



*Paola Branduardi, Danilo Porro, Carla Smeraldi
Dipartimento di Biotecnologie e Bioscienze
Università di Milano-Bicocca
danilo.porro@unimib.it
Oreste Piccolo
Studio di Consulenza Scientifica
Sirtori (LC)
orestepiccolo@tin.it*

BIOTECNOLOGIE INDUSTRIALI: L'UTILIZZO DELLE RISORSE RINNOVABILI

L'esempio di Milano-Bicocca

Il presente lavoro espone le potenzialità delle biotecnologie industriali nel risolvere problemi di approvvigionamento energetico, grazie all'utilizzo di fonti rinnovabili. Viene introdotto il concetto di bioraffineria e presentati alcuni esempi di successo ottenuti all'Università Milano-Bicocca.

Una crescita economica socialmente responsabile, attenta anche alle esigenze delle future generazioni, richiede risorse sicure e disponibili a lungo termine per la produzione industriale, in termini di materie prime, energia e acqua, un maggiore rispetto dell'ambiente ed un sistema finanziario lungimirante e capace di affrontare le sfide attuali e future con una visione globale. Il modello economico attuale è sostanzialmente basato sull'uso di risorse fossili non rinnovabili (petrolio, gas naturale, carbone,

minerali) sia per la produzione di energia sia per ottenere i mattoni di base della produzione di manufatti. Tale modello non può essere considerato sostenibile e l'incertezza degli analisti riguarda solo il numero di anni prima dell'esaurimento di tali risorse. Si prevede in generale che il petrolio si esaurirà in 50 anni, il gas naturale in 65, e il carbone in circa 200 anni [1]. Tali stime tuttavia potrebbero essere anche ottimistiche dal momento che la crescita della popolazione mondiale e soprattutto l'aumento di richiesta di risorse energetiche e di materie

prime, oltre che di acqua, da parte di Paesi quali Cina ed India sta incrementando oltre il prevedibile il consumo di combustibile fossile. Si stima ora, per esempio, che il consumo di energia della Cina sarà di 5 quadrilioni (10^{15}) di Btu (British Thermal Unit; 1 Btu: 252 cal/1.055 J) maggiore di quello degli Usa entro il 2030 [2]. L'aumento della domanda di combustibile fossile si riflette inoltre sul suo prezzo e sulle sue scorte. Per quanto riguarda queste ultime ci troviamo ad affrontare una sorta di paradosso, in quanto, mentre il

loro consumo cresce a velocità senza precedenti, abbiamo riserve “certe” praticamente simili a quelle di trent’anni fa grazie alla scoperta di nuovi giacimenti. Tuttavia spesso queste nuove riserve sono situate in luoghi dove è difficile procedere all’estrazione, causando un aumento dei costi di produzione che si riflette ovviamente sul prezzo.

Per quanto riguarda l’energia, esistono e sono state proposte numerose alternative (eolica, solare, nucleare, ecc.), ognuna delle quali presenta vantaggi e svantaggi. Alcune soluzioni, anche se economicamente vantaggiose ai fini energetici, non forniscono tuttavia una risposta alla richiesta di individuare fonti di materie prime sicure e disponibili a lungo termine.

Un’economia futura basata sull’utilizzo di fonti rinnovabili e di materie prime di origine naturale avrebbe invece la finalità di produrre energia, carburanti, prodotti esistenti o di nuova concezione con una migliore

salvaguardia dell’ambiente. Ciò è possibile attraverso le cosiddette “bioraffinerie”, sfruttando, dove utile, anche le conoscenze e le sinergie derivanti da un approccio chimico più tradizionale. Anche per questo tipo di approccio è fondamentale una visione globale, una programmazione realistica ed una strategia ad ampio respiro.

Le “bioraffinerie”

Per definire i processi grazie ai quali le materie prime rinnovabili vengono trasformate in energia e prodotti, è stato introdotto il concetto di “bioraffineria”. Una bioraffineria consiste di una piattaforma scientifica e tecnica grazie alla quale le materie rinnovabili (le cosiddette biomasse) vengono trasformate in combustibili, energia e prodotti chimici, attraverso tecnologie e processi che producono minimi scarti e hanno limitate ricadute per l’ambiente.

Le biomasse, come il petrolio, hanno una composizione complessa che richiede una

idonea separazione in più gruppi di sostanze. Il successivo trattamento e trasformazione di queste ultime porta ad una varietà completa di prodotti. La petrolchimica si basa sul principio di generare prodotti chimici semplici da maneggiare e ben definiti nelle raffinerie propriamente dette, permettendo così la successiva costruzione di famiglie di prodotti e di linee efficienti di produzione volte all’ottenimento di prodotti di base, di intermedi o di derivati a sempre più alto grado di complessità. Questo stesso criterio vale anche per le bioraffinerie che hanno come materia prima biomasse, e, in una visione ancora più ampia anche i prodotti di scarto, quali i reflui urbani e industriali. Dalle biomasse è possibile l’ottenimento sia di energia e combustibili (bioalcoli, biodiesel, biogas, idrogeno ecc.) sia la produzione di prodotti chimici di base, di chimica fine e specialità, di biopolimeri e bioplastiche.

In Fig. 1 è rappresentato il nuovo complesso industriale nel Tennessee che permette di produrre 1,3-propandiolo, monomero base per nuove materie plastiche biodegradabili (Sorona®, Corterra®) a partire da carboidrati attraverso biotrasformazione microbica, con un ceppo opportunamente ingegnerizzato. Come si vede esso appare sostanzialmente simile ad impianti di raffineria più convenzionali.

Le materie prime di partenza utilizzabili in una bioraffineria sono essenzialmente amidi, materiale lignino-cellulosico, olii, proteine e reflui urbani e agro-industriali.

Gli amidi sono prodotti principalmente da mais, grano, patate, tapioca e riso. Se ne producono 48,5 milioni di t/anno, di cui 8,5 in Europa. Il loro utilizzo per rifornire una bioraffineria si scontra tuttavia con il loro impiego primario nel settore alimentare. Il materiale lignino-cellulosico (cellulosa, emicellulosa e lignina) deriva principal-



Fig. 1 - Impianto che produce 1,3-propandiolo per conto della DuPont

mente da alberi ad elevato contenuto di cellulosa ed elevato tasso di crescita (salice, faggio, pioppo ecc.), dalla comune erba di tipo mangimistico, dalle paglie da fieno e da riso e da rifiuti solidi municipali. A fronte di una loro migliore potenzialità esiste tuttavia la necessità di un pre-trattamento di tipo chimico o chimico-fisico per renderli utilizzabili da parte di microrganismi anche se recentemente sono stati ottenuti microrganismi ingegnerizzati in grado di biotrasformare direttamente tale materiale senza necessità di pre-trattamenti. Gli olii utilizzabili sono contenuti nei semi di molte piante, dove sono altresì presenti proteine ed altri prodotti naturali di indubbio interesse industriale, o sono contenuti nei prodotti di scarto derivanti dall'industria alimentare e dall'automazione industriale. I primi possono essere estratti con numerose metodologie, le più recenti delle quali permettono un recupero selettivo dalle diverse componenti dei semi; i secondi sono indubbiamente economici e il loro utilizzo risolve inoltre il problema del loro smaltimento. I reflui urbani ed agro-industriali rappresentano le biomasse più complesse, essendo costituiti da materiale zuccherino, da ligninocellulose, da olii e proteine e da materiale manifatturiero di origine industriale. Attualmente il loro principale utilizzo è per la produzione di bioenergia (biogas, metano ed idrogeno) anche se possono essere utili per lo sviluppo di nuove biomasse, quali le alghe, a loro volta indirizzabili sia a fini energetici sia di produzione di prodotti chimici.

Nella scelta del tipo di bioraffineria da installare risulta importante valutare le risorse locali e/o la facilità di approvvigionamento di materie prime a basso costo, provenienti da altre parti del globo, e quale

filiera di prodotti e/o tipo di energia può aver senso produrre. In generale da un punto di vista economico è auspicabile l'ottenimento contemporaneo di prodotti chimici e di energia.

Le biotecnologie industriali

Per la trasformazione delle biomasse un approccio innovativo ci viene offerto dalle biotecnologie industriali (BI), che contemplano sia approcci biologici che chimici nel rispetto dell'ambiente. Sono già note diverse soluzioni industriali e, in prospettiva, le potenzialità sono enormi. Nelle Tab. 1 e 2 sono riportati alcuni successi ottenuti utilizzando fonti rinnovabili come materia prima e organismi (anche geneticamente modificati) e i loro enzimi per produrre composti chimici e biomateriali.

Queste tecnologie presentano tutti i vantaggi intrinseci di un "processo biotecnologico"

che ha quindi consumi ridotti di acqua ed energia, minor o assente produzione di scarti e minor generazione di CO₂. I costi di processo possono inoltre risultare fino al 40% inferiori di quelli dei processi convenzionali e possono implicare fino al 70% di risparmio sul costo degli impianti produttivi. L'aspetto da non sottovalutare, riguarda il tempo necessario per la messa a punto di un processo industriale "biotecnologico" (5-10 anni) che si basa sull'uso di organismi *wild type* o modificati. L'uso diretto di enzimi trova invece un'applicazione più immediata. Questi ultimi stanno diventando sempre di più usuali strumenti di lavoro anche per il chimico di sintesi e il loro impiego, soprattutto nella produzione industriale di "fine chemicals" o di "commodities", cresce molto significativamente, come si può vedere dalla Fig. 2.

Tab. 1 - Esempi di prodotti presenti sul mercato (2002)

	<i>Produzione mondiale (ton/anno)</i>	<i>Mercato mondiale prezzo (€/kg)</i>
Bioetanolo	26.000.000	0,40
Acido L-Glutammico (MSG)	1.000.000	1,50
Acido citrico	1.000.000	0,80
L-Lisina	350.000	2,00
Acido lattico	250.000	2,00
Vitamina C	80.000	8,00
Acido gluconico	50.000	1,50
Antibiotici (prod. all'ingrosso)	30.000	150,00
Xantano	20.000	8,00
Aspartame	15.000	35,00
L-Idrossifenilalanina	10.000	10,00
Dextrano	200	80,00
Vitamina B12	10	25.000,00
Farmaci ricombinanti rDNA	1 kg	10 ⁶ -10 ⁸
Enzimi totali*	10 ⁸ -10 ¹⁰	

* mercato totale in euro

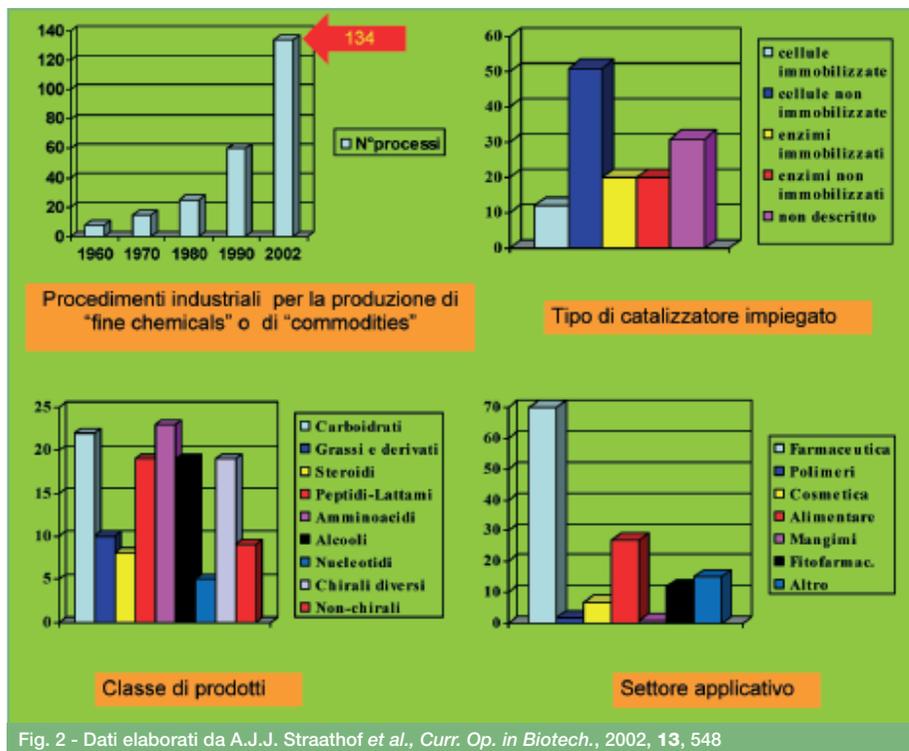
Le biotecnologie industriali all'Università Milano Bicocca. Alcuni esempi di successo

Il laboratorio di Chimica delle Fermentazioni dell'Università Milano Bicocca da più di 15 anni lavora con successo allo sviluppo di bioprocessi da fonti rinnovabili, sostenibili, che consentano un risparmio di costi ed energia e l'ottenimento di prodotti biodegradabili. La maggior parte dei processi sono stati sviluppati con le cosiddette *cell factories* microbiche, microrganismi ben caratterizzati a livello genetico e fisiologico, tali per cui è possibile disegnare ed ottimizzare un processo fermentativo. Tra i microrganismi, i lieviti rappresentano un buon compromesso tra la complessità tipica di cellule eucariote e la semplicità tipica degli organismi unicellulari, unita ad un'elevata velocità di crescita. Essi sono un ottimo strumento per la produzione di prodotti eterologhi e più in generale su di essi si possono realizzare interventi di ingegneria metabolica. Di seguito verranno riportati alcuni esempi in cui viene dimostrato come, attraverso l'ingegnerizzazione del noto lievito *Saccharomyces cerevisiae* così come di un lievito "non-convenzionale" *Kluyveromyces lactis*, sia possibile ottenere prodotti di interesse industriale a partire da fonti rinnovabili semplici, quale il glucosio, o complesse (siero di latte o amido). L'utilizzo di substrati rinnovabili complessi che risultino abbondanti o siano addirittura scarti di lavorazioni primarie può contemporaneamente rispondere alla sostenibilità del processo (il rapporto netto tra CO₂ assimilata ed emessa è, virtualmente, nullo) ed anche all'abbattimento dei costi di smaltimento dei substrati stessi. Da sottolineare come i microrganismi scelti godano della certificazione GRAS (Generally Recognized As Safe).

Tab. 2 - La tabella riassume costi e benefici estrapolati da processi in bioraffineria quando confrontati con i processi classici*

Casi analizzati:					
1	Produzione di riboflavina (vitamina B2) (Hoffmann La Roche, Germany)				
2	Produzione di acido 7-amminocefalosporanico (Biochemie, Germany/Austria)				
3	Produzione biotecnologica dell'antibiotico Cephalexin (DSM, Netherlands)				
4	Bioprocesso per la produzione di amminoacidi (Tanabe, Japan)				
5	Produzione enzimatica di acrilammide (Mitsubishi Rayon, Japan)				
6	Sintesi enzimatica di acido acrilico (Ciba, UK)				
7	Sintesi di poliesteri catalizzata da enzimi (Baxenden, UK)				
8	Enzima per il trattamento di oli vegetali (Cereol, Germany)				
9	Recupero di acqua in una azienda di processamento di vegetali (Pasfrost, Netherlands)				
10	Rimozione di residui di sbiancante nella finitura dei tessuti (Windel, Germany)				
11	Sbiancamento enzimatico della polpa di cellulosa (Leykam, Austria)				
12	Produzione on-site di Xylanase (Oji Paper, Japan)				
13	Raffineria di zinco gypsum-free (Budel Zink, Netherlands)				
14	Tecnologia per la bioliscivazione del rame (Billiton, South Africa)				
15	Uso di enzimi nei giacimenti di petrolio (M-1, BP Exploration, UK)				
Caso	Energia	Materie prime	Inquinanti dell'aria	Inquinanti delle acque	Costi operativi
1	Invariata	-75 % non rinnovabili	-50%	-66%	-50%
2	-	-	-90%	-33%	-
3	>Energia; <Vapore	-	-80%	-80%	Riduzione considerevole
4	Invariata	-	-	-	-43%
5	-80%	-	Ridotti	Ridotti	Ridotti
6	-	Ridotte	Ridotti	Ridotti	-54% (mat. prime)
7	Ridotta	-	Ridotti	-	Ridotti
8	-70%	-	-	-80%	-40%
9	-	-50% (acqua)	-	-	-30%
10	-15%	Ridotte (acqua)	-	Ridotti	-9%
11	-30-40%	Ridotte	-	Ridotti	-
12	-	-35%(Cl ₂) -65% (ClO ₂)	-	Ridotti	-
13	-	Ridotte (riciclo)	-	Ridotti	-
14	Ridotta	-	Ridotti	-	Ridotti
15	-	-	-	Ridotti	Aumento di produttività

* Dati tratti da "The Application of Biotechnology to Industrial Sustainability" of OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development, France, 2001

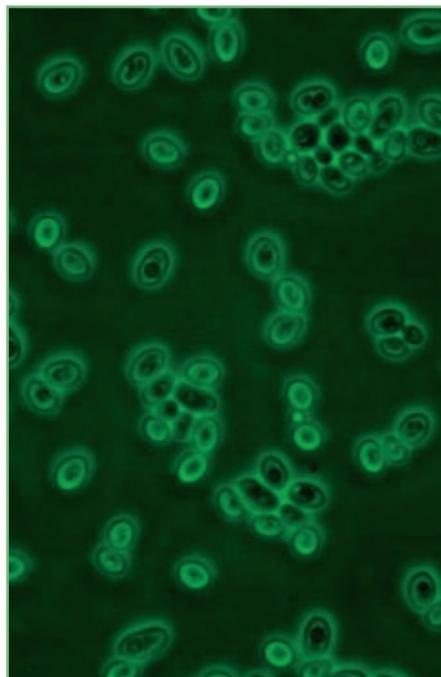


Durante i processi lattiero-caseari, il lattosio viene fermentato ad acido lattico grazie all'azione di batteri (appartenenti principalmente ai generi *Streptococcus* e *Leuconostoc*), si assiste alla formazione del caglio e la conseguente separazione di una frazione idrosolubile, il siero di latte. Il siero costituisce uno scarto di lavorazione, abbondante ed ancora ricco di lattosio: per tali motivi esso può essere considerato materia prima dal basso costo ed il cui impiego potrebbe portare alla contestuale risoluzione di un possibile impatto ambientale, se disperso nell'ambiente. Per questi motivi, accanto alle tradizionali vie di utilizzo (alimentazione dei suini, essiccazione, recupero delle frazioni proteiche) una delle prospettive più promettenti è quella di fornirgli quale substrato di crescita per il lievito *S. cerevisiae*, per la produzione di biomassa (da utilizzarsi come additivi delle derrate alimentari) o di prodotti ad alto valore

aggiunto (es. bioetanolo). Il microorganismo in questione, se utilizzato nella sua forma selvatica, non è però in grado di utilizzare tale fonte zuccherina, in quanto non possiede la necessaria attività β -galattosidasi, indispensabile per idrolizzare il disaccaride lattosio. Il lievito è stato quindi opportunamente ingegnerizzato con l'introduzione dell'attività enzimatica di interesse, allestendo fermentazioni che permettono la produzione di biomasse e/o etanolo da lattosio con alte rese di conversione ed elevate produttività [3]. Come precedentemente menzionato, un altro substrato ancora più complesso ed altrettanto abbondante come l'amido può costituire un'interessante materia prima per la crescita di lievito. Anche in questo caso il lievito selvatico non possiede le attività enzimatiche necessarie per idrolizzare questo complesso polimero, per cui è stato necessario introdurre tale capacità attraverso l'espres-

sione di un enzima (glucoamilasi) eterologo. La notevole duttilità del sistema ospite scelto ha permesso inoltre di implementare entrambi i processi, grazie alla creazione di un ceppo di lievito ricombinante che esprime simultaneamente entrambe le attività eterologhe menzionate: β -galattosidasi e glucoamilasi. Tale ceppo ingegnerizzato si è dimostrato in grado di funzionare contemporaneamente su lattosio ed amido [4]. Attraverso questi esempi, si vede, dunque, come è possibile sviluppare bioprocessi che utilizzino quale materia prima sostanze rinnovabili, abbondanti, di basso costo, che addirittura costituiscono scarti di produzione, con conseguente riduzione dei costi di smaltimento associati. Il punto chiave è la realizzazione di un'efficiente bioconversione. Gli stessi obiettivi di abbattimento di costi di produzione, di recupero e di sostenibilità ambientale si possono raggiungere concentrando l'attenzione non sul substrato di partenza ma sul prodotto finale. Un esempio è fornito dalla produzione di acido lattico, un acido organico naturalmente prodotto per fermentazione da numerosi batteri. Tale composto, oltre ad avere un discreto mercato nella sua forma monomeric, risulta avere un ben più vasto mercato (stimato annualmente in parecchie centinaia di milioni di dollari) nella forma polimerica, dalle caratteristiche plastiche ma completamente biodegradabile. È importante a questo punto sottolineare come il prodotto di interesse sia l'acido lattico e non il suo sale. Perché il composto venga ottenuto in forma acida, il pH della coltura deve essere molto basso (pK_a acido lattico = 3,78). I batteri lattici, naturali produttori, vengono però inibiti nella crescita dal prodotto stesso ed ancor più da bassi valori di pH. Per questo motivo le attuali produzioni prevedono una fase fermentativa a pH controllato ($pH = 5-5,5$)

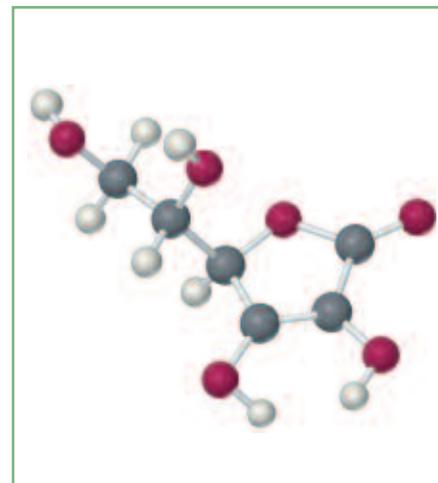
dalla quale si ottiene il prodotto finale sotto forma di sale alcalino, alcalino-terroso o di ammonio ed una fase di recupero, che costituisce un ulteriore stadio di processo con un costo aggiuntivo molto rilevante. Per rispondere a questa limitazione è possibile immaginare di sostituire il produttore naturale, prediligendo sistemi cellulari le cui caratteristiche fisiologiche consentano di aggirare le costrizioni del processo. In quest'ottica, negli ultimi anni è stato sviluppato nei nostri laboratori un processo per la produzione di acido L-lattico potenzialmente competitivo a livello industriale, processo che utilizza i lieviti quali organismi produttori [5]. La scelta è stata determinata dal fatto che numerosi lieviti, tra cui *S. cerevisiae*, sono acido tolleranti, e possono quindi



Saccharomyces cerevisiae

soportare anche valori di pH molto bassi (nel caso di *S. cerevisiae*, intorno a pH 3). Questa acido tolleranza consente di ottenere il prodotto nella forma desiderata, ossia in forma indissociata. Anche in questo caso si è dovuti intervenire con un approccio di ingegneria metabolica, in quanto il piruvato, composto principale del metabolismo di ogni cellula che nei batteri lattici viene fermentato a lattato, nei lieviti viene quasi totalmente ridotto (previa decarbossilazione ad acetaldeide) ad etanolo. La fermentazione lattica viene quindi condotta grazie all'introduzione in *S. cerevisiae* di un gene eterologo LDH-A, codificante per una lattico deidrogenasi, che consente di ottenere la bioconversione del piruvato ad acido L-lattico, a bassi valori di pH. Perché il processo potesse risultare potenzialmente competitivo a livello industriale si è reso necessario incrementare la produzione (oltre 100 g l⁻¹), la produttività (fino a 1 g l⁻¹ h⁻¹), ma soprattutto la resa di conversione (fino all'85% del valore teorico, definito come grammo di acido lattico prodotto per grammo di glucosio consumato). Tale implementazione è stata ottenuta attraverso un ulteriore approccio di ingegneria metabolica, volto ad eliminare i processi competitivi a livello del substrato, che ha visto lo sviluppo di lieviti ospite mancanti dell'attività piruvato deidrogenasica e/o piruvato decarbossilasica [6-7].

Un ulteriore esempio di sviluppo di processo in cui l'attenzione è massimamente rivolta al risparmio energetico ed alla diminuzione dell'impatto ambientale, è costituito dai nostri più recenti risultati riguardo la produzione di acido ascorbico in lievito.



Struttura dell'acido ascorbico

L'acido ascorbico (vitamina C) è un metabolita indispensabile per diverse funzioni metaboliche ed è un nutriente essenziale per quegli organismi, come l'uomo, incapaci di sintetizzarlo. Il fabbisogno mondiale annuo supera le 80 mila tonnellate. Tale frazione viene prodotta tramite processi che si basano su una sintesi (quasi) interamente di tipo chimico [8] o, in alternativa, su metodiche che risultano essere la combinazione di un processo fermentativo, realizzato con microrganismi ricombinanti che producono acido 2-cheto-L-gulonico, seguito da stadi chimici convenzionali [9-10]. Lo sviluppo di un processo "one-step" che permetta la conversione di D-glucosio in L-acido ascorbico tramite l'impiego di un unico microrganismo ed in un medesimo step fermentativo è altamente desiderabile, e porterebbe ad una notevole riduzione di costi (soprattutto energetici) e di impiego/accumulo di composti tossici. I lieviti non producono naturalmente acido ascorbico, bensì un composto dalle simili pro-

Industrial Biotechnologies: Renewable Resources. Milano-Bicocca Example

ABSTRACT 

The present article shows the potential of industrial biotechnology in solving energy supply problems, thanks to the use of renewable sources. The concept of "biorefinery" is introduced, as well as few successful examples obtained in this field at University Milano-Bicocca.

prietà antiossidanti, ma non biologiche, l'acido eritroascorbico. È possibile sfruttare alcune delle attività enzimatiche già presenti in lievito e complementarle con attività eterologhe di vie biosintetiche naturali per creare il ceppo ingegnerizzato capace di produrre acido ascorbico. Tuttavia, oltre alle numerose incognite di un intervento metabolico così importante (le vie di produzione naturali si compongono di almeno 14 passaggi), vi sono attualmente altre incognite. Infatti, la via metabolica che porta alla sintesi di acido ascorbico in animali e piante produttrici non è stata ancora completamente delucidata.

Per confermare le diverse vie metaboliche naturali proposte [11] è necessario isolare alcune attività enzimatiche specifiche e/o identificare i geni che le codificano. A tutt'oggi è stato possibile ottenere ceppi di lievito esprimenti differenti combinazioni di geni eterologhi di pianta (*Arabidopsis thaliana*), di eucarioti superiori (*Rattus norvegicus*) e microrganismi procarioti (*Zyomonas mobilis*), in grado di produrre acido ascorbico [12]. La produzione ottenuta, seppure di notevole importanza poiché dimostra la fattibilità del processo, non può che essere ritenuta un punto di partenza in quanto il substrato fornito per tale bioconversione è L-galattosio, zucchero raro ed estremamente costoso. Gli attuali sforzi del laboratorio di Milano-Bicocca sono quindi

rivolti al completamento dei passaggi ancora mancanti affinché la produzione di vitamina C possa avvenire da D-glucosio. Negli ultimi anni alcuni di questi passaggi sono stati identificati in pianta [13-14] ed è attualmente in corso la valutazione della loro espressione eterologa in *S. cerevisiae* sul completamento del processo.

Riflessioni e prospettive

La capacità di utilizzare fonti rinnovabili è di fondamentale importanza ed ha notevoli prospettive di crescita. Il presupposto è che queste fonti rinnovabili non disturbino il bilancio di carbonio nell'atmosfera, dal momento che durante la loro trasformazione rilasciano, al massimo, lo stesso quantitativo di CO₂ assorbito durante la loro crescita.

Si può ipotizzare che 5 miliardi di tonnellate di materia rinnovabile potrebbero essere utilizzate per la sintesi di circa 1 miliardo di tonnellate di prodotti organici, in grado di soddisfare, probabilmente in maniera completa, il nostro fabbisogno di prodotti chimici. Fonti rinnovabili possono essere anche utilizzate per produrre bio-energia. Proiezioni indicano che la bio-energia potrebbe coprire il 50% del fabbisogno energetico mondiale [1].

L'integrazione della produzione energetica con quella di prodotti chimici può permettere migliori economie di scala e di processo.

Un passaggio auspicabile, e in parte già avviato, sarà quello di utilizzare sempre più reflui agro-industriali o comunque biomasse di tipo non alimentare, piuttosto che biomasse agricole dal valore economico maggiore. È lecito altresì porsi la questione, senza pregiudizi aprioristici, se oltre a cercare biomasse sempre più economiche già esistenti in natura o derivanti dall'attività umana, non sia corretto ed opportuno accettare l'aiuto della biotecnologia per modificare piante di tipo non alimentare da utilizzare come materia prima per le bioraffinerie. Come considerazione finale è opportuno, secondo gli autori, considerare che se l'obiettivo è la messa in funzione in tempi relativamente brevi, di un numero sempre maggiore di bioraffinerie, è necessario integrare e finalizzare gli sforzi della biochimica, della genetica, della biologia molecolare, delle tecniche e tecnologie fermentative, in sinergia con la chimica organica sintetica e l'ingegneria di processo.

È pertanto evidente quanto sia necessario che Governi e settore privato investano risorse adeguate per accelerare le attività della ricerca e dell'industrializzazione in questo ambito, per la promozione di una politica di sviluppo sostenibile, per un maggior coinvolgimento dell'opinione pubblica e per una spinta alla commercializzazione di prodotti ottenuti in questo modo.

Bibliografia

- | | |
|--|--|
| [1] World Energy Council, www.worldenergy.org | [8] T. Reichstein, A. Grüssner, <i>Helv. Chim. Acta</i> , 1934, 17 , 311. |
| [2] Dipartimento di Energia USA www.eia.doe.gov | [9] J.F. Grindley <i>et al.</i> , <i>Appl. Environ. Microbiol.</i> , 1998, 54 , 1770. |
| [3] D. Porro <i>et al.</i> , <i>Biotechnol. Lett.</i> , 1992, 14 , 1085. | [10] T. Fowler, S. Causey, <i>WO</i> 98/59054. |
| [4] C. Compagno <i>et al.</i> , <i>Appl. Microbiol. Biotechnol.</i> , 1995, 43 , 822. | [11] V. Valpuesta, M.A. Botella, <i>TIPS</i> , 2004, 9 (12), 573. |
| [5] D. Porro <i>et al.</i> , <i>Biotechnol. Prog.</i> , 1995, 11 , 294. | [12] M. Sauer <i>et al.</i> , <i>Appl. Environ. Microbiol.</i> , 2004, 70 , 6086. |
| [6] D. Porro <i>et al.</i> , <i>Appl. Environ. Microbiol.</i> , 1999, 65 , 4211. | [13] B.A. Wolucka, M. Van Montagu, <i>The Journal of Biol. Chem.</i> , 2003, 278 , 47483. |
| [7] M.M. Bianchi <i>et al.</i> , <i>Appl. Environ. Microbiol.</i> , 2001, 67 , 5621. | [14] W.A. Laing <i>et al.</i> , <i>PNAS</i> , 2004, 101 , 16976. |