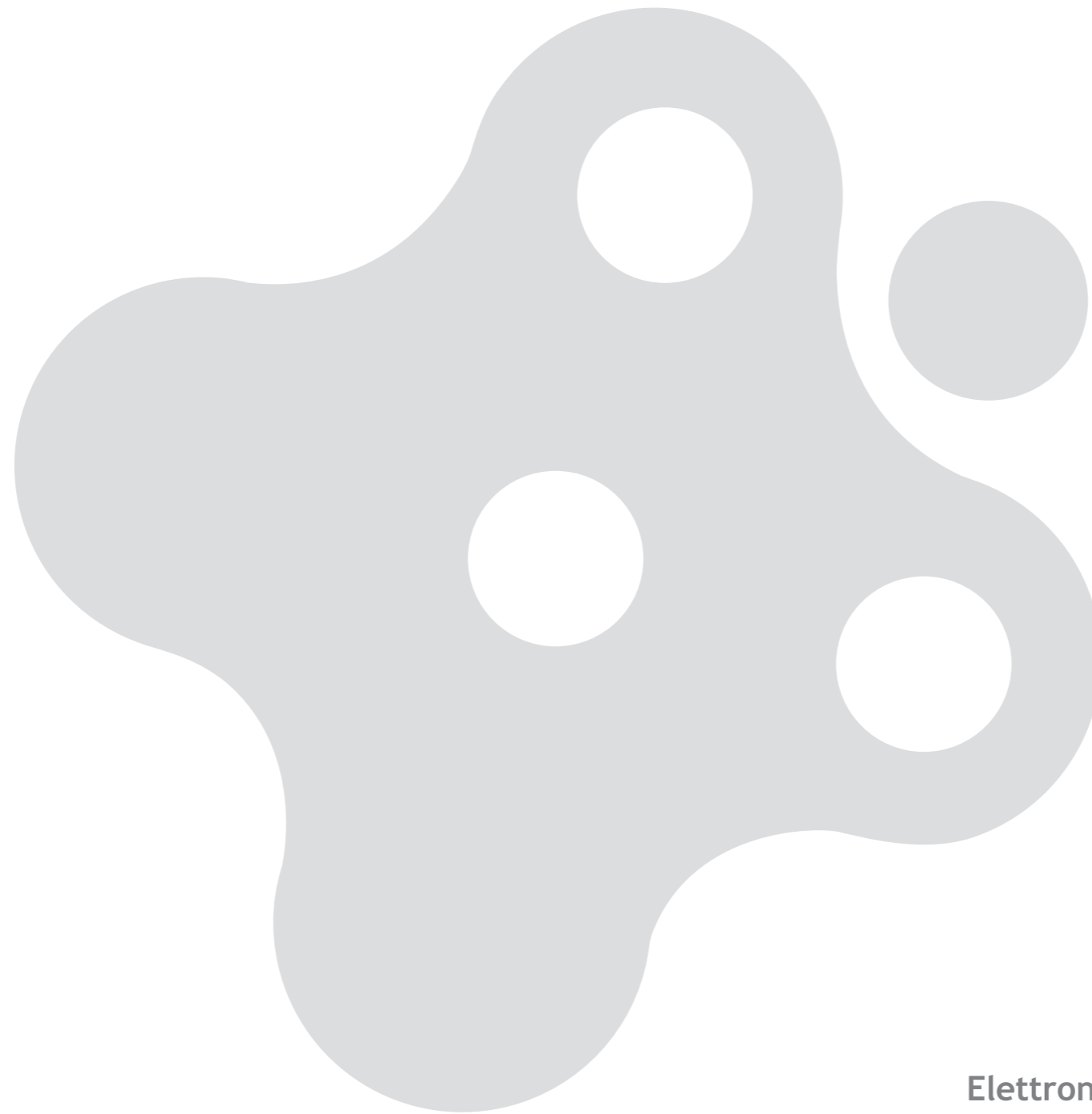


PROGETTO PLAST_ICs

Elettronica su plastica per sistemi “Smart disposable”



DISTRETTO TECNOLOGICO
SICILIA MICRO E NANO SISTEMI
S.C.A.R.L.



PROGETTO PLAST_ICs

Elettronica su plastica per sistemi “Smart disposable”



DISTRETTO TECNOLOGICO
SICILIA MICRO E NANO SISTEMI
S.C.A.R.L.

Sulle orme dell'Etna Valley

Il Distretto Tecnologico Sicilia Micro Nanosistemi raccoglie intorno a sé le principali strutture di ricerca, pubbliche e private, che operano nel territorio della Regione Sicilia nel campo della microelettronica, dei materiali avanzati, delle nanotecnologie, della farmaceutica e dell'ICT. Il Distretto nasce sulle orme della cosiddetta Etna Valley, la realtà che si è sviluppata negli anni grazie all'interazione Università – CNR – Industria Microelettronica a Catania. Le strutture di ricerca coinvolte sono dotate di strumentazione allo stato dell'arte per la sintesi di materiali innovativi nano-strutturati, lo sviluppo di sofisticati processi di nano-fabbricazione e la realizzazione di prototipi di dispositivi avanzati, farmaci innovativi e sistemi informatizzati.

Le attività di ricerca sono concepite in modo da creare un continuum tra la scienza di base e la tecnologia applicata al fine di ridurre i tempi di trasferimento dalla ricerca di base alle applicazioni di mercato. I campi di applicazione sono focalizzati nei settori strategici dell'Energia (nuovi dispositivi per il fotovoltaico), della Salute (sensori multifunzionali per il monitoraggio di parametri biologici di interesse nella diagnosi di malattie), e dell'Elettronica Flessibile (dispositivi e sensori realizzati su substrati plastici). Grazie alla flessibilità delle infrastrutture di ricerca coinvolte (presso il CNR, l'INAF, le Università e l'Industria Microelettronica in Sicilia) e la polifunzionalità dei materiali investigati, è possibile orientare l'attività di sviluppo scientifico e tecnologico in molti altri settori applicativi in base alle esigenze del tessuto Industriale Regionale.

Il modello di interazione pubblico/privato ottimizzato, nel corso degli anni, dalle strutture coinvolte nel Distretto, è particolarmente efficace. Si parte dalla formazione delle risorse umane con lo strumento delle tesi di laurea e dei dottorati di Ricerca sostenuti dalle Università. I giovani ricercatori sviluppano le proprie competenze in un ambiente altamente competitivo e sperimentale presso i joint-labs condivisi con l'Industria. In queste strutture, grazie alla simultanea presenza delle due componenti (pubblico e privato), si è sviluppato un linguaggio comune che permette lo scambio di competenze multi-disciplinari e il trasferimento di idee innovative in concreti avanzamenti tecnologici.

IL DISTRETTO	9
<hr/>	
Il motore dell'innovazione	
IL PROGETTO	11
<hr/>	
PROGETTO PLAST_ICs: Una piattaforma per lo sviluppo di sistemi tecnologici integrati su substrati polimerici	
RISULTATI	14
<hr/>	
Il futuro della wearable electronics passa da Catania	
FORMAZIONE	25
<hr/>	
Competenze specialistiche e manageriali	
I PARTNER	27
<hr/>	

Il motore dell'innovazione

Il Distretto tecnologico Sicilia Micro e Nanosistemi è stato fondato nel 2008 da aziende, Enti di Ricerca, Università e Associazioni di Impresa con l'obiettivo, riconosciuto dal Ministero per l'Istruzione, l'Università e la Ricerca Scientifica di accrescere il livello tecnologico e la competitività del Sistema Produttivo Regionale.

Promuovere e sostenere lo sviluppo delle attività di ricerca e di innovazione nei molteplici campi di applicazione delle nanotecnologie, potenziare il sistema della formazione e della valorizzazione dei talenti, supportare i processi di generazione e di trasferimento delle conoscenze scientifiche e le attività che possono generare ricadute sul sistema industriale regionale e nazionale. Sono solo alcuni degli obiettivi del Distretto Tecnologico "Sicilia Micro e Nanosistemi" (DT-SMNS), società consortile che con i suoi 28 soci è stata costituita nell'agosto del 2008 ed è composta per il 30% da imprese (StMicroelectronics, Ibm, Sifi, Italtel, Engineering, Corvallis, Ismett), per il 30% dalle università (i tre atenei siciliani di Catania, Messina e Palermo), per il 28% da enti pubblici di ricerca (il Cnr, l'Istituto nazionale di astrofisica, Istituto Nazionale Biostrutture e Biosistemi, Catania ricerche, Consorzio Ciclo Fine Vita Imbarcazioni e Mezzi Galleggianti, Consorzio Cometa, Istituto Politecnico del Mare Duca degli Abruzzi, l'Istituto di tecnologie avanzate di Trapani, Etna Hitech, il parco scientifico e tecnologico della Sicilia), e per il 12% dalla Regione Siciliana e da associazioni di categoria (Confindustria Catania e Apindustrie Catania).

Il Distretto fa parte dei 25 distretti promossi dal Ministero dell'Istruzione, dell'università e della ricerca (Miur) in collaborazione con le Regioni interessate, sulla base di quanto previsto dal Programma Nazionale di Ricerca 2005-2007. Al Distretto, in particolare, è stato assegnato dal Miur il compito di agire quale "interfaccia nella filiera della conoscenza" e, dunque, di aggregare masse critiche, ammodernare infra-

strutture e piattaforme tecnologiche e concentrare le risorse per obiettivi e progetti strategici, svolgendo attività di ricerca, di formazione specialistica, di marketing territoriale e di attrazione di investimenti.

COME NASCE IL DISTRETTO

Il Distretto è nato da una proposta di costituzione da parte della Regione Siciliana. Proposta che è stata successivamente valutata dal Miur che ha valutato la situazione di partenza del territorio, la fattibilità e potenzialità del progetto e la capacità di attrarre investimenti.

La valutazione del Miur ha consentito una presa d'atto del forte dinamismo che caratterizza la realtà tecnologico-imprenditoriale dell'isola nel settore dell'high-tech. Da qui la decisione di intervenire per consolidare un comparto ad altissima potenzialità di sviluppo e di crescita attraverso la creazione di un distretto, ufficialmente riconosciuto e specializzato in micro e nano sistemi.

Il 7 novembre 2003, il Miur, la Regione Siciliana, le Università di Catania, Palermo e Messina, le Amministrazioni Comunali e Provinciali delle tre città interessate hanno firmato un protocollo preliminare d'intesa per la promozione del Distretto che copre le Province siciliane di Catania, Messina, Ragusa, Palermo.

*PROGETTO PLAST_ICs
Elettronica su plastica per sistemi "Smart disposable"*

Il 14 giugno 2005, la Regione siciliana e il Miur hanno firmato il Programma Quadro Definitivo.

In seguito alla creazione di gruppi di lavoro ristretti per la definizione della Governance (in applicazione del D.M. 10 ottobre 2003 e D.M.593/2000) e la messa a punto degli Statuti e dei Patti parasociali, il primo di agosto del 2008 si è arrivati alla costituzione della società consortile a responsabilità limi-

Nel novembre del 2008, la prima assemblea dei soci ha dato il via all'attività del Distretto. Oltre alle attività già citate il Distretto lavora per favorire processi di autorganizzazione territoriale che hanno l'obiettivo di accumulare *know how*, risorse immateriali, tensione e percezione di desiderabilità imprenditoriale; favorire l'elaborazione di nuovi *business model* concentrati su "produzioni più intelligenti"; promuovere processi di *cross-fertilization* tecnologica; valoriz-

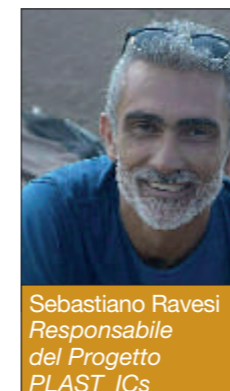


tata denominata Distretto Tecnologico Sicilia Micro e Nano Sistemi. La società consortile, che non ha scopo di lucro, ha come obiettivo principale quello di promuovere l'attività di ricerca e sviluppo e l'alta formazione nel settore dei micro e nano sistemi.

zare l'analisi degli aspetti etici derivanti dall'utilizzo delle nanotecnologie; favorire la continuità di flussi finanziari al Distretto. Ultima ma più importante attività è quella di accrescere il livello tecnologico e la competitività del sistema produttivo regionale.

PROGETTO PLAST_ICs: Una piattaforma per lo sviluppo di sistemi tecnologici integrati su substrati polimerici

Elettronica e plastica: ovvero come creare sistemi integrati su substrati polimerici per le più diverse applicazioni, dal packaging alla diagnostica.



Sebastiano Ravesi
Responsabile
del Progetto
PLAST_ICs

CHE COS'È IL PROGETTO PLAST_ICs

Il Progetto PLASTICS si inserisce in un settore in rapida evoluzione, sia dal punto di vista scientifico che industriale: l'elettronica su plastica. In pratica quella tecnologia che permette lo sviluppo

di sistemi integrati su substrati di plastica a basso costo. Le applicazioni possono essere le più diverse: dalla diagnostica, al packaging e al tracciamento dei prodotti alimentari, o ancora in campo farmaceutico, i sistemi "smart disposables" cioè "usa e getta".

l'energia prodotta con un micro pannello fotovoltaico, o una procedura di alimentazione wireless.

LE ORIGINI DEL PROGETTO

Il progetto deriva dal potenziamento e ampliamento delle attività già svolte dall'ex Laboratorio Pubblico Privato 'PLAST_ICs' i cui partner avevano presentato un progetto di ricerca, sviluppo e formazione avente come obiettivo proprio l'implementazione di una nuova piattaforma tecnologica dedicata allo sviluppo di sistemi elettronici intelligenti e autonomi su substrati plastici di tipo "usa e getta", finalizzati allo sviluppo di nuove famiglie di prodotti cosiddetti 'smart disposables'.

L'obiettivo generale del progetto PLAST_ICs ha

OBIETTIVO DEL PROGETTO

L'obiettivo finale del progetto, dunque, è stato quello di lavorare alla possibilità di realizzare una piattaforma tecnologica per lo sviluppo di sistemi **multifunzionali integrati** su substrati polimerici.

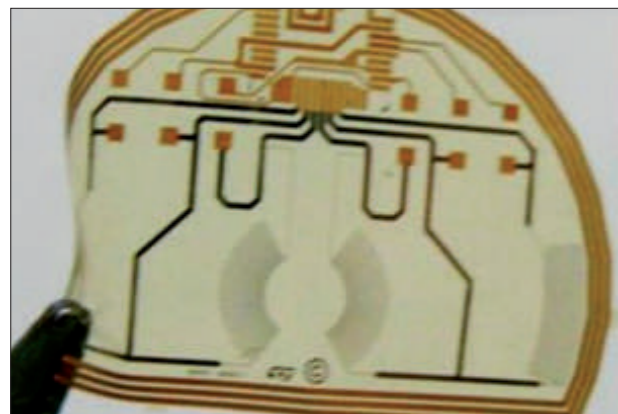
Per rendere questa tipologia di sistemi intelligenti totalmente operativi, il campo di ricerca è stato esteso anche all'energia, con lo studio di soluzioni come una batteria a film sottile per immagazzinare



quindi mirato al potenziamento e ampliamento dell'ex Laboratorio Pubblico Privato 'PlastICs', attraverso l'apporto di competenze dei partner interni alla compagine industriale e scientifica per lo sviluppo di una piattaforma tecnologica integrata, finalizzata alla realizzazione di dispositivi, circuiti e sistemi multifunzionali su substrati plastici.

LA CARATTERISTICA DEI SISTEMI E LE APPLICAZIONI

Entrando nel dettaglio, la caratteristica principale di questa tipologia di sistemi è l'integrazione di funzionalità sensoristiche, legate all'impiego di materiali attivi sia come sensori che come semiconduttori e dielettrici per la realizzazione di dispositivi elettronici, combinati a circuiti integrati in silicio, opportunamente assottigliati fino a diventare flessibili e integrati anch'essi nello stesso substrato plastico. A questi ultimi sono demandate le funzioni più complesse di power management e signal processing, in modo da garantire l'alimentazione del sensore e il processamento e lo scambio dati con le unità remote di acquisizione.



L'uso della plastica nell'ambito dell'elettronica flessibile, unitamente alla messa a punto di processi dedicati, tra cui in particolare processi di stampa

rappresenta di fatto l'unico approccio possibile - in termini di sostenibilità economica e ambientale - per lo sviluppo di questa nuova classe di sistemi su larga scala, per applicazioni nel settore della salute, principalmente legata al campo dei sistemi



di diagnostica personale, dei dispositivi sensoristici associati a sistemi autonomi per il settore dell' 'ambient intelligence' ovvero per il monitoraggio e la tracciabilità di prodotti nel settore agro-alimentare.

La piattaforma tecnologica consente l'implementazione su substrati flessibili di tipo polimerico di una gamma diversificata di sensori, generati con processi tecnologici dedicati e sviluppati nel progetto, nonché compatibili con un'elettronica di front-end ed un sistema di comunicazione wireless atto alla trasmissione verso un lettore esterno dei dati acquisiti.

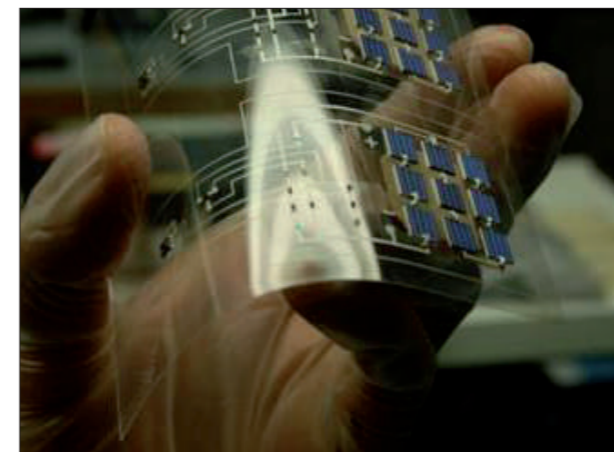
I sistemi prototipali sviluppati nell'ambito della piattaforma esito del progetto saranno quindi in futuro caratterizzati dai seguenti elementi distintivi:

- uno o più sensori di grandezze fisiche e biologiche, realizzati su substrati plastici di vario tipo, con le tecniche di processo sviluppate nel progetto, progettati in funzione delle specifiche applicative e delle caratteristiche dei meccanismi di misura e trasduzione sotto forma di segnali elettrici identificati per ciascuna tipologia di sensore. L'idea perseguita è stata quella di mirare allo sviluppo di un unico si-

stema integrato su substrato flessibile a basso costo, con tecniche suscettibili di essere industrializzate e impiegate per la produzione su larga scala di tali sistemi multifunzionali ('smart') caratterizzati appunto da un impiego limitato nel tempo ('disposables'), con caratteristiche uniche in termini proprietà meccaniche quali la flessibilità e la conformabilità, e potenzialmente applicabili anche su superfici di grandi dimensioni;

- un chip di silicio "general purpose" contenente i diversi moduli elementari dell'elettronica di front-end, monoliticamente integrati e in grado di pilotare uno o più sensori, oltre che di gestirne tutte le funzioni e le necessità di alimentazione del sistema completo e di scambio dati con le unità esterne di acquisizione ed elaborazione dati;

- un sistema di interconnessione e interfacciamento realizzato sullo stesso substrato plastico in grado di garantire la connessione e l'adattamento dei vari moduli del chip con il sensore, e l'antenna. Questa parte è composta da connessioni metalliche o al più da semplici circuiti elettronici stampati ovvero ottenuti mediante le tecniche e i processi di integrazione sviluppati nel progetto.



Sarà possibile utilizzare queste nuove tipologie di prodotto in tutte le applicazioni in cui l'impiego di elettronica convenzionale su substrati rigidi (ad es.

vetro, silicio, PCB) e processi di fabbricazione tradizionali non sono in grado di garantire una struttura dei costi adeguata, né tanto meno caratteristiche di deformabilità, conformabilità e contenimento del peso, né ancora l'impiego di materiali e processi ampiamente eco-sostenibili.

Un ulteriore elemento caratterizzante la piattaforma sarà quello di non rinunciare alle prestazioni offerte dal silicio, pur mantenendo tutti i vantaggi forniti dai substrati plastici. Infatti, la piattaforma sarà resa maggiormente funzionale e prestazionale dall'integrazione di circuiti integrati miniaturizzati realizzati su silicio, e assottigliati per essere resi flessibili e quindi integrati essi stessi sullo stesso substrato plastico dove si realizza il sistema multifunzionale. In tal senso, il sistema sarà capace di poter gestire la misura dei dati acquisiti dal o dai sensori, nel caso in cui si voglia realizzare un sistema a più unità sensoristiche, permettendo così anche la correlazione dei dati acquisiti dalle stesse.

SOGGETTI COINVOLTI

Con riferimento alla "Linea di Intervento 2 - Obiettivo Operativo: Reti per il rafforzamento del potenziale scientifico-tecnologico delle Regioni della Convergenza" dell'Accordo di Programma Quadro (APQ) sottoscritto tra MIUR, MiSE e Regione Siciliana a Ottobre 2009, il Progetto intende rafforzare e consolidare i flussi funzionali e strategici esistenti tra Distretti Tecnologici e Laboratori pubblico-privati nel settore delle "Nanotecnologie".

Soggetti coinvolti sono:

CNR - Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR IMM); Consorzio Interuniversitario Nazionale delle Biostrutture e Biosistemi (INBB); Università degli Studi di Catania (UNICT); Università degli Studi di Messina (UNIME); Università degli Studi di Palermo (UNIPA); STMicroelectronics S.r.l. (ST); Consorzio Catania Ricerche (CCR)]

Il futuro della wearable electronics passa da Catania

In pratica una piattaforma che può essere definita come le fondamenta di una nuova tecnologia basata su intelligenza e flessibilità che può avere sviluppi incredibili nell'ambito dell'elettronica di consumo indossabile.

Uno smart system, una piattaforma tecnologica su supporto flessibile in grado di avere molteplici utilizzi nella vita. È questo il risultato finale del progetto di ricerca Plast_ICs. In pratica una piattaforma che può essere definita come le fondamenta di una nuova tecnologia basata su intelligenza e flessibilità che può avere sviluppi incredibili nell'ambito dell'elettronica di consumo indossabile (wearable technology). Il supporto flessibile, in questo caso la plastica, contiene tutti i componenti che nel frattempo sono stati sviluppati con l'obiettivo di misurare, elaborare e trasmettere. Ecco perché ogni singolo componente è stato sviluppato per poter essere alla fine integrato sul supporto plastico. I ricercatori hanno anche pensato ad alimentare questa piattaforma utilizzando la tecnologia sviluppata in altri progetti: in questo caso un piccolo pannello fotovoltaico.

Il passaggio dai supporti rigidi a quelli flessibili assicura dei vantaggi enormi sul piano concreto per i molteplici ambiti in cui è possibile utilizzare questo tipo di tecnologia: dal tessile all'informatica. In questa fase siamo di fronte a un prototipo, che peraltro ha ancora utilizzato il silicio per le funzioni elettroniche più complesse, come base di lavoro per costruire la piattaforma integrata, ma è un primo passo verso il perfezionamento del progetto per arrivare alla produzione in serie. I supporti di plastica, ovviamente ancora prototipi, esistono già.

La prospettiva è quella di utilizzare questo tipo di piattaforma nell'ambito della cosiddetta wearable technology, ovvero della tecnologia indossabile: dagli orologi agli occhiali per la realtà aumentata, applicativi per il controllo a distanza della salute degli

individui e persino giacche, tute, o altri indumenti possono diventare sistemi informatici portabili. E infatti i settori interessati a questo tipo di piattaforme sono quelli della telefonia, dello sport e fitness, abbigliamento, sanità. Un mercato in grande espansione: secondo alcune stime il mercato dei wearable sensor (dei sensori che sono alla base di questa tecnologia portatile): nel 2025 ne saranno venduti oltre tre miliardi di pezzi in tutto il mondo.

Smart disposable system.

Un'applicazione elettronica capace di espletare funzioni complesse grazie all'impiego dei singoli dispositivi elettronici su substrati flessibili (sensori, antenne, etc.) sviluppati. È il risultato che si inquadra nell'obiettivo di dimostrare che la flexible electronics non è un'idea confinata negli ambienti di ricerca, orientata quindi a prodotti con sviluppo a medio e lungo termine, ma rappresenta già una realtà concreta nella quale investire e che può trovare riscontro in molteplici campi applicativi (medicale, alimentare, etc.).

In tale contesto, si è giunti quindi allo sviluppo di un sistema elettronico, noto come "Smart Disposable System", in grado di dimostrare l'efficacia dell'impiego di dispositivi elettronici flessibili. Data la complessità del sistema, non tutti i principali componenti del sistema elettronico sono stati sviluppati su substrati flessibili, ma si è dovuto comunque ricorrere a circuiti integrati su silicio. Questo, non deve essere visto come una limitazione al progetto ma anzi come un forte valore aggiunto, dato che ha aperto

la strada verso lo studio e lo sviluppo di dispositivi elettronici in silicio assottigliati.

Tra i dispositivi sottoposti al processo di assottigliamento, vi è la radio impiegata per la comunicazione wireless dei dati acquisiti dal sensore. Si tratta di un microchip fabbricato in una tecnologia al silicio "convenzionale" mediante processi litografici. L'Asic ha essenzialmente la funzione di "doppia interfaccia": da una parte una interfaccia radio, che consente la comunicazione di dati tra il sistema di sensori e una lettore (reader) mediante protocollo NFC (Near Field Communication) alla frequenza portante di 13.56 MHz; dall'altra una interfaccia che adatta i segnali elettrici analogici generati dai sensori e li converte in segnali digitali.

Il sistema elettronico ideato e realizzato consiste in ciò che normalmente è definito "nodo sensore" ovvero un dispositivo in grado di comunicare tramite connessione wireless con una base station e di trasmettere informazioni relative a grandezze ambientali come, nel nostro caso, la temperatura.

L'attività ha avuto inizio definendo l'architettura di sistema dell'applicazione in oggetto. Ciò ha permesso quindi di individuare, tra i molteplici dispositivi elettronici flessibili sviluppati, quelli da utilizzare nell'ambito del sistema elettronico. Si è passati quindi allo studio e allo sviluppo del processo di assottigliamento di dispositivi elettronici basati su silicio. Inizialmente sono stati assottigliati dei wafer su cui sono stati realizzati regolatori di tensione lineare per poi passare a quelli contenenti la radio. Questa sequenzialità di operazioni è stata ritenuta necessaria in modo da poter meglio comprendere gli effetti dell'assottigliamento di wafer sulle prestazioni di dispositivi elettronici in silicio. Il regolatore di tensione lineare è infatti un dispositivo che sia geometricamente che elettronicamente risulta essere meno complesso rispetto alla radio e, di conseguenza, meno suscettibile ai processi meccanici di assottigliamento. Inoltre possiede un numero ridotto di pad (4 pad rispetto alla radio il cui numero di pad è nettamente superiore) e questo sicuramente costituisce un vantaggio per la fase di "incollaggio" del dispositivo su substrato flessibile. Partendo dalla

crescita dei bump sui pad del dispositivo, necessari all'incollaggio su substrato flessibile, si è passati alla fase di assottigliamento del wafer portandolo da uno spessore iniziale di circa 270 μ m a 40 μ m. Avendo quindi compreso la metodologia da impiegare durante il processo di assottigliamento per il regolatore di tensione, questo lo si è applicato al wafer su cui è stata prodotta la radio NFC. In entrambi i casi (sia per il regolatore lineare che per la radio) sono stati condotti studi sulla resa dei dispositivi assottigliati e posti su substrato flessibile e dedotte delle considerazioni sulle cause di fallimenti avvenuti per entrambi i dispositivi. Questo bagaglio di esperienza sicuramente tornerà utile qualora si dovesse procedere all'assottigliamento di wafer contenenti dispositivi elettronici diversi da quelli considerati. Nel frattempo, conoscendo le proprietà del substrato flessibile e le specifiche richieste dall'applicazione, ovvero la possibilità di trasmettere dati utilizzando un protocollo NFC e quindi con frequenza portante a 13.56 MHz, è stata progettata e realizzata un'antenna dedicata. Ovviamente il singolo sottosistema ASIC-antenna è stato caratterizzato in modo da essere certi della capacità di trasmissione dati. Per questa particolare attività, diversi test sono stati condotti con radio sia assottigliate che aventi spessore originario.

Per lo sviluppo del nodo sensore, si è reso necessario progettare una board dedicata che ha permesso sia di garantire le connessioni elettriche tra i vari dispositivi che di effettuare la caratterizzazione dei sotto blocchi del sistema elettronico (radio, sensore). La board in questione è stata realizzata su supporto standard FR4 al solo scopo di non introdurre, nel processo di sviluppo del sistema elettronico in esame, ulteriori variabili che avrebbero potuto inficiare la corretta funzionalità del sistema elettronico. Nel contempo, considerando che la trasmissione dell'informazione relativa alla temperatura ambientale dovesse essere mostrata a video, è stato sviluppato un software dedicato. La versatilità con la quale è stato concepito il software, ha permesso di poterlo facilmente configurare al fine di mostrare all'utente le informazioni non solo provenienti dal

senso di temperatura, ma anche quelle di altre tipologie di sensori come, ad esempio, il sensore di glucosio (anche questo argomento di sviluppo in seno al progetto).

L'attività si è quindi conclusa con la caratterizzazione del sistema elettronico, impiegando attrezzature adeguate come, ad esempio, una camera climatica che condiziona la temperatura da -20°C a +180°C. Si è arrivati dunque alla realizzazione di un sistema compatto, costituito da diversi dispositivi elettronici flessibili (attivi e passivi), in grado di dimostrare che la flexible electronics è una realtà che potrebbe benissimo avere ricadute industriali su larga scala in tempi alquanto contenuti.

Smart Strain Gauges: sviluppo di sensori di pressione su plastica, flessibili, conformabili, e intelligenti per l'elettronica biomedicale, diagnostica e del benessere dell'individuo, indossabili e integrabili su smartphone.

Spesso l'innovazione di sistemi e dispositivi intelligenti si caratterizza anche per l'introduzione di tecnologie rivoluzionarie e applicazioni che consentono di realizzare prodotti totalmente nuovi che non esistono o che non è possibile sviluppare con le tecnologie dei semiconduttori convenzionali. Finora i circuiti integrati, presenti in maniera pervasiva nei nostri computer, televisori, smartphones, tablets, automobili, macchine fotografiche, hanno potuto migliorare le loro prestazioni grazie alla miniaturizzazione su scala nanometrica di milioni (e in alcuni casi anche di miliardi) di transistor integrati su wafer di silicio planari. Tuttavia, questi substrati sono rigidi. Se invece, i circuiti elettronici e i sensori che aggiungono funzionalità ai dispositivi si potessero realizzare su substrati flessibili, si aprirebbe un ventaglio di possibili applicazioni che sono state sognate a lungo dai tecnologi. Oggi, grazie all'elettronica su plastica tutto questo è possibile. Pelle o fogli di sensori e circuiti flessibili che ad esempio possono

essere applicati su robot, elettronica impiantabile, celle solari e display flessibili arrotolabili sono solo alcune delle molteplici possibilità dell'elettronica su plastica. L'elettronica su plastica è un'evoluzione della tecnologia attuale dei semiconduttori che permette di sfruttare le nuove proprietà di flessibilità, conformabilità, elasticità e basso costo dei materiali, per applicazioni in cui le alte prestazioni di calcolo dell'elettronica convenzionale in silicio non sono richieste. In tal senso, l'elettronica su plastica è emersa recentemente come tecnologia abilitante e complementare alla tecnologia standard per l'integrazione ad esempio di sistemi intelligenti (smart systems) che possono avere un vasto campo di applicazione.

Nell'ambito del progetto Elettronica su plastica per sistemi "Smart Disposable" abbiamo progettato, sviluppato e testato un modulo strain gauge metallico, o estensimetro, totalmente integrato su un foglio polimerico di polimide (PI), avente spessore micrometrico. Lo strain gauge è costituito da una serie di quattro resistenze metalliche identiche e opportunamente disposte sul substrato flessibile, completate con un'antenna che opera nella banda delle radiofrequenze in modo tale da consentire autonomia energetica al sistema e il trasferimento di dati wireless. Lo strain gauge, nel caso specifico è stato testato come sensore di pressione. Ossia una differenza di pressione fra le due facce dello strain gauge causa una deformazione della lamina polimerica che comporta una variazione nei valori delle resistenze dello strain gauge.

Allo scopo di realizzare lo strain gauge, inizialmente è stato approntato un lavoro di progettazione delle serpentine metalliche. Dalle simulazioni meccaniche ed elettriche delle deformazioni radiali e tangenziali delle resistenze è stato possibile definirne lo spessore, la resistenza totale e il posizionamento delle resistenze nell'area dello strain gauge che si vuole utilizzare per monitorare la pressione. Facendo uso di processi standard nell'ambito della tecnologia dei semiconduttori, abbiamo definito per mezzo della litografia su uno strato metallico di circa 200 nanometri le serpentine che definiscono i nostri resistori.

In questo caso una fetta di silicio di sei pollici è stata utilizzata come porta (carrier) substrato polimerico. Al fine di caratterizzare il sensore di strain gauge sotto pressione, è stato sviluppato un sistema di test apposito che ha permesso di seguire l'andamento della resistenza per i quattro sensori sia in condizioni statiche e dinamiche. In particolare, un segnale di pressione viene generata mediante una pompa a siringa. La pressione, dopo una diramazione a T, è controllata da un sensore di pressione di riferimento il cui valore è letto da un sistema di acquisizione dati automatizzato. Contemporaneamente, lo stesso segnale di pressione generata viene applicata in un camera a tenuta che alloggia il sistema sensore estensimetrico. Infine un multimetro, collegato a un PC con una porta GPIB, legge la resistenza di ogni singola resistenza. Tutti gli strumenti sono controllati tramite un'interfaccia LabVIEW. I risultati di test dimostrano che è possibile tarare lo strain gauge per applicazioni di sensore di pressione e che tale sensore riesce anche a seguire dinamicamente le variazioni di pressione. Infine, lo strain gauge è completato con i contatti per alimentare tramite l'antenna e monitorare l'andamento delle quattro resistenze tramite un circuito integrato specifico detto ASIC (application specific integrated circuit).

Gruppo di lavoro: Luigi G. Occhipinti, Enzo Fontana, Santo Smerzi, Emanuele Spoto, Marco Renna, Alessio Romano, Antonino Scuderi and Vincenzo Vinciguerra

Sviluppo di sensori di pressione per sistemi intelligenti usa e getta.

Il continuo sviluppo di materiali piezoelettrici ad alte prestazioni rende oggi possibile la fabbricazione di una nuova classe di sensori di pressione, ispirati al funzionamento del tatto negli esseri umani, che può essere efficientemente implementata in sistemi indossabili o "usa e getta". L'impiego di nuovi materiali e metodologie compatibili con le basse temperature di lavorazione, la realizzazione su lar-

ga area dei dispositivi e lo sviluppo di processi di fabbricazione a film sottile rappresentano elementi chiave per un'efficace implementazione di materiali piezoelettrici in dispositivi di uso quotidiano ed a basso costo. Tra le applicazioni d'interesse per la social life segnaliamo: sensori di battito cardiaco, di movimenti dei muscoli corporei, sensori tattili e di pressione del bulbo oculare. In questo contesto abbiamo implementato nuovi processi di fabbricazione nella tecnologia a film sottile per la fabbricazione di capacitori piezoelettrici basati su materiali organici e inorganici. I due approcci offrono vantaggi complementari in quanto un materiale attivo di tipo organico consente il raggiungimento di alte costanti piezoelettriche ma a seguito di trattamenti di *poling*; invece i materiali di tipo organico offrono una minore risposta elettrica alla sollecitazione meccanica, ma possono essere realizzati su larga area a bassa temperatura, e non necessitano di *poling*. Per la realizzazione di sensori di pressione a base organica è stato adoperato come materiale attivo il PVDF-TrFE. Il polimero è stato depositato tramite processo di spin-coating su substrato di Polyimide. Gli elettrodi superiore ed inferiore sono stati realizzati in Cromo-Oro. Le performance del dispositivo sono quindi state incrementate attraverso l'ottimizzazione di un processo di *poling* con campi elettrici, fino a 3MV/cm, ottenendo valori notevoli della costante piezoelettrica (d33) fino a ~45pC/N.

Come approccio alternativo, che consente inoltre una riduzione dei tempi di fabbricazione del dispositivo, è stata sviluppata una tecnologia su supporto flessibile a basso costo per la realizzazione di sensori di pressione totalmente inorganici. Il materiale attivo impiegato in questo caso è il nitruro di alluminio (AlN), realizzato in condizioni di alto vuoto per sputtering reattivo in plasma contenente azoto. La metodologia impiegata presenta alcuni grossi vantaggi: bassa temperatura di deposizione; basso contenuto di contaminazioni; estendibilità su larga area. I risultati ottenuti su piezocapacitori indicano il superamento dei dati record di letteratura a parità di materiale attivo e di substrato.

Sulla base del know-how acquisito sui materiali, è

stato quindi fabbricato un sensore attivo su substrato flessibile di PEN seguendo il modello dei POSFET (Piezoelectric Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) che sfruttano le potenzialità degli OTFT ad alta. L'integrazione di transistor e capacitori si è reso possibile attraverso l'adozione di un approccio multi-foil. Lo stadio di amplificazione così integrato ha consentito di ottenere una sensibilità del sensore @200Hz pari a circa 150mV/N. Soluzioni totalmente integrate sullo stesso substrato sono in fase avanzata di implementazione.

Gruppo di lavoro: Alessandra Alberti, Emanuele Smecca, Francesco Maita, Salvo Mirabella, Luca Maiolo, Guglielmo Fortunato, CNR-IMM.

Transistor organici su substrati plastici flessibili.

Durante il progetto Plast_ICs è stato sviluppato, presso l'IMM-CNR, un processo di realizzazione di transistor organici, basati su semiconduttore e dielettrico in soluzione, su substrato plastico flessibile. I dispositivi sono stati realizzati su un substrato di polietilene naftalato, utilizzando tecniche fotolitografiche standard e depositando il semiconduttore ed il dielettrico tramite spin-coating. Il processo prevede una temperatura massima di 100 °C, compatibile con la maggior parte di substrati plastici. Dopo l'ottimizzazione dei parametri di deposizione del semiconduttore, del dielettrico e dei contatti di source/drain, sono stati ottenuti transistor ad alte prestazioni con ottime caratteristiche elettriche, confrontabili con lo stato dell'arte dei dispositivi organici. In particolare sono state misurate mobilità da effetto campo fino a 3 cm²/Vs, che permettono l'utilizzo di questi dispositivi in circuiti operanti a frequenze relativamente alte. La caratterizzazione elettrica ha compreso anche misure di rumore dei dispositivi, effettuata presso l'Università di Messina, importante per le applicazioni circuitali. I dispositivi realizzati sono stati sottoposti a test di affidabilità di tipo elettrico, meccanico ed ambientale. Cicli prolungati di pola-

rizzazione ad alte tensioni di gate hanno mostrato che le caratteristiche elettriche sono stabili sia per tensioni di gate negative che positive. La curvatura del substrato durante le misure, fino a raggi di curvatura di 0.25 cm, induce piccole variazioni delle caratteristiche elettriche iniziali, anche dopo 500 cicli di incurvamento, se rimisurate con il substrato in piano. Le caratteristiche elettriche sono risultate stabili anche sottoponendo i dispositivi a condizioni ambientali con temperatura e umidità elevate (60°C ed umidità relativa dell'85%) all'interno di una camera climatica (presso STMicroelectronics) per tempi fino a 168 ore. La stabilità ambientale è assicurata dalle ottime qualità, come strato barriera, del fluoro-polimero usato come dielettrico di gate, come mostrato dalle misure delle proprietà igroscopiche del materiale.

Durante il progetto è stato anche sviluppato un processo di realizzazione di transistor organico tramite tecniche di stampa, che permettono una più rapida ed economica fabbricazione dei dispositivi e anche l'utilizzo di substrati plastici di grande formato. La tecnica di stampa di tipo "gravure" è stata utilizzata per depositare il semiconduttore ed il dielettrico di gate. Le caratteristiche dei materiali richieste dal processo di stampa, in particolare la viscosità, sono diverse da quelle per spin-coating e questo ha richiesto una nuova ottimizzazione del dielettrico (Cytop, come nei precedenti dispositivi) e del semiconduttore presso l'IMM-CNR sono stati progettati e realizzati i plate di stampa ed è stato ottimizzato il processo modificando opportunamente le proprietà della superficie del plate e dei substrati, tenendo conto dei diversi parametri fisici dei materiali. I dispositivi realizzati hanno caratteristiche elettriche con buona mobilità, ma devono essere ancora ottimizzati in termini di resistenza di contatto, corrente di off (dispositivo spento) e ripetibilità delle caratteristiche.

Gruppo di lavoro: G. Fortunato, L. Mariuccia, M. Rapisarda, S. Calvia, C. Ciofib, G. Giusib, M. Grecoc, V. Vinciguerrac, IMM-CNR; Dip. Ing. Elettronica, Università di Messina; STMicroelectronics, Catania.

Modelli Compatti per OTFT.

La disponibilità di modelli compatti utilizzabili in simulatori circuitali è una condizione imprescindibile al fine di poter procedere alla progettazione di circuiti complessi, composti da decine o anche centinaia di dispositivi.

A tutt'oggi non ci sono simulatori circuitali includenti modelli specifici per transistor organici che prendano in considerazione alcune peculiarità di questi dispositivi come per esempio la presenza di effetti di contatto dovuti alle giunzioni metallo/semiconduttore organico, la presenza di regioni parassite dovute all'utilizzo di processi di stampa e la presenza di effetti non-quasi-statici già a frequenze operative relativamente basse.

Pertanto, all'interno del progetto PlastIC2, è stato sviluppato un modello per OTFT che:

- 1) riproduce le caratteristiche elettriche in DC utilizzando una unica forma funzionale analitica valida sia in regime di sottosoglia che in regime di sopra-soglia, minimizzando così eventuali problemi di convergenza che si avrebbero con modelli che adottano differenti forme funzionali raccordate tra loro.
- 2) include effetti di contatto tra metallo e semiconduttore organico schematizzando la giunzione al source come un diodo Schottky polarizzato in inversa, permettendo così di riprodurre accuratamente le caratteristiche elettriche al variare delle dimensioni geometriche dei dispositivi
- 3) permette l'analisi a piccolo segnale delle caratteristiche utilizzando un approccio non quasi statico, imprescindibile per questi dispositivi che hanno frequenze di taglio dell'ordine delle decine di kilohertz
- 4) tiene conto della presenza di regioni parassite dovute alle tolleranze necessarie nei processi stampa dei dispositivi

Il modello è stato implementato sia tramite del codice Verilog-A che attraverso dei circuiti equivalenti utilizzando il simulatore circuitale PSpice ed è stato utilizzato nella progettazione di alcuni semplici circuiti logici.

Il modello sviluppato non è specifico per gli OTFT prodotti nel progetto e si presta ad essere utilizzato

per la simulazione di transistor realizzati con vari semiconduttori organici e varie tecniche di stampa e, pertanto, potrebbe essere commercializzato o fornito a terzi.

Gruppo di lavoro: A. Valletta¹, L. Mariucci¹, G. Fortunato (Cnr-Imm), F. Brina, A. Ciccazzo, S. Smerzi, V. Vinciguerra (ST-Microelectronics), G. Maira (Università di Palermo), M. Frasca (Università di Catania).

Sensori e Biosensori amperometrici su plastica ottenuti mediante inkjet printing e spray coating

Nell'ambito del progetto Elettronica su Plastica per Sistemi "Smart Disposable" il Consorzio Catania Ricerche ha sviluppato una piattaforma per sensori e biosensori amperometrici su plastica con materiali e processi che, nel loro complesso, hanno un basso costo e un basso impatto ambientale. Sono stati realizzati sensori amperometrici depositando elettrodi di argento e di grafite, combinando le tecniche di deposizione inkjet printing e spray coating. La scelta del tipo di elettrodo di lavoro dipende da eventuali interferenze elettrochimiche presenti nella specifica determinazione dell'analita. I voltammogrammi ottenuti dai sensori amperometrici realizzati sono stati oggetto di benchmark con sistemi commerciali.

Gli elettrodi di lavoro in carbonio hanno mostrato una migliore stabilità chimica rispetto agli elettrodi realizzati in metallo (Au o Ag). Sulla base di questo risultato sono stati sviluppati alcuni processi di funzionalizzazione delle superfici degli elettrodi di lavoro in carbonio con nanoparticelle di ferrocianuro ferrico come mediatore elettrochimico. L'utilizzo di mediatori elettrochimici integrati sulla superficie dell'elettrodo di lavoro consente di ridurre il potenziale per la rivelazione dell'H₂O₂ fino a -0.14 V.

È stato sviluppato un protocollo per ottenere grafite funzionalizzata con biomolecole. È possibile anche interporre uno spacer molecolare tra la superficie della grafite e la biomolecola per produrre paste per elettrodi di lavoro di biosensori.

Gruppo di lavoro: A. Scandurra, G.F. Indelli, C. Drago, R. La Mattina, S. Battiato, F. Samperi, C. Puglisi, G. Nicolosi.

Caratterizzazione di sensori per gas a film sottile su plastica a trasduzione elettronica

L'obiettivo di questa RI è lo sviluppo di un nuovo processo tecnologico per la realizzazione di sensori di gas su substrato flessibile mediante tecniche di stampa a getto d'inchiostro, che in particolare impiegano metodologie di trasduzione resistive.

In particolare, sono stati realizzati e caratterizzati un sensore di NH₃ ed uno di CO₂.

Il sensore di NH₃

La struttura del dispositivo impiega uno stack di materiali costituito da un substrato flessibile in PET, elettrodi interdigitali (IDT) ed un layer di materiale funzionale (PEDOT-PSS) particolarmente sensibile all'AMMONIACA.

Il sensore impiega una metodologia di trasduzione basata sulla dipendenza della resistività del layer di PEDOT dalla concentrazione di ammoniaca. Gli elettrodi sono stati realizzati rilasciando dispersioni di nano-particelle d'argento sul supporto in PET, mediante tecniche inkjet printing implementate con una stampante a basso costo. L'inchiostro utilizzato è il Metalon® JS-015 Water-based Silver Inkjet Ink by NovacentrixTM). Il layer di materiale funzionale, CLEVIOS™ PHCV4, by H.C. Starck, è stato depositato mediante tecniche di deposizione superficiale e successive tecniche di annealing ad 80°C per 50 minuti.

Il sensore di CO₂.

Il sensore di CO₂, realizzato in collaborazione con i docenti del Dipartimento di Ingegneria Chimica dell'Università di Catania, è basato su uno stack di materiali costituito da un substrato flessibile in PET, elettrodi interdigitati (IDT) realizzati in tecnologia inkjet printed, un layer di (PEDOT-PSS) e uno di materiale funzionale (Grafene) particolarmente sensibile al CO₂. Il meccanismo di sensing dominante è rappresenta-

to dal fenomeno di adsorbimento delle molecole di CO₂ da parte del layer di Grafene che determinano una variazione della resistività dello strato di materiale funzionale.

Il sensore impiega una metodologia di trasduzione basata sulla dipendenza della resistività del layer di Grafene dalla concentrazione di CO₂. Gli elettrodi, il cui layout è mostrato in Fig.4, sono stati realizzati sul supporto in PET mediante tecniche inkjet printing a basso costo. L'inchiostro utilizzato è il Metalon® JS-015 (Water-based Silver Inkjet Ink by NovacentrixTM). Il layer di PEDOT, CLEVIOS™ PHCV4, by H.C. Starck, è stato depositato mediante tecniche di deposizione superficiale e successive tecniche di annealing ad 80°C per 50 minuti. Il layer di materiale funzionale è stato depositato mediante uno stencil.

Risultati sperimentali della caratterizzazione del sensore di CO₂.

La caratterizzazione del sensore di CO₂ è stata realizzata seguendo il protocollo già descritto, valutando la risposta del sensore per 5 valori di concentrazione di CO₂ all'interno della camera (5 fasi). Ogni fase prevede l'immissione di una quantità ben definita di CO₂ all'interno della camera (dipendente dalla concentrazione che si vuole raggiungere), un periodo di attesa per la stabilizzazione del livello di concentrazione e successivamente 5 cicli di riscaldamento mediante gliheater (da 35 °C a 57 °C). In particolare, durante la prima fase viene ripristinata all'interno della camera la minima concentrazione di CO₂, considerata nel presente studio. La stessa concentrazione viene ripristinata durante l'ultima fase del processo di caratterizzazione.

Materiali compositi per applicazioni in strati barriera e passivazione

Lo sviluppo e le prestazioni dei dispositivi sono fortemente limitati dal degrado che i materiali utilizzati per realizzarli subiscono quando vengono esposti

all'aria, poiché reagiscono chimicamente con l'ossigeno ed il vapore acqueo presenti nell'atmosfera. Tali reazioni modificano completamente i materiali, causando un veloce peggioramento del funzionamento dei dispositivi portandoli alla rottura irreversibile. Per prevenire ciò, si sono sviluppati diversi tipi di protezione dei dispositivi, genericamente indicati come "incapsulamento", che consistono nel racchiudere i dispositivi ed i materiali più deperibili all'interno di volumi sigillati ed impermeabili all'ossigeno ed all'acqua. Le soluzioni sviluppate si differenziano per il tipo di dispositivi a cui sono dedicate (per substrati rigidi o flessibili, con materiali depositati in modo conforme ai dispositivi o su altri substrati che vengono incollati a quello dei dispositivi, ecc.).

È stato stimato che, per ottenere un dispositivo sufficientemente efficiente e stabile nel tempo da un punto di vista delle performance, sarebbe necessario limitare la velocità di trasmissione dell'ossigeno (oxygen transmission rate - OTR) al di sotto i 10-3 cm³ m⁻² day⁻¹ bar⁻¹ e la velocità di trasmissione dell'umidità (water vapor transmission rate - WVTR) al di sotto i 10-4 g m⁻² day⁻¹.

Un aspetto cruciale riguarda la scelta dei materiali incapsulanti, i quali devono possedere, oltre gli ovvi, ma non per questo banali, requisiti di impermeabilità all'ossigeno e all'umidità, anche notevole stabilità termica e meccanica. La maggior parte materiali già presi in considerazione nei processi di food packaging, difficilmente riesce a coniugare i requisiti precedentemente descritti con proprietà di adesione al supporto e di resistenza alla flessione, fondamentali per l'applicazione in dispositivi flessibili. In tale contesto, è di fondamentale interesse identificare nuovi materiali di packaging, a basso costo e facilmente processabili. Tenendo in considerazione proprio i requisiti di flessibilità e capacità adesiva richiesti, l'attenzione è stata rivolta ad una classe di materiali, quali i siliceni, che presenta notevoli proprietà fisiche: flessibilità, capacità adesive, resistenza meccanica, stabilità termica e chimica, resistenza all'umidità, nessuna tossicità e facile impiego.

I ricercatori dell'Università di Palermo e dell'Università di Catania hanno sintetizzato e caratterizzato

alcuni materiali che, in forma di film sottile, possano servire quali strati barriera per ossigeno e/o acqua. Tali sistemi sembrano essere in grado di massimizzare la resa salvaguardando le caratteristiche elettriche, termiche e meccaniche del dispositivo.

Si sono individuate due classi di materiali che possono svolgere questa funzione e precisamente i compositi polimero/grafene ed i siliceni. Questi ultimi, essendo dei materiali molto duttili, offrono anche il vantaggio di poter modulare tali proprietà, semplicemente intervenendo su alcuni parametri del processo di indurimento del silicone stesso (curing).

Per quanto riguarda i sistemi compositi polimero/grafene è stata messa a punto una strategia sintetica per ottenere strati di grafene ossido compatibili con la massima attività di 'scavenger' e in grado di poter essere mescolati con soluzioni polimeriche (polivinil alcool e poliimmidi) che siano compatibili con la successiva deposizione (spin coating o spray) sui dispositivi su plastica. Le proprietà di permeabilità di ossigeno ed acqua sono state testate direttamente tramite misure di trasmittanza diretta ed indirettamente tramite misure di fluorescenza. Le misure hanno evidenziato che l'ossido di grafene incrementa le proprietà gas-barrier della matrice polimerica. Inoltre dati di angolo di contatto evidenziano che il composito ha permeabilità all'acqua sensibilmente ridotta rispetto al polimero.

I siliceni sono stati studiati come materiali incapsulanti, sia tal quali, che additivati con cluster di ossidi metallici che, previa funzionalizzazione con leganti organici, hanno rappresentato una valida alternativa ai classici additivi impiegati nei processi di curing dei siliceni stessi.

Al fine di valutare l'efficacia della protezione diverse studi, principalmente di natura spettroscopica, sono stati effettuati confrontando i campioni sui quali è stato realizzato il packaging con quelli privi di protezione. Per semplicità e al fine di avere dati significativi sulle caratteristiche di ricoprimento, si è scelto di effettuare questi studi su polimeri coniugati non stabili all'aria, quali ad esempio sistemi di poliofeni (poli 3-esiltiofene - P3HT) depositati per spin coating su substrati flessibili ricoperti da strati conduttori (es.

ITO/PET). I campioni con e senza strato di silicone, sono stati caratterizzati dopo essere stati sottoposti a degradazione, per semplice esposizione all'aria. Misure di fluorescenza hanno permesso di monitorare la stabilità dei campioni, semplicemente calcolando la percentuale di quenching cui essi sono soggetti proprio a seguito di processi di degradazione innescati da reazioni fotochimiche o di ossidazione. Tali misure hanno messo in evidenza come un campione protetto mediante packaging ed esposto ad ageing all'aria per diversi giorni, la fluorescenza venga decisamente conservata rispetto ai campioni non protetti.

Gruppo di lavoro: Giuseppe Compagnini, Luisa D'Urso, Orazio Puglisi (Dipartimento di Scienze Chimiche Università di Catania), Bruno Pignataro(b), Camillo Sartorio (Dipartimento di Fisica e Chimica Università di Palermo)

Sviluppo di sensori amperometrici per sistemi "smart disposable".

La miniaturizzazione di una tipica cella elettrochimica offre numerosi vantaggi come ad esempio la riduzione del volume di campione, una facile trasportabilità e un'efficienza nei costi di analisi. Nell'ambito del progetto PON "PLAST_ICs" sono stati sviluppati diversi protocolli per la realizzazione e l'ottimizzazione di biosensori amperometrici per la rivelazione di glucosio, utilizzando come enzima la Glucosio Ossidasi (GOx), noto per la sua specificità e stabilità. I dispositivi elettronici impiegati sono stati gli Screen Printed Electrodes (SPEs), con elettrodo di lavoro a base di oro. Le misure amperometriche sono state registrate in flusso continuo, utilizzando un dispositivo microfluidico in polidimetilsilossano, mediante un bipotenziostato PalmSens3 EIS.

Inizialmente, è stato messo a punto un metodo di immobilizzazione per adsorbimento fisico dell'enzima GOx, in soluzione con siero albumina bovina e glicerolo, applicando un agente di cross-linking, la glutaraldeide, per garantire la stabilità di GOx sulla superficie dell'elettrodo senza alterarne la attività

enzimatica. I sensori così realizzati hanno mostrato un range di risposta lineare compreso tra 0.05-1 mM di glucosio ($R^2 = 0.98$) e tempi di risposta di 10 s. Per poter ottimizzare le prestazioni dei sensori in termini di sensibilità, limite di rivelabilità e intervallo di risposta lineare, è stato costruito un biosensore mediante polimerizzazione da una soluzione di m-fenilendiammina e GOx con glutaraldeide. I risultati sperimentali hanno evidenziato una sensibilità di 2.3 (1) $\mu A/(mM \cdot cm^2)$, un intervallo lineare nel range 0.1-10 mM ($R^2 = 0.97$), con LOD di 14 μM .

Contemporaneamente sono stati eseguiti degli studi per la funzionalizzazione dei biosensori utilizzando nanomateriali bidimensionali a base di carbonio, come il grafene ed ossido di grafene (GO) che possiedono straordinarie proprietà elettriche, meccaniche e chimiche. Il GO funzionalizzato genera bassa corrente di fondo e mostra una migliore proprietà di trasporto degli elettroni rispetto a GO non modificato. Può essere, quindi, un candidato ideale per la realizzazione di biosensori. Inizialmente, è stata realizzata un'immobilizzazione covalente dell'enzima GOx, sfruttando i gruppi carbossilici del GO come target in presenza di N-(3-Dimetilaminopropil)-N'-etilcarbodiimmide cloridrato (EDC) e N-idrossisuccinimide (NHS). I sensori così modificati hanno mostrato un segnale amperometrico stabile, un rapido tempo di raggiungimento dello stato stazionario ed un ridotto intervallo di linearità di risposta di 0.05-2.5 mM ($R^2 = 0.97$) con una sensibilità di 0.389 (2) $\mu A/mM \cdot cm^2$ ed un L.O.D. di 4.3 μM . Alternativamente studi preliminari sono stati condotti mediante l'aggiunta di un mediatore elettronico, l'acido (1-pirene)butirrico-N-idrossisuccinimide estere (PANHS), ad un elettrodo funzionalizzato solo con GO. Un notevole vantaggio consiste nella procedura più rapida di costruzione del sensore grazie alla presenza di un gruppo di ancoraggio idrofobico (pirene) ed un gruppo estereo terminale (NHS) in grado di immobilizzare covalentemente GOx.

Gruppo di lavoro: N. Bellassai, N. Vicario, G. Spoto (Consorzio Interuniversitario "Istituto Nazionale Biostrutture e Biosistemi", Unità di Catania).

Applicazioni dell'approccio Fluctuation Enhanced Sensing (FES) a sensori su substrato plastico.

Il rumore elettrico sovrapposto ai segnali deterministici in un circuito elettronico è generalmente considerato un disturbo che deve essere mantenuto al più basso livello possibile. Esistono tuttavia situazioni in cui il rumore generato da un dispositivo può essere considerato come una fonte di informazione sui processi di conduzione che avvengono a livello microscopico nelle regioni attive del dispositivo stesso. Nel caso di un dispositivo che si comporti come sensore, l'interazione con l'analita genera una variazione di una o più proprietà elettriche "medie" (resistenza, capacità, corrente erogata a parità di tensione ecc.). Dalla misura della variazione della proprietà elettrica media (es. corrente) si può risalire alla concentrazione dell'analita. La selettività del sensore è tuttavia limitata e spesso si ottiene la stessa risposta media in presenza di analisi di natura diversa. Se però si osservano e si analizzano le fluttuazioni (rumore) sovrapposte al valor medio della corrente erogata dal sensore, si possono riconoscere componenti del rumore che sono legate alla dinamica dell'interazione fra le molecole dell'analita e il materiale attivo del sensore. Poiché a molecole di analita diverso corrispondono dinamiche di interazione generalmente diverse, l'analisi delle fluttuazioni può consentire di distinguere la natura degli analisi anche a parità di risposta continua. Questo approccio di analisi è conosciuto con il nome di "Fluctuation Enhanced Sensing" (FES) e pur non essendo ancora una tecnica matura, è riconosciuta come di estremo interesse da molti ricercatori perché consentirebbe, in linea di principio, di implementare sistemi di "naso elettronico" a partire da un unico sensore e non da una matrice di numerosi sensori con sensibilità diverse agli analisi. L'applicazione della tecnica FES richiede tuttavia lo sviluppo di elettronica dedicata a bassissimo livello di rumore. Nel contesto del progetto, l'Università di Messina ha sviluppato un potenziostato a bassissimo rumore per la sperimentazione della tecnica

FES sui sensori di glucosio in soluzione sviluppati dall'Università di Palermo. I risultati ottenuti sono incoraggianti e confermano la validità dell'ipotesi alla base della tecnica FES., infatti gli spettri del rumore in uscita al sensore mostrano forme diverse tipiche di analiti di natura differente.

Gruppo di lavoro: G. Cannatà, G. Scandurra, G. Giusi, C. Ciofi, Y. Aleeva, B. Pignataro.

Nanostrutture a basso costo per sensori flessibili di pH e di glucosio

La fabbricazione controllata di nanostrutture funzionali può richiedere tecniche sintetiche complesse e materiali costosi, limitando la loro reale applicazione su larga area e impedendone l'utilizzazione per produzioni massive di dispositivi monouso. Nell'ambito del progetto PON PLAST_ICs è stato sviluppato un protocollo che consente una sintesi controllata ma a basso costo di materiali nano strutturati per applicazioni nel campo dei sensori. La sintesi fa uso di un bagno chimico tenuto a temperatura di 95°C che permette in tempi molto rapidi (5-15 min) la deposizione controllata di uno strato sottile (200-1000 nm) estremamente poroso del materiale desiderato su qualunque substrato che si possa immergere in soluzione acquosa (con pH nel range di 5 - 10). In particolare, sono stati sintetizzati film porosi di ZnO e di NiO, e sono stati prodotti sensori flessibili di pH e di glucosio, rispettivamente.

Il sensore di pH consiste di un transistor a film sottile (TFT) depositato su substrato polimerico, con la nanostruttura di ZnO sintetizzata selettivamente sull'elettrodo di gate. La tecnologia LTPS (low temperature polycrystalline silicon) permette ottime caratteristiche elettriche e stabilità del sensore, mentre la nanostruttura di ZnO (fogli cristallini di ZnO -20 nm di spessore- orientati verticalmente con alta superficie esposta) costituisce l'elemento sensibile al pH della soluzione da misurare. Il sensore realizzato ha mostrato una risposta ideale (~59 mV/pH), superiore a quella di analoghi sensori realizzati con altre nanostrutture di ZnO (nanorods e nanotubes). [L.

Maiolo et al, Applied Physics Letters 105, 093501 (2014); doi: 10.1063/1.4894805].

Il sensore non-enzimatico di glucosio combina l'azione catalitica del Ni [tramite la reazione red-ox NiOOH ? Ni(OH)₂] con una nanostruttura ad alta area superficiale depositata a 90°C tramite bagno chimico e trattata in ambiente riducente a 350 °C. La nanostruttura di ossido di Ni è composta di piccoli e interconnessi agglomerati (20 nm in diametro) di Ni metallico, convertito in superficie in ossido di Ni (necessario per l'ossidazione catalitica del glucosio). Il sensore realizzato su substrato di Kapton (reso conduttivo tramite deposizione sputter di ITO) ha mostrato un'alta sensibilità (1.4 mA/cm² mM) in un range lineare di 0.01-0.7 mM di glucosio, con tempi di risposta rapidi (1 s), stabilità eccellente, buona selettività e resistenza ai cloruri. La elevata sensibilità del sensore permette di rivelare il glucosio a concentrazioni 100 volte più basse che nel sangue umano, cioè alle concentrazioni tipiche del glucosio in saliva. [K. O. Iwu et al, Sensors and Actuators B, 2015].

S. Mirabella (CNR-IMM & University of Catania)

Un flussimetro basato su trasduttori IPMC

Giovanna Di Pasquale, Salvatore Graziani, Antonino Pollicino, Salvatore Strazzeri

I Compositi Polimeri Ionici Metallo (IPMC in inglese) sono polimeri elettroattivi, con capacità di trasduzione elettromeccanica reversibile. In letteratura è stato proposto un numero elevato di prototipi, per applicazioni in ambienti umidi, o perfino in acqua. L'interesse è stato sinora rivolto all'utilizzo degli IPMC come attuatori, in applicazioni in robotica, inclusi robot biomimetici, applicazioni spaziali e medicina, giusto per indicare le più significative. Poco è stato, invece, proposto, sulle applicazioni degli IPMC come sensori.

Nell'ambito del progetto le capacità di trasduzione mecano-elettrica degli IPMC sono state sfruttate per realizzare un flussimetro, basato sul principio del vortex shedding.

Competenze su materiali innovativi, dispositivi elettronici e gestione manageriale

Tre le figure professionali formate nell'ambito del progetto PLAST_ICs: in tutto 18 giovani che hanno acquisito metodi e conoscenze sui circuiti integrati su materiale plastico.

Orazio Puglisi - Responsabile formazione del progetto PLAST_ICs.

Il Corso di Formazione Plast_ICs rappresenta un Progetto allegato al Progetto di Ricerca omonimo, gestito dal Distretto Micro e Nano Sistemi assieme ai suoi Soci. L'acronimo Plast_ICs vuole sottolineare l'obiettivo di ottenere circuiti integrati (ICs) su materiale plastico. Si tratta di una tecnologia altamente innovativa che mira a produrre circuiti integrati su substrati macromolecolari, altamente flessibili ed economici e, soprattutto, compatibili con le applicazioni più avanzate della microelettronica come sono quelle relative al campo della Salute, della Domotica, dell'Ambiente e dei dispositivi per l'Energetica. Sino a qualche anno fa questa tecnologia veniva definita "dream technology" anche per sottolineare le enormi difficoltà che si frapponavano alla realizzazione di tali dispositivi.

La grande innovatività delle soluzioni tecnologiche individuate recentemente per far maturare tale tecnologia ha fatto compiere al settore un grande salto qualitativo. Obiettivo del Progetto di Formazione è stato quello di trasferire metodi e conoscenze di questo settore molto avanzato a 18 giovani Formandi.

Basandosi su uno schema organizzativo comune ai tre Progetti del Distretto (Hippocrates, Energetics e Plast_ICs), il Progetto di Formazione prevedeva tre Figure di Esperto. La prima figura di esperto (**Obiettivo Formativo n. 1** – per un totale di 7 Formandi) era quella di base che si riprometteva di fornire metodi e conoscenze relative alla Scienza dei materiali di questi materiali innovativi.

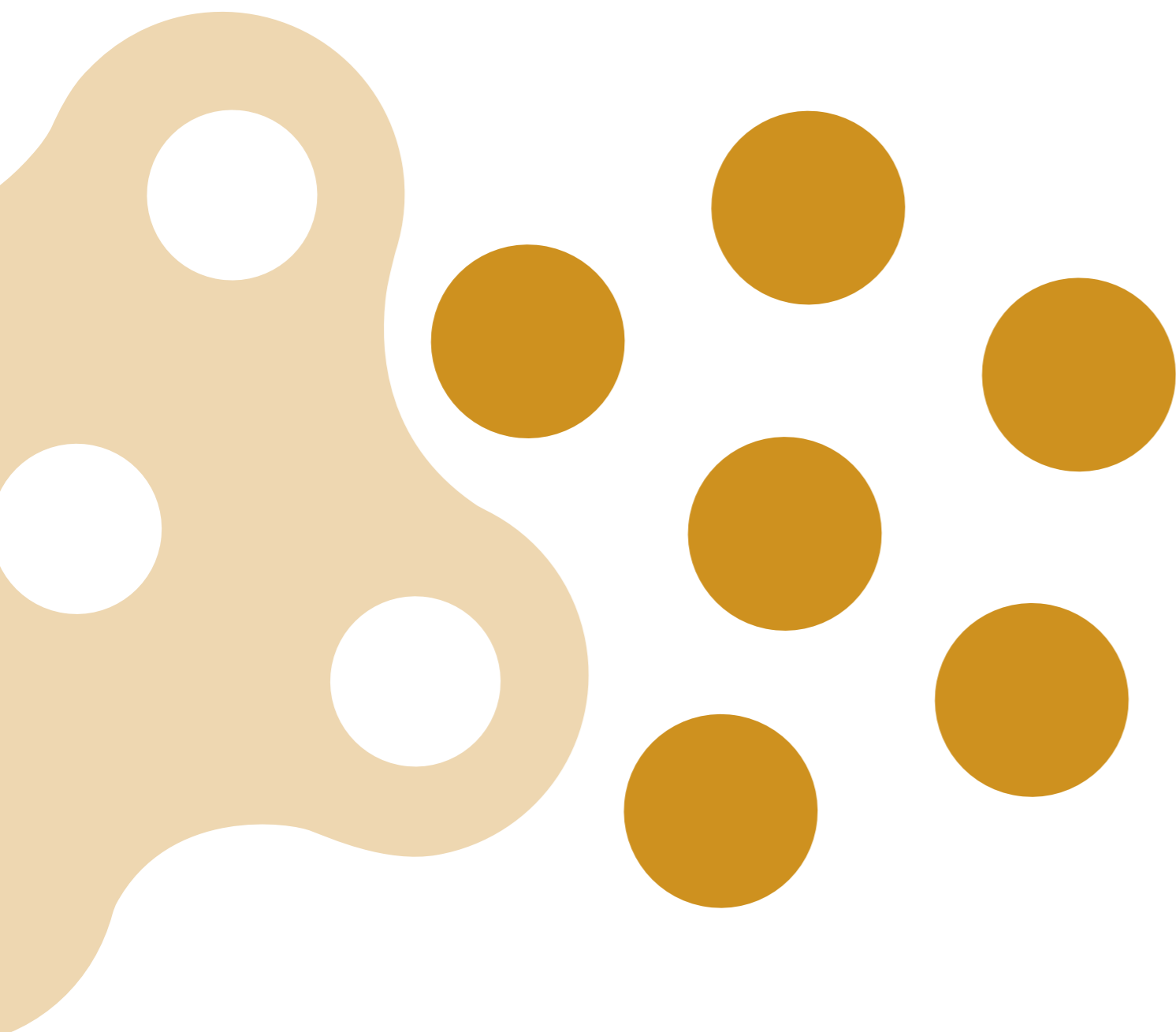
La seconda figura di esperto (**Obiettivo Formativo n. 2**– per un totale di 7 Formandi) era quella del Pro-




gettista che è capace di simulare processi di fabbricazione e performance dei dispositivi elettronici su substrato macromolecolare.

La terza figura di esperto (**Obiettivo Formativo n. 3**– per un totale di 4 Formandi) era quella dell'esperto della Scienza dei materiali che si occupa di gestione dei Team di Ricerca e del Trasferimento tecnologico nel settore di riferimento


Il programma relativo all'**Obiettivo Formativo n. 1 (OF1)** consisteva nell'individuazione e nella formazione di 7 tecnologi, in possesso del laurea magistrale (o equivalente), esperti in materiali innovativi e tecnologie di processo per l'elettronica su supporti flessibili e relativa caratterizzazione, nelle tecnologie di processo per la deposizione di film di tali materiali e nel campo delle tecniche della loro caratterizzazione chimico-fisica fornendo loro un'elevata competenza scientifica. Il programma relativo all'**Obiettivo Formativo n. 2 (O.F.2)** consisteva nell'individuazione e nella formazione di 7 tecnologi, in possesso del laurea magistrale (o equivalente), esperti in virtual prototyping di circuiti integrati su supporti fornendo loro un'elevata competenza scientifica nelle più moderne tecniche di simulazione.

Il percorso formativo all'**Obiettivo Formativo n. 3 (O.F.3)** si proponeva di selezionare e formare 4 tecnologi esperti del settore elettronico su supporti flessibili con competenze manageriali relative alla valorizzazione economica della ricerca, al coordinamento di processi di trasferimento tecnologico e alla gestione dell'innovazione e della proprietà intellettuale.



 <p>CATANIA RICERCHE</p>	<p>Contributo del CCR per Plast_ICs: Sensori Amperometrici</p> <p>Il Consorzio Catania Ricerche (CCR) e' un Ente senza scopo di lucro, i cui soci sono: Università degli Studi di Catania, C.C.I.A. di Catania, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Farmitalia Industria Chimico-Farmaceutica s.r.l., Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e LJ Pharma s.r.l.</p> <p>Il CCR ha tra i suoi obiettivi la ricerca scientifica applicata, svolta presso il suo Laboratorio Superfici e Interfasi (Superlab), quale stabile sede operativa per lo svolgimento delle attività di ricerca. Il CCR ha sviluppato una piattaforma di sensori amperometrici su plastica con processi a basso costo e basso impatto ambientale. Sono stati ottenuti elettrodi di lavoro in argento e in grafite mediante inkjet printing e spray coating. Mediatori elettrochimici integrati sulla superficie dell'elettrodo di lavoro consentono di ridurre il potenziale di lavoro fino a -0.14 V. Infine, è stata ottenuta grafite funzionalizzata con biomolecole per produrre paste per elettrodi di lavoro di biosensori amperometrici.</p>
 <p>Consiglio Nazionale delle Ricerche</p>	<p>Scheda Socio CNR Plast_ICs</p> <p>L'Istituto di Microelettronica e Microsistemi (IMM) afferisce al dipartimento di Fisica e Tecnologia della Materia del Consiglio Nazionale delle Ricerche. L'istituto, la cui sede si trova Catania, è articolato in 7 sezioni: Agrate Brianza, Bologna, Roma, Napoli, Lecce e Catania (sede ed unità Univ.). IMM conta 195 dipendenti come staff permanente (117 ricercatori) a cui attualmente si affiancano figure Post-Docs (c.a. 50) e Ph.D. (c.a. 60). L'attività dell'istituto è rivolta verso soluzioni alternative per la micro e nanoelettronica, materiali avanzati e processi per smart components, optoelettronica e fotonica, sensori e multifunctional micro/nanosystems. L'istituto vanta collaborazioni con partner industriali come STMicroelectronics, Micron, Philips, SILVACO, AMD, ABB, Tower Semiconductor and Siemens; è impegnato in diversi progetti europei (11%), nazionali (32%), regionali (47%), ed in contratti bilaterali (10%). Nel contesto del progetto PON PLAST_ics ha svolto attività di ricerca su materiali innovativi e sulla loro integrazione in piattaforme pre-industriali nel settore dei sensori di pressione e di glucosio.</p>
 <p>I.N.B.B.</p>	<p>Consorzio interuniversitario Istituto Nazionale di Biostrutture e Biosistemi</p> <p>L'Istituto Nazionale di Biostrutture e Biosistemi (INBB) è un Consorzio interuniversitario che ha ricevuto il riconoscimento ufficiale del Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica (MURST) l'11 Dicembre 1995. Esso opera sotto il diretto controllo del Ministero (MIUR) e consorzia 23 Università italiane.</p> <p>Il Consorzio ha lo scopo di promuovere e coordinare le ricerche e le altre attività scientifiche ed applicative nel campo delle Biostrutture e Biosistemi tra le Università consorziate favorendo, da un lato, collaborazioni tra Università, altri Enti di ricerca e/o Industrie e, dall'altro, il loro accesso e la loro eventuale partecipazione alla gestione di Laboratori Nazionali di Biostrutture e Biosistemi.</p> <p>All'interno del progetto PLASTICS l'Unità di ricerca di Catania ha contribuito sviluppando procedure di modifica di superficie di biosensori amperometrici per il glucosio e studiando procedure di funzionalizzazione a base di grafene ed ossido di grafene utili sempre per i suddetti biosensori.</p>

	<p>STMicroelectronics</p> <p>STMicroelectronics è fra le maggiori società di semiconduttori al mondo con ricavi netti per 7,4 miliardi di dollari nel 2014. ST offre uno dei portafogli prodotti più ampi del settore e fornisce ai clienti soluzioni innovative basate sui semiconduttori all'interno di un ampio spettro di applicazioni elettroniche, avvalendosi della propria vasta gamma di tecnologie, dell'esperienza nella progettazione e della combinazione di proprietà intellettuale, partnership strategiche e forte capacità manifatturiera.</p> <p>Il sito di Catania ospita linee pilota e laboratori per lo svolgimento della ricerca.</p> <p>Progetto Plast_ICs</p> <p>Le attività del Socio STMicroelectronics S.r.l. si sono focalizzate all'implementazione di una nuova piattaforma tecnologica dedicata allo sviluppo di sistemi elettronici intelligenti e autonomi su substrati flessibili. Caratteristica principale di questa tipologia di sistemi è l'integrazione di funzionalità sensoristiche, legate a circuiti logici integrati nel silicio, opportunamente assottigliati fino a diventare flessibili e integrabili in un unico substrato flessibile.</p> <p>In particolare ST ha sviluppato un ASIC in silicio integrabile su substrato flessibile e i sensori di temperatura e pressione anch'essi su substrato flessibile.</p> <p>I principali campi d'applicazione sono nel settore della salute, principalmente legata al campo dei sistemi di diagnostica personale, e dei dispositivi sensoristici associati a sistemi autonomi nel settore dell'ambient intelligence.</p>
	<p>Università degli Studi di Catania</p> <p>L'Università degli Studi di Catania (UNICT) sviluppa istituzionalmente didattica e ricerca in forte collaborazione e sinergia con Enti Pubblici ed Aziende sul territorio siciliano, promuovendo il trasferimento tecnologico e la valorizzazione di risultati di ricerca di base ed applicata, nonché delle risorse umane sviluppate mediante l'ampia offerta didattica di corsi di Laurea Triennali e Magistrali, Master e Dottorati nei principali settori della conoscenza, al fine di contribuire allo sviluppo globale del Paese. L'Università degli Studi di Catania è organizzata in 18 Dipartimenti e due scuole a fini speciali, con circa 1.300 docenti e ricercatori attivi e un numero comparabile di funzionari amministrativi e tecnici. All'interno del Progetto Plastics l'Università di Catania ha sviluppato un massiccio impegno, coinvolgendo parecchie Unità Operative nelle attività di ricerca delle diverse linee previste dal Progetto, contribuendo significativamente ai risultati nell'ambito dei Sensori meccanici (strain, pressione, vibrazione), dei Sensori a trasduzione elettronica, della caratterizzazione e modelli compatti, degli Strati barriera, incapsulanti e failure analysis, della Progettazione e Layout dell'elettronica d'interfaccia dei sensori.</p>
	<p>Università degli studi di Messina</p> <p>Il Dipartimento di Ingegneria dell'Universtà di Messina svolge attività di ricerca nelle aree dell'Ingegneria Industriale e dell'Informazione, dell'Ingegneria Civile e dell'Architettura, delle Scienze Matematiche, Fisiche e Chimiche.</p> <p>Nell'ambito del progetto "Elettronica su Plastica per Sistemi Smart Disposable, Plast_ICs", il dipartimento si è occupato prevalentemente delle applicazioni delle misure di rumore in bassa frequenza per lo studio e la comprensione dei meccanismi di conduzione nei dispositivi organici e per la sperimentazione di tecniche di sensing avanzate che prevedono l'analisi dettagliata delle fluttuazioni di corrente indotte in un sensore come diretta conseguenza dell'interazione dell'elemento sensibile con le molecole dell'analita.</p>

	<p>Per rendere possibile le misure e le analisi del rumore prodotto da dispositivi e sensori nelle diverse condizioni operative, è stato necessario sviluppare strumentazione dedicata ad altissima sensibilità che non trova corrispettivo in sistemi disponibili commercialmente. Sono state inoltre sviluppate e sperimentate nuove metodologie e la necessaria strumentazione per la valutazione dell'affidabilità in funzione dello stress meccanico di dispositivi su substrato flessibile.</p>
	<p>Università degli Studi di Palermo</p> <p>Le principali attività di ricerca del Dipartimento di Fisica e Chimica dell'Università di Palermo sono articolate nelle seguenti aree: Astrofisica, Biofisica, Fisica Sperimentale della Materia, Teoria Quantistica e Fisica della Materia, Fisica Applicata, Chimica Fisica, Chimica Organica, Inorganica e Analitica.</p> <p>Nell'ambito del progetto "Elettronica su Plastica per Sistemi Smart Disposable, Plast_ICs", il dipartimento ha sviluppato e ottimizzato prototipi di biosensore amperometrico di glucosio su substrato plastico. Ne ha seguito la fabbricazione, il comportamento e la caratterizzazione studiando i materiali e le loro proprietà, sviluppando opportune metodologie. Si è occupato di predisporre opportune e innovative interfacce elettroniche di condizionamento e lettura dei sensori con particolare attenzione ai possibili sviluppi futuri offerti dall'elettronica organica, proponendo architetture alternative per soddisfare le specifiche tecnologiche. Ha offerto supporto allo studio di modelli per la simulazione e alla progettazione di prototipi dimostrativi.</p>



PROGETTO PLAST_ICs

Elettronica su plastica per sistemi "Smart disposable"

info:

Distretto Tecnologico Sicilia Micro e Nano Sistemi S.c.a.r.l.

Ottava Strada, 5 - Zona Industriale

95121 Catania

Tel: 095 5968 261

Fax: 095 5968 312

info@distrettomicronano.it

www.distrettomicronano.it



investiamo nel vostro futuro

Distretto Tecnologico Sicilia Micro e Nano Sistemi S.c.a.r.l. - Ottava Strada, 5 - Zona Industriale – 95121 Catania
Tel: 095 5968 261 - Fax: 095 5968 312 - info@distrettomiconano.it - www.distrettomiconano.it