



STEFANO CINTI
DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE CHIMICHE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA "TOR VERGATA"
STEFANO.CINTI@UNIROMA2.IT

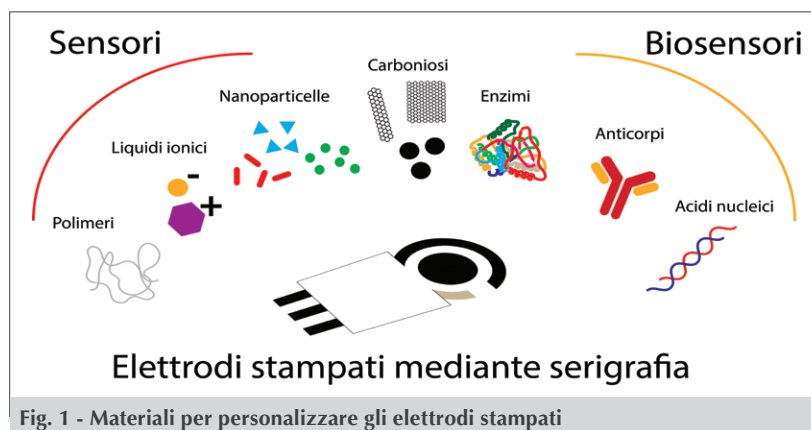
ELETTRODI STAMPATI E SOSTENIBILITÀ

L'elettroanalisi e gli elettrodi stampati offrono dei metodi analitici alla portata di tutti senza necessitare di strumentazioni sofisticate. L'esempio più evidente è rappresentato dalle "striscette" che i diabetici utilizzano quotidianamente per monitorare la glicemia. Tuttavia, l'utilizzo della carta per produrre queste striscette consente di renderli più semplice da utilizzare, consentendo di ridurre l'impatto economico ed ambientale.

L'elettroanalisi è una branca della chimica analitica in grado di rilevare la presenza di una specie in seguito allo scambio di elettroni dovuto ad una reazione chimica che coinvolge la specie stessa [1]. Sebbene i dispositivi elettroanalitici possano apparire distanti dalla nostra vita, in realtà alcuni sono utilizzati quotidianamente. Le "striscette" che i pazienti diabetici utilizzano per il controllo del livello di glicemia sono, infatti, sensori elettrochimici stampati e, in particolare, biosensori in cui l'enzima glucosio ossidasi viene immobilizzato sull'elettrodo di lavoro [2]. Tale biosensore permette di determinare in maniera specifica il glucosio in una matrice complessa come il sangue, con un notevole miglioramento della qualità di vita del paziente diabetico.

Facciamo un passo indietro, tenendo ben presente cosa implichi l'utilizzo di un dispositivo elettroanalitico. Si è parlato di uno "scambio di elettroni dovuto ad una reazione chimica". Queste reazioni possono essere di ossidazione e di riduzione, rispettivamente delle reazioni in cui si cedono elettroni e si accettano. Ammesso che la specie di interesse debba cedere o acquistare degli elettroni, in gergo, ossidarsi o ridursi, non è chiaro chi sia il destinatario o il mittente. Questo prende il nome di elettrodo. Questo componente va pensato come il collegamento tra quello che c'è da analizzare ed il segnale di uscita (il display di un apparecchio elettronico). L'elettrodo è collegato attraverso dei cavi elettrici ad uno strumento,

detto potenziostato, che è in grado di fornire l'energia necessaria all'elettrodo (sotto forma di elettricità o differenza di potenziale) e, successivamente, quantificare l'entità dello scambio di elettroni che avviene tra la specie da analizzare e l'elettrodo. Per ritornare alle striscette che utilizzano i pazienti diabetici, altro non sono che elettrodi stampati. Il dispositivo in cui vengono inserite è un potenziostato miniaturizzato. Da diversi decenni, la tecnologia conosciuta come stampa serigrafica occupa una posizione di rilievo nel mondo della sensoristica [3]. Fili elettrici ed elettrodi (oro, carbone vetroso, argento, ecc.) possono essere sostituiti da vernici che al loro interno contengono quantità variabili di materiali con specifiche proprietà conduttive. Mediante l'utilizzo di telai intagliati (maschere) è possibile stampare, tipicamente su materiale plastico, elettrodi di qualsiasi forma e dimensione (di solito non si scende sotto al millimetro). Con questa tecnologia è possibile realizzare delle striscette usa e



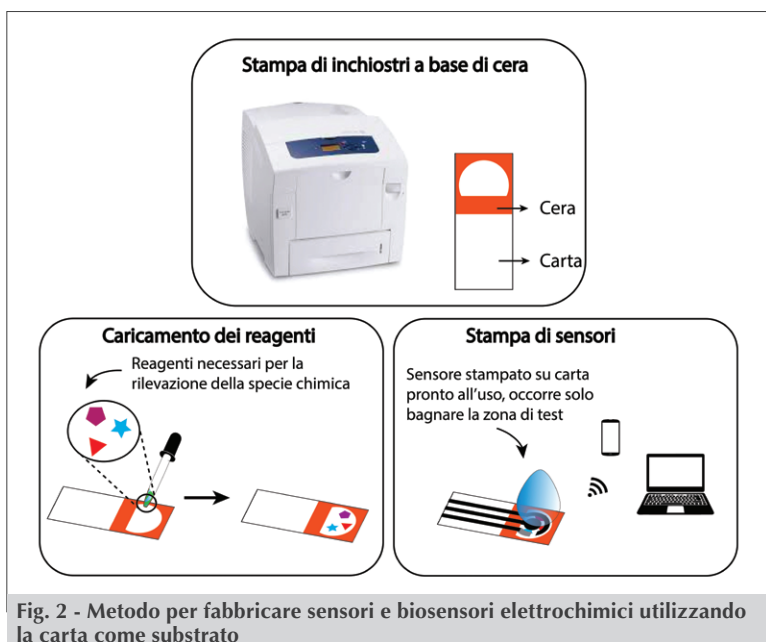
L'articolo è basato sul contributo presentato in occasione delle "Giornate di Chimica Analitica" dedicate alla memoria del prof. Francesco Dondi - Ferrara, 10-11 luglio 2017.



getta con applicazioni che si riflettono in tutti i maggiori campi di applicazione: clinico, ambientale ed alimentare. A seconda delle necessità analitiche, è possibile personalizzare gli elettrodi stampati con nanoparticelle metalliche, nanomateriali del carbonio, polimeri, enzimi, anticorpi, acidi nucleici, ecc. (Fig. 1). Le possibilità per ottenere sensori e biosensori con prestazioni migliori sono sempre più grandi [4]. Analisi di metalli pesanti nelle acque potabili, determinazione dei livelli di colesterolo nel sangue, controllo della freschezza di prodotti alimentari... sono solo alcuni degli esempi che vedono in prima linea l'utilizzo di elettrodi stampati. Rispetto alle metodologie tradizionali, che richiedono l'utilizzo di strumentazioni costose, laboratori ben equipaggiati e personale specializzato, il vantaggio e l'obiettivo

legato ai sensori elettrochimici stampati è indirizzato all'utilizzatore finale, non specializzato, proprio come accade con il monitoraggio della glicemia: questi sensori sono semplici da utilizzare e non necessitano di laboratori. Lo sviluppo di sensori stampati elettrochimici continua ad evolversi in favore di metodologie che siano sempre più semplici. Spesso, per sviluppare un metodo di analisi è necessario procedere seguendo un protocollo ben preciso, che poi è quello che accade nei laboratori di analisi. Non occorre focalizzarsi esclusivamente sulla striscetta utile ai diabetici. Quando si sceglie di analizzare una matrice complessa che può essere il sangue, un terreno o anche l'acqua del rubinetto, è necessario trattare il campione. Ad esempio, un metodo per analizzare tracce di metalli può richiedere l'acidificazione del campione affinché il saggio analitico funzioni in modo corretto. Se in laboratorio questa pratica è relativamente semplice, potrebbe non esserlo quando l'utilizzatore finale del metodo non si trova in un laboratorio di analisi e non possiede i reagenti necessari per condurre il saggio analitico. Sarebbe utile qualcosa di più immediato, che non richieda conoscenze tecniche da parte di chi lo utilizza.

La tecnologia degli elettrodi stampati può essere ulteriormente migliorata. La carta rappresenta l'innovazione in questo campo, sia dal punto di vista dei



requisiti di produzione che di quelli operativi. Ci troviamo nell'era della sostenibilità, e la riduzione dell'impatto ambientale ed economico associato ai processi di produzione su larga scala riguarda un argomento fondamentale.

Riguardo allo sviluppo di nuove metodologie analitiche, la riduzione dell'inquinamento, un monitoraggio puntuale e la facilità di utilizzo rappresentano le caratteristiche principali in cima alla lista delle richieste. Metodi analitici sostenibili dovrebbero minimizzare la produzione di prodotti di scarto tossici e dovrebbero essere caratterizzati dall'utilizzo di materiali riciclabili. Inoltre, le misurazioni dovrebbero essere economiche. La carta può prendere il posto delle strisce plastiche, offrendo tre vantaggi importanti [5]:

- 1) la carta rispetto alla plastica può essere incenerita, riducendo di fatto l'accumulo del materiale di scarto;
- 2) la carta è economica, un foglio A4 di carta da ufficio (80 g/m²) costa circa il 50% in meno rispetto allo stesso foglio in poliestere;
- 3) la carta, in particolar modo quella da filtro, è porosa e può contenere tutti i reagenti necessari per condurre un saggio analitico.

Quest'ultima è la potenzialità che maggiormente si offre di facilitare le misurazioni senza la necessità di maneggiare reagenti da parte dell'operatore. La carta da filtro, con le sue proprietà assorbenti, consente di

deporre su di essa tutti i reagenti necessari per la misura (Fig. 2). Utilizzando una semplice stampante ad inchiostri a base di cera si possono creare delle vere e proprie barriere nella carta dove poter confinare i reagenti. Sensori stampati, carta e contorni consentono di analizzare qualsiasi matrice senza che ci sia la necessità di trattare la matrice stessa. Sarà necessario solo bagnare l'area di test dove sono contenuti tutti i reagenti e dove sono stampati gli elettrodi per la rilevazione della specie di interesse. Su questa area di test possono essere depositati bio-elementi come enzimi, anticorpi, acidi nucleici, ed inoltre possono trovare spazio tutti quei reagenti che servono per acidificare il campione o mantenere il suo pH compreso in un certo intervallo (soluzione tampone), e così via. Tutto questo all'interno di un pezzetto di carta, che rappresenta un laboratorio in una mano. E ancora, l'utilizzo della carta offre un ulteriore grande vantaggio: la natura cellulosa della carta, con le sue ramificazioni, è ottima per filtrare le impurezze grossolane naturalmente presenti nelle matrici reali (es. particolato, terra, cellule) che potrebbero influire negativamente sulla misura elettrochimica finale. Solo la carta da filtro trova applicazione nello sviluppo di piattaforme elettroanalitiche? No. Si possono utilizzare anche la carta da ufficio, la carta per imballaggi, carta da forno, di giornale, ecc. A seconda della necessità si può ricorrere all'utilizzo di una carta rispetto ad un'altra. La carta da filtro, coadiuvata dalle tecnologie di stampa di elettrodi e stampa di inchiostri solidi a base di cera, rappresenta un notevole passo in avanti per la realizzazione di semplici dispositivi che consentano a chiunque, e ovunque, di condurre la quantificazione di una qualsiasi molecola bersaglio. La cura della salute personale è uno dei campi di applicazione che più di tutti può giovare di questa implementazione. In particolare, per misurare la concentrazione di ioni cloruro nel sudore (con possibili applicazioni per la diagnosi della fibrosi cistica) sono stati stampati degli elettrodi a base di argento su carta da filtro [6]. In un altro caso, la carta da ufficio è servita come punto di partenza per lo sviluppo di un sensore elettrochimico per il monitoraggio di zinco perso nel sudore durante l'attività fisica [7]. Infine, carta da filtro modificata con nanoparticelle d'oro e filamenti di DNA offre il punto di partenza per la diagnosi precoce del tumo-

re al seno mediante l'individuazione di filamenti di DNA mutati circolanti nel sangue delle donne affette da tale patologia pazienti (Pink is Good - Fondazione Umberto Veronesi) [8, 9].

Questi sono solo alcuni degli esempi che riguardano l'utilizzo di tecniche elettrochimiche in combinazione con materiali "attivi" (ad es. la carta da filtro, in grado di contenere i reagenti e filtrare la matrice reale). L'obiettivo principale è quello di realizzare tante piattaforme che consentano a chiunque di contribuire al miglioramento della qualità dell'ambiente e della nostra salute.

BIBLIOGRAFIA

- [1] J. Wang, *Analytical Electrochemistry*, J. Wiley & Sons, New Jersey, 2006.
- [2] A.P. Turner, *Chem. Soc. Rev.*, 2013, **42**, 3184.
- [3] Z. Taleat, A. Khoshroo, M. Mazloum-Ardakani, *Microchim. Acta*, 2014, **181**, 865.
- [4] S. Cinti, F. Arduini, *Biosens. Bioelectron.*, 2017, **89**, 107.
- [5] A.K. Yetisen, M.S. Akram, C.R. Lowe, *Lab Chip*, 2013, **13**, 2210.
- [6] S. Cinti, L. Fiore, R. Massoud *et al.*, *Talanta*, 2018, **179**, 186.
- [7] S. Cinti, B. De Lellis, D. Moscone, F. Arduini, *Sens. Actuators, B*, 2017, **253**, 1199.
- [8] <https://www.fondazioneveronesi.it/ricerca/ipro-nostri-ricercatori/stefano-cinti>
- [9] http://www.huffingtonpost.it/2017/10/10/il-mio-dispositivo-consentira-a-chiunque-di-diagnosticare-un-tumore-al-seno-con-una-sola-goccia-di-sangue_a_23237609/

Printed Electrodes and Sustainability

Electroanalysis and screen-printed electrodes offer easy-to-use analytical methods, that can be utilized without the need of sophisticated equipment. The most common example is provided by the glucose "strips" that the diabetic patients use to daily monitor their glycemia. However, the use of paper as a novel substrate for manufacturing these strips is capable to provide reagent-free devices, reducing both the economic and the environmental impact.

