di truciolo ad alta velocità

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ A. Casagrande, L. Felloni, R. Fratesi, A. Gatto, O. Ruggirei, "Comportamento a Fatica ad Alti Cicli di AISI 4340: effetto della temperatura di rinvenimento sulla morfologia della superficie di frattura", VI Conv. Naz. IGF, Ancona 7-8/06/1990
- ◆ L. Felloni, R. Fratesi, A. Gatto, P. Mormorano, "Reliability of API 5L-X65 Steel: Fatigue Strength of the Base Material and of the Weld", Int. Conf. Innovative Marine Materials and Technologies, S. Terenzio di Lerici, 1-3/10/1992
- ◆ L. Felloni, R. Fratesi, A. Gatto, S. Ragazzoni, "High Cycle Corrosion-Fatigue Crack Propagation Behaviour of API 5L-X65 Steel in Salt Water", OEBALIA, Int. J. Of Marine Biology and Oceanography, XIX, 1993, pp.75-80
- ◆ A. Gatto, L. Iuliano, "Investigation on Machining Conditions for WEDM of Nickel Base Superalloys", Proceeding of Eurometalworking 94, 28-30 settembre 1994, Udine, Italy, pp. 050-1, 050-8
- ◆ R. Ippolito, L. Iuliano, A. Gatto, V. Tagliaferro, "Surface Finish of metal Matrix Composites Under High Speed Turning", ASME Proceedings of 1994 Engineering System Design and Analysis Conference, London 4-7 July, UK, 64 (2), pp. 35-42
- ◆ Felloni, A. Gatto, L. Iuliano, R. Ippolito, " WED Machinability of a 25% Silicon carbide particle Reinforced 6061 Al Alloy Composite", ASME Proceedings of 1994 Engineering System Design and Analysis Conference, London 4-7 July, UK, 64 (2), pp. 79-85
- ◆ R. Ippolito, L. Iuliano, A. Balestrini, A. Fuganti, A. Gatto, "Employment of Metal Matrix Composites in Automotive Industry: a Case Study", Proceeding of the 1996 Engenering System Design and Analysis Conference, Montpellier, France, pp. 91-97
- ◆ R. Ippolito, L. Iuliano, A. Gatto, "Edm tooling by solid freeform fabrication and electroplating techniques", Proceeding of 7th Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin 1996, 12-14 August, Texas, USA, pp. 199-206.
- ◆ Gatto A., L. Iuliano, "Cutting Mechanisms and Surface Features of WED Machined MMCs", Journal of Material Processing Technology, Vol. 65, 1997, pp. 209-214
- ◆ L. Felloni, A. Gatto, R. Ippolito, L. Iuliano, "Investigation on surface features of rapid prototyping parts", Rapid Response Manufacturing: Contemporary Methodologies, Tools and Technologies, Chapman & Hall, 1998
- ◆ L. Iuliano, L. Settineri, A. Gatto, "High-speed turning experiments on metal matrix composites", Composites Part A, 29A (1998) pp. 1501-1509
- ◆ L. Iuliano, L. Settineri, A. Gatto, "High-speed turning and drilling experiments on metal matrix composites", Colloque International, Machinability and Damage Mechanisms of cutting Tools, n. 18, Novembre 1998, Tome XVI . 17.1-17.9

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale la tipologia/tematica

- ◆ Politecnico di Torino - Dipartimento di Sistemi di produzione ed Economia dell'Azienda: caratterizzazione ed ottimizzazione dei parametri di processo
- ◆ Charmilles Technology (azienda svizzera): esecuzione delle prove di elettroerosione e controllo dei parametri di processo
- ◆ Università di Bologna - Dipartimento di Metallurgia: caratterizzazione microstrutturale
- ◆ Merloni elettrodomestici - Ricerca e sviluppo: individuazione ed analisi delle tecnologie
- ◆ Aziende locali per l'esecuzione di prove e per la produzione di attrezzature: Simo S.r.l. (Camerano-AN), MARRA S.p.A (Castelfidardo-AN), Meccanica Generali (Monteroberto-AN)
- ◆ C.N.H. - Modena (MO): produzione di macchine agricole
- ◆ Salami S.p.A - Modena (MO): produzione di componenti per oleodinamica
- ◆ Fortec s.r.l - Correggio (RE): produzione di stampi

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Art.65 D.P.R.382/80 quota 40%, 1993, Compositi 6061 T6/SiCw: modificazioni strutturali con laser pulsato
- ◆ Ricerca di Ateneo, 1993: danneggiamento da idrogeno di gasdotti in APIX65
- ◆ Art.65 D.P.R.382/80 quota 40%, 1994, Compositi a matrice metallica di leghe Al/SiC: effetto della lavorazione per elettroerosione a filo sullo stato superficiale
- ◆ Ricerca di Ateneo, 1994: influenza dei parametri di taglio nella tornitura ad alta velocità sulla finitura superficiale di compositi Al lega/SiC
- ◆ Art.65 D.P.R.382/80 quota 40%, 1994, MMC di leghe Al/SiC: valutazione della resistenza alla corrosione di superfici lavorate per elettroerosione
- ◆ Ricerca di Ateneo, 1997, Rapid tooling: produzione di elettrodi da campioni ottenuti per prototipazione rapida
- ◆ Ricerca di Ateneo, 1998, WEDM: individuazione di un modello di previsione dello strato alterato in funzione dei parametri di processo
- ◆ Ricerca scientifica di interesse nazionale, 1998, "Forme per colata in sabbia ottenute per sinterizzazione laser selettiva": caratterizzazione meccanica e della morfologia superficiale, influenza dei parametri di post processo

Sfruttamento dei risultati

Alcune applicazioni possibili

- ◆ Incremento della capacità produttiva dell'industria manifatturiera mediante l'utilizzo più appropriato di tecnologie di produzione
- ◆ Ricorso a materiali con maggiori prestazioni
- ◆ Ottimizzazione dei parametri di processo
- ◆ Riduzione del time-to-market mediante una diminuzione del tempo di produzione e sviluppo del manufatto

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Industria meccanica
- ◆ Produzione di beni di consumo
- ◆ Produzione di stampi ed attrezzaggio

I principali rapporti realmente operativi con aziende della regione ed inerenti la tipologia/tematica

- ◆ C.N.H. - Modena (MO): usura di utensili con coperture multistrato nanostrutturate
- ◆ Salami S.p.A - Modena (MO): impugnature ergonomiche per comandi idraulici
- ◆ Fortec s.r.l - Correggio (RE): stampaggio assistito da gas e acqua

I possibili link per informazioni

- ◆ <http://www.dimec.unimore.it>
- ◆ <http://www.polito.it>

Tematica 2: Utilizzo di coatings nelle lavorazioni meccaniche

Descrizione

E' stata sviluppata un'attività di ricerca inerente le prestazioni di utensili di nuova generazione in composito a matrice ceramica da utilizzare nella lavorazione per asportazione di truciolo ad alta velocità di acciai, superleghe a base nichel (in particolare Inconel 718) e compositi a matrice metallica.

Nell'ambito della lavorazione di leghe termoresistenti vengono studiate le problematiche connesse a: trasformazioni del materiale durante la lavorazione, scelta dei parametri ottimali di lavorazione, individuazione degli utensili più adeguati, studio del meccanismo di formazione del truciolo e fenomeni di deterioramento degli utensili.

I risultati sperimentali ottenuti hanno condotto alla formulazione di un'ipotesi per l'interpretazione dei fenomeni di deterioramento che compaiono sull'utensile. Tale ipotesi individua nella temperatura la causa che porta alla caduta del meccanismo di rafforzamento dell'utensile. La soluzione ottimale di questo problema è stata individuata nella ricopertura degli utensili di alluminio, che viene rinforzata con carburo di silicio in *whiskers* con uno strato di (Ti, Al)N o di CrN ottenuti con tecnica PVD (Physical Vapour Deposition). Questa soluzione, per la quale è stata fatta richiesta di brevetto, ha consentito di ampliare l'intervallo di valori utilizzabili sia della velocità di taglio sia dell'avanzamento dell'utensile.

Sui materiali compositi a matrice metallica l'attività di ricerca ha condotto prove sperimentali di foratura, tornitura ad alta velocità e fresatura, con utensili in diversi materiali e con diversi angoli di taglio con lo scopo di individuare i meccanismi di formazione del truciolo e di migliorare la finitura superficiale dei particolari lavorati.

Filoni di ricerca in atto e da sviluppare nel futuro inerenti la tipologia/tematica

Utilizzo di ricoperture sottili per la produzione di beni di consumo ad elevato valore aggiunto, validazione delle prestazioni di ricoperture multistrato nanostrutturate nella lavorazione di materiali convenzionali e non.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ A. Gatto, L. Iuliano, "High Speed Machining of Nickel Base Superalloys: Tool Wear Pattern and Chip Features", Report to STC-C 43rd CIRP General Assembly, Edinburgh, UK, 23-28 August, Vol. 42/2, p. 789, 1993

- ◆ A. Gatto, L. Iuliano, "Chip Formation Analysis in High Speed Machining of a Nickel Base Superalloy with Silicon Carbide Whisker-Reinforced Alumina", Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 34, n° 8, November, pp. 1147-1161, 1994
- ◆ L. Felloni, A. Gatto, R. Ippolito, L. Iuliano, "On the Performance of a CrN Coated SiC Whiskers Reinforced Ceramic Tool for High Speed Machining of Ni-Base Super-Alloys", Industrial Ceramic, 3, 1997, pp. 153-157
- ◆ A. Gatto, L. Iuliano, V. Tagliaferro, "High Speed Turning of Metal Matrix Composites with Tools of Different Material and Geometry", ASME 1995, 71, Materials and Design Technology, pp. 79-85
- ◆ L. Iuliano, A. Gatto, A. De Filippi, "Metallisation and Rapid Tooling", 4th European Conference of Rapid Prototyping and Manufacture, June 13-15 1995, Belgirate, Italy, pp.261-276
- ◆ A. Gatto, L. Iuliano, "Advanced Coated Ceramic Tools for Machining Superalloys", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 37, N° 5, pp. 591-605, 1997
- ◆ R. Ippolito, L. Settineri, L. Iuliano, A. Gatto, "High-Speed Turning Of Metal Matrix Composites with PCD Coated Carbide Tools", Proceeding of Advancing with Composites 1997, Milano Italy, 6-7 Maggio 1997
- ◆ L. Iuliano, L. Settineri, A. Gatto, "High-Speed Turning Of Metal Matrix Composites With Coated And Uncoated Carbide Tools", Italy 30th ISATA, Firenze Italy, 1997, 16-19 June,
- ◆ A. Gatto, L. Iuliano, E. Bassoli, M.G. Violante, "High Speed Milling Of Light Alloys: Tool Performance and Chip Formation Analysis", ESDA 2002, July 8-11, 2002, Istanbul Turkey

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Politecnico di Torino, Dipartimento di Sistemi di produzione ed Economia dell'Azienda: caratterizzazione ed ottimizzazione dei parametri di processo
- ◆ Balzer Silmax: realizzazione di ricoperture PVD e CVD
- ◆ Lafer S.p.A. - Piacenza: realizzazione di ricoperture PVD e CVD
- ◆ Commersald S.p.A. – Cognento (MO): realizzazione di riporti a spessore in superleghe
- ◆ Poltrone FRAU – Tolentino (MC): valutazione del comportamento di ricoprimenti antigraffio
- ◆ C.N.H. - Modena: lavorabilità e vita di utensili rivestiti (non massivi)

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Ricerca di Ateneo, 1995: valutazione delle prestazioni di utensili ceramici nella lavorazione per asportazione di truciolo ad alta velocità di materiali innovativi

- ◆ Ricerca di Ateneo, 1996: produzione di matrice per estrusione polimeri in materiale innovativo
- ◆ Contratto di ricerca Dip. Ingegneria Meccanica e Civile - CSM Roma, 2002: realizzazione di punte per foratura di pannelli aeronautici
- ◆ Ricerca di Ateneo, 1999: ottimizzazione dei parametri di processo nella lavorazione per asportazione di truciolo della lega 7050 per lo stampaggio ad iniezione di polimeri

Sfruttamento dei risultati

Alcune applicazioni possibili

Le applicazioni possibili che fanno riferimento alla presente tematica sono del tutto analoghe a quelle descritte per la tematica 1. Per questo motivo, si rimanda al corrispondente paragrafo a pag. 41.

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Industria meccanica
- ◆ Produzione di beni di consumo
- ◆ Produzione di stampi ed attrezzaggio
- ◆ Lavorazioni per asportazione di truciolo

I principali rapporti realmente operativi con aziende della regione ed inerenti la tipologia/tematica

- ◆ C.N.H. - Modena (MO): usura di utensili con coperture multistrato nanostrutturate
- ◆ Salami S.p.A - Modena (MO): impugnature ergonomiche per comandi idraulici
- ◆ Commersald S.p.A. - Cognento (MO): riporti a spessore di superleghe mediante plasma ad arco trasferito

I possibili link per informazioni

- ◆ <http://www.dimec.unimore.it>
- ◆ <http://www.polito.it>

Struttura 4: DIMA - Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e dell'Ambiente (UNIMORE)

Università di Modena e Reggio Emilia

DIMA - Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e dell'Ambiente

Sito web: <http://www.dima.unimo.it>

Indirizzo: Via Vignolese, 905/A - 41100 Modena

Tel: 059-2056211

Direttore: Prof. Anna Corradi

Attività

- TEMA 1** Superfici ceramiche, vetrose, vetroceramiche, metalliche e composite, nano- e microstrutturate ad elevata funzionalità per l'industria meccanica ottenute per via convenzionale, da fase vapore, termospruzzatura e processi elettrochimici
- TEMA 2** Modifiche alle proprietà di superfici attraverso l'impiego di coating con predefinite caratteristiche funzionali (ibridi organici-inorganici o polimeri funzionali)
- TEMA 3** Modifica delle proprietà superficiali di materiali metallici diversi mediante processi di conversione e di ricopertura per incrementare la resistenza a corrosione e ad usura

Laboratori/strumentazioni già disponibili presso la struttura inerenti la tipologia/tematica

- ◆ **Laboratorio analisi e trattamenti termici**, che dispone delle seguenti apparecchiature:
 - Sistema per analisi termica per elevata temperatura (2400°C);
 - Sistema per diffrazione a raggi X a temperatura variabile fino a 1500°C;
 - Apparecchiature per trattamento a micro-onde per metalli e ceramici;
 - Sistemi di trattamento termico in atmosfera controllata fino a 1700°C;
 - Sistema per analisi termica e termodilatometrica fino a 1500°C;
 - Tecniche di preparazione a micro-onde ed in soluzione;
 - Softwares di simulazione strutturale e microstrutturale multiscala;
 - Sistema per granulometria laser;
 - Microscopio elettronico a scansione con microanalisi in dispersione di energia;
 - Microindentatore per microdurezza Vickers.
- ◆ **Laboratorio chimico tradizionale**, attrezzato per la sintesi di nuove strutture molecolari polimeriche
- ◆ **Laboratorio liquidi**, attrezzato con le seguenti strumentazioni:
 - apparato per Cromatografia liquida (GPC);
 - reometro rotazionale e a capillare;
 - mescolatore interno per mescolamento di materie plastiche;
 - estrusore bibite;
 - Calorimetro differenziale a scansione (DSC);
 - Strumento per misura di angolo di contatto.
- ◆ **Laboratorio CIRSM**. Il laboratorio è dedicato alla ingegnerizzazione di ricoprimenti superficiali su un'ampia scala di spessori. Nel laboratorio vengono realizzati, su una ampia gamma di substrati, rivestimenti superficiali su scala nanometrica e micrometrica e film spessi attraverso tecniche elettrochimiche, di deposizione chimica e fisica ad alta temperatura. Strumentazioni rilevanti sono:
 - Sistemi per elettrodeposizione a potenziale e corrente controllata;
 - Sistema HVOF;
 - Sistema per CVD (in fase di acquisizione).
- ◆ **Controllo strutturale**: microscopia ottica, microscopia elettronica a scansione, microscopia a forza atomica, spettrofotometria in assorbimento atomico, diffrazione a raggi X, analizzatore DSC.

- ◆ **Prove meccaniche:** macchine per prove di trazione e compressione, macchine per prove di fatica, durometri e microdurometri, tribometria pattino su cilindro, microtribometria per abrasione
- ◆ **Prove di corrosione:** potenziostato e galvanostato, camera a nebbia salina, forni in aria e in atmosfera controllata

Tematica 1: Superfici ceramiche, vetrose, vetroceramiche, metalliche e composite, nano- e microstrutturate ad elevata funzionalità per l'industria meccanica ottenute per via convenzionale, da fase vapore, termospruzzatura e processi elettrochimici

Descrizione

Gli obiettivi principali che la presente tematica di ricerca si prefigge di raggiungere riguardano lo studio, la progettazione, la modellizzazione, la funzionalizzazione e l'ottimizzazione delle caratteristiche di superfici e di rivestimenti, sia sottili (nanometrici e micrometrici), sia spessi, di natura metallica e ceramica. Tale studio fa riferimento particolare agli aspetti riguardanti le proprietà microstrutturali, fisiche, meccaniche, estetiche, di durabilità e di compatibilità chimica con l'ambiente di utilizzo, di resistenza alla corrosione, di stabilità termica e temporale delle superfici e dei ricoprimenti.

Le attività previste hanno lo scopo di contribuire al processo di innovazione nel settore delle superfici, da applicare prevalentemente nella meccanica, per mantenere alta la competitività dei prodotti e la penetrazione nel mercato, salvaguardando attraverso l'introduzione di processi "più puliti" l'ambiente ed il luogo di lavoro.

Filoni di ricerca in atto e da sviluppare nel futuro inerenti la tipologia/tematica

Si riportano di seguito in modo schematico i principali filoni di ricerca in atto. Tali ricerche sono fortemente sinergiche in previsione degli aspetti progettuali, di preparazione, di caratterizzazione, di modellizzazione multiscala e di applicazione.

◆ **Rivestimenti metallici, ceramici, vetrosi, vetroceramici e compositi**

Obiettivo dell'attività è l'ottenimento di superfici metalliche, ceramiche, vetroceramiche, vetrose e a base di ossidi nanostrutturati (anche trasparenti) per il ricoprimento dei metalli e per la produzione di coatings ceramici innovativi ad elevata funzionalità ed estetica.

◆ **Processi e trattamenti elettrochimici**

L'elettrodeposizione risulta, ancora oggi, la soluzione più valida per l'ottenimento di rivestimenti superficiali ad elevate prestazioni soprattutto per pezzi di grosse dimensioni e complessità di forme. La ricerca mira ad approfondire lo studio dei trattamenti galvanici convenzionali ed all'ottimizzazione tecnologica e ambientale di processi di elettrodeposizione allo scopo di innovare i processi attraverso l'uso di soluzioni elettrolitiche meno pericolose in un'ottica di maggiore

salvaguardia dell'ambiente e dei luoghi di lavoro anche attraverso la minimizzazione dei quantitativi dei reflui di processo.

◆ ***Messa a punto di trattamenti termici in atmosfera controllata e con radiazioni non ionizzanti per la funzionalizzazione delle superfici***

Spesso la funzionalizzazione delle superfici si ottiene attraverso opportuni trattamenti termici, chimici e con l'utilizzo di radiazioni. Tali trattamenti inducono nella superficie stessa del materiale delle trasformazioni fisiche o delle reazioni chimiche localizzate che originano film generalmente polifasici nanostrutturati. Produrre la formazione localizzata di nuove fasi cristalline o amorfie, controllarne e regolarne le caratteristiche nanostrutturali e microstrutturali può permettere di ottenere effetti (ad esempio: separazioni di fase, formazione di soluzioni solide, formazione di eutettici, formazione di fasi ad elevata durezza, componenti non stechiometrici ad effetto catalitico, formazione di fasi disperse in una matrice con effetti estetici particolari, ecc.).

◆ ***Processi per l'ottenimento di film sottili e spessi di ridottissima porosità mediante tecniche di termospruzzatura e da fase vapore***

Si tratta di uno studio sull'applicazione ed sull'ottimizzazione dell'uso di tecniche di termospruzzatura (PLASMA e HVOF) per l'ottenimento di superfici polifasiche composite nanostrutturate e microstrutturate ad elevata funzionalità. Fra le più importanti applicazioni, alternative o complementari a quelle convenzionali di tipo elettrochimico, si ricordano rivestimenti spessi e densi anti-usura, rivestimenti anti-corrosione e rivestimenti anti-usura.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ F. Sirotti, M. Prudenziati, B. Giardullo, W. Anzolin e T. Manfredini, "Nickel-based air fireable thick-film conductors", J. Mater. Sci., 25, 4688-93 (1990)
- ◆ C. Leonelli, T. Manfredini, M. Paganelli, G.C. Pellacani, J.L. Amoros Albaro, J.E. Enrique Navarro, M.J. Orts, S. Bruni, F. Cariati, "Li₂O-SiO₂-Al₂O₃-Me(II)O glass-ceramic systems for tile glaze applications", J. Am. Ceram. Soc., 74[5], 983-87 (1991)
- ◆ E. Bonetti, E. G. Campari, T. Manfredini e S. Mantovani, "Orthorombic to tetragonal phase transition in YBa₂Cu₃O_{7-x} observed by dynamic Young's modulus measurements", Physica C, 179, 381-86 (1991)
- ◆ L. Barbieri, C. Leonelli, T. Manfredini, G. C. Pellacani, D. Settembre Blundo, C. Siligardi, "Microindentation test as parameter for evaluating the sintering and interface properties of SiC whiskers reinforced CMAS glass-ceramic composites", Mats. Eng., 6(4), 323-33 (1995)
- ◆ T. Manfredini, L. Pennisi, G. C. Pellicani, M. Romagnoli, "Porcelainized stoneware tiles", Am. Ceram. Soc. Bull., 74(5), 76-79 1995
- ◆ L. Barbieri, A. Bonamartini Corradi, C. Leonelli, T. Manfredini, M. Romagnoli, C. Siligardi, "The microstructure and mechanical properties of sintered celsian and strontium-celsian glass-ceramics", Mat. Res. Bull., 30(1), 27-41 (1995)

-
- ◆ A. Bonamartini Corradi, L. Barbieri, C. Leonelli, T. Manfredini, "Glass-ceramics as tile glazes", in GLASS-CERAMICS: FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS, Edito da T. Manfredini, J.M. Rincon Lopez and G.C. Pellacani, Mucchi Ed. Modena, pp. 201-211 (1996)
 - ◆ T. Manfredini, J. M. Rincon Lopez e G. C. Pellicani, "GLASS-CERAMICS: FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS", Mucchi Ed. Modena, (1996)
 - ◆ L. Chen, C. Leonelli, T. Manfredini e C. Siligardi, "Processing of silicon carbide whisker-reinforced glass-ceramic composite by microwave heating", *J. Amer. Ceram. Soc.*, 80[12], 3245-49 (1997)
 - ◆ L. Barbieri, C. Leonelli, T. Manfredini, C. Siligardi e A. Bonamartini Corradi, "Nucleation and crystallization of a lithium aluminosilicate glass", *J. Am. Ceram. Soc.*, 80[12], 3077-83 (1997)
 - ◆ L. Barbieri, C. Leonelli, A.M. Ferrari, T. Manfredini, C. Siligardi e A. Bonamartini Corradi, "Feasibility of using of cordierite glass-ceramics as tile glazes", *J. Am. Ceram. Soc.*, 80[7], 1757-66 (1997)
 - ◆ A.P. Novaes de Oliveira, T. Manfredini, L. Barbieri, C. Leonelli e G.C. Pellacani, "Sintering and crystallization of a glass powder in the $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ system", *J. Am. Ceram. Soc.*, 81(3), 777-780 (1998)
 - ◆ L. Barbieri, A. Corradi, I. Lancellotti, T. Manfredini e F. Andreola, "Glass-ceramics sintered by glassy powders of no hazardous special wastes", *Mats. Eng.*, 11(3), 269-277 (2000)
 - ◆ L. Barbieri, I. Lancellotti, T. Manfredini, G.C. Pellacani, J.M. Rincon e M. Romero, "Nucleation and crystallization of new glasses from fly ash originating from thermal power plants", *J. Am. Ceram. Soc.*, 84[8], 1851-58 (2001)
 - ◆ L. Barbieri, I. Lancellotti, T. Manfredini, G.C. Pellacani, J.M. Rincon e M. Romero, "Nucleation and crystallization of new glasses from fly ash originating from thermal power plants", *J. Am. Ceram. Soc.*, 84[8], 1851-58 (2001)
 - ◆ M.C. D'Arrigo, T. Manfredini, G.C. Pellacani e C. Siligardi, "Crystallization evolution of a glass powder under microwave and conventional heating", *Mats. Eng.*, 14(1), 109-117 (2003)
 - ◆ E. Soragni, C. Fontanesi, G. Barani, V. Ganzerli, "Dynamic Aspects of the electroreduction of chromic acid solutions *J. Applied Electrochem.* 30 (2000) 1069-1079
 - ◆ P. Baraldi, G. Barani, C. Fontanesi, E. Soragni, "Study of the Effect of Intermediate Reactive Species, Adsorbed at the Metallic Surface /Aqueous Solution Interface, on the Chromium Electrodeposition Dynamic" *Intermetallics*, Elsevier Ed. Vol. 8, Issue 3, pp 313-319. Feb. 2000.
 - ◆ C. Fontanesi, R. Giovanardi e E. Soragni, "Kinetic Aspects in the Cr(VI) Electrodeposition", III Convegno nazionale sulla scienza e la tecnologia dei materiali, INSTM, Trento 18-20 giugno 2001
 - ◆ N. Comisso, G. Davolio, E. Soragni e G. Mengoli, "The Cycle life of 50/50 TiFe alloy electrodes for charge storage", *Journal of Electroanalytical Chemistry* 512 (2001) 92
 - ◆ C. Fontanesi, R. Giovanardi, E. Soragni e M.L. Foresti, "Dynamic Aspects in the Electrochemical reduction of Cr(VI): Comparison on Fe, Cu polycrystalline and Cu(111) Electrodes", Comunicazione Orale, Convegno Nazionale Congiunto di Chimica Fisica ed Elettrochimica, Ferrara, 23-28 giugno 2002

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ ISTECCNR, Faenza: materiali ceramici "avanzati" per applicazioni industriali
- ◆ Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Facoltà di Ingegneria: tecniche di termospruzzatura
- ◆ Università degli Studi di Roma 2, Facoltà di Ingegneria: dinamiche dei processi di corrosione
- ◆ Università degli Studi di Roma III, Facoltà di Ingegneria: modellizzazione multiscala di materiali e coatings
- ◆ Democenter (Realizzazione Laboratorio Caratterizzazione Materiali): innovazione di prodotto e di processo per i materiali per applicazioni meccaniche e ceramiche
- ◆ Università degli Studi di Firenze, Facoltà di Ingegneria: tecniche di termospruzzatura
- ◆ Politecnico di Torino, Facoltà di Ingegneria: sintesi di polveri ceramiche da applicare per termospruzzatura
- ◆ Università degli Studi di Bologna, Facoltà di Ingegneria: realizzazione di coatings e sistemi massivi a base di celsiana per applicazioni aerospaziali
- ◆ C.S.M., CastelRomano (ROMA): trattamenti superficiali mediante micro-onde
- ◆ CEMA IMPIANTI, Santa Maria di Sala (VE): trattamenti di strati sottili su supporti organici
- ◆ Università degli Studi di Cassino, Facoltà di Ingegneria: realizzazione di coatings e sistemi massivi a base di celsiana per applicazioni aerospaziali
- ◆ New York State College of Ceramics, Alfred University (USA): ceramici ad elevate prestazioni
- ◆ Politecnico di Torino, Facoltà di Ingegneria: trattamenti superficiali e diffusivi di vetri silicatici

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ L. 449/97 - "Produzione di polveri di ossidi e loro miscele eutettiche e vetri da utilizzare per termospruzzatura su supporti ceramici"
- ◆ L. 449/97 - "Caratterizzazione microstrutturale mediante tecniche strumentali per alta temperatura di polveri per termospruzzatura e rivestimenti plasma"
- ◆ FISR² - Progetto su "Modellistica molecolare di sistemi di complessità crescente"
- ◆ Progetto regionale su "Messa a punto di processi per la fusione rapida per via non convenzionale di metalli e loro leghe"

² Fondo Integrativo Speciale per la Ricerca del MIUR.

- ◆ COFIN 2002 - "Sintesi e caratterizzazione di compositi termostrutturali fibrorinforzati ed elettroceramici a base di celsiana"
- ◆ Progetto in collaborazione con azienda Zincopol - "Ottimizzazione della zincatura a caldo e la riduzione della difettologia superficiale"
- ◆ Progetto in collaborazione con azienda Cromoduro s.r.l. - "Riduzione del cromo esavalente a bassa concentrazione per via elettrolitica e utilizzo del cromo trivalente in sostituzione del cromo esavalente nella cromatura dura"
- ◆ PFMSTA2 - "Progettazione, preparazione ed applicazione di smalti, colori e decori per l'ottenimento di superfici con superiori caratteristiche tecniche, prestazionali ed estetiche: innovazioni di prodotto e di processo"
- ◆ CEMA IMPIANTI, Santa Maria di Sala (VE) - Disidratazione di strati sottili su supporti organici
- ◆ Progetto in collaborazione con azienda C.M.S. di Marano (MO) – "Trattamenti a micro-onde ad alta pressione in ambiente confinato"
- ◆ Progetto in collaborazione con azienda Alter (RE) – "Modellizzazione del campo elettromagnetico in applicatori a micro-onde"

Sfruttamento dei risultati

Alcune applicazioni possibili

- ◆ Produzione di forme autoportanti mediante la deposizione su preforme successivamente rimosse per via meccanica o chimica
- ◆ Produzione di polveri controllate e per termospruzzatura
- ◆ Produzione di materiali compositi resistenti ad alta temperatura
- ◆ Densificazione di superfici porose
- ◆ Produzione di film e rivestimenti per il settore meccanico
- ◆ Rivestimenti spessi e densi anti-usura al fine di ridurre il danneggiamento causato da abrasione, erosione, cavitazione e fretting, e per ridurre l'incidenza di fenomeni di attrito
- ◆ Produzione di riporti abradibili o abrasivi
- ◆ Produzione di superfici a nuovo contenuto estetico
- ◆ Rivestimenti anti-corrosione e per barriera termica TBC (Thermal Barrier Coating)
- ◆ Sviluppo di modelli predittivi e possibilità di previsione del comportamento in opera di materiali e superfici

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Industria automobilistica e motoristica
- ◆ Industria per la produzione di utensili per la lavorazione delle superfici
- ◆ Industrie che si occupano di trattamenti superficiali su scala industriale (ricoprimento con metalli, strati di passivazione, ecc.)
- ◆ Industria ceramica
- ◆ Industria metalmeccanica che produce componentistica
- ◆ Settore aerospaziale e meccanico per componenti ad alte prestazioni

I principali rapporti realmente operativi con aziende della regione ed inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Marazzi Ceramiche, Sassuolo (MO): progetto per la messa a punto di riporti ceramici a base di vetri, vetro-ceramici, ossidi e compositi ottenuti mediante termospruzzatura al plasma
- ◆ S.R.M.P., Cavezzo (MO): studio delle caratteristiche superficiali di parti metalliche e organi meccanici sottoposti ad usura per l'individuazione di riporti
- ◆ WAM, Cavezzo (MO): studio delle caratteristiche superficiali di parti metalliche e organi meccanici sottoposti ad usura per l'individuazione di riporti
- ◆ Zincopol, Cavezzo (MO): progetto per l'ottimizzazione della zincatura a caldo e la riduzione della difettologia superficiale
- ◆ DemoCenter, Modena (ed aziende consociate): progetti relativi al Laboratorio Caratterizzazione Materiali per l'ottimizzazione di alcuni aspetti dell'indagine microstrutturale delle superfici mediante microscopia elettronica e diffrazione a raggi X a temperatura variabile
- ◆ Cromoduro, Modena: progetto relativo alla riduzione del cromo esavalente a bassa concentrazione per via elettrolitica e utilizzo del cromo trivalente in sostituzione del cromo esavalente nella cromatura dura

I possibili link per informazioni

- ◆ <http://www.dima.unimore.it>

Tematica 2: Modifiche alle proprietà di superfici attraverso l'impiego di coating con predefinite caratteristiche funzionali (ibridi organici-inorganici o polimeri funzionali)

Descrizione

L'impiego di coating per modificare proprietà dei materiali è un approccio già consolidato per alcune applicazioni (ad esempio per le vernici o per i *primer*), ma ancora non sfruttato per modificare proprietà quali il coefficiente d'attrito, la resistenza alla fiamma, al graffio e all'abrasione, la bagnabilità, la biocompatibilità, la bioattività, la proprietà barriera, ecc.

In particolare è ancora poco sfruttata la capacità di segregazione spontanea alla superficie di segmenti polimerici a bassa tensione superficiale e la possibilità di ottenere coating ibridi organici-inorganici.

Questi ultimi sono particolarmente interessanti in quanto possiedono proprietà intermedie tra quelle dei materiali polimerici e quelle dei materiali ceramici, essendo in grado di creare in questo modo strutture nanocomposite caratterizzate da una permeabilità ai gas e vapori molto bassa, da resistenza al graffio e all'abrasione migliore di quella dei polimeri e da minore fragilità rispetto ai materiali ceramici tradizionali.

La possibilità di variare lo spessore e le proprietà del coating attraverso il controllo di molte variabili (rapporto tra fase organica ed inorganica, tipi di fase organica ed inorganica, tempo e temperatura di reticolazione, velocità di segregazione, metodo di applicazione, ecc.), rende questi sistemi assai flessibili e potenzialmente in grado di essere utilizzati per migliorare le prestazioni di molti materiali convenzionali, oggi utilizzati in svariati campi industriali.

Inoltre, utilizzando, per la realizzazione di coating, prodotti capaci di dar luogo a segregazione spontanea di fase e con diversa resistenza chimica e alle radiazioni, si può pensare di realizzare morfologie di superficie particolari, eseguendo erosioni superficiali selettive di una fase e lasciando l'altra inalterata.

Filoni di ricerca in atto e da sviluppare nel futuro inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Studio sulla possibilità di impiegare coating ibridi organici-inorganici per la modifica di proprietà quali: resistenza alla fiamma e resistenza al graffio (per PMMA), rilascio di additivi (PVC per applicazioni biomedicali) e proprietà barriera (per film per imballaggio alimentare)
- ◆ Studio delle correlazioni tra proprietà e caratteristiche dei coating, modalità e condizioni di applicazione ed anche i meccanismi con cui questi ultimi sono in grado di modificare le suddette proprietà

- ◆ Ricerca per l'utilizzo di prodotti polimerici da impiegare come additivi nella lavorazione delle fibre o per la modifica delle loro proprietà di superficie. In particolare la ricerca prevede la sintesi di polimeri capaci di fissarsi sulle fibre per funzionare da lubrificanti durante la lavorazione e di essere facilmente rimossi successivamente alla lavorazione oppure di additivi polimerici capaci di modificare in modo permanente proprietà quali bagnabilità, resistenza alla fiamma, antistaticità

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Chemical recycling of PET: Preparation of alkyd resins for air-curable water-soluble paints
- ◆ Chemical recycling of PET: Preparation of alkyd resins for air-curable high solid paints
- ◆ F. Pilati, M. Toselli, A. Re, F. Bottino, A. Pollicino e A. Recca, "Surface investigation by ESCA of Poly(ethylene terephthalate)-Perfluoro Polyether Block Copolymers", *Macromolecules*, 23, 348, 1990
- ◆ F. Pilati, M. Toselli, F. A. Bottino, G. Di Pasquale, A. Pollicino, R. D. Short, C. Tonelli, "Surface investigation of Poly(ethylene terephthalate) containing perfluoropolyethers", *Chim. Ind. (Milan)*, 74, 678, 1992
- ◆ F. Pilati, M. Toselli, S. Torricelli, C. Stramigioli, M. Dinelli, "Powder coatings from recycled PET" in 'Conversion of Polymer Wastes & Energetics', H.H. Krause and J.M.L. Penninger Eds., ChemTec Publishing, Toronto Canada, p. 67, 1994
- ◆ M. Toselli, M. Impagnatiello, C. Stramigioli, F. Pilati, G. Mazzoli e G. Benuzzi, "Polymer Recycling", 2, 35, 1996
- ◆ F. Pilati, M. Toselli, A. Agostini, C. Stramigioli, M. Dinelli e S. Ballotta, "Polymer Recycling", 2, 27, 1996
- ◆ M. Messori, M. Toselli, F. Pilati, E. Fabbri, P. Fabbri, S. Busoli, L. Pasquali, S. Nannarone "Polymer", in press
- ◆ F. A. Bottino, G. Di Pasquale, A. Pollicino, F. Pilati, M. Toselli, C. Tonelli, "XPS study on surface segregation in poly(ethylene-iso/terephthalate)-perfluoropolyether block-copolymers", *Macromolecules*, 31(22), 7814, 1998
- ◆ P. Fabbri, M. Messori, F. Pilati, M. Toselli, "Modifica del PVC per applicazioni biomedicali", *Biomateriali*, 2, 29-30, 2000
- ◆ M. Toselli, M. Messori, R. Bongiovanni, G. Malucelli, A. Priola, F. Pilati, C. Tonelli, "Poly(ϵ -caprolactone)-poly(fluoroalkylene oxide)-poly(caprolactone) block copolymers. 2. Thermal and surface properties", *Polymer*, 42, 1771-1779, 2001, *Macromol. Symposia*, in stampa
- ◆ M. Messori, M. Toselli, F. Pilati, P. Fabbri, C. Tonelli, "Poly(caprolactone)-poly(fluoroalkylene oxide)-poly(ϵ -caprolactone) block copolymers as surface modifiers of poly(vinyl chloride)" *Surface Coatings International Part B: Coatings Transactions*, 85 B3, 197-201, 2002
- ◆ A. M. Hawkrige, J. A. Gardella Jr., M. Messori, M. Toselli, F. Pilati, C. Tonelli, "Surface Chemical Analysis of Poly(ϵ -caprolactone)-perfluoropolyether-(ϵ -caprolactone) triblock copolymers by X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS)", *Polymer International*, in press

- ◆ M. Messori, M. Toselli, F. Pilati, E. Fabbri, P. Fabbri, S. Busoli, L. Pasquali, S. Nannarone "Flame Retarding Poly(Methyl Methacrylate) with Nanostructured Organic-Inorganic Hybrids Coatings", *Polymer*", in press
- ◆ M. Messori, M. Toselli, F. Pilati, E. Fabbri, P. Fabbri, S. Busoli, "Poly(caprolactone)/silica organic-inorganic hybrids as protective coatings for poly(methyl methacrylate) substrates", *Surface Coatings International Part B, Coatings Transactions*, accepted for publication

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Università di Bologna, Università di Parma, Università di Catania, Politecnico di Torino, Politecnico di Milano: ibridi organici-inorganici per uso alimentare
- ◆ Tetrapak (Modena): trattamenti superficiali per saldabilità
- ◆ Martini (Concordia, MO): modifiche di superficie con additivi chimici
- ◆ Prochimica Novarese (Novara), INPG Institute Polytechnique di Grenoble (FR): superfici di fibre
- ◆ Solexis (gruppo Solvay, Bollate, MI): uso di fluorurati per modifiche superficiali.
- ◆ Università di Loughborough (GB): ibridi organici-inorganici
- ◆ IPF (Institute for Polymer research) Dresda (D): polimeri superidrofobici

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Collaborazione con Università di Loughborough: studio della modifica della superficie di resine termoindurenti attraverso l'impiego di oligomeri fluorurati per ridurre l'assorbimento d'acqua
- ◆ Collaborazione con Institute Polytechnique di Grenoble: modifica della composizione della superficie di fibre di cellulosa per ridurre la bagnabilità, attraverso l'impiego di oligomeri fluorurati
- ◆ Collaborazione con IPF di Dresda: studio per lo sviluppo di tecnologie atte a generare superfici superidrofobe (autopulenti)
- ◆ Collaborazione con Industria Martini di Concordia (Mo): miglioramento della resistenza al graffio e alla fiamma di PMMA impiegato in dispositivi per illuminazione³

³ Il PMMA come tale non supera le norme previste per applicazione in campo illuminotecnico ed inoltre è facilmente graffiabile con conseguente peggioramento delle qualità estetiche, per cui è stato studiato, attraverso l'impiego di coating ibridi organici-inorganici, come migliorare queste caratteristiche. In effetti si è dimostrato che è possibile raddoppiare il tempo di 'time to flame', rendendo quindi il PMMA compatibile con le normative del settore, e al tempo stesso ottenere un significativo miglioramento della resistenza al graffio.

- ◆ Collaborazione con Tetrapak: studio del comportamento della superficie degli imballaggi per liquidi in conseguenza del processo di sterilizzazione. Attraverso tecniche XPS e misure di angolo di contatto si è studiato quale tipo di effetto comporta il trattamento del materiale utilizzato per imballaggio con una soluzione battericida in relazione
- ◆ Collaborazione con Prochimica Novarese: preparazione e studio di additivi per il trattamento delle superfici di fibre tessili⁴
- ◆ Collaborazione con Università di Bologna: miglioramento della rigidità dielettrica di film polimerici impiegati per la fabbricazione di condensatori. E' attualmente attiva una ricerca per verificare la possibilità di aumentare la rigidità dielettrica del PET attraverso l'impiego di coating ibridi organici-inorganici
- ◆ Coordinamento di progetto COFIN con Università di Bologna, Catania, Parma, Politecnico di Torino, Politecnico di Milano: modifica della superficie di film per imballaggio alimentare, per il miglioramento delle proprietà barriera attraverso l'applicazione di coating ibridi organici-inorganici

Sfruttamento dei risultati

Alcune applicazioni possibili

- ◆ Riduzione del coefficiente d'attrito (lubrificanti permanenti)
- ◆ Miglioramento di resistenza all'abrasione, alla fiamma, al graffio (per componenti meccanici in materiale plastico)
- ◆ Miglioramento delle proprietà barriera di film per imballaggio
- ◆ Modifica della saldabilità
- ◆ Fissaggio sulla superficie di un manufatto di sostanze a funzionalità predefinita (biocompatibilità, azione antibatterica, bagnabilità, ecc.)

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Industrie meccaniche
- ◆ Industrie del settore biomedicale

⁴ Le fibre tessili subiscono molti tipi diversi di trattamenti per la cui ottimizzazione è necessario impiegare additivi. Gli additivi tradizionali oggi presentano delle limitazioni in termini di biodegradabilità e di eccessiva volatilità. Per questo motivo sono attivi studi su quali possibili strutture molecolari alternative siano in grado di superare questi vincoli funzionali. Parallelamente si sta verificando la possibilità di modificare le caratteristiche superficiali delle fibre per ottenere, in modo alternativo a quello attualmente utilizzato, antistaticità, bassa bagnabilità, maggior resistenza all'abrasione e alla fiamma.

- ◆ Industrie del settore dell'imballaggio
- ◆ Industrie per illuminotecnica
- ◆ Industrie per arredamento
- ◆ Industrie elettroniche
- ◆ Industrie tessili

I principali rapporti realmente operativi con aziende della regione ed inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Martini, Concordia (MO): miglioramento della resistenza al graffio e alla fiamma di lastre di PMMA per impieghi in campo illuminotecnico attraverso l'impiego di coating ibridi organici-inorganici
- ◆ Tetrapak, Modena: misura delle proprietà di superficie di materiali utilizzati nell'imballaggio alimentare, ed effetti dovuti a trattamenti vari

I possibili link per informazioni

- ◆ <http://www.dima.unimore.it/personale/Pilati>

Tematica 3: Modifica delle proprietà superficiali di materiali metallici diversi mediante processi di conversione e di ricopertura per incrementare la resistenza a corrosione e a usura

Descrizione

I materiali metallici sono utilizzati in larga misura nel settore industriale e quindi la loro efficienza ed affidabilità di utilizzo risultano essere particolarmente importanti anche in termini di contenimento dei costi (il mancato funzionamento di componenti metallici può rappresentare un costo che si avvicina e talvolta supera il 10% del PIL dell'Italia). La maggior parte dei fenomeni distruttivi o di degradazione avvengono o partono dalla superficie. Per questo motivo, la ricerca si è impegnata a migliorare il comportamento in esercizio dei componenti cercando di incrementare le caratteristiche resistenziali delle superfici.

Le interazioni che incidono sulla superficie metallica possono essere classificate nel seguente modo:

- ◆ interazioni di tipo chimico, i cui effetti vanno sotto il nome di "corrosione" e portano sempre alla degradazione del materiale;
- ◆ interazioni di tipo meccanico, derivanti dalla necessità di imporre forze esterne durante l'impiego del componente. Nel caso particolare che l'azione meccanica sia imposta a superfici in contatto ed in moto relativo tra loro (a formare un cosiddetto "sistema tribologico"), l'effetto può essere l'usura, altro fenomeno che porta a degradazione del materiale.

Le proprietà degli strati superficiali sono il risultato della combinazione degli effetti dovuti a fattori microgeometrici, fisico-chimici, meccanici, ecc. Un ruolo fondamentale è giocato dallo stato tensionale residuo, il quale può essere convenientemente modificato tramite l'introduzione volontaria di tensioni di tipo compressivo che si oppongono alle tensioni di trazione presenti in esercizio.

Due sono gli approcci possibili per risolvere il problema dell'incremento delle caratteristiche delle superfici:

- ◆ modificare uno strato superficiale di spessore predefinito direttamente sul pezzo;
- ◆ realizzare un rivestimento superficiale sufficientemente spesso.

Rientrano nel primo caso gli strati di conversione ottenuti mediante diffusione attivata termicamente di specie chimiche. Tali strati sono spesso utilizzati per incrementare la resistenza a corrosione dei metalli.

I rivestimenti superficiali, a seconda della loro tipologia, sono indicati sia per funzioni anticorrosione che antiusura.

Filoni di ricerca in atto e da sviluppare nel futuro inerenti la tematica

- ◆ Generazione di strati passivanti su leghe di titanio da utilizzare anche come supporto di rivestimenti duri

L'attività di ricerca fa riferimento alla necessità di migliorare le prestazioni antiusura. Il titanio, in questo senso, rappresenta una vera alternativa ai metalli ferrosi. E' opportuno, però, aumentare lo spessore dello strato ossidato il quale potrebbe così essere utilizzato come supporto per rivestimenti funzionali. A livello di ricerca sono da affrontare le seguenti problematiche:

- diffusione controllata dell'ossigeno nel titanio, preferibilmente a bassa temperatura;
- identificazione delle modalità di deposizione su ossido del DLC;
- identificazione delle modalità di deposizione su ossido.

- ◆ Modifica dei trattamenti di superficie di tipo galvanico.

Nel campo dei trattamenti superficiali anticorrosione di tipo galvanico, vengono affrontati i seguenti temi:

- nella conversione cromica, sostituzione del Cr VI, di cui è conosciuta la tossicità e la cancerogenicità, con il Cr III, mantenendo o aumentando le prestazioni anticorrosione;
- negli strati elettrodeposti, il contenimento delle difettosità, delle tensioni residue e dell'idrogenazione;
- ottimizzazione delle modalità di elettrodeposizione di leghe piuttosto che metalli puri;
- risoluzione dei problemi ambientali, di sicurezza, connessi al processo galvanico.

- ◆ Incremento della finitura superficiale mediante processi di lucidatura chimica o elettrochimica.

Un alto grado di finitura superficiale è utile per ottenere funzioni anticorrosive ed è spesso necessario per incrementare le caratteristiche meccaniche dei componenti. Risulta di notevolissimo interesse esplorare le potenzialità della lucidatura chimica o elettrochimica, già sperimentata con successo su alcuni metalli (acciaio inossidabile), ma ancora in fase di studio e di messa a punto per altri (ad. es.: il titanio e le sue leghe).

- ◆ Studio di trattamenti di superficie contro l'usura.

Lo studio dei fenomeni tribologici richiede dapprima l'individuazione di una geometria di prova coerente con le condizioni di esercizio. Successivamente è necessario il controllo del maggior numero possibile delle variabili che influenzano il risultato sperimentale. A tale scopo è molto utile l'impiego di una procedura di tipo statistico come il DOE (Design Of Experiments), la quale permette di ricavare il maggior numero di dati dal minor numero di prove sperimentali. Di recente l'interesse scientifico si sta dirigendo verso lo studio dei fenomeni micro- e nanotribologici, con l'impiego di tecniche come MSAT (Micro Scale Abrasion Test) per le prove di abrasione e AFM (Atomic Force Microscopy) per le indagini sulla morfologia delle piste di usura.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tematica

- ◆ L. Ceschini, G. Poli, D. Prandstraller, A. Zucchelli, "Valutazione sperimentale della resistenza all'usura abrasiva di rivestimenti superficiali", Bologna, 4° mostra e convegno internazionale sulla manutenzione degli impianti industriali, 2001
- ◆ C. Martini, G. Poli, D. Prandstraller, "Use of DOE (Design Of Experiment) in tribological studies: austempered cast iron vs. flame-sprayed molybdenum", Proc. Euromat 2001, Rimini (RN) CD-Rom
- ◆ E. Lanzoni, C. Martini, G. Poli, D. Prandstraller, L. Nobili, "Tribological behaviour of ACD Ni-P/PVD nitride/DLC multilayered coatings", Proc. 2nd World Tribology Congress (WTC '01) Ed. Osterreichische Tribologische Gesellschaft, Vienna, Austria (2001) CD-Rom
- ◆ V. Imbeni, C. Martini, E. Lanzoni, G. Poli, I. M. Hutchings, "Tribological behaviour of multi-layered PVD nitride coatings" WEAR (2001) 1-6
- ◆ E. Lanzoni, C. Martini, G. Poli, D. Prandstraller, "Abrasive wear of DLC/PVD multilayer coatings: AFM studies", AIMETA International Tribology Conference (AITC2002) Vietri sul Mare, Salerno, Italy, 18-20/09/2002
- ◆ C. Martini, G. Poli, D. Prandstraller, "Micro-Scale Abrasion Tests (MSAT): esperienze nella valutazione della resistenza ad usura abrasiva di rivestimenti sottili su sostrati metallici", 6° Convegno Nazionale AIMAT, Modena, 8-11/09/2002
- ◆ V. Imbeni, C. Martini, G. Poli, D. Prandstraller, "Usura abrasiva su micro-scala della lega TiNi a memoria di forma: influenza del tipo di abrasivo", 29° convegno Naz. AIM, Modena, 13-15/11/2002
- ◆ C. Martini, G. Palombarini, D. Prandstraller, G. Poli, "Sliding and abrasive wear behaviour of boride coatings", AusTrib '02, Perth, Australia, 2-5 Decem. 2002

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tematica

- ◆ Università di Bologna, Università di Genova, Università di Torino: resistenza alla corrosione di rivestimenti metallici
- ◆ Department of Materials Science and Metallurgy, Cambridge, UK: tribologia di rivestimenti sottili
- ◆ Lawrence Berkeley National Laboratory, USA; Nitinol Devices & Components, Fremont, USA: tribologia di leghe a memoria di forma
- ◆ Department of Metallurgy and materials, University of Malta; Samputensili SpA, Bologna: rivestimenti PVD e CVD

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ "Wear and corrosion resistant coatings for aerospace materials" promosso dal "The British Council", ente per la collaborazione italo-britannica per la ricerca e l'istruzione superiore
- ◆ "Tribological behaviour of NiTi shape Memory alloy", in collaborazione con Lawrence Berkeley National Laboratory, USA e Nitinol Devices & Components, Fremont, USA
- ◆ "Cost 516 – European concerted action on tribology", in collaborazione con Department of Metallurgy and materials, University of Malta
- ◆ "Tribological behaviour of PVD coatings", in collaborazione con Department of Materials Science and Metallurgy, University of Cambridge, UK

Sfruttamento dei risultati:

Alcune possibili applicazioni

- ◆ Contatti striscianti: abbassamento del coefficiente di attrito e del tasso di usura
- ◆ Ingranaggi: minimizzazione dei problemi di pitting
- ◆ Strutture esposte a sollecitazioni chimiche: annullamento della velocità di corrosione
- ◆ Utensili da taglio: incremento della operatività
- ◆ Strumentazioni mediche e alimentari: risoluzione dei problemi da contaminazione superficiale

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Industria dell'auto (carrozzeria, parti meccaniche, ecc.)
- ◆ Industria dell'energia (produzione e distribuzione)
- ◆ Industria dei trasporti (materiale ferroviario, reti di comunicazione, ecc.)
- ◆ Industria meccanica produttrice di impianti, macchine utensili, strumenti di misura
- ◆ Industria dell'arredamento (idrosanitari, finiture, ecc.)
- ◆ Industria del confezionamento, anche alimentare
- ◆ Industria del settore della moda (fibbie, bottoni, ecc.)

I principali rapporti realmente operativi con aziende della regione ed inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Samputensili SpA - Bologna (BO): rivestimenti PVD e CVD
- ◆ PMC - Pieve di Cento (BO): rivestimenti per spruzzatura
- ◆ Siderit - Bologna (BO): trattamento superficiale di acciai

I possibili link per informazioni

- ◆ <http://www.dima.unimore.it>

Struttura 5: Dipartimento di Fisica (UNIFE)

Università di Ferrara

Dipartimento di Fisica

Sito web: <http://www.fe.infn.it/dipfis.html>

Indirizzo: Via Paradiso 12 - 44100 Ferrara

Telefono 0532-974211

Direttore: Prof. G. Martinelli

Attività

TEMA 1 - Crescita di film sottili e coating tramite sputtering

TEMA 2 - Proprietà meccaniche e adesione di film sottili

Laboratori/strumentazioni già disponibili presso la struttura inerenti la tipologia/tematica

◆ ***Sistema per la crescita di film e coating metallici***

Il sistema utilizza DC magnetron sputtering, con possibilità di deposizione contemporanea di due metalli, dotato di caratterizzazione chimica in-situ mediante fluorescenza di raggi X

◆ ***Apparato di deposizione per sputtering da fascio ionico***

Tale apparato è utilizzato per la crescita di film e coating sia metallici che isolanti

◆ ***Digital Nanoscope***

Microscopio a forza atomica operante in aria

◆ ***Sistemi di calcolo e software*** sviluppato ad hoc per il calcolo dei modi acustici in film liberi o supportati e per il calcolo della sezione d'urto Brillouin

Tematica 1: Crescita di film sottili e coating tramite sputtering

Descrizione

Nel corso degli ultimi anni il gruppo di crescita di film sottili si è occupato della preparazione di materiali metallici tramite sputtering.

Sono stati depositati sistemi a due componenti su substrati di Si in forma di multistrati (per esempio Cu/Co) e di film granulari, cioè costituiti da nanoparticelle di un metallo immerse in un altro metallo (per esempio Fe in Ag). La preparazione dei campioni è avvenuta mediante l'impiego sia della tecnica di deposizione *magnetron sputtering*, con la quale vengono cresciute strutture policristalline e epitassiali, sia della tecnica di sputtering da fascio ionico IBS (Ion Beam Sputtering). Il sistema di *sputtering magnetron* rende possibile la preparazione anche di leghe metalliche, su aree estese (substrati con diametro fino a 7.5 cm), grazie alla deposizione simultanea di due specie diverse (co-deposizione), mentre l'apparato IBS permette di estendere le capacità di preparazione anche a materiali isolanti.

I campioni realizzati sono studiati con varie tecniche di caratterizzazione, rivolgendo un'attenzione particolare alle proprietà strutturali, chimiche e magnetiche. Le competenze acquisite e la versatilità delle tecniche a disposizione permettono di sviluppare tematiche connesse alle proprietà meccaniche dei materiali. La deposizione per sputtering ha trovato recentemente numerose applicazioni in questo campo e ha permesso, per esempio, di migliorare proprietà meccaniche dei materiali quali durezza, resistenza all'attrito e all'ossidazione ad alta temperatura, resistenza all'abrasione. La deposizione per sputtering permette inoltre di ottenere, in generale, un'adesione migliore rispetto ad altre tecniche di preparazione come l'evaporazione, grazie alla maggiore energia cinetica delle particelle che vengono depositate.

Le tecniche a disposizione, quindi, risultano particolarmente adatte allo studio e all'ottimizzazione delle proprietà meccaniche e tribologiche dei materiali.

Filoni di ricerca in atto e da sviluppare nel futuro inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Uso della deposizione per sputtering per controllare l'adesione dei film sui substrati tramite il controllo della contaminazione interfacciale e dell'energia cinetica delle particelle depositate
- ◆ Studio della dipendenza della rugosità dei ricoprimenti dai parametri fisico-chimici della deposizione per sputtering
- ◆ Studio delle proprietà magnetiche dei film preparati per sputtering

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ F. Spizzo, E. Angeli, D. Bisero, P. Vavassori e F. Ronconi, "Fragmentation of cobalt layers in Co/Cu multilayers monitored by magnetic and magnetoresistive measurements", Appl. Phys. Lett. 79, 3293 (2001)
- ◆ P. Vavassori, E. Angeli, D. Bisero, F. Spizzo e F. Ronconi, "Role of particle size distribution on the temperature dependence of coercive field in sputtered Co/Cu granular films", Appl. Phys. Lett. 79, 2225 (2001)
- ◆ D. Bisero, E. Angeli, L. Pizzo, F. Spizzo, P. Vavassori e F. Ronconi, "Transport properties and magnetic disorder/order transition in $\text{Fe}_x\text{Ag}_{100-x}$ films", J. Magn. Magn. Mater. 262, 84 (2003)
- ◆ D. Bisero, E. Angeli, F. Spizzo, P. Vavassori e F. Ronconi, "Coercive field vs temperature in Fe/Ag nanogranular films", J. Magn. Magn. Mater. 262, 116 (2003)
- ◆ F. Spizzo, E. Angeli, D. Bisero, A. Da Re, F. Ronconi, P. Vavassori, I. Bergenti, A. Deriu, A. Hoell, "SANS measurements with polarised neutrons on FeAg magnetic granular systems", J. Appl. Cryst. 36, 826 (2003)

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Centro di Ricerca S³-INFM Modena, Dipartimento di Fisica Università di Modena: preparazione e caratterizzazione di strati protettivi e/o magnetici mediante deposizione con sputtering
- ◆ Dipartimento di Fisica Università di Bologna, Dipartimento di Fisica Università di Parma: proprietà magnetiche di leghe metalliche
- ◆ Dipartimento di Fisica, Università di Perugia, Argonne National Laboratory di Chicago e Università di Chicago: proprietà elastiche e vibrazionali di strati metallici

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Progetto di Ricerca Avanzata (PRA) 1999-2001 ELTMAG dell'Istituto Nazionale di Fisica per la Materia: studio del trasporto elettronico in sistemi granulari
- ◆ Programma di ricerca scientifica di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN) cofinanziato dal MURST di 2 anni a partire dal 2000: preparazione di superfici e strati nano-microstrutturati (dots e fili)
- ◆ Progetto di Ricerca PNR2001-2003 FIRB del MIUR: preparazione di superfici e strati nano-microstrutturati
- ◆ Programma di ricerca scientifica di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN) 2003-2005: strutture lateralmente confinate su superfici, modellate con Focused Ion Beam

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

Lo studio ai fini della crescita di materiali ad elevata durezza, di materiali autolubrificanti e di materiali resistenti all'ossidazione ad alta temperatura presuppone applicazioni industriali che riguardano:

- ◆ Tecnologia degli utensili
- ◆ Ingranaggi
- ◆ Parti in movimento/sfregamento
- ◆ Nano-micromeccanica

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Industria meccanica
- ◆ Industria aerospaziale

I possibili link per informazioni

- ◆ <http://www.fe.infn.it/dipfis.html>
- ◆ <http://www.fe.infn.it/infm.html>

Tematica 2: Proprietà meccaniche e adesione di film sottili

Descrizione

Lo studio sperimentale delle proprietà meccaniche/elastiche dei film sottili e dell'adesione di tali film su di un substrato pone difficili problemi in termini di distruttività della tecnica utilizzata. Infatti, la maggior parte delle tecniche perturba sensibilmente o addirittura deforma permanentemente il sistema (come, per esempio, la tecnica dell'indentation).

Al contrario, una tecnica non distruttiva è costituita dalla diffusione di luce Brillouin da eccitazioni acustiche di superficie, o di film sottile, in equilibrio termico.

In collaborazione con vari gruppi sperimentali si è utilizzata questa tecnica per caratterizzare elasticamente film liberi o supportati. I film possono essere sia film singoli, sia compositi (multistrati, o cosiddetti super reticoli, ottenuti per evaporazione o sputtering di materiali di diversa natura). I risultati di diffusione Brillouin, dai quali si possono ricavare le velocità di propagazione di modi acustici di vario tipo (esempio onde superficiali di Rayleigh o onde di Lamb-Sezawa in film), sono confrontati con simulazioni numeriche, deducendo in questo modo le costanti elastiche caratteristiche dei film in questione, nel caso in cui vi sia una buona adesione fra film e substrato. Alternativamente, se le caratteristiche elastiche/meccaniche dei film supportati sono note, paragonando i risultati sperimentali e quelli calcolati, è possibile risalire a quelle anomalie di propagazione dei modi acustici che rivelano la mancanza di adesione fra i mezzi.

Le metodologie di simulazione numerica possono essere sviluppate in futuro per includere casi di interesse riguardanti sistemi ottenuti nell'ambito del Tema "Crescita di film sottili e coating tramite sputtering".

Filoni di ricerca in atto e da sviluppare nel futuro inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Modellizzazione di mezzi non omogenei, come film granulari
- ◆ Caratterizzazione delle proprietà elastico-vibrazionali di strati metallici sottili

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ M. Grimsditch e F. Zizzoli, "Effective elastic constants of superlattices of any symmetry", Phys. Rev B 33, 5891 (1986)
- ◆ F. Nizzoli, R. Bhadra, O. F. de Lima, M. B. Brodsky e M. Grimsditch, "Problems with the determination of elastic constants from higher order surface waves: Results for Al on NaCl", Phys. Rev. B 37, 1007 (1988)

- ◆ R. Jorna, D. Visser, V. Bortolani e F. Zizzoli, "Elastic and vibrational properties of Nickel films measured by surface Brillouin scattering", J. Appl. Phys. 65, 718 (1989)
- ◆ R. Bhadra, M. Grimsditch, I. K. Schuller e F. Zizzoli, "Brillouin scattering from unsupported Al films", Phys. Rev. B 39, 12456 (1989)
- ◆ F. Nizzoli e L. Giovannini, "Elastic characterization of supported films by Brillouin light scattering", in Proc. SPIE 2868, Editor E. P. Tomasini, p.469 (1996)

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Università di Perugia, Dipartimento di Fisica; Argonne National Laboratory di Chicago: proprietà elastiche e vibrazionali di strati metallici

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ NATO Collaborative Research Grant USA-Italia NO. 0473/85 "Mechanical and vibrational properties of superlattices using Brillouin scattering" - 2 anni a partire dal 1986
- ◆ Progetto di Ricerca Avanzata (PRA) SIMBRIS "Surface and interface magnetism studied by Brillouin scattering" finanziato dall'Istituto Nazionale di Fisica per la Materia (I.N.F.M.) - 3 anni a partire dal 1998
- ◆ Progetto di Ricerca PNR2001-2003 FIRB del MIUR "Microsystems based on new magnetic materials structured on nanoscopic scale" - 3 anni a partire dal 2003
- ◆ Programma di ricerca scientifica di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN) "Epitaxial growth and study of laterally confined magnetic nanostructures, shaped by focused ion beam" richiesta di cofinanziamento al MIUR - 2 anni a partire dal 2003

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

- ◆ Determinazione delle caratteristiche meccaniche di film liberi o supportati, coatings (moduli di elasticità, di Young, rapporto di Poisson, ecc.)
- ◆ Verifica del grado di adesione di film su substrati

Le relative applicazioni industriali riguardano la caratterizzazione meccanica/elastica di film sottili impiegati in nano-micromeccanica, ricoprimenti.

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Industria meccanica
- ◆ Industria aerospaziale

I possibili link per informazioni

- ◆ <http://www.fe.infn.it/dipfis.html>
- ◆ <http://www.fe.infn.it/infm.html>

Struttura 6: ISMN (CNR) - Sezione Bologna

CNR Area di Ricerca di Bologna

ISMN - Istituto per lo Studio di Materiali Nanostrutturati – sezione Bologna

Indirizzo: Via Gobetti, 101 - 40129 Bologna

Tel. 0516398507

Responsabile di Sezione: Ing. Carlo Taliani

Attività

TEMA 1 - Coating duri preparati per channel spark ablation

Laboratori/strumentazioni già disponibili presso la struttura

- ◆ Macchina di deposizione Channel Spark Ablation: in questo apparato si realizzano deposizioni di materiali su opportuni substrati mediante ablazione da un target. Questo viene realizzato con fasci estratti da un plasma ed accelerati in campi elettrici forti fino a 25 kV
- ◆ Spettroscopi micro Raman e IR: queste apparecchiature sono usate per la rivelazione della composizione chimica e strutturale di diversi materiali. Il micro Raman permette inoltre di definire la composizione chimico-strutturale con una risoluzione spaziale di circa 1 micron
- ◆ Microscopi SEM, STM e AFM: questi diversi apparati di microscopia permettono studi morfologici di superfici e ricoprimenti con un'altissima risoluzione spaziale. La microscopia AFM può essere usata per misurare le proprietà meccaniche dei film sottili; la microscopia SEM è un metodo veloce ed efficace per studiare la morfologia di superfici estese
- ◆ Apparato per misure di resistenza: permette di studiare le proprietà elettriche ed estrarre l'informazione relativa alle bande energetiche, meccanismi di scattering ed altro
- ◆ Apparato per misure magnetiche e magneto-ottiche: consente lo studio delle proprietà magnetiche fondamentali dei materiali, e anche studi orientati ad applicazione magneto-opto-elettroniche

Tematica 1: Coating duri preparati per channel spark ablation

Descrizione

Il tema della deposizione dei coatings duri sta suscitando un crescente interesse nel mondo della ricerca, in vista soprattutto dei diversi contesti in cui tale tecnologia può essere applicata, come ad esempio la nanoelettronica e la meccanica.

Una tecnica molto usata in questo campo è la Laser Ablation (LA), che permette un trasporto stechiometrico del materiale depositato verso l'oggetto di lavoro. Gli svantaggi del metodo LA consistono principalmente nel costo molto elevato (sia di acquisto sia di mantenimento), nella bassa efficienza ed nell'enorme consumo di energia che si verifica nei casi di velocità di sinterizzazione alte. Inoltre, i due sistemi, quello di ablazione (laser) e quello di crescita, sono separati in due moduli diversi.

La possibilità di sostituire LA con un sistema simile, ma molto più semplice ed economico, sembra oggi essere la strada più attraente nello sviluppo di una tecnica accessibile ed efficace.

L'ablazione Channel Spark (CSA) si è rivelata negli ultimi anni come un metodo che, in diversi casi, è in grado di sostituire (e a volte superare) l'ablazione laser. Il CSA è caratterizzato da principi di funzionamento completamente diversi dall'ablazione laser: gli impulsi sono di natura elettronica e i fasci vengono estratti dal plasma ed accelerati in campi elettrici forti fino a 25 kV. Ciò nonostante il CSA mantiene parametri di ablazione molto simili a quelli di LA (energia di un impulso di circa un 1 Joule/cm², durata di impulsi di circa 10-100 nanosecondi, frequenza di 1-30 Hz).

Le condizioni di lavoro del CSA sono ideali per sostituire il LA nella deposizione di una vasta gamma di ossidi ed altri composti inorganici (carburi, siliciuri ed altri). Nella deposizione di superconduttori a temperatura alta come (Y,Gd)-Ba-Cu-O ed altri, il metodo CSA si è rivelato molto superiore a quello di LA, garantendo sia un'elevata qualità dei film ultrasottili, sia la possibilità di funzionare a velocità di deposizione molto alte.

Recentemente il CSA si è dimostrato migliore al LA nella preparazione dei film di manganiti ferromagnetiche spin polarizzati.

In aggiunta ai materiali fin qui descritti, la CSA può essere con grande successo usata per la deposizione di qualsiasi materiale o ceramica complessa, come per esempio SiC, BN ed altri. Gli esperimenti preliminari hanno mostrato la possibilità di trasportare il SiC in modo stechiometrico a distanze di 5-10 cm con la CSA.

Un'altra applicazione possibile è la deposizione dei nanotubi di carbonio. La proposta di usare il CSA al posto di LA per sviluppare una nuova tecnologia di preparazione dei nanotubi è basata sulle similarità di funzionamento tra CSA e LA e sulla possibilità di raggiungere temperature molto elevate nella pluma al bordo del target. Il sistema proposto consiste in una sorgente elettronica CSA attaccata alla camera di sinterizzazione e trascinamento dei nanotubi.

Filoni di ricerca in atto e da sviluppare nel futuro inerenti la tipologia/tematica

I principali filoni di ricerca sono:

- ◆ la deposizione del SiC, BN ed altre ceramiche dure con la tecnica Channel Spark Ablation;
- ◆ la deposizione sui substrati di diverse tipologie, inclusi fogli metallici, semiconduttori e diversi tipi di ossidi.

La qualità dei film viene studiata attraverso diversi metodi: diffrazione a raggi X, micro Raman, spettroscopia IR, misure I-V, microscopia STM e AFM ed altro.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Dediu V.I. et al., "Deposition of MBa₂Cu₃O₇ thin films by channel-spark method", Supercon. Sci. Technol. v.8, 160-164 (1995)
- ◆ Scardi P., Maticotta F.C., Dediu V.I., "Line profile analysis of High-Tc superconducting thin films", Materials structure, v.2, 27-28 (1995)
- ◆ Dediu V.I., Kursumovic A., Greco O., Biscarini F., Maticotta F.C., "Observation of the Stranski-Krastanov growth transition in GdBa₂Cu₃O_{7-x} thin films", Phys. Rev. B54, 1564-1567 (1996)
- ◆ Scardi P., Maticotta F.C., Dediu V., Corra L., "X-ray diffraction line broadening effects in MBa₂Cu₃O_{7-x} (M = Y, Gd) thin films", J. Mater. Res., v. 12, N1, 28-37 (1997)
- ◆ Biscarini F., Dediu V.I., Greco O., Maticotta F.C., Migliori A., "Roughness increase and dimensional transitions during the growth of GdBa₂Cu₃O_{6+y} films on NdGaO₃", Nuovo Cimento, v. 19D, N8-9, 1003-1008 (1997)
- ◆ Dediu V., Lopez J., Maticotta F. C., Nozar P., Ruani G., Zamboni R., Taliani C., "Micro-Raman and resistance measurements of epitaxial La_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃ films", Phys. Stat. Sol. (b) v.215, 625 (1999)
- ◆ V. Dediu, C. Ferdeghini, F. C. Maticotta, P. Nozar, G. Ruani, "Jahn-Teller dynamics in charge-ordered manganites from Raman spectroscopy", Phys. Rev. Lett., 84, N19, 4489-4492 (2000)
- ◆ V. Dediu, M. Murgia, S. Barbanera, C. Taliani, "Spin valve effect in hybrid organic-inorganic device", AIP Conference Proceedings, 591, Issue 1, 548-552 (2001)
- ◆ V. Dediu, C. Taliani, M. Murgia, F. C. Maticotta, S. Barbanera, "Room temperature spin polarized injection in organic semiconductor", Solid State Communications, 122/3-4, 181-184 (2002).
- ◆ C. Albonetti, I. Bergenti, M. Cavallini, V. Dediu, M. Massi, J.F. Moulin, F. Biscarini, "Electrochemical preparation of cobalt tips for scanning tunneling microscopy", Review of Scientific Instruments, 73, Issue 12, 4254-4256 (2002)

- ◆ C. Taliani, V. Dediu, F. Biscarini, M. Cavallini, M. Murgia, G. Ruani, P. Nozar, "Organic-Inorganic Hybrid Spin-Valve: a Novel Approach to Spintronics", *Phase Transitions*, 75, N0. 7-8, 1049-1058 (2002)
- ◆ M. Cavallini, F. Biscarini, V. Dediu, F. C. Maticotta, P. Nozar, R. Zamboni, "Half metallic response of manganite films at room temperature from spin-polarized scanning tunneling microscopy", *cond-mat/0301101* (2003)

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Università di Parma: misure magnetiche, diffrazione a raggi X
- ◆ FZK, Karlsruhe: elaborazione tecniche di deposizione per diverse ceramiche
- ◆ Università di Wurzburg: litografie diverse
- ◆ Max Planck Institut fuer Festkoerperforschung- Stuttgart: produzione e studio di nanotubi di carbonio

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Progetto EC SPINOSA IST-2001-33334 - Deposizione di Ossidi Ferromagnetici per l'Iniezione Spin Polarizzata nei Dispositivi Semiconduttivi a base di Si e GaAS
- ◆ Progetto EC STEPLED IST-2001-37375 - Ossidi Ferromagnetici come Iniettori Spin Polarizzati per Diodi Emittitori di Luce Organici
- ◆ Progetto EC SPIN-ASIA -Trasferimento tecnologico di tecniche di deposizione di materiali complessi
- ◆ Due progetti FIRB - Nanotecnologie e nanodispositivi optoelettronici, elettronici e spintronici
- ◆ Progetto FISR - Materiali e processi per sistemi nanostrutturati
- ◆ Due Progetti EC (Nanosprk, Spang) - Produzione di Nanotubi di Carbonio per applicazioni elettroniche e meccaniche

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

Il risultato principale che tale ricerca si propone di raggiungere consiste nella possibilità di produrre coatings duri di diverse ceramiche con una tecnica competitiva a basso costo ed a basso consumo di energia.

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Industria meccanica
- ◆ Industria fotonica (film di SiC)

I possibili link per informazioni

- ◆ <http://www.ism.bo.cnr.it/home.html>

Struttura 7: Democenter e CSM – Centro Sviluppo Materiali

Democenter

Indirizzo: Viale Virgilio, 55 - 41100 Modena
Tel: 059-899611

Direttore: Paolo Onesti
e-mail: paolo.onesti@democenter.it

Sito internet: <http://www.democenter.it>

CSM – Centro Sviluppo Materiali S.p.A.⁵

Sede Principale: Via di Castel Romano, 100 - 00128 - Roma
Tel: 06-5055829
Fax: 06-5055202

Sede di Modena: presso Democenter
Tel: 059-899611

Referente: Alberto Spinaci

Email: marketing.csm@c-s-m.it

Sito internet: <http://www.c-s-m.it>

Attività

TEMA 1 – Studio dell'impatto socio ambientale, alternative nei trattamenti superficiali e progettazione assistita di superfici

⁵ Le competenze di CSM Centro Sviluppo Materiali S.p.A. inerenti le tematiche di ricerca del net-lab SUP&RMAN sono analoghe a quelle presenti nel net-lab MATMEC. Pertanto si rimanda all'allegato 8 per la descrizione completa.

Laboratori/strumentazioni già disponibili presso la struttura inerenti la tipologia/tematica

◆ Laboratorio caratterizzazione materiali e superfici

All'interno di questo laboratorio sono presenti le seguenti strumentazioni ed apparecchiature:

- Sistema per diffrazione a raggi X a temperatura variabile fino a 1500°C
- Sistemi di trattamento termico in atmosfera controllata fino a 1300°C
- Microscopio elettronico a scansione con microanalisi in dispersione di energia
- Sistema per granulometria con diffusione elastica di luce a basso angolo
- Sistemi di acquisizione ed elaborazione di immagini per la interpretazione delle caratteristiche microstrutturali
- Microscopio riscaldante fino a 1500°C

Tematica 1: Studio dell'impatto socio ambientale, alternative nei trattamenti superficiali e progettazione assistita di superfici

Descrizione

DemoCenter è una Società Consortile a Responsabilità Limitata senza scopo di lucro, nella cui compagine sociale sono presenti l'Università di Modena e Reggio Emilia, tutte le Associazioni Industriali, numerosi enti locali ed imprese private. Democenter è uno dei laboratori certificati del MIUR per l'ingegneria, i laboratori e l'informatica e coinvolge nella propria attività sia il mondo della ricerca pubblica e privata sia quello delle imprese. Dal 1993, con la collaborazione dell'Università di Modena e Reggio Emilia (Facoltà di Ingegneria) e con il supporto economico di strutture pubbliche, DemoCenter ha creato all'interno della propria struttura diversi laboratori, tra i quali il laboratorio di caratterizzazione dei materiali, delle polveri e delle superfici.

In questo laboratorio sono presenti attrezzature avanzate, gestite congiuntamente da personale universitario e da personale di DemoCenter, sia per lo sviluppo di ricerca di base sia per attività applicative industriali.

Gli obiettivi principali delle attività di ricerca sviluppate sono:

- ◆ applicazioni di tecnologie emergenti nel campo dei materiali e dei trattamenti superficiali, curando non soltanto gli aspetti tecnico scientifici, ma anche le problematiche e le prospettive socio ambientali collegate;
- ◆ smaltimento dei prodotti derivanti da tali processi.

Filoni di ricerca in atto e da sviluppare nel futuro inerenti la tipologia/tematica

Relativamente allo studio sull'impatto socio ambientale e sulle alternative nei trattamenti superficiali:

- ◆ Ricerca sugli effetti collaterali delle tecnologie applicative relative ai trattamenti superficiali industriali

Relativamente alla progettazione assistita di superfici:

- ◆ Applicazione di tecnologie di time-compression nella realizzazione e verifica di superfici
- ◆ Caratterizzazione e messa in opera dei materiali
- ◆ Ingegnerizzazione delle superfici in macroscala
- ◆ Prototipazione e ingegnerizzazione inversa

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ A. M. Ferrari, C. Leonelli, T. Manfredini, P. Miselli, G. Monari e G. C. Pellicani, "Pigmenti inorganici sintetici contenenti cobalto per la colorazione del gres porcellanato", *Ceramurgia*, XXV(3), 132-36 (1995)
- ◆ A. M. Ferrari, C. Leonelli, T. Manfredini, P. Miselli, G. Monari e G. C. Pellicani, "Colouring effects of synthetic inorganic cobalt-pigments in fast-fired porcelainized stoneware tiles", *Ind. Ceramics*, 18(1), 1-5 (1998)
- ◆ M. Hanusková e T. Manfredini, "Requirements and industrial applications of clays in manufacturing of fast fired sintered unglazed tiles", *Scripta Fac. Sci. Nat. Univ. Masaryk. Brno.*, *Geology*, 28/29, 67-76 (1998-99)
- ◆ M. Hanusková, T. Manfredini e M. Romagnoli, "Laser particle size analysis: a tool in designing traditional ceramic processes", *Bull. Am.Ceram.Soc.*, 78(11), 73-77 (1999)
- ◆ T. Manfredini, M. Romagnoli e M. Hanusková, "Wollastonite as sintering-aid for porcelain stoneware bodies", *Int. Ceram. J.*, XVIII(6), 61-67 (2000)
- ◆ M. Hanusková e T. Manfredini, "Clays in manufacturing of unglazed porcelainized stoneware", *Int. Ceram. J.*, XX(5), 99-103 (2002)

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ CEMA IMPIANTI: microonde e cromo
- ◆ CSM, Castelromano (RM): trattamenti superficiali su sinterizzati

- ◆ Università di Modena e Reggio Emilia: gestione congiunta di un laboratorio di materiali, superfici e polveri
- ◆ IRTEC-CNR, Faenza (RA): materiali ceramici avanzati per applicazioni industriali
- ◆ Facoltà di Ingegneria dei Materiali e dell'Ambiente (Univ. Di Modena e Reggio Emilia): sviluppo di modelli predittivi e di proprietà superficiali e correlazioni fra microstruttura e proprietà fisiche delle superfici; studio di riduzione del Cromo esavalente da soluzioni a bassa concentrazione per via elettrolitica e utilizzo del cromo trivalente in sostituzione del Cromo esavalente nella cromatura dura; definizione di trattamenti superficiali mediante tecniche non-convenzionali (microonde); caratterizzazione di rilascio di elementi e sostanze pericolose derivanti dalle superfici di vetri ottenuti da ceneri e rifiuti industriali; produzione ed applicazione di polveri di celsiana per superfici vetro-ceramiche
- ◆ Dipartimento di Scienze e Metodi dell'Ingegneria (Univ. Di Modena e Reggio Emilia, sede di Reggio Emilia): preparazione del supporto zincato a caldo per l'applicazione delle vernici ad acqua.
- ◆ Università di Roma: caratterizzazione di polveri nanostrutturate e a morfologia controllata per la realizzazione di superfici e riporti

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

Numerosi progetti sono stati realizzati con imprese, cofinanziati, laddove possibile, su bandi UE, su legge 4/49 e legge 297:

<i>Titolo ricerca</i>	<i>Tipologia contratto</i>
Collaborazione con la Facoltà di Ingegneria dei Materiali e dell'Ambiente (Univ. di Modena e Reggio Emilia) nello sviluppo di modelli predittivi e di proprietà superficiali e correlazioni fra microstruttura e proprietà fisiche delle superfici.	partnership di ricerca applicata
Collaborazione con la Facoltà di Ingegneria dei Materiali e dell'Ambiente (Univ. Di Modena e Reggio Emilia) e la società Ceramica Marazzi nello studio delle relazioni delle caratteristiche microstrutturali e morfologiche di rivestimenti ottenuti mediante termospruzzatura (tecnologie di plasma-spray e HVOF)	partnership di ricerca applicata
Contributo in collaborazione con la Facoltà di Ingegneria dei Materiali e dell'Ambiente (Univ. di Modena e Reggio Emilia) nello studio di riduzione del Cromo esavalente da soluzioni a bassa concentrazione per via elettrolitica e utilizzo del cromo trivalente in sostituzione del Cromo esavalente nella cromatura dura.	partnership di ricerca applicata

<p>Contributo alla ricerca industriale in collaborazione con il Dipartimento di Scienze e Metodi dell'Ingegneria (Univ. di Modena e Reggio Emilia, sede di Reggio Emilia) rivolta alla preparazione del supporto zincato a caldo per l'applicazione delle vernici ad acqua.</p>	<p>partnership di ricerca applicata</p>
<p>Collaborazione con la Facoltà di Ingegneria dei Materiali e dell'Ambiente (Univ. Di Modena e Reggio Emilia) nella definizione di trattamenti superficiali mediante tecniche non-convenzionali (microonde).</p>	<p>partnership di ricerca applicata</p>
<p>Collaborazione con la Facoltà di Ingegneria dei Materiali e dell'Ambiente (Univ. Di Modena e Reggio Emilia) e l'Università di Roma nella caratterizzazione di polveri nanostrutturate e a morfologia controllata per la realizzazione di superfici e riporti.</p>	<p>partnership di ricerca applicata</p>
<p>Collaborazione con la Facoltà di Ingegneria dei Materiali e dell'Ambiente (Univ. Di Modena e Reggio Emilia) nella caratterizzazione di rilascio di elementi e sostanze pericolose derivanti dalle superfici di vetri ottenuti da ceneri e rifiuti industriali.</p>	<p>partnership di ricerca applicata</p>
<p>Collaborazione con la Facoltà di Ingegneria dei Materiali e dell'Ambiente (Univ. Di Modena e Reggio Emilia) nella produzione ed applicazione di polveri di celsiana per superfici vetro-ceramiche</p>	<p>partnership di ricerca applicata</p>
<p>Redazione di un libro bianco relativo alle problematiche e alle tecnologie innovative legate ai rivestimenti superficiali, che offrirà un quadro generale della situazione attuale (stato dell'arte) indicando tutti i pericoli legati ai metodi tradizionali "bagnati" usati per i rivestimenti superficiali e proponendo alcune nuove tecnologie da implementare in alcuni casi pilota.</p>	<p>partnership di ricerca applicata</p>
<p>Progetto di ricerca e sviluppo per la realizzazione di un di sistema innovativo di abrasione meccanica di lastre di vetro basato su tecnologie di applicazione dinamica di polveri abrasive.</p>	<p>Consulenza commissionata da Industria privata settore macchine automatiche (Marche)</p>
<p>Studio dell'accoppiamento meccanico superficiale di un sensore planare a microonde per la misura dell'umidità nelle polveri di atomizzato ceramico.</p>	<p>Consulenza commissionata da Industria privata settore elettronica (Emilia Romagna)</p>

<p>Analisi di contaminazione di componenti oleodinamici (valvole e pompe) in funzione del rivestimento superficiale innovativo sperimentato.</p>	<p>Commessa di laboratorio (ex art. 14 L. 297/99) commissionata da Industria privata settore componenti oleodinamici (Emilia Romagna)</p>
<p>Studio dei ricoprimenti superficiali di piatti distributori per pompe a pistoncini assiali e analisi e ingegnerizzazione del processo</p>	<p>Commessa di laboratorio (ex art. 14 L. 297/99) commissionata da Industria privata settore componenti oleodinamici (Emilia Romagna)</p>
<p>Ricerca, caratterizzazione e sviluppo di rivestimenti antiaderenti per macchine automatiche per l'industria casearia.</p>	<p>Commessa di laboratorio (ex art. 14 L. 297/99) commissionata da Industria privata settore macchine per l'industria casearia (Emilia Romagna)</p>
<p>Studio e sperimentazione di software di controllo qualità superficiale di modelli in Prototipazione Rapida o di produzione attraverso sistemi di Reverse Engineering (Inspection).</p>	<p>----</p>
<p>Studio e sperimentazione di software di ricostruzione di superfici virtuali attraverso "superfici patch".</p>	<p>----</p>
<p>Studio e sperimentazione di software di ricostruzione di superfici virtuali utilizzando "superfici analitiche".</p>	<p>----</p>
<p>Studio e analisi di trattamenti innovativi di finitura superficiale su stampi sinterizzati.</p>	<p>----</p>

I principali rapporti realmente operativi con aziende della regione ed inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Angelo Po - Carpi (MO): caratterizzazione di superfici destinate all'uso alimentare
- ◆ Marazzi Ceramiche - Sassuolo (MO): progetto per la messa a punto di riporti ceramici a base di vetri, vetro-ceramici, ossidi e compositi ottenuti mediante termospruzzatura al plasma

- ◆ S.R.M.P. - Cavezzo (MO): studio delle caratteristiche superficiali di parti metalliche e organi meccanici sottoposti ad usura per l'individuazione di riporti

I possibili link per informazioni

- ◆ <http://www.democenter.it/laboratori/>

Struttura 8: CINECA

CINECA

Sito web: www.cineca.it

Indirizzo: Via Magnanelli 6/3 - 40033 Casalecchio di Reno (BO)

Tel: 051-6171411

Direttore: Dott. Marco Lanzarini

Attività

TEMA 1 - Modellizzazione e simulazione al calcolatore del comportamento delle superfici

TEMA 2 - Sviluppo di un ambiente applicativo di supercalcolo per lo studio delle superfici e delle nanostrutture

Laboratori/strumentazioni già disponibili presso la struttura inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Supercalcolatore IBM, composto da 512 processori IBM power4, 1 Terabyte di memoria RAM, potenza di picco 2.7 Teraflop/secondo
- ◆ Supercalcolatore IBM, composto da 128 processori Intel pentiumIII, 128 Gigabyte di memoria RAM, potenza di picco 145 Gigaflop/secondo
- ◆ Supercalcolatore SGI Origin, composto da 128 processori MIPS, 128 Gigabyte di memoria RAM, potenza di picco 128 Gigaflop/secondo
- ◆ Supercalcolatore COMPAQ, composto da 128 processori Alpha EV67, 256 Gigabyte di memoria RAM, potenza di picco 256 Gigaflop/secondo

All'interno dei calcolatori del Cineca sono già installati e disponibili numerosi pacchetti software che possono essere utilizzati anche nello studio delle nanostrutture e superfici. Molti di questi pacchetti sono facilmente modificabili (tramite un'installazione mirata) al fine di renderli strumenti adatti alla simulazione del comportamento delle superfici. Si ricordano, tra quelli già installati, i seguenti software: CERIUS2, INSIGHT, CATALYST, MATERIAL STUDIO, ADF, CDS, CRYSTAL98, DALTON, DOCK, AUTODOCK, GAUSSIAN, GROMACS, MOLPRO, NWCHEM, AMBER.

Tematica 1: Modellizzazione e simulazione al calcolatore del comportamento delle superfici

Descrizione

Da oltre trent'anni Cineca svolge, nei confronti del mondo della ricerca italiana pubblica e privata, il ruolo di promotore e di supporto all'uso dei più avanzati sistemi di calcolo che la tecnologia attuale è in grado di fornire. In particolare possiede alcuni tra i calcolatori più potenti del mondo, attraverso i quali i ricercatori hanno la possibilità di affrontare problemi di frontiera. Queste disponibilità sono sfruttabili anche nell'ambito delle simulazioni dei fenomeni fisici sulle superfici. Infatti, la potenza di calcolo delle installazioni Cineca possono facilitare la trattazione di problemi nuovi e complessi, che richiedono grandi capacità di calcolo e di memorizzazione.

In aggiunta, il personale Cineca è in grado di portare sulle piattaforme di supercalcolo, adattare ed ottimizzare applicativi sviluppati dai ricercatori, permettendo ai ricercatori stessi di svolgere le simulazioni col massimo profitto.

Le competenze e le strutture Cineca nell'ambito del calcolo tecnico scientifico non sono limitate alle sole simulazioni, ma riguardano anche gli aspetti di analisi e visualizzazione dei dati. Al Cineca è infatti attivo un "Reality Center" che consente di interagire con i dati della ricerca utilizzando le più avanzate tecniche di visualizzazione.

Filoni di ricerca in atto e da sviluppare nel futuro inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Sviluppo ed ottimizzazione di applicazioni per la simulazione di strutture nanometriche e dello studio delle superfici

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ C. Cavazzoni, R. Colle, R. Farchioni e G. Grosso "Car-Parrinello molecular dynamics study of electronic and structural properties of neutral polyanilines", Phys. Rev. B 66, (2002)
- ◆ "Science and Supercomputing at CINECA", Report 1993, ISBN 88-86037-01-5
- ◆ "Science and Supercomputing at CINECA", Report 1995, ISBN 88-86037-02-3
- ◆ "Science and Supercomputing at CINECA", Report 1997, ISBN 88-86037-03-1
- ◆ "Science and Supercomputing at CINECA", Report 2001, ISBN 88-86037-07-4, <http://www.cineca.it/editions/ssc2001/>

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

Da anni CINECA ha numerose collaborazioni, sancite da convenzioni su temi specifici con enti nazionali, pubblici e privati, che si occupano dello studio di superfici, tra cui si ricordano convenzioni con INFN e SISSA.

In campo internazionale, il CINECA ha ospitato nel recente passato numerosi ricercatori di altri paesi appartenenti alla UE contestualmente ai seguenti progetti:

- ◆ ICARUS (<http://www.cineca.it/icarus>)
- ◆ MINOS (<http://minos.cineca.it>)

I temi delle collaborazioni sono inerenti il campo delle simulazioni al supercalcolatore e i problemi di frontiera nella fisica delle superfici.

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

Con la collaborazione ed il supporto del personale Cineca, i ricercatori afferenti a INFN ed a SISSA di Trieste conducono ed hanno portato a termine numerosi progetti di simulazione della fisica delle superfici (http://infm.cineca.it/preventivi_consuntivi/progetti.html) utilizzando i calcolatori del Cineca, come testimoniato dagli articoli comparsi sui Report periodici pubblicati dal Cineca (<http://www.cineca.it/editions/ssc2001/>).

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

Grazie all'accuratezza raggiunta dalle tecniche di simulazione moderne, le simulazioni possono a tutti gli effetti essere considerate esperimenti virtuali, condotti in condizioni estremamente controllate, che possono essere sfruttati insieme agli esperimenti reali per esplorare tutte quelle configurazioni non ancora replicabili in laboratorio.

Le simulazioni, che si possono effettuare sui supercalcolatori, rappresentano un aiuto importante alla progettazione dei materiali ad alto contenuto tecnologico e di tutti quei dispositivi nei quali le proprietà nanometriche dei materiali non possono essere trascurate.

Proprio perché virtuali, le simulazioni consentono di replicare lo stesso studio variando quasi con continuità i parametri fisici del sistema che si sta studiando, ottenendo i valori delle grandezze fisiche di interesse in un ampio spettro di condizioni.

Per molti aspetti i risultati delle simulazioni, una volta validati da esperimenti su casi tipo, possono essere utilizzati nella progettazione di dispositivi al pari dei risultati sperimentali stessi.

Tipologia di imprese destinatarie

Dato l'aumento del "contenuto" tecnologico dei prodotti del sistema industriale e, quindi, il conseguente bisogno da parte delle aziende produttrici di comprendere e controllare meglio il comportamento dei materiali a livello nanometrico, il campo di applicazione delle simulazioni risulta essere estremamente vario ed è pertanto difficile, a priori, identificare una precisa tipologia di impresa interessata.

I possibili link per informazioni

- ◆ <http://www.cineca.it>

Tematica 2: Sviluppo di un ambiente applicativo di supercalcolo per lo studio delle superfici e delle nanostrutture

Descrizione

L'enorme potenza dei calcolatori permette oggi di pianificare ed affrontare nuove sfide scientifiche e tecnologiche, che il più delle volte non sono affrontabili con un'unica applicazione, ma richiedono più strumenti usati contemporaneamente.

D'altra parte, data la complessità crescente dei calcolatori (parallelismo, memoria condivisa, memoria distribuita, gerarchie di memoria, ecc.), lo sviluppo delle applicazioni non può più essere affrontato da un ricercatore o da un singolo gruppo, e cresce la richiesta di un'interazione o intervento di figure professionali dedicate. Si sta quindi verificando un processo di delega: il ricercatore vuole concentrarsi sull'attività di studio e delega ad altri lo sviluppo della applicazione che gli permetterà di implementare la ricerca. Sono nate in questo modo numerose iniziative, anche commerciali, focalizzate sulla produzione di pacchetti o sistemi applicativi completi, che sollevano il ricercatore, ora utente, dallo sforzo di implementare il codice per il proprio problema.

Filoni di ricerca in atto e da sviluppare nel futuro inerenti la tipologia/tematica

Il Cineca si propone di studiare e sviluppare un ambiente applicativo di super calcolo mirato allo studio delle superfici e delle nanostrutture. Si intende con questo un insieme di programmi gestiti dal Cineca mutuamente complementari ed implementabili nel tempo, che consenta di affrontare dal punto di vista teorico e simulativo tematiche di frontiera nel campo delle superfici, dei ricoprimenti e delle nanostrutture.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ C. Cavazzoni e G. L. Chiarotti "A Parallel and Modular Car-Parrinello Code", Computer Physics Communication 123, 56-76, (1999)
- ◆ "Science and Supercomputing at CINECA", Report 1997
- ◆ "Science and Supercomputing at CINECA", Report 2001

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ INFM-S3: sviluppo di un alcuni software per lo studio delle proprietà microscopiche della materia
- ◆ INFM: gestione, integrazione e ottimizzazione di applicazioni di interesse generale
- ◆ Collaborazioni con altri centri di Calcolo Italiani e Stranieri (EPCCA, CEPBA, HLRS, IDRIS, CASPUR, SARA) coi quali e' stato presentato un comune progetto Europeo (DEISA <http://www.deisa.org/>), avente tra gli obiettivi principali la realizzazione di librerie di applicazioni

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

Il Cineca ha sviluppato progetti analoghi a quanto descritto in questo tema, nell'ambito della chimica e della bioinformatica, con l'istituzione di alcuni laboratori tematici:

- ◆ Malice - Material and Life Science Computational Environment (<http://malice.cineca.it/>);
- ◆ Hbio-Lab - High Performance applications in Biomolecular Modelling and Drug Discovery (<http://www.cineca.it/Hbio-lab/> .

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

Gli ambienti applicativi che ci si propone di sviluppare in questo tema, possono essere utilizzati da tutta la comunità che si occupa di scienza dei materiali, ed in particolare da tutti coloro che intendono fare simulazioni di fisica delle superfici.

Tipologia di imprese destinatarie

Ancora una volta, non esiste una sola tipologia di imprese a cui tale tematica si rivolge. Gli strumenti sviluppati ed ingegnerizzati per lo studio delle superfici sono di carattere generale e possono essere eventualmente adattati a diverse esigenze.

I possibili link per informazioni

- ◆ <http://www.cineca.it>
- ◆ <http://www.cineca.it/HPSystems/Chimica/index.html>
- ◆ <http://www.cineca.it/HPSystems/Chimica/cineca-software.htm>