

a cura di Luigi Campanella



Dall'archeologia alla scienza all'arte, gli oggetti e le collezioni museali necessitano di soluzioni di comunicazione mirate che, partendo dal rispetto per il

dato scientifico, sappiano raccontarne ed illustrarne le storie ed il contesto produttivo a vantaggio di pubblici diversi con competenze differenti. La multimedialità e l'interattività rispondono all'esigenza del museo di una comunicazione orientata, che fonda insieme i linguaggi e sappia modulare i livelli di comunicazione. Quale ruolo può avere l'università nello sviluppo di processi innovativi di comunicazione?

Le università possono avere un ruolo fondamentale: studiare le esperienze italiane ed estere, costruire reti di conoscenza, stimolare la curiosità e lavorare in sinergia con il museo per progettare il futuro. Il visitatore ha radicalmente cambiato le sue caratteristiche negli ultimi trent'anni: non si tratta più di una lavagna vuota, ma di un sistema aperto nel quale fonti diverse scaricano continuamente nuove informazioni. È necessario che queste diventino conoscenza, un patrimonio molto più prezioso. Le nuove forme museali (in vivo, multipolari, laboratorio, interattivi) con il loro carattere innovativo contribuiscono di certo a questo processo di avanzamento culturale nella società civile.



Lo studio del possibile inquinamento delle acque, causato dall'immissione di farmaci e dei loro metaboliti nell'ambiente, affrontato per la prima volta nel 1977, ha subito un'accelerazione in quest'ultimo quinquennio, come dimostrano i lavori reperibili

in letteratura, con i loro numerosi riferimenti bibliografici. Molteplici sono le cause di un tale interesse:

- l'aumento del numero e della quantità di prodotti farmaceutici e del loro consumo mondiale, soprattutto nei Paesi industrializzati;
- gli ingenti quantitativi di prodotti scartati giornalmente dalle industrie farmaceutiche, perché scaduti o per effetto di controlli di qualità sempre più rigorosi;
- la sintesi di farmaci sempre più resistenti ai comuni meccanismi di biotrasformazione, per protrarre la loro esistenza inalterata negli organismi trattati, si è tradotta in un aumento del numero di molecole più stabili ai comuni processi di degradazione chimica e biologica con il conseguente incremento nell'accumulo, persistenza e diffusione di

tali prodotti nell'ambiente ed in particolare nelle acque reflue alle quali pervengono;

- il crescente acquisto di medicinali senza ricette mediche o perfino via internet come se si trattasse di un qualsiasi alimento, con usi conseguentemente scorretti;
- la consapevolezza che, pur nel rilevamento di concentrazioni di sostanze d'origine farmacologica in concentrazioni inferiori a quelle stabilite dalle normative vigenti, non ci sia ancora alcuna informazione attendibile sugli effetti che esse possono provocare a lungo termine sugli uomini;
- i trattamenti terapeutici di cura e prevenzione negli allevamenti di bestiame e nelle colture ittiche;
- l'eliminazione impropria di farmaci scaduti da parte dei consumatori;
- la rilevante percentuale di espulsione dei principi attivi e dei loro metaboliti dopo cure mediche e veterinarie.

Fra tutte queste motivazioni, merita una particolare attenzione quest'ultimo punto, trattandosi di un'importante via di possibile inquinamento acquatico. Infatti, quando le sostanze farmaceutiche sono somministrate agli esseri umani ed animali, possono essere escrete senza essere metabolizzate nell'organismo bersaglio, o possono essere assimilate e quindi dissolte, dando origine a derivati (metaboliti). In entrambi i casi i derivati di tali processi (principi attivi farmaceutici e loro metaboliti) vengono scaricati se provenienti:

- da esseri umani nel sistema di scolo, dai quali raggiungono gli impianti di trattamento municipali, dove possono essere rimossi. In caso contrario, se ancora persistenti, possono raggiungere l'ambiente acquatico dando inizio al processo di inquinamento.
- da esseri animali nel terreno. In questo caso, le sostanze più resistenti all'azione degradativa dei microrganismi presenti nel sottosuolo, possono permeare attraverso di esso raggiungendo le falde acquifere o raggiungere le acque superficiali per dilavamento del terreno.

In entrambi i casi questi composti possono raggiungere poi le acque destinate al consumo umano. Per comprendere l'entità di un tale problema basta considerare i risultati di una ricerca condotta in Germania sin dal 1997, dalla quale risultano rilevati 20 differenti principi attivi assieme a quattro loro metaboliti sia nelle acque di scarico che in quelle superficiali, con picchi di $6,3 \mu\text{g l}^{-1}$ di Carbamazepina nelle prime e di $3,1 \mu\text{g l}^{-1}$ di Bezafibrato nelle seconde. C'è inoltre da osservare che in questo lavoro sono state trovate sostanze con persistenza ambientale superiore ad un anno, come il naproxen (antiflogistico) e l'acido clofibrato, metabolita attivo di un discreto

numero di farmaci (usati su larga scala come regolatori della concentrazione lipidica nel sangue umano). In particolare quest'ultimo ha una persistenza ambientale stimata maggiore di 21 anni ed è ancora rilevabile in laghi e fiumi, nonostante sia stato ritirato dal mercato.

A titolo di esempio si può osservare la seguente tabella, estratta da tale ricerca, per dimostrare come concentrazioni consistenti di farmaci sono state ritrovate nei corsi d'acqua, provenienti dagli impianti di trattamento municipali di Francoforte:

| Concentrazioni massime di residui farmaceutici trattati in 17 acque territoriali di Francoforte | |
|---|-------------------------------|
| Contaminante | Concentrazione massima (ng/L) |
| Acido clofibrico | 550 |
| Diclofenac | 1.200 |
| Naproxen | 390 |
| Carbamazepina | 1.100 |
| Fenazone (Antipirina) | 950 |

L'Unione Europea ha preso in seria considerazione il problema dell'impatto ambientale da farmaci con due distinte direttive in base all'impiego (umano o veterinario):

1) Valutazione dei potenziali rischi causati da prodotti medicinali per uso umano, includendo i prodotti contenenti organismi modificati geneticamente (Commissione Europea, 1994);

2) Valutazione del rischio ambientale causato da prodotti medicinali veterinari (Unione Europea, 1996).

Tali direttive sono state largamente recepite, per quanto riguarda i rifiuti solidi, dal decreto legislativo del 5 febbraio 1997 n. 22 (noto come "decreto Ronchi") e successive modificazioni. Per quanto riguarda invece le acque di scarico (esclusi i rifiuti allo stato liquido) rimane vigente la legge 319 del maggio 1976 (nota come "legge Merli"), modificata dalla legge 172 del maggio 1995 e sue successive modifiche, nella quale però, non sono evidenziate finalità ambientali in senso stretto, poiché l'inquinamento in sé non è proibito ma regolamentato. Appare evidente, dunque, la necessità di idonei sistemi di depurazione (in un impianto di trattamento municipale) di acque, contenenti farmaci di una certa tossicità, per assicurare l'emissione di acque prive di qualunque loro residuo in concentrazioni tossiche (soprattutto nel caso di principi attivi recalcitranti), e naturalmente a prezzi tecnici convenienti (rapidità di smaltimento ed uso di tecnologie semplici). A questo scopo esistono numerose procedure moderne in grado di rispondere in modo abbastanza soddisfacente, anche se non ideale, a tali requisiti come:

1) processi di ossidazione avanzata (AOP), condotti con ozono e perossido di idrogeno che, pur essendo più efficienti dei metodi tradizionali di ossidazione, non sono ancora in grado di operare sempre con un impatto quantitativo rilevante. Infatti, l'uso di una miscela O_3/H_2O_2 aumenta, rispetto ad un'ossidazione condotta con solo ozono l'efficienza della

degradazione di molecole organiche per effetto dei radicali $\bullet OH$ prodotti, ma solo in assenza di scavengers, come possono essere gli ioni bicarbonato o carbonato o il DOC presenti nel corpo idrico da depurare;

2) l'adsorbimento su granuli di carbone attivo o su resine polimeriche, come ad esempio quelle a base di stirene-divinil-benzene, spostano solo il problema dalle acque a tali trappole dopo il loro utilizzo;

3) la combinazione sequenziale di AOP e passaggio su carbone attivo o sulle suddette resine migliora i risultati rispetto alle tecniche A e B applicate individualmente, ma non consente ancora un'applicazione su larga scala e rimane comunque il già citato problema di smaltimento dei materiali adsorbenti usati;

4) la degradazione microbica, seppur estremamente economica e pulita, non è ancora in grado di coprire un ampio spettro, almeno fin quando la ricerca genetica non fornirà un adeguato numero di ceppi microbici per la degradazione di qualunque categoria di sostanza.

Accanto a questi sistemi di smaltimento occorre considerare anche la possibilità di fotodegradare i



farmaci, grazie alla semplice azione dei raggi UV, o combinata con opportuni fotocatalizzatori (di cui si parlerà più dettagliatamente avanti),

ossia sostanze in grado di avviare il processo degradativo, non appena attivate dalla luce UV.

Una tale procedura non ha però avuto ancora la giusta considerazione in campo farmaceutico, dove invece sono numerosi gli studi sulla fotolabilità e fototossicità dei principi attivi (con i primi che perseguono un obiettivo opposto alla fotomineralizzazione farmacologica, ed i secondi che mirano a determinare la tossicità dei prodotti, finali o intermedi, che si formano in seguito ad irraggiamento). In effetti si possono però anche trovare indicazioni documentate circa l'efficacia e la rapidità di degradazione di 13 principi attivi con il semplice irraggiamento UV, senza l'ausilio di catalizzatori. Tuttavia la procedura di fotocatalisi eterogenea è stata utilizzata, in questi ultimi anni, con successo su diversi farmaci e con l'uso di differenti catalizzatori. Un'altra strada è rappresentata dalla fotocatalisi con l'ausilio di semiconduttori che permette di degradare ai minimi termini una gran varietà di molecole potenzialmente tossiche, arrivando a convertirle in anidride carbonica, acqua ed altri materiali inorganici (come ad esempio, cloruro e nitrato) realizzando così una vera e propria mineralizzazione delle sostanze di partenza, e d'altra parte il problema dell'eventuale tossicità dei catalizzatori impiegati è facilmente superabile, recuperandoli mediante sistemi filtranti, se utilizzati in sospensione, oppure immobilizzandoli in membrane resistenti al loro rilascio.