

◆ La fotosintesi e i biosensori

Ogni anno, in tutto il mondo, vengono immessi nell'ambiente milioni di tonnellate di pesticidi ed erbicidi per la salvaguardia delle produzioni agricole. Sebbene pesticidi ed erbicidi offrano una notevole protezione dall'attacco di parassiti, malattie ed erbe infestanti, alcuni di essi, come le *triazine* e le *uree*, rappresentano un serio problema ambientale in quanto queste sostanze, essendo spesso persistenti, inquinano il suolo e le acque. Poiché queste molecole sono spesso anche molto tossiche verso l'uomo e l'ambiente (ad esempio l'atrazina causa seri danni ormonali ed è estremamente tossica per gli animali acquatici), è molto importante poter disporre di tecniche analitiche in grado di rilevarne la presenza nel suolo o negli alimenti.

L'utilizzo delle metodiche classiche di analisi può, talvolta, risultare di difficile applicabilità, sia per la maggior complessità di tali metodi, sia per i costi più elevati, specialmente nel caso in cui si debba eseguire un notevole numero di campionamenti e di analisi. Fra le varie metodiche di analisi che si possono impiegare per la individuazione di questi contaminanti, quelle che fanno utilizzo dei *biosensori* sono particolarmente diffuse in quanto coniugano rapidità, semplicità e selettività.

Un **biosensore**, come dice la parola, consiste nell'unione di un materiale biologicamente attivo (detto *biomediatore*), come ad esempio un enzima o un anticorpo, con un sistema di trasduzione (il *sensore*) che misura la variazione di attività del "biomediatore" in risposta all'azione di un particolare molecola presente nel campione, nel nostro caso l'erbicida (*fig. 1*). Un biosensore molto comune, è il dispositivo che utilizzano le persone diabetiche per misurare il livello di glucosio nel sangue.

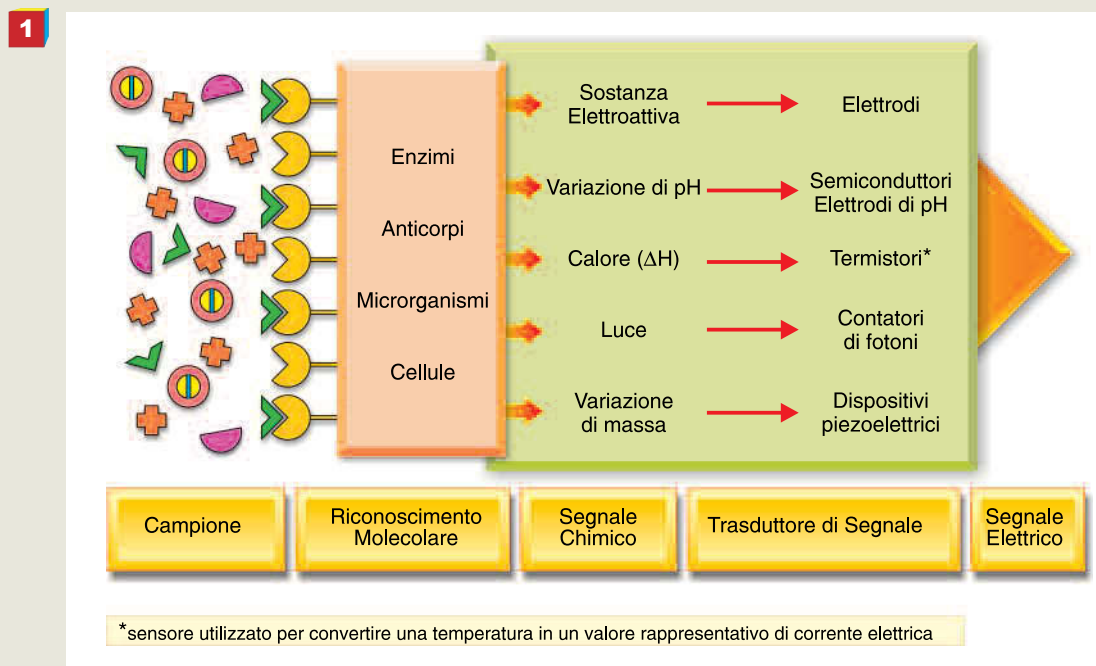


Fig. 1.

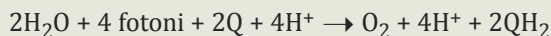
SCHEMATIZZAZIONE DEL FUNZIONAMENTO DI UN BIOSENSORE.

Quando il biomediatore, che può essere costituito da enzimi, cellule, anticorpi, ecc., interagisce con il substrato da analizzare (rappresentato dal simbolo ➤) si ha la produzione di un segnale chimico (dipendente dalla natura del biomediatore) che viene rilevato da un sensore (il sistema di trasduzione del segnale) che, a sua volta, converte la risposta biochimica in un segnale elettrico.

Poiché la grande maggioranza degli erbicidi oggi in uso (*triazine, feniluree, fenoli*) inibisce la fotosintesi, queste classi di erbicidi possono essere facilmente rilevati sfruttando i **biosensori fotosintetici**, la cui azione si basa sul fatto che gli erbicidi in questione agiscono bloccando la catena di trasporto degli elettroni nel fotosistema II (PSII).

Per capire bene come agisce un biosensore fotosintetico occorre rivedere come funziona il PSII. Questo è un complesso multienzimatico clorofilla-proteina presente nelle membrane dei tilacoidi dei cloroplasti delle piante superiori e di microrganismi come alghe e cianobatteri. Il PSII usa la luce per catalizzare una serie di reazioni molecolari che danno come risultato il trasporto di elettroni e la sepa-

razione dell'acqua in ossigeno molecolare e protoni (*fig. 2*). Quando la luce colpisce il PSII si ha un trasferimento di elettroni dall'acqua a una delle componenti proteiche del PSII, il plastoquinone (Q), secondo la reazione globale:



Gli erbicidi che agiscono sul processo fotosintetico si legano selettivamente nella regione del complesso PSII dove risiede il plastoquinone, impedendone la riduzione a QH₂. Questo comporta l'interruzione del trasferimento di elettroni verso il PSI con conseguente blocco della fotosintesi.

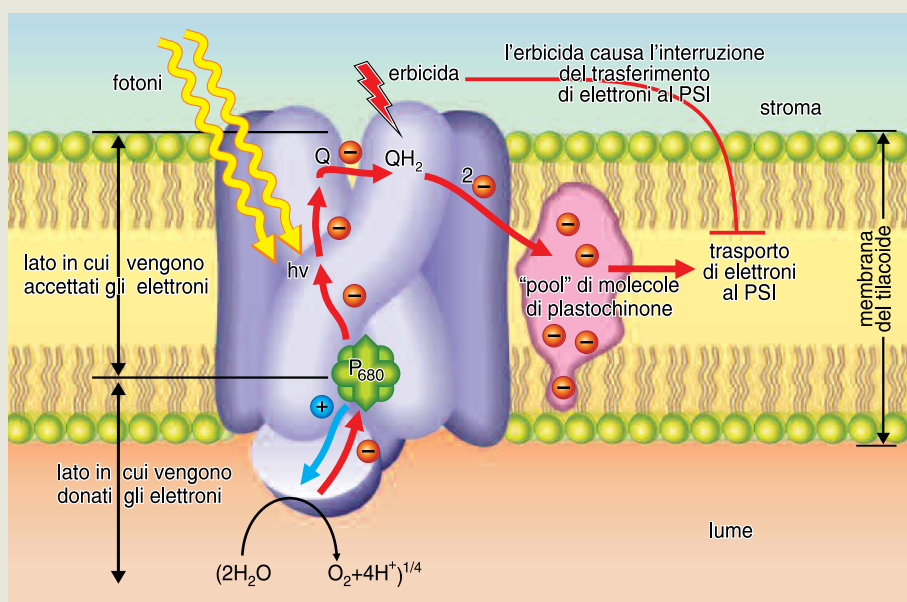


Fig. 2. L'unità funzionale del PSII è costituita da svariate proteine, inserite nella membrana dei tilacoide, che contengono il complesso antenna. Questo comprende molecole di *clorofilla a* e *b*, il centro di reazione (P_{680}), la catena per il trasferimento elettronico e diverse altre proteine. La luce ($h\nu$) catturata dalla clorofilla del complesso antenna è incanalata verso la clorofilla del centro di reazione P_{680} , che passa allo stato eccitato P_{680}^* . In un tempo dell'ordine dei picosecondi si avvia la catena di trasferimento degli elettroni (freccie rosse): gli elettroni eccitati vengono rilasciati dal P_{680}^* e trasferiti

ad un accettore di elettroni primario e così via fino ad arrivare al plastoquinone (Q) che quando acquisisce due elettroni si riduce a QH₂. Il QH₂ si stacca dal complesso multiproteico conservando nel suo potere riducente l'energia di due fotoni, che verranno ceduti alla catena di fosforilazione fino ad arrivare al PSI. Contemporaneamente, nella regione del PSII rivolta verso il lume del tilacoide, avviene l'ossidazione dell'acqua: il centro di reazione P_{680} , privo di elettroni, ha un forte potere ossidante e toglie elettroni all'acqua (freccia azzurra) generando O₂, riportando così il centro di reazione nello stato non eccitato (freccia rossa).

L'importanza del PSII per scopi analitici, fra cui appunto i **biosensori fotosintetici**, è dovuta al fatto che molte sostanze usate come erbicidi o pesticidi inibiscono la fotosintesi bloccando l'emissione di elettroni. L'assenza di elettroni, nella loro qualità di portatori dell'informazione dal PSII al sistema elettronico di rivelazione, grazie ad un opportuno sistema di trasduzione, può essere perciò utilizzata per la rivelazione della concentrazione residua della molecola tossica in campioni ambientali o alimentari. Questo è possibile ad esempio tramite una semplice misura di ossigeno o della forma ridotta del plastoquinone (QH₂), effettuabili con piccoli strumenti portatili.