

Paolo Michelato

**Curriculum Vitae**

**Dati anagrafici e curriculum formativo**

- Nato a Bergamo il 3 luglio 1956.
- Diploma di laurea in Fisica nell'aprile del 1981: 110/110 e lode.
- In servizio presso la sezione di Milano dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
  - Collaboratore tecnico professionale, da novembre 1982 a luglio 1988.
  - Ricercatore III livello, da luglio 1988 a dicembre 2005.
  - Primo Ricercatore II livello, da dicembre 2005 a oggi.

**Quadro sintetico e ambiti di collaborazione dell'attività**

**Attività, partecipazione a programmi INFN e Comunità Europea**

- Ciclotrone Superconduttore: Progetto Speciale CS (1982 – 1989)
- Acceleratori superconduttivi per elettroni.
  - Progetto Speciale NTA-TTF e NTA-ILC (1993 – a oggi)
  - Collaborazione internazionale TESLA, poi Tesla Technology Collaboration (TTC) (1993 – a oggi)
  - Attività nell'ambito TTF/FLASH (1993 – a oggi)
  - Programmi EU VI PQ: CARE SRF e JRA5 IA-SFS (2004 – 2008)
  - ILC (International Linear Collider) (2004 – oggi)
  - European XFEL (2007 – a oggi)
  - Proposta IRIDE, per facility multipurpose (2012 – a oggi)
  - Programmi EU VII PQ: ILC-HIGRADE
- Acceleratori superconduttivi per protoni ad alta intensità e sistemi di trasmutazione.
  - Progetto MURST Trasco/ADS (1996 – 2001)
  - Programmi EU V PQ: PDSXADS (2001 – 2004)
  - Progetto speciale NTA-HPPA (2005 – 2008)
  - Programmi EU VI PQ: CARE HIPPI (2004 – 2008), EUROTRANS (2005 – 2010)
  - Programmi EU VII PQ: MAX
  - Progetto ESS (2014 – a oggi)

**Attività gestionale e responsabilità**

- Responsabile per l'INFN, nell'ambito della partecipazione al progetto ESS, per il contributo "in-kind" delle 36 cavità superconduttive ellittiche del linac superconduttivo (parte del WP5 di ESS).
- Leader nell'ambito E-XFEL del WP4 per la produzione delle 800 cavità superconduttive per il linac superconduttivo dell'E-XFEL.
- Coordinamento del LASA (Laboratorio Acceleratori e superconduttività applicata).
- Responsabile nel JRA1 di CARE SRF (FP6 EU) del Work Package 2: "Improved Standard Cavity Fabrication".
- Responsabile locale delle attività del JRA5 del progetto IA-SFS: "Integrating Activity on Synchrotron and Free Electron Laser Science" (FP6 EU).

Segrate, 12 aprile 2017.

Paolo Michelato  


## CURRICULUM VITAE

### *Dati anagrafici:*

Nome: **MASSIMO SORBI**  
Data e luogo di nascita: 20 marzo 1969, Milano  
Nazionalità: italiana  
Stato civile: coniugato  
Indirizzo: via Dossetti 11/c, 20097 San Donato Milanese MI  
Email: massimo.sorbi@mi.infn.it

### *Titolo di Studio:*

#### **Università**

Laurea in Fisica conseguita presso l'Università degli Studi di Milano nell'anno accademico 1992/93 (sessione di febbraio). Votazione finale: 110/110 con lode

Titolo della tesi: “*Studio della propagazione del quench e misure su avvolgimenti superconduttivi in NbTi e Nb<sub>3</sub>Sn*”

### *Breve curriculum della carriera*

1. Borsa di studio della Fondazione TERA (TErapia con Radiazioni Adroniche) presso il LASA (Laboratorio Acceleratori e Superconduttività Applicata) con il seguente titolo: “*Studio e progettazione di un ciclotrone superconduttivo per protoni a 200 MeV da impiegarsi per terapie dei tumori*” **mag.1994–gen.1996**
2. Tecnologo (contratto di 5 anni dell'INFN – Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) presso il LASA. **feb.1996-gen.2001**  
Attività principale: “*Progettazione del Barrel Toroid di ATLAS e costruzione del magnete modello B0*”.
3. Contratto d'opera ai sensi degli artt. 2222 e seguenti del codice civile da parte dell'INFN, con il seguente incarico: “*Monitoraggio e test della costruzione delle bobine superconduttive ATLAS/BT e analisi test criogenici del magnete modello B0*”. **feb.2001-lug.2001**
4. Technical Manager presso la *Semiconductor Manufacturing International Corporation*, Shanghai (Cina) **lug.2001-lug.2002**
5. Contratto d'opera ai sensi degli artt. 2222 e seguenti del codice civile di 18 mesi da parte dell'Università degli Studi di Firenze (Dipartimento di Fisica), avente per oggetto: “*Studio e design di lenti magnetiche superconduttrici per la protezione dalle radiazioni ionizzanti degli astronauti durante future missioni interplanetarie*” **lug.2002-gen. 2004**
7. Ricercatore Universitario presso l'Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Fisica, settore disciplinare: Fisica Sperimentale (FIS/01) **gen.2004-nov. 2019**
8. Professore Associato presso l'Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Fisica, settore disciplinare: Fisica Sperimentale (FIS/01) **dic.2019-ad oggi**

### *Descrizione dell'attività di ricerca*

La mia attività di ricerca si è svolta prevalentemente nel campo della superconduttività applicata per la produzione di intensi campi magnetici da impiegare nelle macchine acceleratrici e nei rivelatori di

particelle, salvo una breve esperienza di tipo manageriale nel campo dei semiconduttori. In particolare mi sono occupato, in collaborazione con altri ricercatori e in prima persona:

- i) dello studio teorico e sperimentale della propagazione del quench nei superconduttori di NbTi e Nb<sub>3</sub>Sn durante la tesi;
- ii) della progettazione di un ciclotrone superconduttore per uso terapeutico dei tumori (adroterapia);
- iii) dello studio, della progettazione e della costruzione del magnete toroidale superconduttivo (BT) e di un suo modello, anch'esso superconduttivo, (B0) del rivelatore ATLAS;
- iv) dello studio di un magnete superconduttivo da impiegare nei viaggi interplanetari come schermo dai raggi cosmici;
- v) dello studio della protezione di magneti ad alto campo ( $B > 14$  T) in Nb<sub>3</sub>Sn per futuri acceleratori di particelle;
- vi) dello studio, della progettazione, costruzione e test del modello dei dipoli superconduttivi rapidamente pulsati del sincrotrone SIS300 della facility FAIR presso il GSI (Darmstadt).
- vii) Dello studio, costruzione e test dei magneti superferrici correttori del programma HL-LHC del CERN (Hilumi).
- viii) Dello studio e del design magnetico di magneti ad alto campo per il Future Circular Collider adronico.

Nel seguito sono illustrati, facendo riferimento alle pubblicazioni, gli aspetti più salienti di questa attività di ricerca.

### **1. Attività di ricerca durante la tesi di laurea**

Durante la tesi, di tipo sperimentale e svolta presso il LASA di Milano, ho studiato la propagazione del quench in magneti superconduttori in NbTi e NbSn realizzati con la tecnica dell'impregnazione [2], [3]. Pertanto durante questi mesi di studio, ho acquisito una buona conoscenza (in seguito consolidata e approfondita negli anni di ricerca che si sono susseguiti) dei problemi legati alla stabilità e protezione di magneti superconduttori, delle proprietà elettriche e termiche dei materiali alle temperature criogeniche, e delle tecniche di misura in presenza di campi magnetici elevati e alle temperature criogeniche.

### **2. Attività di ricerca nel campo degli acceleratori**

Dopo la laurea, ho usufruito di borse di studio (dall'1/5/1994 al 31/12/1995) nell'ambito del progetto TERA (finanziato dalla Commissione V dell'INFN), all'interno di una collaborazione tra l'INFN-LASA, il CCR-ISPRA e il Centre A. Lacassagne di Nizza, per lo studio di un ciclotrone superconduttore compatto per protoni ad energia fissa (200 MeV) per adroterapia. Il mio contributo specifico in questo progetto ha riguardato tutti gli aspetti più importanti e qualificanti di un acceleratore di questo tipo, e cioè:

- Progettazione del campo magnetico isocrono prodotto dalle bobine, dai poli e dal giogo in ferro.
- Studio della dinamica del fascio nella zona intermedia e nella zona di estrazione, mediante codici di calcolo da me realizzati.
- Studio e misure su modelli delle cavità acceleranti (115 MHz circa) in funzione dei parametri geometrici (altezza delle cavità, numero degli "stems", ecc.) e ottimizzazione delle tensioni acceleranti.

Negli anni 2004-2006 ho partecipato al programma NED (Next European Dipole), co-finanziato dalla Comunità Europea e a cui partecipavano i maggiori laboratori di ricerca europei sugli acceleratori di particelle (incluso l'INFN), dedicato al design di un dipolo superconduttivo ad alto campo ( $B > 14$  T) da impiegare in acceleratori di prossima generazione. In particolare io mi sono dedicato allo studio della transizione dallo stato superconduttivo allo stato normale del magnete (quench), che risulta particolarmente problematica nei magneti ad alto campo.

Dal 2007 al 2014 ho dedicato quasi interamente la mia attività di ricerca nel progetto DISCORAP dell'INFN, che in collaborazione con il GSI (Darmstadt), ha finanziato lo studio, lo sviluppo e la costruzione presso l'industria del primo prototipo di dipolo superconduttivo rapidamente pulsato per il sincrotrone SIS300 della facility FAIR. Il mio contributo è stato soprattutto nel design magnetico, nello studio delle perdite per il regime pulsato del magnete, nel design termico e nella progettazione del

sistema di protezione in caso di quench. Attualmente sono impegnato nella progettazione e nella costruzione della test station del magnete presso l'area sperimentale del LASA.

Dal 2014 mi occupo della protezione da quench dei magneti superconduttivi ad alto campo del programma HiLumi-LHC

Dal 2015 partecipo nella collaborazione EuroCirCol allo sviluppo e alla progettazione di dipoli superconduttivi ad alto campo (16 T) da impiegare nel Future Circular Collider (Programma FCC, post LHC).

Dal 2016 sono responsabile del gruppo Magnet Superconduttori del LASA (INFN, Sez di Milano), attualmente impegnato nella progettazione, costruzione e test dei magneti correttori HO (High Order) di Hilumi (HL-LHC).

### **3. Attività di ricerca nel campo dei magneti per rivelatori di particelle**

Dall'1/2/1996 al 31/1/2001 ho lavorato alle dipendenze dell'INFN (Sezione di Milano, LASA) in qualità di Tecnologo III livello professionale, per la progettazione, costruzione e test del magnete superconduttivo toroidale Barrel Toroid di ATLAS (BT) e del magnete modello B0. ATLAS, uno dei principali esperimenti di LHC al CERN di Ginevra, utilizza diversi apparati magnetici per determinare il momento magnetico dei muoni prodotti dalla collisione tra protoni. Tra questi sistemi magnetici, BT risulta essere il magnete principale, costituito da 8 bobine superconduttive a forma di race-track, lunghe 25 m e larghe 4.5 m, disposte in modo da fornire un campo toroidale su un volume con diametro interno 8 m, diametro esterno 20 m e lunghezza 25 m.

Viste le dimensioni assolutamente inusuali del magnete e la necessità di utilizzare strutture meccaniche particolarmente "leggere", nella progettazione di BT sono state adottate alcune soluzioni innovative, che avevano reso necessaria la costruzione del magnete prototipo B0, avente le stesse dimensioni trasversali delle bobine di BT ma ridotta lunghezza (9 m anziché 25 m). La costruzione di B0 è stata ultimata in settembre 2000 e i tests presso il CERN sono stati completati con successo in settembre 2001, confermando pienamente la validità delle scelte costruttive adottate.

Il mio contributo specifico nello studio e design di BT ha riguardato tutti gli aspetti principali del magnete, essendomi occupato delle problematiche elettromagnetiche, termiche, meccaniche e superconduttive dei componenti principali (conduttore, bobine, casing, schermi termici e tiranti).

A partire dalla fase realizzativa di B0 (1997) e BT (1999), ho assunto la responsabilità tecnica di gestione e di supervisione dei controlli relativi la costruzione delle bobine superconduttrici presso l'industria.

### **4. Altre attività di ricerca**

Da luglio 2001 a luglio 2002 ho lavorato con la qualifica di Technical Manager presso la *Semiconductor Manufacturing International Corporation*, Shanghai, che è la prima Compagnia di semiconduttori nella Repubblica Popolare Cinese a tecnologia avanzata (dimensioni critiche dei dispositivi inferiori a 0.20  $\mu\text{m}$ ). Tale esperienza lavorativa all'estero, dettata da esigenze contingenti, mi ha permesso di svolgere, seppure per un periodo breve, attività di tipo manageriale, occupandomi dello start-up della linea di produzione in clean room, e dello sviluppo di nuovi processi e di nuove tecnologie di realizzazione dei dispositivi elettronici integrati.

Dal 15 luglio 2002 al 31 dicembre 2003 sono stato assegnatario da parte del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Firenze, di un contratto d'opera (durata 18 mesi) finalizzato al design magnetico, termico e meccanico di una lente magnetica superconduttrice per la protezione dalle radiazioni ionizzanti degli astronauti durante futuri viaggi interplanetari. Tale progetto presenta numerosi aspetti originali e del tutto innovativi, tra cui un sistema di raffreddamento senza elio liquido (mediante cryocooler, ad elevato rendimento e affidabilità). In questa mia attività di studio, mi sono occupato della definizione ottimale della configurazione di campo (per massimizzare la deflessione dei protoni nelle varie zone di interesse), della stabilità e protezione delle bobine conduttrici, e degli aspetti meccanici e termici del sistema.

## 5. Attività didattica

1. Incarico didattico per lo svolgimento lezioni integrative e per assistenza in laboratorio agli studenti del corso di “*Esperimentazione di Fisica II*” della Laurea in Fisica dell’Università degli Studi di Milano (sede staccata di Como) anni accademici 1994/95, 1995/96, 1996/97, 1997/98, 1998/99
2. Incarico didattico per lo svolgimento lezioni integrative e per assistenza in laboratorio agli studenti del corso di “*Esperimentazione di Fisica II*” (serale) della Laurea in Fisica dell’Università degli Studi di Milano anni accademici 1999/2000, 2000/01.
3. Incarico didattico per assistenza in laboratorio agli studenti del corso di “*Laboratorio di Fisica III*” della Laurea in Fisica dell’Università degli Studi di Milano anni accademici 2002/03, 2003/04, 2004/05.
4. Incarico didattico per assistenza in laboratorio agli studenti del corso di “*Laboratorio di Fisica IV*” della Laurea in Fisica dell’Università degli Studi di Milano anni accademici 2002/03, 2003/04.
5. Affidamento come professore aggiunto ai sensi dell’art.12 della legge 341/1990 del corso di “*Laboratorio di Fisica IV*” della Laurea in Fisica dell’Università degli Studi di Milano anni accademici 2004/05, 2005/06, 2006/07, 2007/08, 2008/09.
6. Affidamento come professore aggiunto ai sensi dell’art.12 della legge 341/1990 del corso di “*Laboratorio di Fisica III*” della Laurea in Fisica dell’Università degli Studi di Milano anni accademici 2005/06, 2006/07, 2007/08, 2008/09.
7. Affidamento come professore aggiunto ai sensi dell’art.12 della legge 341/1990 del corso di “*Laboratorio di elettronica, ottica e fisica moderna*” della Laurea in Fisica dell’Università degli Studi di Milano anni accademici 2009/10 – 2019/2020
8. Affidamento come professore aggiunto ai sensi dell’art.12 della legge 341/1990 del corso di “*Laboratorio di Superconduttività Applicata*” della Laurea Magistrale in Fisica dell’Università degli Studi di Milano anni accademici 2014/15.
9. Affidamento come professore aggiunto ai sensi dell’art.12 della legge 341/1990 del corso di “*Superconduttività Applicata*” della Laurea Magistrale in Fisica dell’Università degli Studi di Milano anni accademici 2006/07 – 2019/2020

## 6. Nomine speciali

- Nomina da parte del Consiglio Direttivo dell’Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (delibera n. 6598 del 29/10/1999), a membro della Commissione avente l’incarico di espletare le procedure relative alla gara per la costruzione degli schermi termici delle 8 bobine del Barrel Toroid dell’esperimento ATLAS.
- Nomina da parte della Collaborazione ATLAS a “technical responsible engineer” per la costruzione dei 16 double pancakes del Barrel Toroid (gennaio 2001).
- Nomina da parte della Collaborazione ATLAS a “monitor officer” per il controllo della costruzione dei 16 double pancakes del Barrel Toroid nel contratto con l’Ansaldo (gennaio 2001).
- Incarico da parte della Collaborazione ATLAS a gestire l’interfaccia tra Ansaldo e Balcke-Durr, la ditta tedesca che effettuerà l’integrazione delle bobine del Barrel Toroid nella cold mass (gennaio 2001).
- Nomina a relatore al “*Corso di introduzione alla Criogenia*” organizzato presso i Laboratori Nazionali di Legnaro dell’INFN, nell’anno 2000.
- Nomina da parte del Consiglio Direttivo dell’Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, a membro della Commissione avente l’incarico di espletare le procedure relative alla gara per la costruzione dei passante di corrente da 9 kA per la test station presso il LASA del magnete DISCORAP, nell’anno 2010.
- Incarico di Ricerca Tecnologia nell’INFN da gennaio 2011
- Responsabile delle attività relative ai magneti superconduttori del LASA – Sez. di Milano

**Lingue straniere**  
Inglese fluente

Milano, 3 dicembre 2019



# Curriculum Vitæ

## Laura Silvia Monaco

### DATI ANAGRAFICI:

*e-mail:* [laura.monaco@mi.infn.it](mailto:laura.monaco@mi.infn.it)

### TITOLO DI STUDIO:

*Data:* 26 marzo 2001  
*Università:* Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Fisica.  
*Titolo conseguito:* Laurea in Fisica, 110/110 con lode  
*Titolo della tesi:* Misura dell'energia cinetica degli elettroni fotoemessi da catodi Cs<sub>2</sub>Te mediante un analizzatore a tempo di volo  
*Relatori:* Prof. C. Pagani, Dr. P. Michelato, Dr. D. Sertore

### CURRICULUM POST-LAUREA:

*Periodo:* **16 settembre 2001 – 15 marzo 2002**  
*Ente - Qualifica:* INFN - Vincitrice di borsa di studio INFN per neolaureati, attribuita tramite concorso, usufruita presso la sezione di Milano

*Periodo:* **6 maggio 2002 – 5 maggio 2004**  
*Ente - Qualifica:* INFN - Borsista CE (V Prog. Quadro/PDS-XADS)

*Periodo:* **9 luglio 2004 – 8 gennaio 2005**  
*Ente - Qualifica:* INFN – Art. 2222 su fondi CE (VI Prog. Quadro/CARE)

*Periodo:* **14 febbraio 2005 – 4 marzo 2005**  
*Ente - Qualifica:* Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY - Scientific Visitor

*Periodo:* **21 marzo 2005 – 20 novembre 2005**  
*Ente - Qualifica:* INFN – Art. 2222 su fondi CE (VI Prog. Quadro/SFS)

*Periodo:* **1 febbraio 2006 – 31 gennaio 2008**  
*Ente - Qualifica:* INFN – Assegno di ricerca nell'ambito della ricerca tecnologica su fondi CE (VI Prog. Quadro/CARE) con tema: "analisi di affidabilità dei processi produttivi di cavità superconduttive ad alto campo e dei componenti ancillari"

*Periodo:* **1 aprile 2008 – 31 ottobre 2008**  
*Ente - Qualifica:* INFN – Art. 23 su fondi CE (VI Prog. Quadro/IA-SFS)

*Periodo:* **1 novembre 2008 – 6 febbraio 2009**  
*Ente - Qualifica:* INFN – Art. 23 su fondi MIUR-SPARX

*Periodo:* **3 aprile 2009 – 31 marzo 2010**  
*Ente - Qualifica:* INFN – Art. 23 su fondi CE (VI Prog. Quadro/EUROTRANS)

*Periodo:* **3 maggio 2010 – 31 gennaio 2012**  
*Ente - Qualifica:* INFN – Art. 23 su fondi CE (VII Prog. Quadro/ILC-HiGrade)

*Periodo:* **5 aprile 2012 – 4 aprile 2015**  
*Ente - Qualifica:* INFN – Art. 23 su fondi XFEL

*Periodo:* **5 aprile 2015 – oggi**  
*Ente - Qualifica:* INFN – Art. 36 su fondi XFEL (scadenza 4 aprile 2018)

## ATTIVITÀ DI RICERCA

### ***Attività relative a componenti per acceleratori SC per elettroni e protoni (2002-oggi)***

La mia attività di ricerca riguardante le cavità acceleranti SuperConduitive (SC) a RadioFrequenza (RF) e i rispettivi componenti ancillari si è sviluppata nel contesto di differenti programmi europei quali PDS-XADS, CARE, EUROTRANS, ILC-HiGrade affrontando diverse tematiche, in molti casi comuni alle cavità per protoni e per elettroni. La varietà dei problemi affrontati mi ha permesso di acquisire competenze specifiche in differenti campi e, dal 2007, mi sono occupata direttamente della produzione di cavità SC a 3.9 GHz e a 1.3 GHz presso l'industria italiana nell'ambito del progetto europeo European X-Ray Free-Electron Laser (EXFEL). Dal 2010 al 2015 ho ricoperto l'incarico di "deputy" del leader italiano del Work Package 4 (WP04-Cavity Production) di EXFEL relativo alla produzione delle 800 cavità SC a 1.3 GHz del linac superconduttivo. Grazie alla fondamentale esperienza acquisita con EXFEL, dal 2015 mi occupo di differenti tematiche relative a cavità SC RF medio beta per protoni che porteranno alla produzione, presso l'industria, di 38 cavità medio beta a 704.42 MHz per il progetto European Spallation Source (ESS).

La realizzazione delle presenti e future grandi macchine acceleranti (ILC, EXFEL, ADS e le sorgenti di neutroni come ESS), richiede un'analisi critica della tecnologia utilizzata per la costruzione delle cavità SC RF e dei relativi sottocomponenti, per aumentare la loro affidabilità e ridurre i costi di produzione. Nell'ambito del programma CARE, ho raccolto e analizzato le differenti tecnologie costruttive delle cavità sviluppate nei laboratori internazionali [23,33] al fine di individuare criticità importanti che ho evidenziato in particolare nel sistema di tenuta da vuoto delle cavità e nelle connessioni tra cavità e He-tank. Per quanto riguarda il sistema di flangiatura, ho realizzato un set-up sperimentale ed effettuato misure sistematiche di caratterizzazione meccanica di diverse configurazioni (geometria e materiale) a differenti temperature (ambiente e in condizioni criogeniche) [35,38]. Sulla base di questi risultati, è stato sviluppato un modello ad elementi finiti che ha riprodotto con ottimo accordo i risultati sperimentali e che permette lo studio di nuove soluzioni di flangiatura meno costose e più affidabili. La connessione tra la cavità SC e la He-tank è stata studiata sviluppando un modello numerico che ha permesso di realizzare una soluzione semplificata [59] che, pur garantendo le caratteristiche di rigidità richieste e semplificando le procedure di montaggio, ne aumenta la flessibilità e ne riduce i costi di produzione.

Particolarmente critiche per le performance finali delle cavità SC risultano essere i trattamenti delle superfici in Nb esposte alla RF, la loro corretta manipolazione durante le varie fasi di lavorazione e di assemblaggio (che eviti inclusioni di materiali estranei) e la qualità delle saldature a fascio elettronico Electron Beam Welding (EBW). Mediante microscopia ottica ho studiato l'evoluzione, durante i differenti trattamenti chimici (Buffered Chemical Polishing - BCP) ed elettrochimici (Electrochemical Polishing - EP), di difetti prodotti ad-hoc sulla superficie di campioni di Nb, evidenziando una forte dipendenza sia dalla geometria del difetto che dal tipo di trattamento [66,101]. Questo studio ha trovato riscontro nell'analisi di difetti nelle regioni di saldatura EBW e nelle zone con difetti simili trovati in cavità SC con basse performance [94,106]. Per una migliore comprensione del processo EBW e per una riduzione dei costi, ho realizzato e messo in funzione, in collaborazione con la ditta Zanon, un dispositivo tuttora in uso basato su sensori pirometrici per lo studio del comportamento termico dei sottocomponenti e delle cavità SC durante la saldatura a EBW. Questa attività mi ha consentito di studiare l'evoluzione temporale del profilo di temperatura durante la saldatura che ha permesso alla ditta di dimezzare i tempi effettivi di fabbricazione portando ad una diminuzione dei costi di produzione [81,89]. Inoltre, ho studiato la qualità delle saldature EBW realizzando un apparato specifico per l'ispezione ottica della superficie interna delle cavità SC [67]. Questa diagnostica è ora una tecnica standard utilizzata nei processi di produzione di serie per la determinazione, localizzazione ed eventualmente rimozione di possibili difetti che possono provocare quench delle cavità [85].

Un ulteriore aspetto critico nell'ottenimento di fattori di qualità elevati per le cavità SC è lo schermaggio del campo magnetico terrestre a temperatura criogenica. Grazie all'esperienza acquisita durante il mio lavoro di tesi [2] relativa allo schermaggio del campo magnetico terrestre per lo spettrometro di volo per elettroni lenti TOF, ho studiato diverse configurazioni di schermo magnetico per cavità SC sia per protoni che per elettroni. Le soluzioni sviluppate sono tali da permettere l'installazione di tutti gli ancillari della cavità e, ovviamente, garantire il fattore di schermaggio richiesto. Per esempio, nel caso delle cavità SC per protoni a



704.4 MHz del progetto EUROTRANS, la soluzione innovativa che ho individuato è costituita da uno schermo in materiale ad alta permeabilità alle basse temperature interno al serbatoio di elio superfluido. Questa soluzione è stata realizzata [46,54] e caratterizzata sperimentalmente [60], mostrando ottimo accordo tra il fattore di schermaggio di disegno e quello misurato. La cavità, con il rispettivo schermo, è stata successivamente integrata nel criomodulo dimostrativo di EUROTRANS per i test a Orsay [68,69]. Per la cavità 3.9 GHz per l'iniettore di EXFEL, ho sviluppato una soluzione che ha portato ad una semplificazione dello schermo inizialmente sviluppato da FNAL.

#### *Affidabilità per Accelerator Driven Systems*

Un aspetto peculiare che ho affrontato nell'ambito del programma europeo PDS-XADS, progetto concettuale di un trasmutatore di scorie nucleari alimentato da un acceleratore superconduttivo di protoni, è stato quello della valutazione dell'affidabilità e disponibilità dell'acceleratore stesso. Un requisito fondamentale per questo tipo di acceleratore è il raggiungimento di una elevata affidabilità (poche interruzioni di fascio all'anno), imposta dal suo accoppiamento con il reattore nucleare sottocritico. L'analisi di affidabilità del sistema, comunemente utilizzata in progetti di tipo industriale, è stata applicata sin dalla fase di progettazione dell'acceleratore e mi ha permesso, insieme al gruppo di Milano, di definire lo schema dell'acceleratore e di condurre un'analisi FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) dei principali sottosistemi [6,8]. Il risultato di questo studio è stato riassunto nei vari deliverable contrattuali del programma PDS-XADS, in particolare il documento D57 [11] che è alla base anche di ulteriori approfondimenti [24,25]. Sempre nell'ambito dei sistemi ADS, ho studiato la regione dell'interfaccia tra reattore e acceleratore nell'ipotesi "windowless" (assenza di una barriera fisica tra acceleratore e reattore), che ne costituisce uno dei punti critici [13,14,15]. Poiché né il tasso di evaporazione né la sticking probability del materiale del reattore (PbBi) erano conosciuti, ho partecipato alla realizzazione e operazione di un apparato di misura realizzato al LASA, in collaborazione con la ditta SAES Getters e con l'ENEA, per la caratterizzazione delle proprietà fisiche dei vapori di Pb e Bi (prodotti dalla lega eutettica di PbBi) in condizioni di alto vuoto. Questi risultati sono stati alla base della dimostrazione della fattibilità della soluzione "windowless".

#### *Cavità superconduttive per EXFEL*

L'esperienza acquisita, come prima descritto, nell'ambito dei vari progetti europei mi ha permesso di affrontare varie tematiche concernenti la costruzione delle cavità SC a 1.3 GHz e a 3.9 GHz per il progetto europeo EXFEL.

Dal 2010 al 2015 ho seguito l'attività relativa alla produzione di 800 cavità in Nb a 1.3 GHz per il progetto EXFEL presso l'industria italiana e tedesca, in collaborazione con DESY (Amburgo), con il ruolo di "deputy" del leader italiano del WP04.

La sfida connessa con questo progetto è stata quella di richiedere all'industria non solo la fabbricazione meccanica delle cavità RF ma anche tutti i successivi trattamenti necessari per produrre cavità pronte per essere montate ed utilizzate nei criomoduli. Questo è stato possibile trasferendo all'industria il "know-how" (finora limitato principalmente ai laboratori di ricerca) necessario, come per esempio i vari trattamenti di superficie (BCP, EP, High Pressure Rinsing-HPR, trattamenti termici), le misure RF e di tuning delle cavità, etc. In una prima fase, la mia attività ha riguardato la revisione delle specifiche relative al complesso schema produttivo in vista del loro trasferimento alle ditte, la gestione del processo di trasferimento tecnologico stesso [87], il supporto alle ditte per la messa a punto delle infrastrutture (HPR, camera bianca e sistemi di pompaggio lenti [88]) e la loro qualifica, con particolare attenzione ai processi di trattamento di superficie (BCP e EP) [86,83]. Da dicembre 2012, inizio della effettiva produzione in serie delle cavità da parte dell'industria, ho fornito supporto tecnologico-scientifico alle ditte e ho seguito il controllo qualità dell'intero processo produttivo. Al fine di limitare possibili cause di basse performance delle cavità in Nb, ho collaborato allo sviluppo di un sistema non invasivo per l'identificazione di inclusioni [102], alla realizzazione presso l'industria di un sistema meccanico per la riparazione locale dei difetti [97], e all'analisi della distribuzione di difetti dei circa 25000 sottocomponenti impiegati per la costruzione delle cavità per EXFEL [94].

La produzione delle cavità SC si è conclusa con ottimi risultati a fine 2015. Le cavità prodotte hanno infatti raggiunto performance che superano largamente le caratteristiche fissate del progetto [106]. Il mio contributo



al raggiungimento di questi risultati è stato nella continua analisi dei parametri produttivi e al loro confronto con le performance delle cavità nei test RF a DESY. Tra i risultati più significativi delle analisi, a cui lavoro attivamente assieme a un team dedicato di DESY, si è evidenziata la differenza tra i due processi finali (BCP e EP) e l'efficacia dei lavaggi ad alta pressione (HPR), non solo nell'eliminazione della "field emission", ma anche nel miglioramento delle performance finali [93,101,103,107].

Per quanto riguarda la mia attività relativa alle cavità SC a 3.9 GHz di terza armonica per l'iniettore di EXFEL (WP46), è cominciata nel 2007 e si è concentrata, inizialmente, sulle ispezioni ottiche delle strutture risonanti prototipali realizzate presso la ditta Zanon. In particolare, ho seguito l'evoluzione della superficie interna delle cavità durante tutte le fasi di trattamento chimico e termico, portando all'individuazione e alla rimozione di difetti, possibili causa di quench [67,85] e all'ottimizzazione del processo produttivo. Ho partecipato in seguito alla preparazione dei prototipi per i test RF al LASA e ai loro test RF a temperatura criogenica [78,80,82]. Grazie all'esperienza acquisita nella produzione delle cavità 1.3 GHz per EXFEL e nella realizzazione dei prototipi a 3.9 GHz, per le 10 cavità di serie ho seguito il trasferimento del "know-how" all'industria sin dalla fase di preparazione delle specifiche tecniche così come la definizione del sistema di controllo qualità. Durante la produzione delle cavità a 3.9 GHz di serie, la mia attività ha riguardato differenti tematiche tra cui il controllo qualità delle varie fasi del processo produttivo, sia presso la ditta Zanon che presso il LASA [84,91,92] e il controllo delle superfici RF nelle diverse fasi di lavorazione. Nel 2015, le prime 10 cavità di serie sono state testate superando i parametri di progetto richiesti, e 8 di queste sono ora montate ed operanti nel criomodulo installato nell'iniettore di EXFEL [76,84,95,98,100] che nella primavera 2016 è stato commissionato con successo. Ho quindi seguito la produzione di ulteriori 10 cavità per un secondo modulo spare, occupandomi principalmente del controllo qualità dell'intero processo produttivo [105]. Anche questo secondo gruppo di cavità ha superato le richieste di progetto, dimostrando l'efficacia del sistema di produzione trasferito all'industria e del piano di controllo qualità utilizzato.

#### Cavità superconduttive per ESS

Grazie alla fondamentale esperienza acquisita con EXFEL, dal 2015 mi occupo di tematiche concernenti la produzione di cavità RF SC medio beta per protoni a 704.42 MHz per il progetto ESS [99]. Questa attività è relativa alla costruzione e caratterizzazione di prototipi presso l'industria e alla produzione delle 38 cavità di serie (contributo italiano in-kind) che partirà entro la fine del 2017. Un aspetto peculiare, di cui mi occupo attivamente, è la forte interazione con i diversi laboratori coinvolti nel progetto, in particolare il CEA di Saclay, che dovrà gestire l'integrazione delle cavità nei criomoduli, DESY per il test delle cavità e ESS in quanto laboratorio di riferimento. Inizialmente, grazie all'esperienza acquisita, ho partecipato alla stesura delle specifiche tecniche delle cavità prototipo e alla definizione del tipo di trattamenti (chimici, termici) necessari alla loro preparazione che, come per le cavità 1.3 GHz, prevede la fornitura di cavità pronte per il test e la successiva installazione nei criomoduli. Inoltre ho messo a punto ed organizzato il ciclo produttivo, il controllo qualità (QC) ed il trasferimento tecnologico per la produzione dei prototipi che sono stati realizzati dall'industria nel 2016 [104] e testati con successo al LASA tra il 2016 e 2017. L'ottimo risultato in termini di performance del prototipo equipaggiato con la sua He-tank (ora al CEA per il suo montaggio nel criomodulo dimostratore M-ECCTD) ha validato sia il design INFN del risonatore, sia la sua compatibilità con le interfacce richieste, sia l'intero processo produttivo presso l'industria. Grazie all'esperienza acquisita con i prototipi, ho contribuito attivamente alla stesura delle specifiche tecniche per la produzione delle 38 cavità di serie, con particolare riguardo alla definizione dell'intero ciclo produttivo (meccanica e trattamenti) e al piano di QC, del quale sarò responsabile anche durante la produzione di serie e che comprenderà lo scambio di informazioni con i differenti partner coinvolti nel progetto.



### ***Attività relative a fotocatodi per cannoni RF ad alta brillantezza (2001-oggi)***

La mia attività di ricerca nell'ambito dei fotocatodi è iniziata con il mio lavoro di tesi [2] e negli anni ho potuto affrontare vari temi relativi alla loro caratterizzazione (proprietà fotoemissive e ottiche dei film), alla loro produzione ed ottimizzazione e all'analisi delle loro prestazioni nei cannoni RF.

#### **Crescita e trasferimento di fotocatodi per cannoni RF**

Sin dal 1998, il Laboratorio LASA produce i catodi fotoemissivi in Cs<sub>2</sub>Te impiegati, come sorgenti di elettroni, nei cannoni RF ad alta brillantezza di TTF/FLASH a DESY-Amburgo e di PITZ (Photo Injector Test Facility) a DESY-Zeuthen. Dal 2004 sono responsabile sia della produzione dei fotocatodi che della gestione dei rapporti con i laboratori coinvolti. Fino ad ora sono stati realizzati per FLASH, PITZ, APEX circa 150 fotocatodi in Cs<sub>2</sub>Te, la cui vita media operativa è passata da 90 giorni [9], a 180 giorni [37,53,56,62,72,74,79] fino ai 2 anni del fotocatodo ora in uso a FLASH, anche grazie al lavoro che ho sviluppato negli anni mirato all'ottimizzazione e alla riproducibilità della ricetta di crescita [29,34,63,73]. La lunga vita operativa e i continui miglioramenti delle caratteristiche dei film (efficienza quantica QE ~ 9.4 % per  $\lambda = 254$  nm, bassa corrente di buio, alta uniformità fotoemissiva spaziale, elevata robustezza) hanno contribuito al raggiungimento degli ottimi risultati a FLASH [31,32,39,42,51] e a PITZ [19,20,22,58,70,77] che hanno motivato diversi "upgrade" delle macchine negli anni [26,30,45,55,57,64,65,70,71]. Inoltre le ottime prestazioni dei film fotoemissivi mi hanno permesso di creare nuove collaborazioni con DESY-Amburgo [74], con FNAL e con LBNL. Per DESY e FNAL sono stati realizzati, installati e messi in funzione due sistemi di crescita dei fotocatodi, analoghi al sistema del LASA, che sono attualmente in operazione (per EXFEL, FLASH e REGAE a DESY e per FAST a FNAL). Per LBNL ho prodotto al LASA i film fotoemissivi che sono stati impiegati in APEX. Per quest'ultima collaborazione ho attivamente partecipato alla progettazione, caratterizzazione e realizzazione di un nuovo sistema di trasferimento che, utilizzando una pompa con getter non evaporabili (SAES), permette il trasporto aereo dei fotocatodi mantenendone inalterate le caratteristiche per più di due anni [75,90]. Grazie a quest'ottimo risultato, in collaborazione con LBNL produrremo i fotocatodi che verranno impiegati per il commissioning dell'iniettore di LCLSII.

Come accennato in precedenza, una parte significativa del mio lavoro ha riguardato l'ottimizzazione del processo di crescita dei film fotoemissivi in modo da incrementare la riproducibilità delle loro caratteristiche fotoemissive e la loro robustezza così come l'affidabilità del loro trasporto. Una prima analisi critica di questi temi l'ho sviluppata nell'ambito del progetto IA-SFS (Integrating Activity on Synchrotron & Free Electron Laser Science), rivolto alle nuove sorgenti di luce di sincrotrone di 4<sup>a</sup> generazione, occupandomi anche della riduzione della corrente di buio e dell'emittanza termica [34,50]. Successivamente, ho affiancato alle usuali metodologie di caratterizzazione (misura della QE durante la deposizione e dell'uniformità fotoemissiva spaziale del film) altre diagnostiche innovative in questo campo effettuando misure di QE e di riflettività a differenti lunghezze d'onda ( $\lambda$  tra 239 nm ÷ 436 nm) durante la crescita dei fotocatodi. Questa tecnica mi ha permesso di studiare la crescita dei vari composti precedenti alla formazione completa del Cs<sub>2</sub>Te, di verificare la stabilità delle caratteristiche fotoemissive dei film prodotti [5,63], di studiare l'evoluzione della soglia fotoemissiva durante la deposizione dei film [5,44,63,73] e di qualificare l'omogeneità fotoemissiva dei film prodotti [34,44]. Questo ha permesso di incrementare significativamente il controllo delle caratteristiche fotoemissive dei film e la loro riproducibilità. L'ottimizzazione del processo di crescita è stata anche affrontata applicando l'analisi multivariata che ha permesso di evidenziare alcune criticità (p. es. il "rate" di evaporazione delle sorgenti di Cs) [29].

Una parte importante del mio lavoro di ricerca ha riguardato inoltre lo studio dei fotocatodi e delle loro prestazioni sia durante l'operazione nei cannoni RF che dopo il loro utilizzo. Invitata da DESY, ho contribuito alla realizzazione di un sistema di monitoraggio della QE on-line, tuttora utilizzato come strumento di controllo della qualità dei fotocatodi nel cannone RF, con il quale ho studiato gli effetti di deterioramento delle proprietà fotoemissive durante le operazioni e l'influenza degli elevati campi elettrici presenti nei cannoni [28,37,41,43,53,56,62,79]. Operando in remoto su FLASH e PITZ da Milano ho approfondito, in particolare, il tema della corrente di buio evidenziando la criticità della regione di transizione tra catodo e cannone [27,36,40]. Ho infine analizzato i dati di corrente di buio relativi ai fotocatodi in operazione raccolti sin dal 1998 [36], evidenziando l'influenza del condizionamento della cavità RF del cannone e la criticità della



preparazione delle superfici dei catodi [21,36,50]. Ho applicato e confrontato diverse tecniche di preparazione dei substrati in Mo e differenti procedure di lucidatura ottica [5,29], consentendo la riduzione di almeno un ordine di grandezza della corrente di buio [9]. Per l'analisi post-utilizzo dei catodi [17,18,34,44], oltre alle tecniche usuali (misura della QE e della sua uniformità spaziale a differenti  $\lambda$ ), ho studiato la superficie dei film fotoemissivi con microscopia ottica e analisi SEM [34], SEM-EDX a DESY [79] e con XPS a BESSY [61]. In particolare le misure XPS effettuate su catodi con vita media molto breve [49], hanno evidenziando la correlazione tra la vita media e la presenza di contaminanti (F e C) provenienti da parti in Teflon installate nella linea di fascio.

Tutto il materiale relativo ai fotocatodi e alle loro performance (crescita, operazione nei cannoni RF, analisi dopo l'utilizzo) è raccolto in un database SQL accessibile via web (<http://www.lasa.mi.infn.it/ttfcathodes>) del quale sono responsabile. Esso costituisce il "TTF Photocathodes Database" che si è rivelato essere uno strumento essenziale per lo studio dell'affidabilità e dell'ottimizzazione dei catodi.

### Attività di R&D sui fotocatodi

L'emittanza termica dei fotocatodi è un parametro di fondamentale importanza per le sorgenti di elettroni ad alta brillantezza. Sin dal mio lavoro di tesi, mi sono occupata di questa tematica realizzando un apparato sperimentale per la sua misura e successivamente metodologie per il suo controllo. Nello specifico, ho partecipato alla progettazione e, successivamente, ho realizzato e caratterizzato uno spettrometro a tempo di volo TOF (Time-Of-Flight) per elettroni lenti ( $<5\text{eV}$ ), operante in condizioni di ultra alto vuoto (UHV) [1,2,3,12,16]. Ho proceduto alla sua caratterizzazione e calibrazione, sia tramite simulazioni che sperimentalmente su campioni policristallini metallici noti quali Ag [1], Ag cesiato [3], Nb, Mo. Ho progettato e costruito un nuovo schermo magnetico che ha permesso di ridurre significativamente il campo residuo all'interno dell'analizzatore (da  $\sim 300\text{ mG}$  a  $8\text{ mG}$ ) limitando le distorsioni degli spettri [12]. Ho inoltre studiato gli effetti di carica spaziale, analizzando le deformazioni degli spettri ottenuti a differenti densità di carica emessa. L'ottimizzazione del TOF mi ha così portato a misurare per la prima volta con questa tecnica l'emittanza termica degli elettroni fotoemessi sia da Ag policristallino che da  $\text{Cs}_2\text{Te}$  illuminati con radiazione UV ( $\lambda = 263\text{ nm}$  e  $211\text{ nm}$ ) [16]. Il valore misurato per il  $\text{Cs}_2\text{Te}$  è risultato essere compatibile con le richieste per le sorgenti SASE-FEL. Ho infine affrontato il tema della riduzione dell'emittanza termica "invecchiando" ad-hoc un film in  $\text{Cs}_2\text{Te}$  mediante inquinamento controllato con ossigeno, aumentando così l'affinità elettronica del film ma mantenendo inalterata la sua uniformità spaziale fotoemissiva, caratteristica richiesta per l'utilizzo dei fotocatodi nei cannoni RF [52].

L'analisi delle caratteristiche fotoemissive dei film in  $\text{Cs}_2\text{Te}$  è stata ulteriormente affrontata tramite tecniche di spettroscopia elettronica e di misure ottiche di riflettività risolte in angolo, misure di parametri ottici e di rugosità (effettuate anche su metalli policristallini quali Ag e Mo) [2,5]. L'insieme di tutte le misure utilizzate nella caratterizzazione dei film fotoemissivi mi hanno così permesso di comprendere meglio la struttura a bande DOS (Density-Of-States) del  $\text{Cs}_2\text{Te}$  e di determinare la componente reale e complessa dell'indice di rifrazione [5]. Queste informazioni sono ora inserite in un modello di fotoemissione utilizzato per ottimizzare i parametri fotoemissivi al fine di ridurre ulteriormente l'emittanza termica.



## CONCORSI E ABILITAZIONI:

- Concorso:** Concorso a n. 20 borse di studio per neolaureati (Bando n. 8424/00)  
**Ente - Graduatoria:** INFN - 1° posto della graduatoria di merito
- Concorso:** Concorso per il conferimento di n. 1 assegno di ricerca nell'ambito della ricerca tecnologica (Bando n. 11066/05)  
**Ente - Graduatoria:** INFN (fondi CE, VI Programma Quadro CARE) - Vincitrice sul tema di ricerca "Analisi di affidabilità dei processi produttivi di cavità superconduttive ad alto campo e dei componenti ancillari"
- Concorso:** Concorso per titoli ed esami per l'assunzione, con contratto di lavoro a tempo determinato, di personale Tecnologo di III livello professionale (selezione n: 6N/T3/MAC)  
**Ente - Graduatoria:** INFN - 7ª posizione, facente parte della graduatoria degli idonei della selezione
- Concorso:** Concorso per titoli ed esami a tre posti per il profilo professionale di Ricercatore di III livello professionale (Bando n° 13709/2010)  
**Ente - Graduatoria:** INFN - 14ª posizione, facente parte della graduatoria di merito
- Concorso:** Concorso per titoli ed esame colloquio per 1 posto di Primo Tecnologo – Il livello professionale (Bando n° 16622/2014)  
**Ente - Graduatoria:** INFN – ammessa all'orale con giudizio sui titoli più che buono, esame colloquio molto buono. Giudizio complessivo finale più che buono
- Concorso:** Concorso per titoli ed esame colloquio per l'assunzione presso la sezione di Milano di una unità di personale con contratto di lavoro subordinato a tempo determinato, con profilo di Tecnologo di III livello professionale (codice di riferimento MI/T3/466)  
**Ente - Graduatoria:** INFN – 1ª posizione
- Concorso:** Concorso per titoli ed esame colloquio per 5 posti per il profilo di Primo Ricercatore – Il livello professionale (Bando n° 18011/2016)  
**Ente - Graduatoria:** INFN – non ammessa all'orale con giudizio complessivo sui titoli buono

## CORSI E SCUOLE:

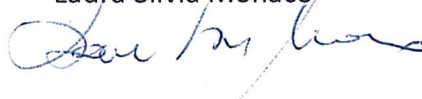
- Corso di "Tecnologie del Vuoto e Ultravuoto" (lab LASA INFN Milano, 2002).
- "CERN Accelerator School" (Sesimbra, Portogallo, 2002).
- "Second International Accelerator School for Linear Colliders" (Erice, 2007)
- Corso di "Analisi multivariata e progettazione di esperimenti" (lab LASA INFN Milano, 2007)
- Corso di "ANSYS WorkBench V12.1: Corso Base e Design Modeler" (INFN Milano, 2010)
- Corso di "Comunicare in pubblico – Comunicare la scienza" (INFN Milano, 2017)

## ATTIVITA' DIDATTICA E GESTIONALE (UNIVERSITÀ/INFN):

- Correlatrice di tesi di laurea in fisica.
- Organizzatrice del "Workshop on High QE Photocathodes", 4-6 Ottobre 2006, lab. LASA (INFN Milano).
- Ruolo di deputy del leader italiano del WP04 per la produzione delle cavità 1.3 GHz per XFEL.
- Componente della commissione per la selezione di neodiplomati (bandi: n° 17366/2015 e n° 17365/2015) presso la sezione di Milano (disposizione n° 17547, del 8 settembre 2015).
- Componente commissione di aggiudicazione della procedura aperta per l'affidamento della fornitura di lastre e semilavorati in niobio RRR 300 e niobio RRR 40, per la realizzazione delle cavità medio beta per il progetto ESS, e opzioni, suddivisa in 2 lotti identici, per la sezione di Milano (verb. 7 aprile 2017).

Milano, 7 aprile 2017

Laura Silvia Monaco



Laura Silvia Monaco

7/7