



2021

1



**'Rivoluzione' digitale
Premi a giovani ricercatori**

BONUS PUBBLICITÀ

APPROVATO DALLA LEGGE BILANCIO 2021



RECUPERA IL

50%

INVESTENDO
SU QUESTA
RIVISTA!

CONTATA 





‘RIVOLUZIONE’ DIGITALE

Nel 2020, oltre a “pandemia”, un altro termine ha guadagnato l’attenzione dei media: “digitalizzazione”. I due aspetti sono certamente collegati perché proprio la digitalizzazione è stata una delle più efficaci risposte ai problemi creati dalla pandemia nei settori più disparati. La digitalizzazione esercita però importanti effetti anche nel nostro mondo, soprattutto in relazione alla pandemia. Non solo l’industria chimica e la ricerca pura e applicata



nel campo delle scienze chimiche, ma anche la didattica o le attività congressuali, così rilevanti per la SCI, ne sono fortemente influenzate.

L’industria chimica è abituata a migliorare continuamente i propri processi di lavoro e ha sempre seguito celermente tutti gli avanzamenti necessari in termini di automazione e controllo, per perseguire obiettivi sempre più ambiziosi che le consentano di avere un vantaggio competitivo in termini di prestazioni, sicurezza, qualità del prodotto finale, rapidità ed economia dell’intero processo. Non c’è però dubbio che in questo periodo la grande disponibilità di tecnologie digitali e la loro elevatissima potenza di calcolo offrano molte possibilità per remotizzare ancora di più le operazioni, permettendo azioni di previsione, modellazione e controllo iterativo che in passato non era nemmeno possibile immaginare.

Ben più dirompente e diretto è stato l’effetto della digitalizzazione sulla didattica e sull’attività congressuale scientifica. In questi settori, sebbene le tecnologie informatiche fossero già mature da diversi anni e già esistessero, potenzialmente, gli strumenti per poter iniziare gradualmente una transizione da attività in presenza ad attività svolte in piattaforme virtuali, solamente la necessità di ridurre al minimo ogni contatto interpersonale, imposta dall’emergenza sanitaria iniziata nel marzo scorso, ha portato una brusca accelerazione in questo processo, causando, come sempre capita in tutte le trasformazioni troppo rapide e imprevedute, squilibri ed eccessi.

La didattica delle discipline chimiche è stata costretta a seguire un ribaltamento a favore dell’insegnamento da remoto, come del resto tutto il mondo universitario e scolastico italiano, mettendo spesso in luce i numerosi punti deboli legati a una disomogenea disponibilità tra gli studenti di valide connessioni domestiche di Internet, di dispositivi informatici adeguati e, soprattutto, l’intrinseca impossibilità di coprire con semplici

lezioni narrate o descrizioni video gli aspetti più sperimentali e pratici della chimica di laboratorio. Per quanto riguarda l’attività congressuale, invece, dopo un momento iniziale di blocco totale, nell’utopistica speranza di una rapida risoluzione delle restrizioni legate agli spostamenti, la comunità scientifica e accademica ha fatto del suo meglio per tradurre in modalità “virtuale” congressi, seminari e scuole specialistiche. I risultati non sono univoci e noi tutti abbiamo visto sì esperienze di successo, principalmente legate ad eventi di breve durata, ma anche il grave inconveniente della mancanza di quel rapporto diretto interpersonale, spesso extraprofessionale, da cui scaturiscono nuove collaborazioni di ricerca, brillanti proposte progettuali interdisciplinari o fattive collaborazioni industriali.

Ci auguriamo tutti che il 2021 sia diverso dal 2020. Sarà un anno di transizione ed è sicuro che comunque non torneremo dove eravamo all’inizio del 2020. Alcuni effetti portati dalla digitalizzazione rimarranno per sempre: sarà invece più difficile il raggiungimento di un nuovo equilibrio virtuoso fra tutti gli aspetti del mondo “pre-COVID-19” e “post-COVID-19”, importando quanto di nuovo e utile imparato nell’anno appena passato e lasciando indietro quanto di meno apprezzabile vi è nelle due realtà. Non sarà un percorso facile, ma in fondo è l’auspicio che ci poniamo per questo nuovo anno.

Auguri a tutti Voi.

I VENERDÌ DELLA SCI



Società Chimica Italiana

A partire da novembre 2020 è stata avviata sul canale **YouTube della Società Chimica Italiana**, una serie di seminari scientifici che si svolgeranno il venerdì con inizio alle ore 15 (circa 30 minuti di seminario, seguiti da discussione).

Società Chimica Italiana ISCRITTO

HOME VIDEO PLAYLIST CANALI DISCUSSIONE INFORMAZIONI

Video caricati ► RIPRODUCI TUTTI

Video Title	Duration	Upload Date	Time
Medaglie SCI 2020 VINCENZO BARONE Medaglia AMEDEO AVOGADRO	9:15		
Medaglie SCI 2020 FEDERICO BELLA Medaglia IVANO BERTINI	7:07		
I Venerdì della SCI GIANLUCA FARINOLA	54:56	Venerdì 20 novembre 2020 ORE 15.00	
I Venerdì della SCI SILVIA BORDIGA	53:51	Venerdì 13 novembre 2020 ORE 15.00	
Premio CCIB-Italfarmaco 2020 Talking about urease: How the grasp on the molecular aspects of this enzyme can help in counteracting its role in microbial pathogenesis and environmental issues. Luca Mazzei, Ph.D. Laboratory of Bioorganic Chemistry GIANNANCY ANGIROTTOLINO	14:31		

Vincenzo Barone, Medaglia A. Avogadro

Federico Bella, Medaglia I. Bertini

I Venerdì della SCI

I Venerdì della SCI

Premio Italfarmaco 2020 - Divisione di Chimica dei...

Questi seminari, in un momento di difficoltà per le attività in presenza, potrebbero essere un prezioso contributo alla formazione delle nuove generazioni di chimici e di interesse per tutti i soci.

La partecipazione è aperta anche ai non soci.

Vi aspettiamo numerosi e vi invitiamo ad iscrivervi al canale YouTube della SCI!

MISCELAZIONE ADATTIVA CON MIXER 4220/4320



MIGLIORA LA RESILIENZA DEL PROCESSO

Sedimenti sul fondo della vasca?
Fluttuazioni stagionali?
Aggiornamenti di processo?
I Mixer Flygt adattivi ti permettono di regolare i parametri del processo per ottimizzare la miscelazione.



RISPARMIA SUI COSTI ENERGETICI

I Mixer Flygt adattivi possono essere controllati per fornire la spinta richiesta ottimale, senza spreco di energia, con notevoli risparmi sui costi energetici.



OTTIMIZZA IL MAGAZZINO

Grazie ad un ampio range operativo, i nuovi Mixer possono essere ridistribuiti in varie tipologie di vasche e applicazioni consentendo un risparmio di capitale in parti di ricambio e miscelatori di riserva.



AUMENTA LA VITA DEL MIXER

Ottimizzabile sulla base dei parametri impiantistici, il Mixer Flygt rileva automaticamente le anomalie di funzionamento e regola la sua velocità per proteggere il motore grazie alle funzioni di monitoraggio integrate: velocità, potenza, allarmi.



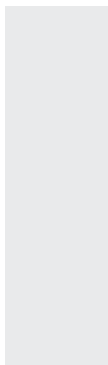
I Mixer Flygt adattivi presentano un nuovo livello nelle prestazioni di miscelazione. Grazie alle funzionalità elettroniche e di gestione remota, puoi facilmente apportare modifiche alla velocità/spinta del Mixer per adeguarlo ai parametri dell'impianto.

CONFORME ALL'INDUSTRIA 4.0





3



8

EDITORIALE

3 'RIVOLUZIONE' DIGITALE

Matteo Guidotti, Mario Marchionna

ATTUALITÀ

8 FORBICI GENETICHE:

NOBEL 2020 PER LA CHIMICA

Manlio Palumbo

FOCUS SULL'INDUSTRIA CHIMICA

14 A FORLÌ LA CREAZIONE DI UN CENTRO DI RICERCA DI ECCELLENZA PER IL COMPOUND

Ferruccio Trifirò

CHIMICA & DIDATTICA

16 DIDATTICA A DISTANZA: NON TUTTO IL MALE VIEN PER NUOCERE

Margherita Venturi

CHIMICA & DIGITALIZZAZIONE

20 PROGETTO DI DIGITALIZZAZIONE: UN ESEMPIO INDUSTRIALE

Pio Gazzini, Claudio Croci

25 DIGITALIZZAZIONE:

OPPORTUNITÀ, SFIDE E FUTURO

Maurizio Rovaglio

CHIMICA & FARMACEUTICA

28 FLOW CHEMISTRY E CATALISI

"A SINGOLO SITO ATTIVO":

RISORSE PER LA SINTESI FARMACEUTICA

Alessandra Sivo, Nicolò Manfredini, João Medeiros Garcia Alcântara, Juri Ilare, Matteo Maraldi, Davide Moscatelli, Gianvito Vilé

CHIMICA & AMBIENTE

36 FELTRO DI LINO COME MATERIALE

ADSORBENTE PER IL TRATTAMENTO DELLE ACQUE CONTAMINATE DA METALLI

Grégorio Crini, Chiara Mongioví, Vincent Placet, Cesare Cosentino, Bernard Martel, Corina Bradu, Nadia Morin-Crini

CHIMICA & TECNOLOGIA

42 CONDENSATORI A MEMBRANA: USI E PROSPETTIVE

Mirko Frappa, Francesca Macedonio, Enrico Drioli

CHIMICA & INDUSTRIA

48 DISPERSIONI POLIMERICHE INDUSTRIALI ECOSOSTENIBILI

Massimo Bandiera, Roelof Balk, Maria J. Barandiaran

51 UNA NUOVA ERA DI RITARDANTI DI FIAMMA

Alessandro Beduini

54 MATERIALI NANOSTRUTTURATI PER LA FOTO-CONVERSIONE DI CO₂

Giulia Forghieri, Michela Signoretto, Isabella Concina

CHIMICA & NOI

58 DIDATTICA DELLA CHIMICA A DISTANZA: ATTIVITÀ CON GLI STUDENTI UNIVERSITARI E A SUPPORTO DEGLI INSEGNANTI DI SCUOLE PRIMARIE E SECONDARIE

Valentina Domenici

DALLA LETTERATURA

64 a cura di Silvia Cauteruccio e Monica Civera

LA CHIMICA ALLO SPECCHIO

66 INSEGNARE LA TAVOLA PERIODICA

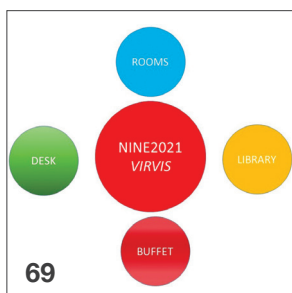
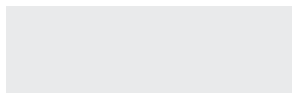
Claudio Della Volpe



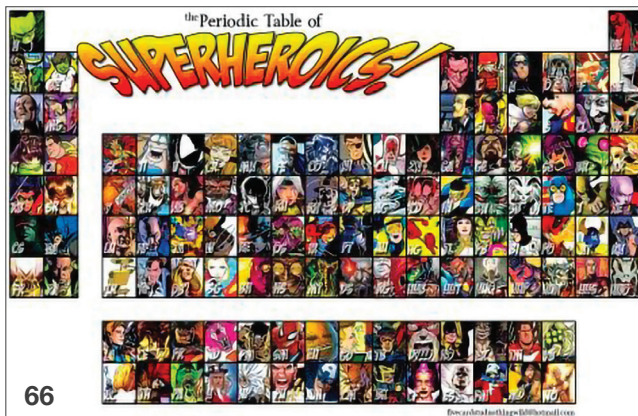
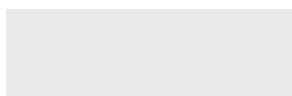
69 EVENTI 2021



36



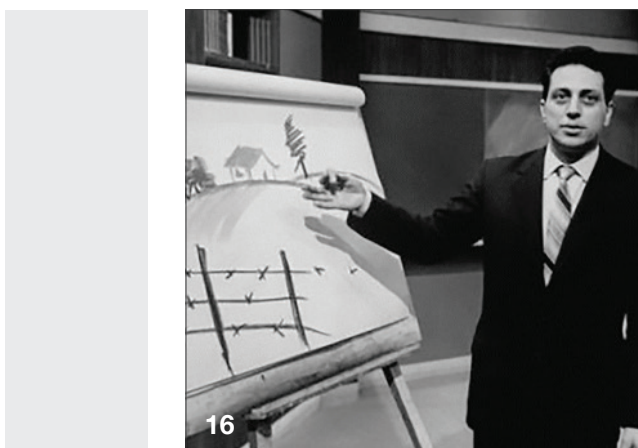
69



66



20



16



Organo Ufficiale della Società Chimica Italiana

DIRETTORE RESPONSABILE

Ferruccio Trifirò

VICE-DIRETTORI

Matteo Guidotti, Mario Marchionna

REDAZIONE SCIENTIFICA

Anna Simonini

Piazzale R. Morandi, 2 - 20121 Milano - tel. +39 345 0478088
anna.simonini@soc.chim.it

COMITATO DI REDAZIONE

Alessandro Abbotto, Catia Arbizzani, Silvia Bordiga, Marta Da Pian,
Martino Di Serio, Enrica Gianotti, Matteo Guidotti,
Mario Marchionna, Maria Menichincheri, Oreste Piccolo,
Anna Simonini, Marco Taddia, Ferruccio Trifirò

COMITATO SCIENTIFICO

Luigi Campanella, Sergio Carrà, Massimiliano Coletta, Silvia Colombo,
Valeria D'Auria, Vito Di Noto, Fulvio Magni, Anna Maria Fadda,
Salvatore Failla, Francesco Paolo Fanizzi, Gaetano Guerra,
Antonio Marcomini, Giovanni Marletta, Maria Cristina Menziani,
Claudio Minero, Italo Pasquon, Raffaele Riccio, Gianluca Sbardella,
Margherita Venturi

HANNO COLLABORATO

Silvia Cauteruccio, Monica Civera,
Claudio Della Volpe

PROGETTO GRAFICO E IMPAGINAZIONE

Sara Moscardini

CONCESSIONARIA DI PUBBLICITÀ

Agicom Srl
Viale Caduti in Guerra, 28 - Castelnuovo di Porto (Roma)
Tel. +39 06 9078285, fax +39 06 9079256
agicom@agicom.it
Skype: agicom.advertising

EDITORE

PAS-SCI Srl
Roma

Reg. Tribunale di Milano n. 134 del 11/04/2017

ISSN 2283-544X

http://www.soc.chim.it/riviste/chimica_industria/catalogo





Manlio Palumbo
Studioso senior dell'Università di Padova
manlio.palumbo@unipd.it

FORBICI GENETICHE: NOBEL 2020 PER LA CHIMICA

Le forbici genetiche, messe a punto da Emmanuelle Charpentier e Jennifer Doudna, Premi Nobel 2020 per la Chimica, rappresentano un nuovo potente strumento per modificare in modo univoco e predefinito il DNA genomico. Le ricadute pratiche sono di enorme portata sia nel campo della salute dell'uomo per la cura di malattie genetiche, incluso il cancro, sia nel settore agro-alimentare. L'uso della nuova metodologia sull'uomo presenta cruciali risvolti etici.



Emmanuelle Charpentier (a destra) e Jennifer Doudna (a sinistra), Premi Nobel 2020 per la Chimica

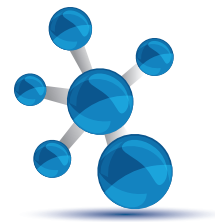
È da sempre un'aspirazione dell'uomo trascendere le leggi della natura per impartire alla materia proprietà nuove e predefinite. Nei tempi antichi questo desiderio si estrinsecava nella ricerca del *lapis philosophorum*, dotato di tre proprietà sostanziali. Fungeva infatti da elisir per donare l'immortalità e curare ogni tipo di malattia, conferiva la conoscenza del passato e del futuro, oltre che del bene e del male, e, infine, godeva della prerogativa, rimasta maggiormente impressa nell'immaginario collettivo, di trasformare in oro i vili metalli. Ahimè, questo catalizzatore onnivale, prezioso e misterioso, è rimasto confinato nell'ambito filosofico (con qualche digressione nella magia e nell'astrologia), oggetto di disquisizione parascientifica nel periodo dell'alchimia e della iatrochimica.

Oggi non occorre più invocare la metafisica per operare modifiche sostanziali sulla materia, quella

vivente *in primis*, né inventare complicati processi artificiali di esito incerto. Possiamo, infatti, sfruttare meccanismi fisiologici, e quindi naturali, già messi a punto dai processi evolutivi, che non necessitano di venire concepiti, ma solo di essere portati alla luce. E non è che la scoperta valga meno dell'invenzione, perché, citando Marcel Proust, *le véritable voyage de découverte ne consiste pas à chercher de nouveaux paysages, mais à avoir de nouveaux yeux* (il vero viaggio di scoperta non consiste nel cercare nuovi orizzonti, ma nello scrutare con nuovi occhi). Proprio questo è capitato a Emmanuelle Charpentier e a Jennifer Doudna, insignite del Premio Nobel 2020 per la Chimica. Con l'inevitabile corollario che la serendipità gioca sempre un ruolo considerevole nell'accompagnare l'uomo sulla via della conoscenza.

Le premesse

Ecco due ricercatrici interessate, con finalità originariamente diverse, allo studio dei meccanismi tramite i quali le cellule batteriche si proteggono dall'infezione di virus o altri agenti. La francese Charpentier, specializzata in ambito microbiologico, sviluppa le sue ricerche in Paesi diversi e in vari laboratori prima in Francia (dottorato all'Istituto Pasteur con un periodo alla Rockefeller University), poi per cinque anni negli Stati Uniti e, infine, nuovamente in Europa (Austria e Paesi Nordici). Nonostante la vocazione da *globetrotter* tutte le indagini di Charpentier hanno come denominatore comune i processi di infezione di batteri da parte di virus.



In parallelo un'altra studiosa di valore, la statunitense Doudna, di qualche anno meno giovane, completa il Dottorato in Chimica Biologica e Farmacologia Molecolare alla Harvard Medical School sotto la guida di Jack Szostak, Premio Nobel per la Medicina nel 2009. In seguito, svolge per quattro anni attività post-dottorato all'Università del Colorado con Thomas Cech, Premio Nobel per la Chimica nel 1989, acquisendo, come la collega francese, esperienza multidisciplinare ad altissimo livello nell'ambito chimico e biologico-farmacologico. Specificatamente, ha affrontato il mondo dell'RNA, cavallo di battaglia del laboratorio di Cech. In quel periodo si studiavano nella cellula le funzioni di corte sequenze di RNA interferenti quali regolatori dei processi di espressione genica. Prima ancora di entrare nel merito degli studi che hanno portato al prestigioso riconoscimento del Nobel, vorrei fare alcune considerazioni su come Emmanuelle e Jennifer si siano preparate a diventare ricercatrici di successo, per trasferire il messaggio ai numerosi giovani in formazione nelle nostre università.

Appare anzitutto particolarmente utile acquisire esperienza in più di un laboratorio di alto profilo, affrontando tematiche distinte, possibilmente convergenti, sia per orientarsi sulle scelte future riguardo a se stessi, sia per poter interloquire autorevolmente con colleghi/collaboratori nell'ambito multidisciplinare, oggi imprescindibile a livello internazionale. Un secondo aspetto critico è la scelta di mentori di indiscusso valore scientifico, come nei casi appena esaminati. Nobel genera Nobel...

Tra gli ulteriori ingredienti richiesti a un valido ricercatore sottolineo, sempre rifacendomi alle due premiate, doti personali quali l'amor di sapienza (la φιλοσοφία di Platone e di Pitagora), la dedizione agli studi e il sacrificio: la ricerca scientifica richiede disponibilità incondizionata delle nostre risorse fisiche e mentali e lascia ben poco spazio ad altri interessi o impegni. In cambio procura soddisfazioni inestimabili, come quella celebrata in questo articolo. Incoraggiato dai fulgidi esempi passati in rivista, mi permetto anche di sollecitare una riflessione sull'organizzazione delle nostre Scuole per offrire percorsi di formazione adeguati e competitivi, destinati a far crescere l'Uomo nel suo complesso, oltre che lo Scienziato.

L'incontro

Torniamo ora alle premiate, dopo averne apprezzato l'approfondita preparazione scientifica in realtà stimolanti e produttive. L'interesse scientifico comune e le competenze complementari facevano presagire potenziali sinergie collaborative. L'occasione di un incontro si presentò casualmente nel 2011 non in una prestigiosa sede accademica, ma in un modesto caffè di Porto Rico, quasi in sordina, fuori dai circuiti scientifici che contano. Bastarono pochi minuti per capire che la possibile collaborazione avrebbe portato buoni frutti. Infatti, a circa un anno di distanza, appare sull'esclusiva rivista *Science* la prima pubblicazione congiunta dal titolo: *A Programmable Dual-RNA - Guided DNA Endonuclease in Adaptive Bacterial Immunity*, che chiarisce i dettagli molecolari delle forbici genetiche o, per gli addetti ai lavori, di CRISPR.

CRISPR

Questo iniziale, ma fondamentale contributo che ha spianato la strada verso il Premio Nobel 2020, spiega in modo esauriente la strategia di difesa di un batterio (nel caso in esame *Streptococcus pyogenes*) di fronte a infezioni virali che ne causano la lisi. A tale processo è stato attribuito il nome CRISPR/Cas9 o più semplicemente CRISPR. La sigla rappresenta l'acronimo per *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*. Infatti, nel genoma batterico si trovano brevi sequenze palindromiche ripetitive di DNA raggruppate a intervalli regolari. Questo particolare arrangiamento (sequenza ripetitiva alternata a sequenza non ripetitiva) era già stato descritto in letteratura una quindicina d'anni prima del fatidico incontro di Porto Rico, ma all'epoca gli autori non avevano approfondito l'argomento, limitandosi ad affermare che la funzione di queste ripetizioni era sconosciuta.

Il merito di Charpentier e Doudna è di aver capito che le sequenze variabili corrispondono a materiale genetico proveniente da sequenze virali immagazzinate dal batterio a memoria dell'insulto subito. Una specie di sistema immunitario con repertorio di sequenze virali che servono per immunizzare il batterio da infezioni successive prodotte dallo stesso microorganismo. Come spesso accade, i primi tentativi *in vitro* usando il DNA bersaglio e la desossiribo-

nucleasi che lo processa (Cas, **CRISPR-associated**) non sortirono l'effetto sperato, in quanto non si produceva alcuna degradazione dell'acido nucleico. La formazione a livello cellulare di corte sequenze di RNA complementari con tratti dell'acido nucleico infettante, a somiglianza dei processi di interferenza a RNA, fece balenare l'idea che i corti frammenti presenti nel batterio non fossero meramente prodotti di degradazione, ma svolgessero un ruolo funzionale. Infatti, per realizzare la frammentazione del DNA bersaglio sono necessari due brevi filamenti guida di RNA **CRISPR** (crRNA) in parte complementari tra loro e in parte con la sequenza di taglio, caratteristica della specie infettante. Legandosi alla/e Cas e al DNA bersaglio, i ribonucleotidi producono in entrambi i componenti le modificazioni conformazionali necessarie per consentire l'assemblaggio del complesso attivato e, di conseguenza, la demolizione della componente desossiribonucleica. A riprova, aggiunti *in vitro* alla miscela nucleoproteica, i crRNA causano l'immediata rottura del DNA, confermando il ruolo attivo nel processo di taglio. L'effetto permane quando si uniscano covalentemente le due catene di crRNA attraverso un *linker*, formando una sequenza chimerica.

Il meccanismo che ne emerge, schematizzato in Fig. 1, si svolge in tre momenti:

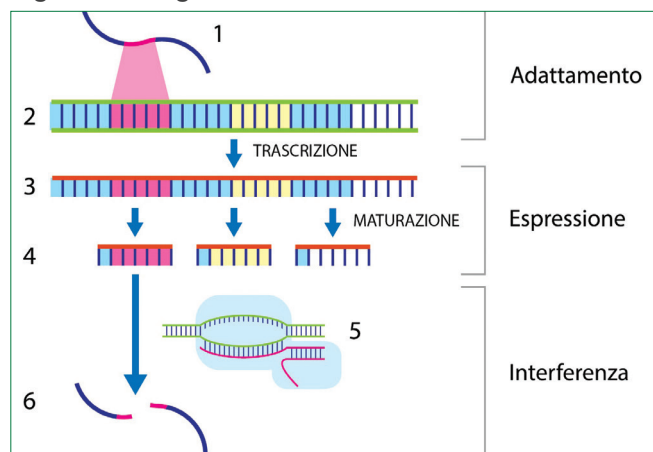


Fig. 1 - Meccanismo di difesa tramite il processo CRISPR di un batterio infettato da un virus. Nella fase di adattamento, il batterio incorpora frammenti di DNA virale (1) nel proprio genoma (2). Nella fase di espressione, il trascritto (3) si scinde in corte sequenze di crRNA interferenti (4) le quali attivano il processo CRISPR (5, vedi Fig. 2). Nella fase di interferenza, il DNA virale (6) viene degradato nel complesso nucleo-proteico e, di conseguenza, l'infezione si arresta. Le barre tra i filamenti rappresentano l'appaiamento di basi complementari

- 1) adattamento, che prevede l'incorporazione di una sequenza di DNA infettante nel genoma batterico;
- 2) espressione (trascrizione e maturazione) della sequenza di RNA codificata, che produce una serie di frammenti CRISPR (uno per tipo di infettante);
- 3) interferenza in occasione di successivo inserimento di materiale genetico infettante, che viene scisso nel complesso nucleo-proteico formato dal DNA bersaglio, da due molecole di crRNA guida e una o più unità di nucleasi Cas (a seconda del tipo di batterio) che provocano il taglio del DNA invasore, degradandolo e quindi impedendone la replicazione. Il caso più semplice è rappresentato da Cas9, presente come unica nucleasi nello *Streptococcus pyogenes* e quindi più facile da utilizzare.

Il complesso CRISPR è schematizzato in maggiore dettaglio in Fig. 2, dove sono evidenziate le interazioni DNA-crRNA e crRNA-crRNA.

Elucidare un meccanismo come quello citato poteva sembrare più che soddisfacente per un buon ricercatore, ma, si sa, l'appetito viene mangiando, e in questo caso la domanda successiva che Charpentier e

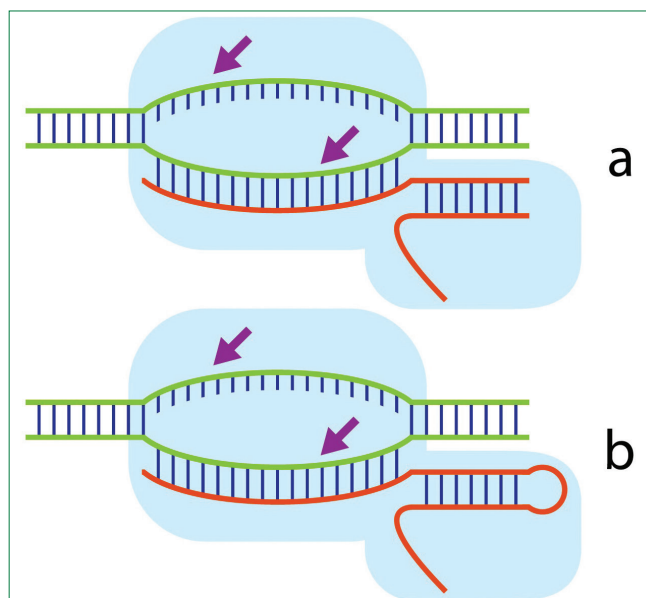
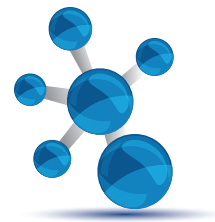


Fig. 2 - Modello del complesso CRISPR composto dalla/e proteina/e Cas (in azzurro), dal DNA virale infettante (in verde) e da due sequenze di crRNA guida (in rosso) accoppiate tra loro tramite l'appaiamento di basi, pannello a), o fuse in una struttura chimerica che unisce covalentemente i terminali 3' e 5' delle sequenze guida, pannello b). Le frecce indicano i siti di taglio



Doudna si sono poste riguarda la possibile estensione della metodologia a qualsiasi sequenza di DNA, ingegnerizzando opportunamente la struttura del crRNA (o della chimera, vedi Fig. 2, pannello b), per renderlo complementare alla sequenza di DNA che si vuole scindere. Si ottiene così un sistema di taglio universale estremamente preciso in quanto indirizzato dai crRNA, che apre le porte all'impiego di CRISPR per operazioni di *editing* del genoma con una tecnica di taglio semplice, accurata, rapida e poco costosa, seguita dai collaudati protocolli di ricombinazione omologa e non omologa del DNA (Fig. 3). Tale approccio permette di studiare la funzione di un singolo gene, o di vari geni in contemporanea, tramite delezioni o mutazioni, nonché di modificare la sequenza locale di un gene mutato, ripristinando il genotipo originale o alterandolo in modo predeterminato per creare nuovi genotipi personalizzati. L'orizzonte che si apre fa capire come l'elucidazione del processo CRISPR rappresenti un evento epocale capace di trasformare radicalmente i paradigmi e le prospettive della ricerca genomica, facendole compiere un sostanziale balzo in avanti. Per comprendere l'attenzione che riceve la tematica e il vasto interesse che suscita, basti pensare che sull'argomento vengono attualmente pubblicati circa 6.000 articoli all'anno. Inoltre, è stato fondato *The CRISPR Journal* (Mary Ann Liebert) dedicato totalmente alla nuova tecnologia.

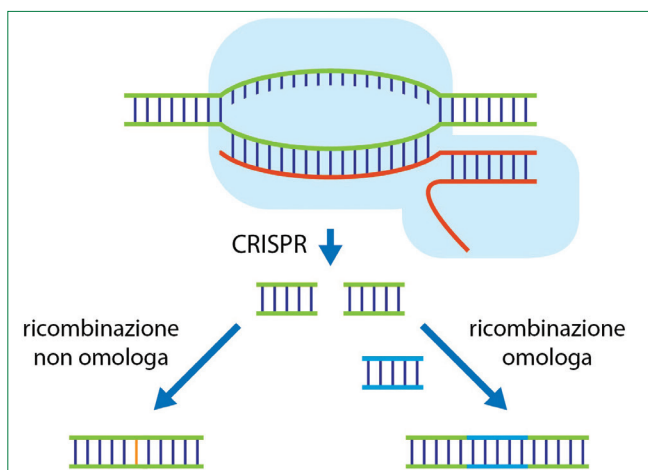


Fig. 3 - Impiego del meccanismo CRISPR per processi di *editing* genomico con ricombinazione omologa che produce l'inserimento di nuove sequenze (in blu), o ricombinazione non omologa che produce delezioni o inserzioni (barra verticale gialla)

Gli sviluppi

Gli sviluppi riguardano vari aspetti migliorativi della metodologia e le sue possibili applicazioni.

Prima di tutto il processo CRISPR si attua su microorganismi infettanti con genoma a DNA a doppio filamento (Fig. 2). Con opportune modificazioni è divenuto estensibile anche a virus a singola catena di DNA o RNA. Si può interferire, dunque, praticamente con tutti i possibili infettanti. Inoltre, sono state caratterizzate numerose tipologie di Cas, con specifici ambiti di applicazione. Si può variare, infatti, il peso molecolare della proteina, il numero di molecole di crRNA necessarie per scindere il DNA bersaglio, i siti d'azione delle nucleasi, le modalità di taglio e i requisiti per il processo di trascrizione, aumentando a dismisura il già amplissimo armamentario disponibile per la procedura di *editing* genomico guidato. L'ambito di utilizzo riguarda studi di base condotti a scopo conoscitivo, oppure studi applicativi in campo biotecnologico. Mentre per i primi il panorama è così vasto da non poter essere riassunto in poche righe, se non ripetendo un'affermazione riportata di recente che identificava la fantasia quale unico limite ai progetti realizzabili, la situazione si fa diversa quando si passa a studi *ex-vivo* o *in vivo*. Questi possono essere svolti su piante, su animali e sull'uomo, quindi riguardano i settori agro-alimentare e della salute con lo scopo di migliorare le proprietà dei cibi (vegetali e animali), come durata, appetibilità e caratteristiche organolettiche, preservare le specie da infezioni o insulti da parte di microorganismi e altri agenti esogeni, curare le malattie genetiche, produrre nuovi protocolli terapeutici e sviluppare metodologie diagnostiche ad alta efficienza. Anche in questi casi, come si vede, le prospettive di CRISPR appaiono quasi illimitate. Soffermandoci sugli studi correlati alla salute dell'uomo, per quanto riguarda la diagnostica molecolare, la metodica CRISPR può venire utilizzata con successo in test genetici, accoppiandola a piattaforme note, per rilevare la presenza di acidi nucleici infettanti di provenienza virale e batterica. Come sottolineato in precedenza, la tecnica è rapida, con alta resa e costi ridotti.

Sono tristemente noti a tutti noi gli effetti devastanti prodotti dalla pandemia da SARS-CoV-2 tuttora in corso. Come sappiamo, la rivelazione dell'infezione

richiede attualmente tempi lunghi. Esistono anche metodi rapidi, ma la loro attendibilità diminuisce a livelli preoccupanti, dando, in particolare, falsi negativi. È ora in corso la messa a punto di una metodica CRISPR per la rivelazione del Coronavirus, che potrebbe presto soppiantare le metodiche di analisi sin qui applicate.

Sperimentazione su pazienti

Un altro discorso vale per l'uso di terapie geniche sull'uomo. Qui la problematica della sicurezza del paziente acquista un valore preponderante dato che è in gioco la vita umana e, per quanto molto precisa, anche la tecnica CRISPR può procurare spiacevoli sorprese a causa dell'enorme complessità degli organismi viventi. A volte quello che non si riscontra *in vitro*, può verificarsi *in vivo* per interazioni, anche deboli, fuori bersaglio. Dato che finora il fenomeno si è presentato in circa il 50% dei casi, forse a buona ragione i clinici pensano che i tempi del CRISPR non siano ancora del tutto maturi. I tentativi in atto tendono a utilizzare forme ingegnerizzate di Cas9 capaci di rendere sempre meno efficaci i legami aspecifici rispetto a quelli specifici.

La somministrazione può avvenire sia *ex vivo* con cellule del paziente espianate, ingegnerizzate e reimpiantate o direttamente *in vivo*. Con grande attenzione ai problemi della sicurezza del paziente si stanno ora conducendo trial clinici riguardanti il trattamento contro l'HIV, un approccio immunoterapico per il cancro e, infine, un tentativo di cura della cecità ereditaria. Molti altri sono in fase di allestimento. Non possiamo ancora dare una valutazione certa dei risultati perché gli studi sono iniziati solo di recente. Le aspettative sono, al momento, improntate a un cauto ottimismo.

Bioetica

La precisione e l'accuratezza con cui si può oggi modificare il patrimonio genetico di un essere umano usando la metodologia CRISPR generano inevitabilmente questioni etiche e morali, particolarmente sentite qualora si operi su cellule staminali, o ancor più, su embrioni in grado di trasmettere nuovi tratti genetici.

Non si disserta di fantascienza perché recentissime pubblicazioni rivendicano di aver effettuato in em-

brioni l'*editing* desiderato solo sulla sequenza pre-stabilita e con efficienza totale, quindi senza effetti collaterali. Dato che spesso si invoca prudenza per l'uso di metodologie non completamente affidabili, oggi l'annunciato raggiungimento di adeguati livelli di sicurezza con i nuovi protocolli, anche se ancora da verificare appieno, suggerisce un'accelerazione degli studi sull'uomo. Si pensi, infatti, agli enormi vantaggi che comporterebbe il ripristino della funzionalità fisiologica in geni correlati a patologia, se si considera che le malattie genetiche riportate sono oltre 3.000, incluso il cancro.

Ovviamente ogni medaglia ha il suo rovescio. Se la tecnica cadesse nelle mani di ricercatori senza scrupoli, in assenza di strette regolamentazioni, potrebbero nascere fabbriche di "uomini su misura" con conseguenze disastrose per la specie umana. Parafrasando Manzoni: *adelante CRISPR con juicio*.

Abbreviazioni

Acronimo	Termine esteso
CRISPR	Brevi sequenze palindromiche ripetitive di DNA raggruppate a intervalli regolari
Cas crRNA	Proteine associate a CRISPR Brevi sequenze di RNA associate a CRISPR
DNA	Acido desossiribonucleico
RNA	Acido ribonucleico
HIV	Virus dell'immunodeficienza umana
SARS-CoV-2	Sindrome respiratoria acuta grave da Coronavirus 2

Bibliografia

Data l'enorme quantità di riferimenti reperibili nelle banche dati relativi alla delucidazione del meccanismo molecolare CRISPR e agli sviluppi che ne conseguono (Charpentier e Doudna da sole contano oltre 60 pubblicazioni nelle prestigiosissime riviste *Nature* e *Science*), mi limito a citare i quattro (!) lavori che vedono insieme come co-autrici entrambe le premiate. Evidentemente sono bastati a lasciare una traccia indelebile nella storia della Scienza.

[1] M. Jinek *et al.*, *Science*, 2012, **33**, 816.

[2] E. Charpentier, J.A. Doudna, *Nature*, 2013, **495**, 50.

[3] M. Jinek *et al.*, *Science*, 2014, **343**, 1247997.

[4] J.A. Doudna, E. Charpentier, *Science*, 2014, **346**, 1258096.



SAVE WEB EDITION PER IL 4.0 AUTOMAZIONE IMPIANTI E TECNOLOGIE ABILITANTI PER L'INNOVAZIONE DELL'INDUSTRIA

COME FUNZIONA L'EVENTO

Come un evento SAVE, ogni giornata prevede:

- Una sessione plenaria mattutina, definita con i maggiori esperti del settore
- Workshop pomeridiani, per l'occasione webinar
- Un catalogo dell'evento, per l'occasione arricchito con white paper e video
- Decine di contributi online selezionati dai nostri esperti di alto profilo

Dal sito dell'evento, accessibile solo ai registrati, l'utente potrà:

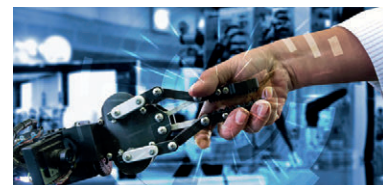
- Consultare il catalogo delle aziende arricchito da video e presentazioni di prodotto
- Richiedere business matching one-to-one virtuali
- Iscrivere ai webinar e interagire con i relatori
- Scaricare white paper e contenuti
- Vedere videointerviste agli espositori e altri video sui temi delle giornate
- Scaricare normative

BUSINESS MATCHING VIRTUALE E INTERAZIONE CON I VISITATORI

Il visitatore potrà:

- Rivolgere domande al relatore
- Interagire nei webinar
- Richiedere appuntamenti di business matching, anche dopo l'invio degli atti

SPONSORED BY



PREVISTI PIÙ DI
1.000 OPERATORI

LE SESSIONI SI SVOLGONO NEL CORSO DELLA GIORNATA

LA PARTECIPAZIONE DÀ DIRITTO ALLA PRESENZA REDAZIONALE GRATUITA SULLA GUIDA IN PROGRAMMA

La Guida Tecnologie Abilitanti 4.0 dopo l'evento sarà:

- Inviata a tutti i preregistrati all'evento
- Inviata a tutta la mailing list del network EIOM (PLC Forum, Verticale, SAVE) interessata al settore
- Scaricabile su tutto il nostro network
- Scaricabile attraverso una vasta campagna sui principali motori di ricerca e social

A FORLÌ LA CREAZIONE DI UN CENTRO DI RICERCA DI ECCELLENZA PER IL COMPOUND

L'azienda americana Celanese [1], leader mondiale nel settore delle tecnologie e dei tecnopolimeri speciali con sede a Dallas (Texas), ha deciso di creare a Forlì un "centro di ricerca di eccellenza per il *compound*", ossia per la sintesi di compositi ottenuti da fusione, miscelazione, copolimerizzazione e aggregazione di polimeri, per la maggior parte derivanti dal riciclo di prodotti in plastica. In Italia Celanese è, infatti, attiva nel campo dei *compound* a base di elastomeri, poliesteri termoplastici [2], termoplastici vulcanizzati e tecnopolimeri, praticamente tutti riciclabili. L'azienda ha due stabilimenti a Ferrara e uno a Forlì, acquisiti nel 2016 dall'azienda italiana SO.F.TER. [3], operanti nel campo dei tecnopolimeri e degli elastomeri termoplastici. Per la fine del 2021 il Gruppo ha programmato di chiudere due stabilimenti in Germania e uno dei due stabilimenti produttivi di Ferrara per trasferire queste attività a Forlì (lo stabilimento di Ferrara che sarà chiuso sarà venduto all'azienda Benvic). L'azienda prevede inoltre, nel prossimo futuro, di potenziare a Forlì le sue attività in questo settore. I tecnopolimeri, chiamati anche "polimeri per ingegneria", sono sistemi polimerici dotati di elevate caratteristiche fisico-meccaniche, che ne consentono l'utilizzo in sostituzione di metalli. I tecnopolimeri di interesse di Celanese Italia sono polimeri con struttura modificata (parzialmente cristallini) o miscele di polimeri con proprietà diverse o polimeri modificati con additivi. Nel dettaglio si possono ricordare i seguenti materiali: omopolimeri o copolimeri del polipropilene, poliammide 6, poliammide 6-6, polibutilentereftalato, anche parzialmente cristallino, terpolimero acrilonitrile-butadiene-stirene (ABS), copolimero butadiene-stirene, policarbonato, terpolimero ABS a diversa composizione o in lega con policarbonato e polistirene ad alta resistenza all'urto. Questi polimeri sono modificati per addizione di sfere cave di vetro o di fibre di vetro, anche

in presenza di ulteriori additivi rinforzanti, di ritardanti di fiamma e di elastomeri. Gli elastomeri termoplastici sono copolimeri o miscele di elastomeri, che hanno la capacità di subire grosse deformazioni elastiche reversibili, e di polimeri termoplastici. Ciò li rende totalmente riciclabili e permette di modellare il prodotto finale nelle forme desiderate tramite stampaggio per iniezione ed estrusione. Nella famiglia degli elastomeri termoplastici vi sono poi anche i poliesteri termoplastici e gli elastomeri termoplastici vulcanizzati. Questi *compound* sono a base di copolimeri legati chimicamente o miscelati intimamente o a base di una gomma SEBS (Stirene-Etilene-Butilene-Stirene), SBS (Stirene-Butadiene-Stirene), o EPDM (Etilene-Propilene-Diene Monomero) insieme a polimeri plastici composti da poliolefine o poliesteri.

I copoliesteri termoplastici sono costituiti da copolimeri a blocchi formati da segmenti rigidi cristallini di poliesteri e da segmenti amorfi a lunga catena, mentre i termoplastici vulcanizzati presentano gomme reticolate per vulcanizzazione.

Elastomeri termoplastici (TPEs)

Pibiflex®, Forprene®, Laprene®, SofpreneT®, Forflex®, Sofprene®, Sofpur®, Sofprene P®, Gumfit®, Holo®, Forgrin®, Terra®, Pavprene®

Tecnopolimeri (ETPS)

Litepol®, Tecnoprene®, Polifor®, Talcoprene®, Carboprene®, Litepol B®, Nylfor B®, Nivionplast B®, Nylfor A®, Nivionplast A®, Pibifor®, Pibiter®, Abistir®, Retelan®, Blendfor®, Reblend®, Stirofor®, Sanfor®, Cabofofor®, Norfor®

BIBLIOGRAFIA

- [1] <https://www.polimerica.it/articolo.asp?id=24221>
- [2] <https://www.polimerica.it/articolo.asp?id=21461>
- [3] http://www.softergroup.com/it/celanese_rileva_softer_group



sps
ITALIA

**We love
talking**

Aspettando SPS Italia

25 febbraio | **Robotica & Meccatronica**

LA CONTINUA EVOLUZIONE DELLA ROBOTICA

25 marzo | **Automazione Avanzata**

AUTOMAZIONE DELLA PRODUZIONE E DELL'ASSEMBLAGGIO

22 aprile | **Digital & Software**

SMART DIGITAL PROCESS. FOOD AND BEVERAGE

25 maggio | **Pharma** in collaborazione con ISPE

PHARMA 4.0. IL FUTURO DEL FARMACEUTICO ITALIANO

15 giugno | **Packaging** in collaborazione con IPACK-IMA

AUTOMAZIONE NEL PACKAGING

L'iscrizione è gratuita. Registrati su contactplace.spsitalia.it

SPS ITALIA TI ASPETTA IN FIERA. PARMA 6-8 LUGLIO 2021



Margherita Venturi

Dipartimento di Chimica "Giacomo Ciamician" - Università di Bologna
Presidente della Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana (SCI)
margherita.venturi@unibo.it

DIDATTICA A DISTANZA: NON TUTTO IL MALE VIEN PER NUOCERE

Da marzo 2020, con la chiusura delle scuole di ogni ordine e grado, i docenti sono stati costretti a passare dalla didattica in presenza alla didattica a distanza. Eravamo pronti? Abbiamo saputo sfruttare tutte le potenzialità che questo tipo di didattica offre? La didattica a distanza è adatta per insegnare discipline sperimentali, come la Chimica? Cosa possiamo portare a casa da questa esperienza?

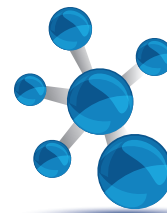
Non avrei mai pensato che ci volesse una pandemia per smuovere nel nostro Paese l'interesse dei mezzi di informazione nei confronti dell'istruzione e della didattica (anche se intesa in senso piuttosto restrittivo) che sono così diventati temi cruciali di discussione; tutti si sono sentiti, e si sentono ancora, in dovere di dire la loro, a volte trovando soluzioni quasi fantozziane come banchi circolari con o senza ruote, protetti da schermi più o meno impenetrabili al virus, far lezione nei parchi tutti in piedi e ben distanziati e altre amenità del genere. Naturalmente scherzo (ma non del tutto) per sminuire un po' la drammaticità della situazione. Il COVID, infatti, ha messo la scuola di ogni ordine e grado di fronte ad un'emergenza senza precedenti e nessuno ha potuto chiamarsi fuori: da una parte i docenti hanno dovuto continuare a far lezione, privati delle pareti rassicuranti di un'aula, della lavagna, l'amica di sempre, e soprattutto dei loro studenti; dall'altra, gli studenti sono stati costretti a seguire le lezioni, privati del piacevole chiacchiericcio che accompagna l'entrare in aula, del rapporto fisico e affettivo degli amici e, soprattutto, della guida di un "maestro", di cui, quando c'è, se ne vorrebbe fare a meno, ma di cui, quando non c'è, si sente la mancanza.

Tutto ciò si riassume nel fatto che da marzo 2020 si è passati dalla didattica in presenza alla didat-

tica a distanza e tutti si sono dovuti adeguare a questa che non è stata una scelta, ma un'imposizione causata dall'emergenza sanitaria, e che non sia stata una scelta ha importanti conseguenze e fa nascere molte considerazioni.

La didattica a distanza: siamo pronti?

Educazione a distanza, formazione a distanza, formazione on-line, formazione in rete, istruzione a distanza, teledidattica e teleformazione nella lingua italiana definiscono modelli didattici per i quali la condivisione del luogo non costituisce la condizione essenziale alla comunicazione formativa che, quindi, raggiunge anche chi non è presente; sono cioè modelli accomunati dall'elemento distanza. È interessante notare che questo tipo di formazione non è nuovo, ma ha una sua storia legata ai metodi e alle tecniche con i quali la condivisione del luogo viene abolita [1]. In Italia si può far risalire al Secondo Dopo Guerra per sopperire alla carenza di operai specializzati e per arginare l'analfabetismo che, soprattutto nel Meridione, toccava punte del 24%. Questi sono, infatti, i motivi alla base delle prime due significative esperienze italiane di didattica a distanza: la fondazione della Scuola Radio Elettra di Torino, nata nel 1951 per insegnare via posta a riparare apparecchi radiofonici (Fig. 1), e l'avvio nel 1958 delle trasmissioni di Telescuola da parte del-



la RAI che, in collaborazione con il Ministero della Pubblica Istruzione, aveva l'obiettivo di far completare il ciclo d'istruzione obbligatoria a studenti residenti in zone in cui mancavano scuole.

Nel 1960 nasce un'altra trasmissione televisiva, *Non è mai troppo tardi*, con lo scopo di insegnare a leggere e a scrivere agli adulti analfabeti (Fig. 2). L'ideatore è Angelo Manzi, un ricercatore universitario e maestro di scuola, che in Italia è considerato, a giusto titolo, uno dei padri della didattica a distanza per la sua abilità a sfruttare le immagini e le tecniche di animazione, usando un format tutt'ora attualissimo.

I corsi per corrispondenza e il modello della formazione televisiva, anche se sono sopravvissuti fino ai nostri giorni, hanno il grosso limite di non permettere un'adeguata personalizzazione dell'intervento, sono di natura trasmissiva con scarsa interazione docente-studente e si basano fondamentalmente sull'auto-istruzione. Tutto ciò viene superato tra la fine degli anni 1990 e il 2000 quando la rete Internet ha dato la possibilità di sviluppare sistemi di comunicazione mediata da computer, che facilitano l'interazione sincrona e asincrona del docente con gli studenti e degli studenti tra di loro: nasce quello che viene chiamato *e-learning*, cioè l'insieme delle pratiche educative e formative che si possono costruire attraverso la predisposizione di ambienti telematici.



Fig. 2 - Angelo Manzi durante una lezione di *Non è mai troppo tardi*



Fig. 1 - Pubblicità del corso per corrispondenza della Scuola Radio Elettra

Ma quanto l'e-learning viene utilizzato a scuola e all'università e, soprattutto, si conoscono e si sfruttano tutte le sue potenzialità? A parte alcuni esempi (basta ricordare, per quanto riguarda la scuola, la creazione dell'Istituto Nazionale per la Documentazione dell'Insegnamento e della Ricerca Educativa in Internet e la nascita di alcune università telematiche) l'idea diffusa è che una tale formazione sia solo un surrogato della didattica in presenza e, quindi, viene usata solo in casi estremi, senza conoscerne appieno tutte le possibilità che offre. Questo è proprio quello che è successo da

marzo scorso, quando ci siamo trovati a dover far lezione a distanza dalla sera alla mattina, senza aver potuto o poter seguire corsi di aggiornamento seri e approfonditi non solo sulle tecnologie, ma anche sul modo più efficace di progettare una lezione a distanza. Ciononostante, in ambito universitario non ce la siamo cavata malissimo, come dimostra un'indagine nazionale promossa dal centro "Luigi Bobbio" dell'Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Culture, Politica e Società [2], su quanto è avvenuto nelle accademie durante il "semestre-Covid" con riferimento, appunto, alla didattica a distanza: l'indagine ha evidenziato che la grande maggioranza dei docenti è riuscita a svolgere tutto il programma di insegnamento, che le lezioni sono state tenute prevalentemente in diretta streaming, che il numero di studenti che ha frequentato non è diminuito e che gli esami si sono svolti regolarmente.

Tutto questo però, mi viene da dire, è il minimo sindacale; sono, infatti, emersi i problemi connessi al poco tempo disponibile per adattare gli insegnamenti alla didattica on-line e alle difficoltà di interazione con gli studenti, soprattutto per far svolgere esercitazioni pratiche.

Per quanto riguarda il primo aspetto si è capito che non basta mettere gli studenti davanti allo schermo di un computer: è necessario avere chiaramente in testa la progettazione didattica e metodologica per gestire le motivazioni e l'attenzione dello studente.

Non basta “mandare in onda” la lezione e continuare a parlare come se si fosse in aula: ci vuole un’adeguata sceneggiatura e una precisa regia. Il secondo aspetto, invece, è fondamentalmente legato alla scarsa familiarità con le nuove piattaforme tecnologiche e alla poca conoscenza delle potenzialità che possono offrire.

Didattica a Distanza e Chimica: un matrimonio davvero impossibile?

La grande emergenza educativa ha “toccato” più da vicino i docenti di materie scientifiche, cioè di quelle materie per loro natura sperimentali, perché, come detto sopra, nella didattica a distanza non è facile organizzare esercitazioni pratiche. La Chimica poi, che è la disciplina sperimentale per eccellenza, ha sofferto molto della situazione pandemica perché i docenti di Chimica, oltre a dover preparare lezioni a distanza efficaci e coinvolgenti, hanno avuto e hanno ancora il grosso problema delle attività di laboratorio, che si sono interrotte per mesi e che, a tutt’oggi, sono limitate in molti istituti. I chimici, infatti, sanno bene che non riuscire a portare gli studenti in laboratorio, dove si toccano con mano i colori, le luci, gli odori della Chimica, dove si assapora il fascino della scoperta, è veramente penalizzante e sanno anche bene che non è banale trovare soluzioni differenti adeguate.

Qualcosa di alternativo comunque c’è: si tratta di laboratori virtuali e video di simulazioni molecolari disponibili in Internet sia per la scuola superiore di secondo grado che per l’università. Ovviamente bisogna saper scegliere le fonti giuste e, a questo proposito, ricordo il numero speciale del *Journal of Chemical Education* (Fig. 3) che riporta i contributi di centinaia di autori relativi alla loro esperienza in fatto di didattica della Chimica on-line [3].

Anche la Divisione di Didattica della SCI, nel suo piccolo, ha sentito il dovere di essere vicina ai docenti in questa grande

emergenza educativa, creando nel sito della Divisione, specificatamente nella sezione Materiale Didattico, una nuova voce chiamata Didattica a Distanza (DAD). Qui, dopo un’accurata selezione dal *mare magnum* che si trova in rete, sono stati caricati, suddividendoli per i diversi livelli scolastici, dalla primaria all’università, materiali di vario tipo culturalmente e didatticamente validi: presentazioni power-point, articoli, schede e video di laboratori, link a siti utili e collegamenti a videoconferenze [4]. I materiali sono a libero accesso e, quindi, visibili e scaricabili da tutti, indipendentemente dal fatto di essere o no Soci della SCI e/o della Divisione di Didattica. Naturalmente, quanto finora fatto non può essere considerato un lavoro definitivo perché i materiali continueranno ad essere aggiornati, tenuto conto che molto difficilmente le normali modalità didattiche potranno riprendere presto. Ci si può allora chiedere quanto questa situazione graverà sui nuovi laureati, sulla loro preparazione e sulle competenze che richiede, ad esempio, l’industria chimica. Se continuerà l’emergenza con le limitazioni di accesso ai laboratori, forse, i nuovi laureati avranno un po’ meno manualità pratica; questo però non è un gran male, se approfitteremo della situazione per dare ai nostri studenti una preparazione più ampia e trasversale; se discuteremo con loro del perché ci troviamo oggi relegati nelle

pareti delle nostre case, della responsabilità dell’uomo in tutto quanto è successo; se parleremo con loro di rispetto per l’ambiente, per le risorse del pianeta, di sostenibilità e di economia circolare. Fra l’altro lo possiamo fare benissimo insegnando Chimica, perché la Chimica ha un ruolo fondamentale per attuare uno sviluppo sostenibile, per salvaguardare il nostro pianeta e anche per trovare le “armi” necessarie a limitare la diffusione del COVID-19 e a combatterlo (Fig. 4).

È giustissimo insegnare i fondamenti della Chimica, ma non ci si deve limitare ad essi; dobbia-



Fig. 3 - Copertina del numero speciale del *Journal of Chemical Education* dedicato alla didattica della Chimica on-line

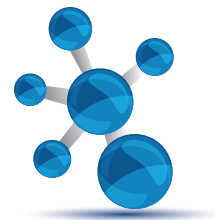


Fig. 4 - La chimica al servizio del pianeta e dell'umanità

mo insegnare una Chimica “viva”, quella che permea ogni momento della nostra quotidianità e che risveglia gli interessi degli studenti anche quando ci ascoltano da un monitor. Così facendo prendiamo due piccioni con una fava: motiviamo gli studenti a studiare la nostra disciplina e formiamo futuri cittadini responsabili, maturi e consapevoli, perseguendo quello che è l’obiettivo prioritario della scuola; potremo anche approfittare per disseminare nelle nostre lezioni qualche pillola di saggezza che oggi abbiamo un po’ perso, così presi come siamo a dare il maggior numero possibile di informazioni.

Dobbiamo ricordare tutto ciò quando ritorneremo in presenza, per non ripiombare nelle vecchie cattive abitudini della formazione compulsiva, “programma-centrica”, settoriale, dove l’interdisciplinarietà e la contaminazione delle discipline sono praticamente bandite.

Quindi, ben venga la didattica a distanza se ci permetterà di fare questo salto di qualità: non sarà un vero e proprio matrimonio, ma un’unione di fatto sicuramente utile!

Conclusioni

Qual è l’insegnamento che possiamo portare a casa da questa esperienza?

Prima di tutto si può, o meglio, si deve fare una considerazione di tipo etico. Spesso e volentieri si dice che la didattica a distanza è inclusiva, che può raggiungere tutti e che, quindi, è democratica. In realtà ci si è accorti che il divario economico e sociale viene aumentato dal divario digitale perché molti non hanno connessione, non hanno gli strumenti e non possiedono gli alfabeti per muoversi

nel mondo tecnologico. E allora, affinché i poveri non siano sempre più poveri, la scuola di ogni ordine e grado ha il dovere di colmare il gap sociale e di ridurre le differenze.

La seconda considerazione, decisamente più positiva riguarda il fatto che, per la prima volta in molti anni, i docenti tutti e gli atenei italiani sono stati costretti a interrogarsi sulla didattica, sulle sue finalità, sulle sue modalità e sul problema del rapporto tra didattica e nuove tecnologie digitali. Riguardo quest’ultimo aspetto si è capito che le nuove piattaforme tecnologiche non sono di per sé capaci di rinnovare la didattica, che le università italiane hanno bisogno di un piano nazionale per il digitale e per l’aggiornamento dei docenti; si è compreso, inoltre, che le nuove tecnologie possono far maturare e consolidare le “buone pratiche” di innovazione didattica senza, però, sostituire la didattica in presenza che è, e che rimarrà, insostituibile. Io ho una gran voglia di tornare in presenza perché mi mancano gli occhi dei miei studenti che si illuminano quando entrano in sintonia con me, ma mi mancano anche i loro occhi annoiati e assenti perché sono un formidabile campanello d’allarme per farmi capire che sto venendo meno al mio compito di formatore.

BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Trentin, *Telematica e formazione a distanza. Il caso Polaris*. Franco Angeli, Milano, 1999.
- [2] F. Ramella, M. Rostan, *Universi-DaD* (https://www.dcps.unito.it/do/documenti.pl/Show?_id=gfk5)
- [3] <https://pubs.acs.org/toc/jceda8/97/9>
- [4] <http://www.soc.chim.it/it/node/2557>

Distance Education:

not all that’s bad comes to harm you

Since March 2020, as all schools and universities shut down, teachers were forced to use online education. Were we ready? Did we manage to exploit all that didactics potential? Is on-line education suitable to teach experimental subjects, such as Chemistry? What can we learn from this experience?



PROGETTO DI DIGITALIZZAZIONE: UN ESEMPIO INDUSTRIALE

Radici Chimica SpA è un'azienda di RadiciGroup che produce poliammide 66 e gli intermedi chimici necessari per ottenere la poliammide. Presso lo stabilimento situato a Novara, in collaborazione con la ditta specializzata Eascon Srl, è stato avviato un progetto di ammodernamento della raccolta di dati e informazioni in modo da renderli più uniformi e disponibili. Il progetto prevede l'installazione di nuove macchine informatiche (hardware) e di una piattaforma informatica (software), che, lavorando ad un livello superiore, consente di raccogliere le informazioni dai vari sistemi di controllo degli impianti (DCS e PLC), dai sistemi di gestione utilizzati dall'Amministrazione, dalla Logistica e dai sistemi del Controllo Qualità. La piattaforma informatica risponde ai requisiti fissati nella normativa "Industria 4.0" e consente agli operatori autorizzati di avere una supervisione di tutti gli impianti dello stabilimento, ma anche esaminare e valutare in dettaglio parametri di processo al fine di avviare eventuali miglioramenti di efficienza, qualità, economicità.



RadiciGroup è un'azienda bergamasca che nasce storicamente nel mondo del tessile; si è sviluppata passando dalle fibre naturali a quelle sintetiche e si è integrata verticalmente sia nella produzione dei polimeri base, sia nella produzione degli intermedi chimici per la produzione, in particolare della poliammide 66.

Schematicamente le attività di RadiciGroup si suddividono in tre aree di business (Fig. 1):

- 1) Intermedi chimici (Specialty Chemicals);
- 2) Fibre Sintetiche e Tessuto Non Tessuto (Synthetic Fibres & nonwoven);

3) Polimeri tecnici (Performance Plastics).
L'area "Intermedi chimici" comprende Radici Chimica SpA di Novara. Lo stabilimento, di medie dimensioni, dà lavoro a circa 330 addetti e fattura circa € 250 milioni.

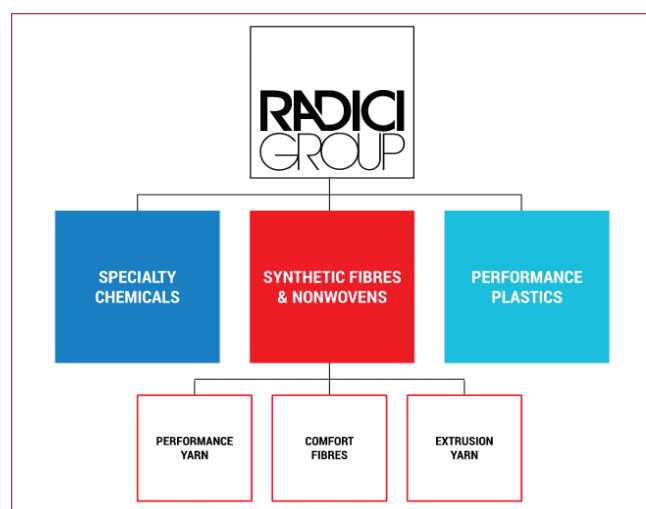
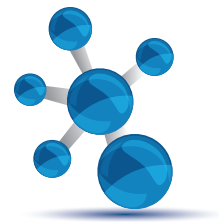


Fig. 1 - Aree di business di RadiciGroup



Il prodotto finale principale del sito produttivo è costituito dalla poliammide 66 (PA66 o NYLON 66) in forma di granuli. In loco vengono prodotti anche i composti intermedi necessari per ottenere la poliammide, e cioè la esametildiammina (EMD) e l'acido adipico [1].

Combinando questi intermedi con altre materie prime di acquisto vengono prodotti anche altri polimeri della famiglia delle poliammidi, quali PA510, PA610, PA612, PA66/6. Questi si differenziano per proprietà chimiche e fisiche per le quali possono essere utilizzati in impieghi particolari [2, 3] (Fig. 2). I prodotti di Radici Chimica sono destinati in gran parte alle altre aree di business del Gruppo:

- Polimeri ad alte prestazioni (High Performance Polymers): produzione di tecnopolimeri per stampaggio o estrusione in uso in vari settori come automobilistico, elettrico / elettronico, idraulico e beni industriali;
- Fibre sintetiche (Synthetic Fibres): produzione di filati destinati ad abbigliamento, arredamento, o impieghi tecnici con alta tenacità (filo per pneumatici e per airbag) [4].

La situazione precedente all'intervento di digitalizzazione

Il sito produttivo è suddiviso in tre aree, ognuna con una sala controllo dove sono posizionati i sistemi di controllo e conduzione degli impianti.

Poiché gli impianti sono stati realizzati in epoche diverse, sono utilizzati sistemi di controllo distribuiti di produttori diversi, in particolare Schneider e ABB (i sistemi di controllo vengono usualmente identificati con l'acronimo "DCS" dall'inglese Distributed Control System) [5, 6].

In alcune sezioni di impianto o macchine singole il controllo è affidato a sistemi elettronici programmabili (acronimo PLC Programmable Logic Controller) [7, 8].

Per la parte amministrativa è in uso il software gestionale JDE.

La parte del Controllo Qualità-Laboratorio viene gestita con il sistema software LIMS ProLab.

Obiettivi del progetto

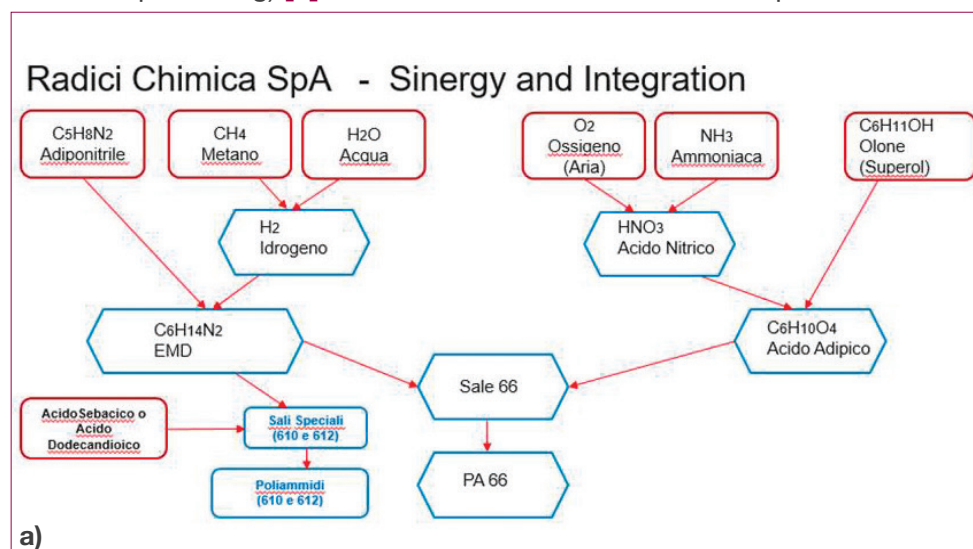
RadiciGroup ha investito negli anni numerose risorse per l'ammodernamento degli impianti e per

lo sviluppo dell'automazione e del controllo, con sistemi elettronici ed informatici al passo con lo sviluppo tecnologico.

Negli ultimi anni si è sentita ancor di più la necessità di:

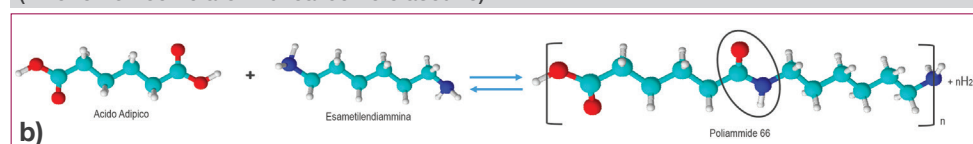
- avere una condivisione dei dati di conduzione degli impianti; cioè dare la possibilità ad alcuni utenti di accedere ai dati di tutti gli impianti senza doversi spostare fra le sale controllo;

- poter estrarre, correlare ed elaborare statisticamente i dati (tecnologia, manutenzione e ingegneria, controllo e assicurazione qualità, sicurezza...).



a)

Fig. 2: a) schema Produzione; b) reazione Policondensazione (i monomeri con 6 atomi di carbonio ciascuno)



b)

Criticità connesse all'operazione

Condividere in rete, ancorché interna, i dati dei sistemi di conduzione degli impianti (DCS e PLC) pone inevitabilmente un problema di sicurezza poiché occorre evitare assolutamente interferenze, accidentali o dolose, nei sistemi di controllo degli impianti (temperature, pressioni, livelli, portate, allarmi, ecc.).

Anche la comunicazione tra sistemi DCS, il gestionale JDE ed il sistema del Controllo Qualità (LIMS) non è stata esente da difficoltà (Fig. 3).

In alcuni casi, per avere un'informazione completa, in aggiunta al necessario per condurre gli impianti, sono stati incrementati e integrati punti di misura in campo. Inoltre si è reso indispensabile implementare procedure e momenti di verifica, per esempio fra quelle che possono essere le richieste commerciali (ordine da cliente) e l'impostazione degli assetti produttivi (programmazione produzione).

In impianti chimici come quello di Radici Chimica la catena, fra ingresso delle materie prime ed uscita prodotti, è complessa e deve tenere conto degli stoccaggi iniziali, della quantità di materiali o semilavorati contenuti negli impianti stessi (reattori, serbatoi intermedi, apparecchi vari), nonché dei magazzini e stoccaggi finali.

Questi tipi di impianti a ciclo continuo hanno una "flessibilità" limitata, non permettono grosse variazioni di carico e ancor meno situazioni con fermate e ripartenze ravvicinate.

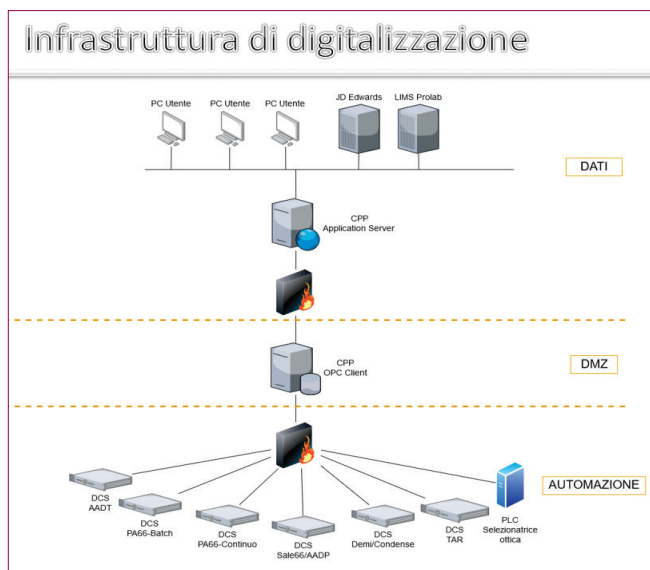


Fig. 3 - Architettura sistemi

Elementi del progetto

Per l'implementazione del progetto è stato dato l'incarico ad un'azienda specializzata: la Eascon Srl [9]. Questa società dispone di una tecnologia proprietaria e di una metodologia di lavoro consolidata nelle aree relative a: sistemi informativi di monitoraggio produzione e prestazioni; sistemi in linea di guida operatore; automazione e controlli avanzati.

Eascon ha analizzato in dettaglio la situazione esistente, e, in base alle richieste di RadiciGroup, ha elaborato una proposta che è stata approvata e messa in opera. È tuttora in fase di implementazione.

I punti cardine sono:

- sviluppo di tecnologia MES CPP 4.0, che prevede modularità e scalabilità nel tempo [10];
 - integrazione ed implementazione di ingegneria di processo, ingegneria informatica, ingegneria di automazione, per ridurre i tempi operativi di stabilimento [11];
 - acquisizione di competenze normative I4.0 [12].
- Contestualmente, si è valutato che un progetto di questo tipo sarebbe potuto rientrare nell'ambito della legge 232/16 che prevede sgravi fiscali per l'innovazione e l'automazione.

Implementazione del processo MES Obiettivi

Il processo può essere schematizzato secondo i seguenti punti (Fig. 4):

- supervisione ed analisi delle prestazioni del processo produttivo [13];
- tracciatura dei lotti e delle campagne di produzione e condivisione delle informazioni con la logistica;
- programmazione operativa della produzione e verifica dello stato di avanzamento dei programmi di produzione;
- verifica dei requisiti per l'iper-ammortamento I4.0 [12].

Sinteticamente:

- i) 5 requisiti obbligatori: automazione, interconnessione, integrazione, interfaccia uomo/macchina, sicurezza;
- ii) 2 su 3 requisiti ulteriori: telecontrollo, adattività, sistemi cyberfisici.

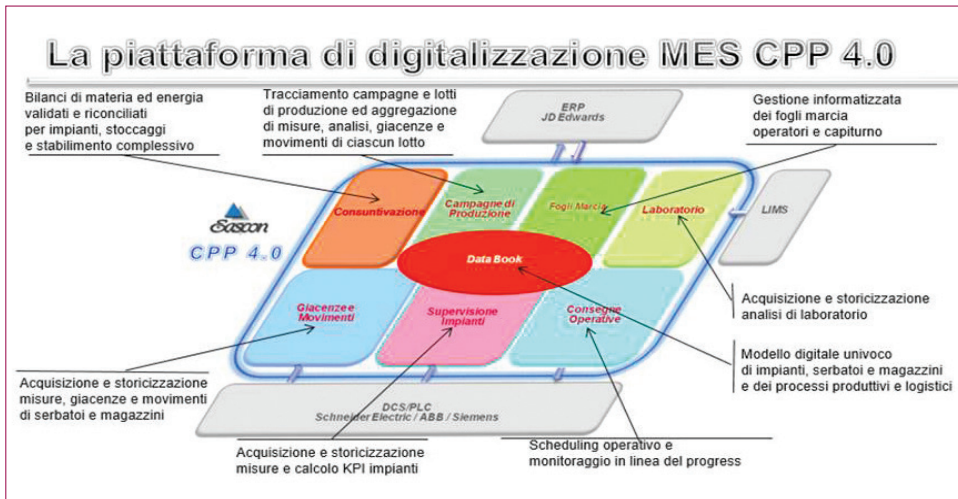
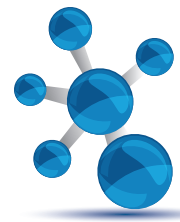


Fig. 4 - La piattaforma di digitalizzazione MES CPP 4.0

La road map della digitalizzazione

Come già accennato, un punto qualificante e dirimente è rappresentato dalla possibilità di modulare l'intervento per singoli reparti dello stabilimento e, quindi, in tempi successivi. Infatti, data l'impossibilità di intervenire in blocco su tutto lo stabilimento, che avrebbe comportato una sospensione inaccettabile dell'attività produttiva, si è proceduto ad una pianificazione dettagliata degli interventi per sezione di impianto e per calendario. I criteri di valutazione sono legati ad aspetti tecnici, per l'installazione del sistema, organizzativi in dipendenza delle necessità produttive ed economici per la modulazione dell'investimento.

La situazione iniziale vede l'esistenza di numerosi sistemi di controllo *non* interconnessi.

Il primo passo è stato quello di rimuovere le macchine ormai obsolete (revamping) predisponendo l'ambiente alla successiva interconnessione. Nel corso del 2018 sono state sostituite 5 macchine (DCS e PLC) e predisposte le nuove realizzazioni (2 sezioni di impianto).

Il passo successivo, nel 2019, è stato caratterizzato dalla sostituzione di un'ulteriore macchina e dalla messa in funzione (interconnessione) del primo embrione del sistema. Il collegamento dei vari server ha permesso lo scambio di informazioni ed il popolamento di alcune pagine del MES CCP 4.0.

Nel 2020 sono stati aggiunti alla rete MES gli impianti produttivi dell'acido nitrico (Reparto AN) e di purificazione degli acidi bicarbosilici (Reparto

MAB), che, nel processo di produzione complessivo dello stabilimento di Novara, sono legati alla produzione dell'acido adipico. La programmazione di attività del 2021 prevede l'estensione della rete MES anche ai Reparti di produzione di idrogeno (Reparto H2) e di produzione della esametildiammina (Reparto EMD), in modo da interconnettere alla rete MES tutti gli impianti produttivi dello stabilimento.

Le prime due fasi del processo di digitalizzazione condotto dallo stabilimento Radici di Novara nel 2018 e 2019, hanno consentito di soddisfare i seguenti requisiti previsti dalla normativa I4.0:

- Requisito N° 2 - Interconnessione con i sistemi informativi di fabbrica;
- Requisito N° 3 - Integrazione di tipo informativo con la logistica.

Il soddisfacimento di tali requisiti è stato certificato da Certiquality e ha permesso di accedere agli incentivi di iperammortamento.

Inoltre, la disponibilità dei dati su MES e la facilità di analisi messa a disposizione da questo strumento ha consentito di individuare alcune aree di processo particolarmente energivore per le quali potrebbe essere vantaggioso realizzare interventi di efficientamento energetico basate su moderne tecnologie digitali di Controllo Predittivo di tipo MPC (Model Predictive Control) [13] che rappresentano un tipico esempio di sistemi cyberfisici applicati all'industria chimica. Allo stato attuale è stata completata l'analisi tecnica per stimare la fattibilità ed il ritorno dell'investimento sulla base dell'analisi dei dati storici di un anno e della loro varianza.

La disponibilità di informazioni fra reparti e funzioni è più rapido ed uniforme sia per i dati in tempo reale che per quelli di archivio. L'accesso ai flussi di informazione viene regolato in base alle funzioni ed i ruoli degli utenti. Un esempio di pagina elettronica consultabile con il sistema è riportato in Fig. 5.



Fig. 5 - Un esempio di pagina di consultazione

In conclusione l'utilizzo di un'unica piattaforma software, collocata idealmente ad un livello superiore rispetto ai vari sistemi informatici specifici (vedi Fig. 3), permette di avere una supervisione in modo uniforme delle attività di stabilimento (produzione, logistica, qualità, amministrazione, manutenzione - vedi Fig. 4) con il grande vantaggio, data la flessibilità di combinazione delle informazioni, di poter approfondire nel dettaglio temi o argomenti specifici.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M.I. Kohan, Nylon Plastics Handbook, C. Hanser Verlag, Monaco (D), 1995, 2-38.
- [2] G. Bertelotti, V. Capitelli, Dizionario delle Materie Plastiche, Tecniche Nuove, 2017, 165-167.
- [3] V.V. Korshak, T.M. Frunze, *Israel prog. for Transl.*, Jerusalem, 1964, 80.
- [4] R. Filippini Fantoni, I polimeri semicristallini: le poliammidi, Radicinovacips - BG, Rapporto interno, 2014, 15-39.
- [5] G. Fressi, Progettazione e interfacciamento di un Sistema di controllo Distribuito, Tesi di Laurea Università Roma Tre, Facoltà di Ingegneria, A.A. 2003-04, 51-64.
- [6] Continuous process control (ISA Practical Guides) cap.11: Control system architectures.
- [7] D. Popovic, V.P. Bhatkar, Distributed Computer Control Systems in Industrial Automation, CRC Press, 1990.
- [8] P. Bolzern, R. Scattolini, N. Schiavoni, Fondamenti di controlli automatici, McGraw-Hill Companies, giugno 2008.
- [9] www.eascon.it
- [10] MESA (Manufacturing Enterprise Solition Association) International - White Paper #02: MES Functionalities and MRP to MES Data Flow Possibilities.
- [11] ISA - ISA95, Enterprise-Control System Integration.
- [12] Ministero dello Sviluppo Economico-Agenzia delle Entrate - Circolare n. 4/E del 30/03/2017 pag. 108.
- [13] C.R. Cutler, B.L. Ramaker, Dynamic matrix control - A computer control algorithm, AIChE National Meeting, Houston, TX, April 1979.

An Industrial Digitization Project

Radici Chimica SpA is a company of RadiciGroup producing polyamide 66 and its chemical intermediates as end products. The chemical factory, located in Novara (Italy), started a project to improve the uniformity and the availability of the industrial site data collected from operations through the installation of new hardware and software for a complete supervision of the internal network. This work was realized in collaboration with Eascon Srl. The new software platform allows taking information from all the DCS (Distributed Control Systems) and PLC (Programmable Logic Controllers) controlling the plants and from the software used for the Administration, Logistic and Quality Control activities. The digital platform, accordingly to the rules Industry 4.0, allows the users to have an overview of processes but also to evaluate in detail the process parameters in order to increase its efficiency and quality.



OPPORTUNITÀ, SFIDE E FUTURO

La transizione digitale industriale rappresenta oggi una grande opportunità di innovazione e crescita ma anche una significativa sfida sia per le imprese che per il mercato del lavoro. La trasformazione necessita di significativi investimenti ma pure di un ripensamento delle attività produttive ed un riposizionamento dei ruoli operativi. Tutto questo mentre un nuovo balzo tecnologico si prospetta e la collaborazione uomo-robot diventa realtà.

Superare gli ostacoli per raggiungere i benefici

La Commissione Europea monitora l'evoluzione e la competitività digitale degli Stati membri, a partire dall'anno 2015, attraverso un parametro "riepilogativo" detto DESI: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/digital-economy-and-society-index-desi>.

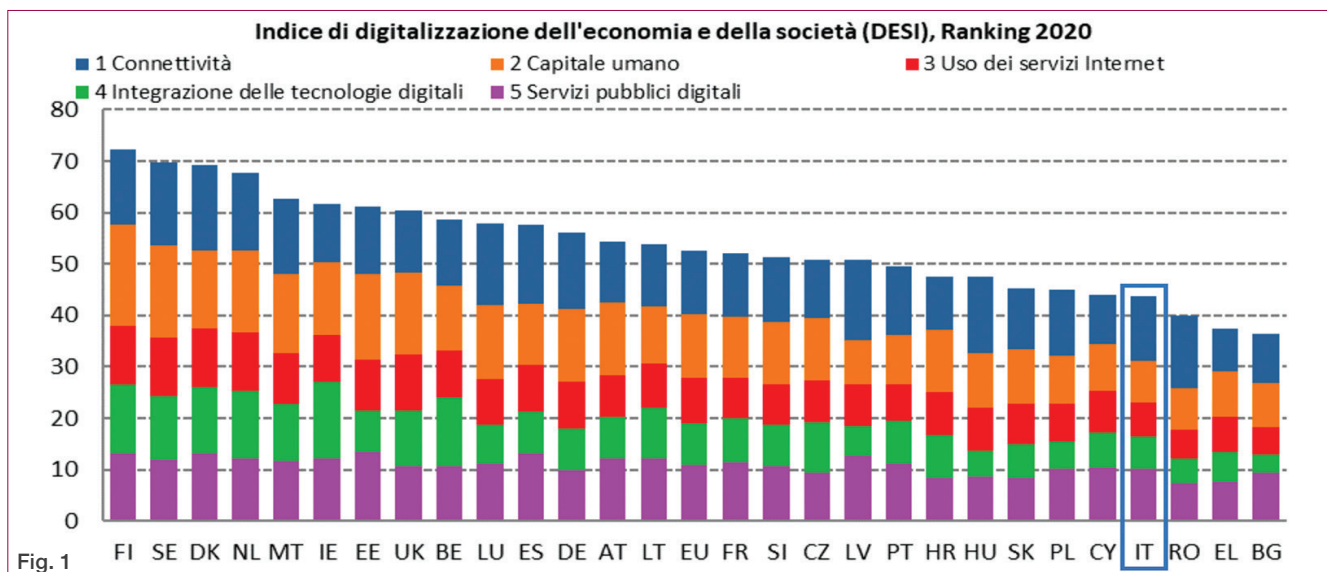
Come da Fig. 1, l'Italia si colloca al 25° posto fra i 28 Stati membri dell'UE rispetto a tale indice per l'anno 2020 (<https://www.assolombarda.it/centro-studi/the-digital-economy-and-society-index-desi-2020>). Il DESI è formato da 5 sottoindici relativi a specifici componenti della trasformazione digitale:

- connettività;

- capitale umano;
- uso dei servizi internet;
- integrazione delle tecnologie digitali;
- servizi pubblici digitali.

Tra questi sono sicuramente più rilevanti la connettività, dove l'Italia occupa il 17° posto in Europa, il capitale umano, o meglio la quantità di persone competenti in campo digitale, dove l'Italia occupa il 26° posto nella graduatoria europea e, infine, il principale da un punto di vista industriale, ossia l'integrazione delle tecnologie digitali dove ancora l'Italia, purtroppo, non va oltre il 22° posto.

Seppur il supporto governativo Impresa 4.0, o meglio oggi Transizione 4.0 (<https://www.mise.gov>).



[it/index.php/it/transizione40](https://www.ilsole24ore.com/art/pmi-italiane-e-digitalizzazione-serve-strategia-fatta-piccoli-passi-ABtl-6jIB?refresh_ce=1)), sia un'opportunità formidabile per accrescere la competitività del sistema produttivo del nostro Paese, tuttavia, un recente rapporto del Ministero per lo Sviluppo Economico indica che di media solo il 10% delle imprese italiane conta di inserire almeno una delle tecnologie alla base di Industria 4.0 nel prossimo triennio (https://www.ilsole24ore.com/art/pmi-italiane-e-digitalizzazione-serve-strategia-fatta-piccoli-passi-ABtl-6jIB?refresh_ce=1). Il problema non è la mancanza di conoscenze e mezzi: l'Italia è all'avanguardia nelle conoscenze scientifiche e la tecnologia è matura per poterle tradurre in azioni, come già si fa in altri Paesi. Quel che manca in Italia è la consapevolezza di quanto le azioni di digitalizzazione possano risultare utili ad un'azienda, e questa mancanza di conoscenza è più marcata per le imprese di dimensioni medio-piccole. Nel seguito sono riportati alcuni esempi e spunti relativi all'applicazione delle tecnologie abilitanti I4.0:

- <https://www.covestro.it/it-it/stories/digital-transformation-industria-chimica>;
- <https://www.eni.com/it-IT/attivita/italia-il-piano-di-trasformazione-digitale.html>;
- <https://www.anitec-assinform.it/aziende-associate/protagonisti/contro-il-covid-19-il-ruolo-determinante-della-digitalizzazione.kl>.

Tutti questi casi possono essere chiaramente tradotti in significativi valori economici.

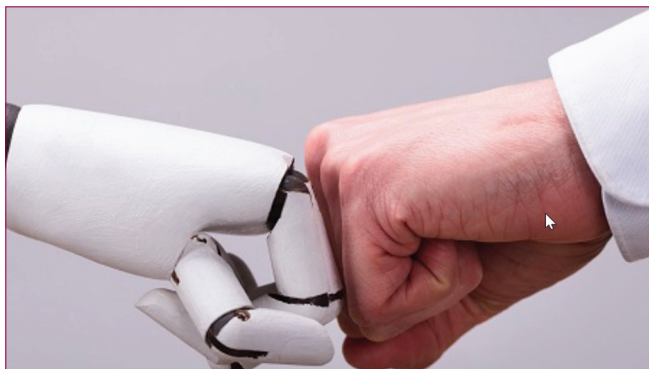
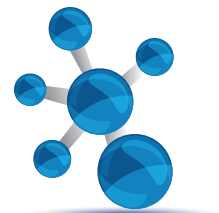
Tuttavia, non solo la grande impresa ma anche la Piccola Media Impresa (PMI) deve e può affrontare una serie di opportunità ma anche di sfide nell'adottare e beneficiare delle nuove tecnologie digitali per migliorare la propria produttività. La trasformazione digitale, come descritto in precedenza, offre nuove opportunità anche per le PMI come per la grande impresa, tuttavia, ci sono anche vari ostacoli per molte PMI nell'adottare nuove tecnologie digitali, ostacoli che riflettono sfide come la difficoltà di accesso ai finanziamenti per effettuare gli investimenti necessari o la mancanza di capacità chiave, in termini di risorse umane necessarie e/o di competenza gestionale. Inoltre, le PMI affrontano sfide specifiche nella gestione dei rischi per la sicurezza e la privacy digitale, principalmente a causa della mancanza di consapevolezza, risorse o competenze per valutare e gestire "attacchi informatici" in modo efficace e per rispettare le normative sulla protezione dei dati. Infine, una modesta o poco significativa adozione della tecnologia

digitale potrebbe anche riflettersi in minore disponibilità di incentivi da parte di alcune PMI che così potrebbero non essere in grado di trarre i giusti benefici dalla digitalizzazione rispetto a grandi aziende. Ovviamente, la trasformazione digitale delle imprese comporta necessariamente un processo di ricerca e sperimentazione di nuove tecnologie e modelli di business (https://blog.osservatori.net/it_it/digitalizzazione-pmi-italiane). In molte aziende nel mondo questo processo è stato un successo e ha portato ad una crescita nella produzione, nella vendita, nella sicurezza o nell'affidabilità degli impianti. Perché in molti casi italiani c'è delusione o addirittura fallimento? In generale dipende da due fattori: conoscenza/formazione e infrastrutture. I Paesi dove c'è un ambiente imprenditoriale evoluto, che valorizzi la trasformazione digitale facilitando l'accesso a risorse strategiche come finanza, competenze e conoscenza, possono essere in grado di cogliere meglio i benefici della trasformazione digitale rispetto a Paesi in cui tali disponibilità siano più difficili o lente. Inoltre, gli incentivi per sperimentare le tecnologie digitali comportano, comunque, incertezze e rischi. Tali incentivi devono essere però sfruttati e modulati da parte dell'azienda in modo oculato, cioè in base alla capacità di un rapido *scale-up* in caso di successo o alla prontezza nel ridimensionare le attività e la produzione con bassi costi in caso di fallimento nella sperimentazione [1].

Verso una nuova trasformazione industriale: I5.0

Ovviamente sono necessari specialisti con la giusta combinazione di competenze per intraprendere la trasformazione digitale e/o accedere agli incentivi di Transizione 4.0.

Produttori, consulenti di gestione ed esperti intervistati in vari Paesi europei considerano l'outsourcing come il modo migliore per gestire questa fase, sfruttando una base di competenze esistente ma integrandola con competenze esterne per assicurarsi delle competenze di ingegneria classica, di miglioramento dei processi gestionali, di informatica e di scienza dei dati, il tutto per supportare adeguatamente la trasformazione digitale. Le competenze e la cultura che è necessario sviluppare durante il passaggio all'Industria 4.0 necessitano sicuramente di qualche riflessione. Nel libro "The Employee Experience Advantage" [2] Jacob Morgan esamina le convenzioni su come lavoriamo oggi e su come evolverà il ruolo



dei dipendenti di domani. Egli pone in grande evidenza come la tecnologia e la sua evoluzione siano il driver principale della maggior parte dei nuovi comportamenti e delle nuove opportunità di lavoro che si presentano. Le competenze che avranno sempre più importanza e che diventeranno prevalenti durante l'evoluzione digitale, sono quelle relative alla "gestione" delle macchine intelligenti. Robot, macchine, processi intelligenti e autonomi sono il cuore della trasformazione digitale (<https://www.fabbricafuturo.it/industria-4-0-e-innovazione-robotica-la-collaborazione-uomo-macchina/>).

La quinta rivoluzione industriale I5.0, detta anche della "personalizzazione", sarà focalizzata sulla "cooperazione tra uomo e macchina" con la finalità dichiarata di far lavorare in armonia l'intelligenza umana con quella artificiale (<https://www.automationtomorrow.com/industria-5-0/>). La collaborazione tra uomini e robot punta allo sviluppo di un valore aggiunto in termini di produzione, ponendosi come obiettivo la creazione di prodotti personalizzati che rispettino le esigenze specifiche dell'utilizzatore. La versione 5.0 è, in definitiva, la naturale evoluzione dell'Industria 4.0, quella che tutt'oggi domina ancora il panorama delle piccole e medie imprese e che si basa su concetti "quasi desueti" (scientificamente parlando) di digitalizzazione e automatizzazione dei processi produttivi. Lo sviluppo delle tecnologie dell'informazione, della comunicazione e dell'intelligenza artificiale hanno condotto alla messa a punto dei sistemi definiti "Cyber-Physical", soluzioni chiave per la futura crescita.

Collaborazione e cooperazione sono parole ricorrenti nell'ambito dell'Internet Technology (IT) e saranno proprio tali aspetti a proiettare nel futuro l'epoca 4.0: con l'avvento della "personalizzazione" sarà possibile pensare a un nuovo modello di fabbrica che gli esperti chiamano "industria collaborativa", basato sull'integrazione uomo-robot.

Ed è proprio la ridefinizione dell'intervento umano nei processi produttivi a marcare il passaggio dall'Industria 4.0 a quella 5.0 o meglio l'industria del "Empowering People". Una ritrovata abilitazione e importanza dell'uomo nei processi automatizzati saranno passi strategici per la produzione di prodotti di qualità come per la personalizzazione dei beni o dei servizi offerti ai clienti. In un quadro del genere, assumono quasi un carattere profetico le parole di Esben H. Østergaard, fondatore e direttore tecnico della Universal Robot, che nel corso della fiera di Hannover del 2017, in cui il tema portante era l'Industria 4.0, affermò l'importanza del cosiddetto "human touch" all'interno dei processi manifatturieri (<https://www.isa.org/intech-home/2018/march-april/features/welcome-to-industry-5-0>). Il CTO della Universal Robot pare, infatti, avere le idee molto chiare sulla strada da seguire per far decollare l'industria 4.0 e quella conseguente della personalizzazione. Secondo il suo parere, facendo seguito anche a quanto affermato da J. Morgan, occorre affidare ai Cobot (robot collaborativi) le "tre D (dull, dangerous and dirty jobs)" e rivalutare l'intelligenza creativa e l'esperienza dell'uomo, le uniche in grado di penetrare i misteri del "problem solving" e carpire, anche in anticipo, le tendenze dei mercati e/o i gusti degli utenti. A beneficiare di questo sistema di cooperazione uomo-AI sarebbero, innanzitutto, i lavoratori, che ne guadagnerebbero in termini di salute e sicurezza sul posto di lavoro. In secondo luogo, i cicli di progettazione e produzione ne uscirebbero particolarmente velocizzati, andando a incrementare la competitività aziendale.

BIBLIOGRAFIA

- [1] D. Mazzone, Digital or Death, Smashbox Consulting Inc., Mississauga (Canada), 2014.
- [2] J. Morgan, The Employee Experience Advantage, J. Wiley, New York, 2017.

Digitalisation: Opportunities, Challenges and Future

The industrial digital transition today represents a great opportunity for innovation and growth but also a significant challenge for both companies and the labor market. The transformation requires significant investments but also a rethinking of production activities and a repositioning of operational roles. All this while a new technological leap is ahead and human-robot collaboration is becoming reality.



Alessandra Sivo, Nicolò Manfredini, João Medeiros Garcia Alcântara,
Juri Ilare, Matteo Maraldi, Davide Moscatelli, Gianvito Vilé
Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta"
Politecnico di Milano
gianvito.vile@polimi.it

FLOW CHEMISTRY E CATALISI “A SINGOLO SITO ATTIVO”: RISORSE PER LA SINTESI FARMACEUTICA

Le sintesi chimiche sono influenzate dall'uso di adeguate tecnologie reattoristiche. In questo contesto si inserisce la flow chemistry, un approccio sintetico nel quale le reazioni vengono condotte usando microreattori anziché sistemi batch. In questo articolo sono trattati alcuni esempi dei miglioramenti apportati dall'uso di tecniche flow per preparare composti per l'industria farmaceutica, con un'attenzione alla sintesi di molecole utili nell'epidemia da SARS-CoV-2. Viene anche riportata in dettaglio l'importanza di guardare alle diverse scale di una reazione chimica, in modo da integrare sviluppi in catalisi con l'uso di tecniche microreattoristiche.

Introduzione

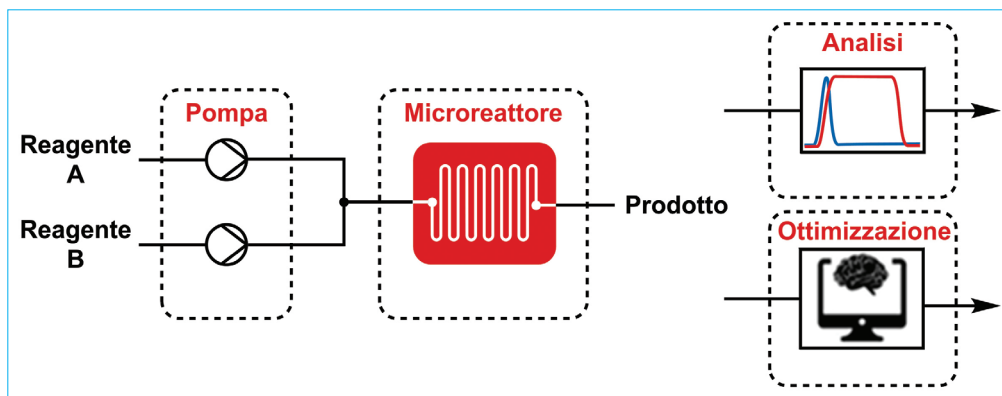
Da sempre i processi chimici mediano trasformazioni fondamentali e contribuiscono alla produzione di sostanze chimiche e farmaceutiche, allo stoccaggio di energia e al risanamento ambientale. Ad esempio, il processo cloro-soda per ottenere il cloro attraverso metodi elettrochimici è stato introdotto per l'elevata domanda di sapone. La possibilità di produrre fertilizzanti artificiali è stata realizzabile grazie al processo Haber-Bosch che ha permesso la conversione dell'azoto in ammoniaca. Sviluppi nei metodi di fermentazione e liofilizzazione hanno contribuito alla produzione di insulina pura per il trattamento

del diabete di tipo I. Questi nuovi processi produttivi sono stati facilitati dallo sviluppo, dall'ottimizzazione e dall'uso di tecniche di base dell'ingegneria chimica (i.e., materiali, operazioni unitarie, approcci chimico-fisici). Oggi siamo di fronte a grandi sfide tecnologiche: per ridurre l'impatto ambientale e rispettare pressanti normative comunitarie, è sempre più necessario riconvertire vecchi processi produttivi con produzioni efficienti e sostenibili. La *flow chemistry* e l'ingegneria su nanoscala dei microreattori si adattano meglio alle richieste della società e possono contribuire a rendere alcuni settori dell'industria chimica (come, ad esempio, quello farmaceu-

Gianvito Vilé è risultato vincitore del Premio Felder 2020.

Il Premio Felder è stato istituito da Fondazione Bracco per celebrare il grande scienziato, a capo della ricerca del Gruppo, che ha scoperto lo Iopamidolo, mezzo di contrasto non ionico che ha rivoluzionato la diagnostica per immagini a livello mondiale. Grazie allo stanziamento di un milione di euro da parte di Fondazione Bracco e alla collaborazione del Politecnico di Milano e della Fondazione Politecnico di Milano, obiettivo del premio è permettere a un ricercatore di talento di rientrare in Italia per realizzare un progetto nel settore della microfluidica in campo farmaceutico e, allo stesso tempo, favorire la nascita nel nostro Paese di un centro di eccellenza che diventi un polo di attrazione per giovani esperti di queste tematiche.





Schema 1 - Immagine schematica di un processo *flow chemistry*

tico o della chimica fine e di specialità) puliti, sicuri, sostenibili e meno costosi.

La *flow chemistry* è una tecnologia che permette di produrre sostanze chimiche usando reattori in continuo. A differenza di produzioni tradizionali, in cui vengono usati reattori *batch*, nelle tecniche *flow* i reagenti vengono pompati all'interno di tubi dal diametro di pochi millimetri, dove fluiscono e reagiscono tra loro in condizioni controllate di temperatura, pressione, miscelazione e tempo di residenza (Schema 1): le caratteristiche strutturali dei microreattori, ingegnerizzati per ottimizzare le cinetiche e i fenomeni di scambio, sono alla base della maggior velocità e selettività delle reazioni, che garantiscono una notevole efficienza di produzione.

Sebbene l'uso di reattori di questo tipo sia ormai consolidato nell'industria petrolchimica, è solo da pochi anni che tecniche "in continuo" iniziano ad essere adottate nell'industria farmaceutica. Un grande incoraggiamento è arrivato dalla *Food and Drug Administration (FDA)*, l'ente americano che si occupa della regolamentazione e dell'approvazione di prodotti alimentari e farmaceutici, la quale ha rilasciato nel 2019 nuove linee guida sulle Norme di Buona Fabbricazione (GMP), raccomandando l'uso della *flow chemistry* per la sintesi di composti farmaceutici:

questo per accelerare la produzione, ottimizzare il controllo dei processi, migliorare la qualità dei prodotti, ridurre l'impatto ambientale e contribuire al raggiungimento dell'obiettivo "zero rifiuti" previsto dalle Nazioni Unite. Il grande impatto che questa tecnologia sta avendo su tutto il mondo della chimica è dovuto all'importanza che assume la stessa ingegneria delle reazioni. Le tradizionali sintesi in *batch* sono spesso limitate dalle dimensioni dei reattori, che rendono difficoltosi i processi di *scale up* a causa di disomogeneità di temperatura, meccanismi di miscelazione non noti o poco efficienti, formazione di hot-spot potenzialmente pericolosi (soprattutto nel caso di reazioni fortemente esotermiche). Riducendo le dimensioni del reattore si aumenta da un lato il rapporto superficie-volume, ottenendo condizioni di trasporto più efficienti, e dall'altro si ha un contenimento più controllato in caso di reazioni pericolose. Un esempio sono le reazioni ad alta temperatura (come la sintesi di azidi al di sopra delle condizioni di runaway), dove il rischio di esplosione si riduce drasticamente poiché solo una piccola quantità di materiale reagisce in ogni istante, pur permettendo la produzione di grandi quantità di prodotto grazie alle condizioni di flusso continuo.



Fig. 1 - Confronto dello spazio impiegato per un impianto batch (A) e un impianto di chimica in flusso (B)

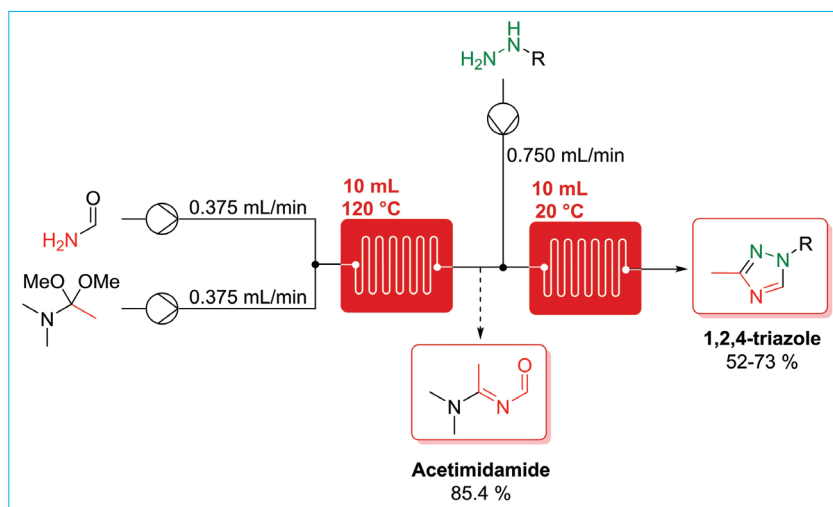
Su scala industriale, se per le sintesi tradizionali con reattori *batch* lo scale-up può richiedere un lungo lavoro di ottimizzazione, nel caso della chimica in flusso, lo scale-up è immediato e consiste in un semplice prolungamento del tempo di pompaggio dei reagenti. Poiché è spesso lo stesso sistema usato sia in fase di sviluppo che in quella di scale-up, questo porta anche ad un drastico ridimensionamento degli impianti produttivi (Fig. 1).

Anche l'integrazione dei microreattori con sistemi di analisi in linea può rendere più efficienti i cicli di progettazione molecolare e semplificare il monitoraggio della qualità dei prodotti, in linea con moderne tecniche di *quality by design* e *quality assurance* [1]. Pertanto, in un periodo storico in cui l'esigenza di rispondere prontamente alle epidemie globali è fondamentale per l'industria, la flessibilità di produzione garantita dalla tecnologia microfluidica, unita all'aumento di produttività e alla maggior sicurezza dei processi, sembra essere la risposta più adeguata a fronteggiare le richieste del mercato, andando anche verso un tipo di chimica più verde e circolare [2]. Il nostro laboratorio è attivo da diversi anni nell'uso di tecniche *flow chemistry* per la sintesi di intermedi di grande interesse industriale. Un esempio è la sintesi di triazoli in condizioni continue (Schema 2) [3]. In questo processo one-pot, il passaggio critico è rappresentato dalla formazione dell'anello triazolico che, in flusso, avviene con alte rese e buona selettività, evitando costose purificazioni cromatografiche.

Applicazione della *flow chemistry* nella sintesi di farmaci anti-coronavirus

Tra le diverse applicazioni della *flow chemistry*, importanti sono state quelle recenti per la produzione di farmaci anti-pandemici. Il 2020 è stato un anno fondamentale per l'industria chimica: era il 31 dicembre 2019 quando le autorità sanitarie cinesi parlarono di un focolaio di una misteriosa polmonite a Wuhan, che poi si sarebbe scoperto essere causata dal virus SARS-CoV-2. Da allora il virus ha infettato in tutto il mondo (nel momento in cui gli autori scrivono) 82 milioni di persone, provocando 2 milioni di morti.

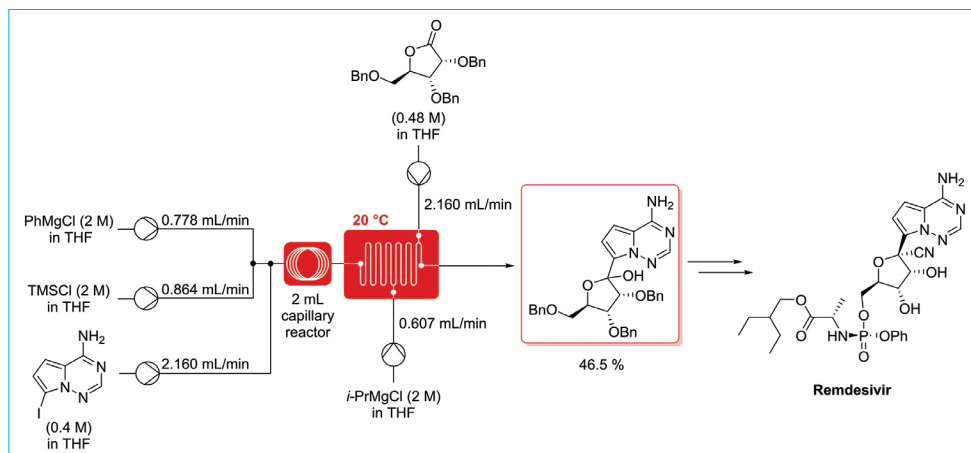
Il primo farmaco per il trattamento del SARS-CoV-2 è stato il Remdesivir, una *small molecule* antivirale appartenente alla classe degli analoghi nucleotidici ed efficace per alleviare malattie causate da virus Ebola e virus Marburg. Anche in questo caso, la *flow chemistry* si è dimostrata di vitale importanza nella produzione su larga scala di questo composto. Nella sintesi del Remdesivir, uno dei problemi principali viene riscontrato durante la reazione di C-glicosilazione di una pirrolotriazinammina *via* scambio metallo-alogeno, step che necessita di condizioni ottimali di trasferimento di materia. Nel passaggio dalla sintesi da *batch* a *flow*, si sono riscontrati diversi vantaggi pratici [4]. Si è visto che la formazione del precipitato solido di sali di HCl durante la miscelazione dei reagenti può essere evitata attraverso una premiscelazione del trimetilsililcloruro (TMSCl) con fenilmagnesiocloruro (PhMgCl) prima di aggiungere la pirrolotriazinammina. Questo istantaneamente blocca la formazione di HCl e, in tal modo, l'azoto basico della pirrolotriazinammina rimane libero (Schema 3). Dopo la premiscelazione, segue l'aggiunta dell'eterociclo iodurato, quindi del *iPrMgCl* e del 2,3,5-tri-O-benzil-D-ribonolattone elettrofilo. Lo scambio Mg-I è eccezionalmente veloce e permette di operare con un tempo di permanenza di soli 2,6 s e con un tempo di residenza totale di soli 56 s per la sequenza totale dei 3 passaggi di reazione. Avere tempi



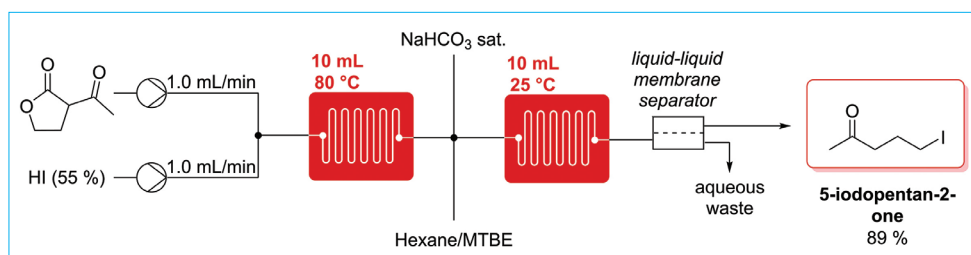
Schema 2 - Schema di sintesi di triazoli variamente sostituiti in condizioni di flusso continuo

di residenza di soli 2,6 s e con un tempo di residenza totale di soli 56 s per la sequenza totale dei 3 passaggi di reazione. Avere tempi

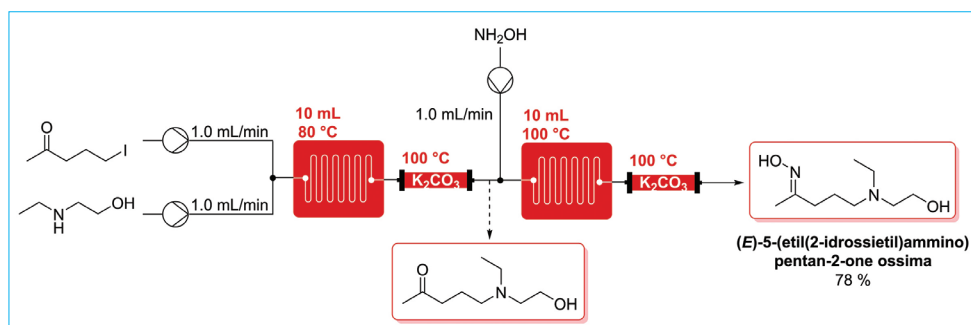
di residenza di soli 2,6 s e con un tempo di residenza totale di soli 56 s per la sequenza totale dei 3 passaggi di reazione. Avere tempi



Schema 3 - Rappresentazione del processo sintetico in flusso del Remdesivir



Schema 4 - Sintesi in flusso del primo intermedio nella sintesi dell'idrossiclorochina



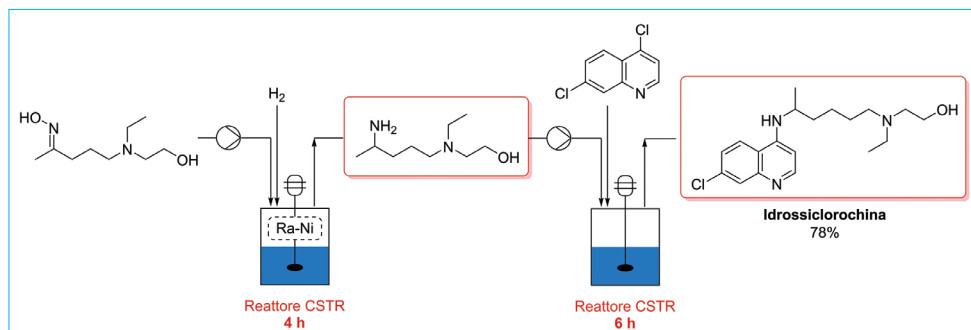
Schema 5 - Sintesi in flusso del secondo e del terzo intermedio nella sintesi dell'idrossiclorochina

di reazione di pochi secondi è possibile soltanto lavorando su dei microreattori. Infatti, reazioni caratterizzate da cinetiche veloci, come le reazioni organometalliche, se condotte in batch, richiedono tempi maggiori a causa dell'aggiunta "goccia a goccia" del reagente organometallico, a causa del carattere fortemente esotermico della reazione. La maggior efficienza nel trasferimento di calore permessa nei reattori in flusso aumenta la velocità necessaria per realizzare il processo, oltre a consentire di operare a temperature più alte (se com-

parate a quelle richieste in batch).

Anche la sintesi dell'idrossiclorochina, un antimalarico utile per il trattamento del virus SARS-CoV-2, è stata realizzata tramite l'approccio in continuo [5]. Partendo dalla sintesi del 5-iodopentan-2-one in cui, una soluzione al 55% di acido iodidrico reagisce con il 3-acetilididrofuran-2(3H)-one, ottenendo il prodotto con una resa isolata del 89% (Schema 4). L'eccesso di HI viene rimosso prima dello step successivo tramite un'estrazione in linea con metil *ter*-butil-etero (MTBE), per ottenere il prodotto purificato nella fase organica, il quale reagisce rapidamente e senza reazioni collaterali a dare il 5-(etil(2-idrossietil)ammino)pentan-2-one. Questo intermedio viene fatto passare all'interno di un reattore a letto impaccato di K_2CO_3 , dove incontra un flusso di idrossilammina. Tale reazione fornisce l'ossima corrispondente (Schema 5). Segue quindi l'amminazione riduttiva dell'ossima, condotta in un reattore di tipo CSTR, usando come catalizzatore Nichel-Raney a 80 °C. Il 2-((4-amminopentil)etil)ammino)etan-1-olo, prodotto con una resa isolata finale del 68%, per reazione con la 4,7-diclorochinolina in un reattore a flusso continuo di tipo CSTR, viene convertito nell'idrossiclorochina desiderata (Schema 6).

Nei processi in flusso, fondamentale è la scelta del giusto tipo di reattore [6]. Al giorno d'oggi è possibile trovare, o costruire tramite stampanti 3D,



Schema 6 - Step finali della sintesi dell'idrossiclorochina in flusso

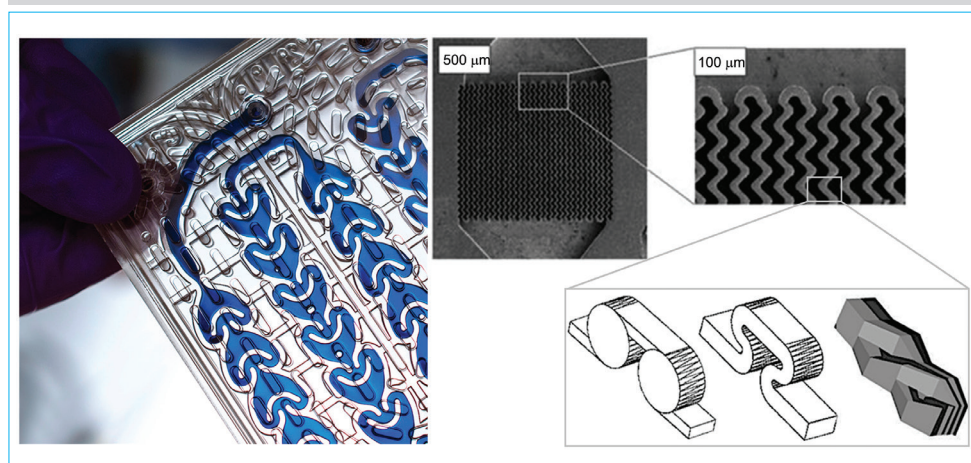


Fig. 2 - Esempi di geometrie adatte a microreattori in flusso

reattori con caratteristiche specifiche per qualsiasi necessità: il volume del reattore è modulabile variando la lunghezza o il diametro interno. Questo controlla il “tempo di residenza”, parametro chiave di reazione attraverso il quale è possibile massimizzare la resa di un processo. Una geometria molto interessante è quella che prevede l’inserimento di micromixer all’interno del reattore stesso

no lottando per far fronte all’aumento esponenziale della domanda da parte di ospedali, case di cura, aziende e settore pubblico in generale. Al Politecnico è nato quindi il progetto “Polichina” con l’obiettivo di ovviare a questa mancanza di soluzione igienizzante con una sua sintesi in continuo. Questo è stato il primo processo in continuo di grandi volumi per la produzione di una soluzione igienizzante realizzata in un

campus universitario italiano. Nello specifico, è stato possibile in pochi giorni realizzare nei laboratori didattici del Politecnico di Milano un impianto in continuo per la produzione di oltre 100 mila litri di soluzione disinfettante. Tale prodotto è stato quindi distribuito in modo gratuito a centinaia di istituzioni del nord Italia. In primo luogo, sono state riprodotte sperimentalmente le due ricette in lotti (Tab. 1) suggerite dall’Or-

Formulazione 1		Formulazione 2	
Prodotto chimico	Contenuto [% v/v]	Prodotto chimico	Contenuto [% v/v]
Etanolo 96%	83,33	Alcool isopropilico 99,8%	75,15
Perossido di idrogeno 3%	4,17	Perossido di idrogeno 3%	4,17
Glicerolo 98%	1,45	Glicerolo 98%	1,45
Acqua distillata sterile	11,05	Acqua distillata sterile	19,23

Tab. 1 - Percentuali volumetriche per ogni reagente, come suggerito dall’OMS per la produzione della “Polichina”. Due formulazioni diverse, ma con simili proprietà disinfettanti, sono possibili

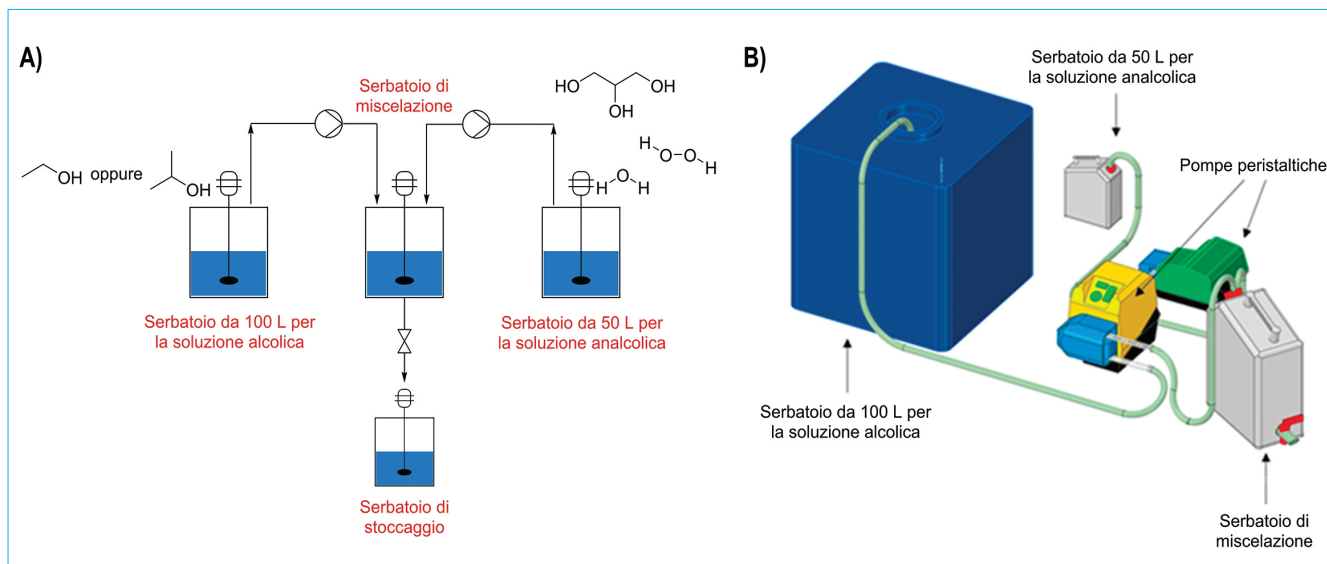
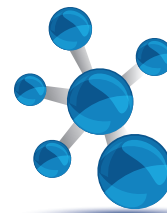


Fig. 3 - Schema di reazione (A) e vista schematica 3D dell'impianto (B) per la produzione della Polichina

ganizzazione Mondiale della Sanità (OMS) [7]. Tutte le soluzioni prodotte sono state attentamente controllate mediante un alcolometro al fine di valutare la qualità della soluzione disinfettante prima della loro distribuzione. In particolare, l'OMS riporta una variazione massima tollerabile pari a $\pm 5\%$ rispetto alla percentuale di alcool puro suggerito dalle ricette riportate in Tab. 1 (i.e., 80 vol.% e 75 vol.% per etanolo e alcool isopropilico, rispettivamente). Il glicerolo e il perossido di idrogeno vengono quindi introdotti come umettanti e per inattivare le spore batteriche contaminanti la soluzione. Anche in questo caso, la sintesi batch soffre di molte limitazioni in termini di produttività e sicurezza. Infatti, a fronte di una richiesta crescente di disinfettante, è stato necessario lavorare su grandi volumi. Condurre la sintesi in batch porta, tuttavia, a possibili rischi di sicurezza. Infatti, va tenuto presente che i vapori degli alcoli sono infiammabili se entrano in contatto con sorgenti elettriche o parti meccaniche. In più, la sintesi prevede l'uso di H_2O_2 , un ossidante altamente pericoloso e potenzialmente esplosivo se entra in contatto con materiali organici, catalizzatori o impurità di vario tipo, decomponendosi e liberando violentemente acqua e ossigeno ($2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$). Questa sostanza, inoltre, è corrosiva per la pelle, gli occhi e le mucose ad alte concentrazioni (>10 vol.%). Per questi motivi si è deciso di trasferire la produzione di Polichina in modalità

continua. Ciò ha permesso di aumentare la produttività, facendo quindi fronte in modo eccellente alla crescente domanda di igienizzante e allo stesso tempo riducendo i rischi relativi alla produzione. La Fig. 3 mostra una rappresentazione schematica dell'impianto di produzione continua su piccola scala. L'intera struttura si basa su un reattore principale a serbatoio continuo (CSTR) da 30 L alimentato in continuo da due pompe peristaltiche. La prima pompa serve per movimentare la soluzione alcolica (contenuta in un serbatoio da 100 L), mentre la seconda è adatta alla soluzione acquosa di perossido di idrogeno-glicerolo (contenuta in un serbatoio da 50 L). Il serbatoio di miscelazione viene scaricato in continuo tramite una valvola e il prodotto finale viene confezionato in modo automatico e integrato in serbatoi di stoccaggio da 5 o 25 L. Per evitare qualsiasi deposito solido all'interno del serbatoio principale, è stato montato un filtro da 100 μm all'uscita dei tubi. Il serbatoio per la soluzione alcolica è stato riempito utilizzando etanolo o alcool isopropilico, e la soluzione non alcolica è stata preparata secondo le concentrazioni riportate in Tab. 2, a seconda della formulazione desiderata. L'alimentazione della soluzione acquosa di perossido di idrogeno-glicerolo è particolarmente conveniente poiché il glicerolo concentrato è un liquido ad alta viscosità che richiederebbe costose pompe peristaltiche *ad hoc* per essere alimentato.

Formulazione 1				Formulazione 2			
Composto	Pompa	Contenuto [% v/v]	Velocità di flusso (L h ⁻¹)	Composto	Pompa	Contenuto [% v/v]	Velocità di flusso (L h ⁻¹)
Etanolo 96%	A	-	604,8	Alcool isopropilico 99,8%	A	-	545,4
Perossido di idrogeno 3%	B	25,01	121,8	Perossido di idrogeno 3%	B	16,77	180,0
Glicerolo 98%		8,70		Glicerolo 98%		5,82	
Acqua distillata sterile		66,29		Acqua distillata sterile		77,41	

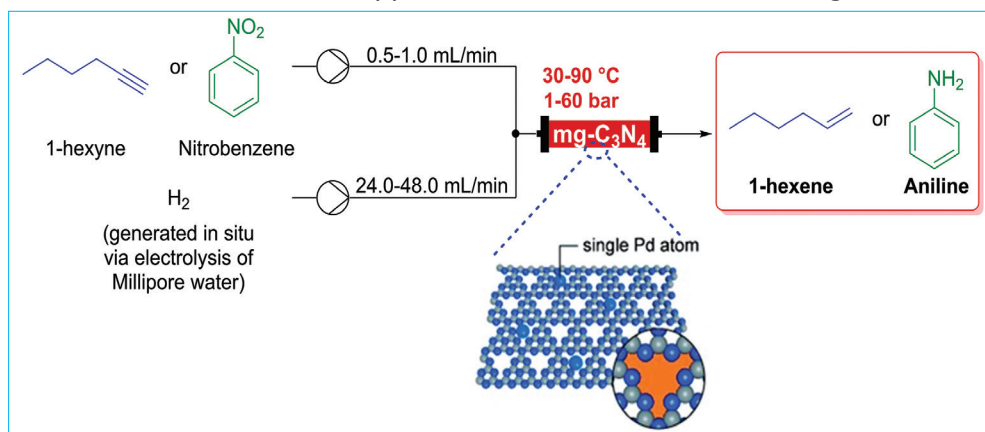
Tab. 2 - Condizioni sperimentali utilizzate per la sintesi della "Polichina"

Nuovi catalizzatori per la sintesi in continuo di intermedi farmaceutici

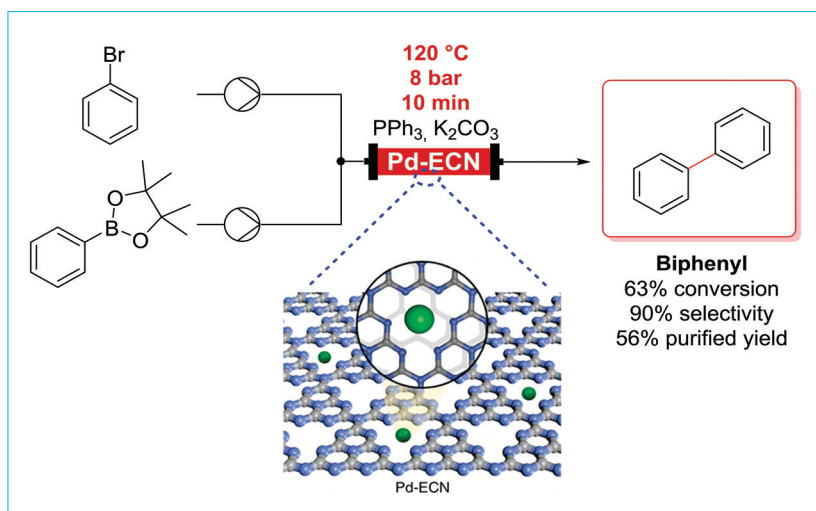
Come visto in alcuni esempi sopra, i microreattori offrono un'importante funzione nel fornire ambienti adatti per varie reazioni chimiche. A volte, però, sono anche i catalizzatori a modificare il percorso di reazione, migliorando ulteriormente l'efficienza del processo e offrendo sintesi selettive. Sebbene reattori e catalizzatori interagiscano l'uno con l'altro, spesso in ambito accademico sono sviluppati in modo distinto. Le ricerche sui catalizzatori si concentrano principalmente su metodi di preparazione, meccanismi di reazione e prestazioni strutturali. Le ricerche sui microreattori sono dedicate alle applicazioni in sintesi organica. Il nostro laboratorio di Intensificazione di Processo al Politecnico di Milano ha tra i suoi obiettivi quello di migliorare i processi di integrazione catalizzatore-reattore, in modo da controllare più efficacemente il decorso delle reazioni stesse. Pertanto, il laboratorio è attento allo sviluppo di materiali funzionali che possano essere integrati in modo sinergico in microreattori, per sintesi chimiche superiori di interesse farmaceutico. È il caso, questo, della scoperta e dello sviluppo dei primi catalizzatori "a singolo sito attivo", di cui il nostro laboratorio è tra i pionieri. Un esempio è quello del-

le reazioni di idrogenazione in continuo in cui, dopo la preparazione di un catalizzatore a "singolo atomo" a base di palladio, è stata valutata l'efficienza dello stesso in una serie di reazioni condotte in flusso (Schema 7). Il catalizzatore, ottenuto con un processo di ancoraggio dell'atomo di palladio nelle cavità di un polimero di C₃N₄, è stato caratterizzato approfonditamente. Le reazioni di idrogenazione condotte su alchini e nitroareni hanno dimostrato l'elevata efficienza catalitica e l'ottima selettività di questo tipo di materiale, che supera le performance dei catalizzatori classici (Pd/Al₂O₃, Pd-Lindlar, Pd/monoliti, etc.) [8].

Allo stesso modo, le reazioni di Suzuki sono comuni in ambito chimico. In queste reazioni, uno degli aspetti critici è la purificazione dei prodotti per rimuovere il catalizzatore omogeneo (*i.e.*, Pd-tetrakis). Molte strade sono state percorse al fine di cercare una soluzione e una valida alternativa è rappresentata dai catalizzatori a "singolo atomo".



Schema 7 - Reazione di idrogenazione con mg-C₃N₄ in condizioni di flusso continuo



Schema 8 - Reazioni di cross coupling con Pd-ECN in condizioni di flusso continuo

Anche in questo caso, specie isolate di Pd atomico sono ancorate a strutture di C₃N₄. Questi catalizzatori eterogenei risultano quindi altamente chemoselettivi, compatibili con molti gruppi funzionali (vantaggio finora attribuito esclusivamente ai catalizzatori omogenei) e stabili nel tempo, permettendo anche un riciclo del catalizzatore (Schema 8) [9].

Conclusioni

La *flow chemistry* sta rivoluzionando il mondo della chimica, soprattutto per le sue caratteristiche che consentono produzioni snelle e in continuo, una riduzione dei costi e dell'impatto ambientale e uno scale-up facilitato. La flessibilità di questi microreattori apre la strada a nuove possibilità, come quella di studiare meccanismi interconnessi tra catalisi e reattori chimici, per reazioni altamente rilevanti per l'industria farmaceutica. Infine, la flessibilità dei processi in flusso si è rivelata utile nell'attuale situazione di emergenza, per preparare farmaci per il SARS-CoV-2, quali il Redemesvir e l'idrossiclorochina, e disinfettanti per le mani, come il processo messo a punto dal Politecnico di Milano. La chimica in flusso gioca un ruolo fondamentale anche in un'ottica di sostenibilità, per la valorizzazione dei prodotti di scarto dell'industria chimica e farmaceutica. Questo settore, in grande espansione negli ultimi anni, è fortemente supportato dai progressi nel campo della chimica in flus-

so. I materiali di scarto dell'industria possono essere riutilizzati e diventare utili *building blocks* nella sintesi in *flow* di prodotti farmaceutici.

Bibliografia

- [1] D. Cambié, C. Bottecchia *et al.*, *Chem. Rev.*, 2016, **116**, 10276.
- [2] L. Malet-Sanz, F. Susanne, *J. Med. Chem.*, 2012, **55**, 4062.
- [3] S. Tortoioli, A. Friedli *et al.*, *Green Chem.*, 2020, **22**, 3748.
- [4] T. von Keutz, J.D. Williams, C.O. Kappe, *Org. Process Res. Dev.*, 2020, **24**, 2362.
- [5] E. Yu, H.P.R. Mangunuru, *Beilstein J. Org. Chem.*, 2018, **14**, 583.
- [6] M.C. Maier, R. Lebl *et al.*, *React. Chem. Eng.*, 2019, **4**, 393.
- [7] World Health Organization (WHO), "Guide to Local Production: WHO-recommended Handrub Formulations", 2010.
- [8] G. Vilé, D. Albani *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2015, **54**, 11265.
- [9] Z. Chen, E. Vorobyeva *et al.*, *Nat. Nanotechnol.*, 2018, **13**, 702.

Flow Chemistry and "Single-Atom" Catalysis: Resources for the Pharmaceutical Synthesis

Chemical syntheses are influenced by the use of appropriate reactors. Flow chemistry, a synthetic approach in which reactions are carried out in microreactors rather than batch systems, fits well to this context. This article discusses some examples of the improvements brought by the use of flow techniques, in order to prepare molecules for the pharmaceutical industry. A particular attention is paid to the synthesis of compounds useful for the SARS-CoV-2 pandemic. Finally, we also describe the importance of bridging the different scales of a chemical reaction, integrating developments in catalysis with the use of microreactors.



Grégoire Crini^a, Chiara Mongioví^{a,b}, Vincent Placet^c,
Cesare Cosentino^d, Bernard Martel^e, Corina Bradu^f, Nadia Morin-Crini^a

^aChrono-Environnement, Besançon (F)

^bUniversità degli Studi di Bari "Aldo Moro"

^cFemto-St, Besançon (F)

^dIstituto di Chimica G. Ronzoni, Milano

^eUMET, Università di Lille (F)

^fProtmed, Bucarest (RO)

gregorio.crini@univ-fcomte.fr

FELTRO DI LINO COME MATERIALE ADSORBENTE PER IL TRATTAMENTO DELLE ACQUE CONTAMINATE DA METALLI

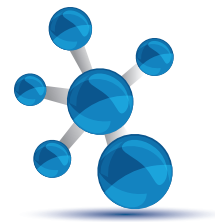
Nell'ottica di un'economia circolare ed ecologica, i prodotti a base di fibre naturali d'origine vegetale, come il lino, suscitano grande interesse in virtù della loro vasta applicabilità in diversi campi industriali. Tuttavia, nel settore del trattamento delle acque reflue, non esiste ancora alcuna applicazione concreta. In questo studio, si propone per la prima volta l'utilizzo di feltri in lino per il trattamento di acque contaminate da metalli.



Fin dall'antichità l'uomo ha coltivato piante vegetali al fine di estrarne fibre e semi da impiegare nel settore tessile, alimentare ed edilizio. Oltre al cotone, il quale riveste il ruolo primario nel mercato odierno, esistono altre varietà di colture che permettono di produrre fibre vegetali, come la canapa, la juta (canapa del Bengala), il kenaf (pianta delle zone tropicali umide chiamata canapa Deccan),

l'abaca (banano, canapa di Manila), il lino europeo, il phormium (lino della Nuova Zelanda), il kapok (fibra estratta dai frutti di numerosi alberi tropicali), il ramiè (estratto dalla corteccia dell'ortica della Cina), la noce di cocco, le fibre d'ananas, il baobab africano, le palme (paja toquilla dell'America del Sud, rafia del Madagascar), l'agava sisalana (pianta messicana, già impiegata dagli Aztechi), o ancora l'alfa (pianta erbacea dell'Africa del Sud). Le fibre vegetali possono essere estratte da diverse parti della pianta, come lo stelo (per la canapa e lino), i semi (per il cotone), le foglie (per il sisal) o la corteccia (cocco) [1].

Tra tutte queste piante erbacee annuali, raggruppate sotto il nome di «piante industriali», il lino tessile occupa un posto sempre più importante nell'ambito del quotidiano e della ricerca. Il lino è stato una delle prime piante ad essere raccolto, filato e tessuto per realizzare stoffe (usate per vestiti e lenzuola). Gli Egizi, ad esempio, lo utilizzavano



per confezionare le bende imputrescibili con cui avvolgevano le mummie. Come anche la canapa, era, inoltre, utilizzato per fabbricare le tele dei quadri, le vele delle navi o le corde. Attualmente le fibre di lino sono impiegate non solo nella produzione di tessuti, ma anche di banconote e carta per sigarette, materiali per automobili (dove sono mescolate a fibre sintetiche di polipropilene), isolanti, attrezzature sportive (caschi delle biciclette) e per prodotti geotessili antierosione. I semi di lino o di canapa, invece, sono impiegati per ottenere farina ed oli per il settore agro-alimentare (alimentazione sia umana sia animale), cosmetici o prodotti chimici (rivestimento del pavimento, tappeti). Al lino sono state, inoltre, attribuite virtù terapeutiche: è, infatti, usato come lassativo o come calmante contro le vampate di calore.

I canapuli (steli legnosi) di lino possono servire per la fabbricazione di materiali da costruzione ecologici, per la pacciamatura orticola, nelle lettiere per animali, o per produrre energia.

Malgrado tutte queste applicazioni, il lino è un materiale ecosostenibile ancora sottostimato. Inoltre, non esistono applicazioni concrete nel settore ambientale, specialmente nel trattamento delle acque reflue. Ad ogni modo, quest'ultimo è un settore di ricerca che interessa fortemente la comunità scientifica poiché il lino è un materiale ecologico, di facile produzione, a buon mercato, con delle fibre riconosciute per la loro solidità e, come per la canapa e altre fibre vegetali, capace di interagire con dei metalli presenti in soluzione acquosa attraverso dei processi di decontaminazione come l'adsorbimento solido/liquido [1].

La materia prima: il lino

Il lino era in origine una pianta selvatica del genere *Linum* che comprende più di 200 specie. Attualmente il lino coltivato fa parte della famiglia delle Linaceae, della specie *Linum usitatissimum* L. (che significa lino molto usato) [2]. Questa è la specie più coltivata in virtù della sua notevole produttività, della sua maturazione precoce e della buona resistenza alle malattie (si parla sempre di lino per fibre o lino tessile). Il lino è, in effetti, una pianta annuale a crescita rapida che impiega 100 giorni

per maturare (150 giorni per il lino oleaginoso). In generale possiede fiori di colore blu, a volte leggermente tendenti al viola (la durata di vita di questi fiori è di qualche ora; diventano, poi, dei frutti della grandezza di ceci). Questa specie di lino è la più produttiva, ma esiste anche del lino dai fiori bianchi. Il lino tessile raggiunge in media 1 metro di altezza (può arrivare a misurare anche più di 1,20 m) e con un diametro dello stelo da 0,5 a 1 cm. La pianta può sviluppare radici fino a 1,5 m di profondità [2]. La coltivazione del lino ha un eccellente bilancio economico: non necessita d'irrigazione per crescere, richiede pochi trattamenti chimici (colture senza OGM), non produce scarti (tutte le sue componenti sono impiegate in processi produttivi) e presenta una vasta produzione locale (essenzialmente europea). Il lino è anche una pianta particolarmente adatta al clima oceanico umido (la sua coltivazione necessita di un clima temperato e umido). È coltivata principalmente dalle coste della Normandia fino all'Olanda, passando per il Belgio; la Francia ne è il leader mondiale di produzione. Oltre alle condizioni climatiche favorevoli, il suolo in queste regioni è costituito da terreni ricchi in limo, fertili, profondi e strutturati, perfettamente adatti a questa coltura. Il lino industriale è una coltura non delocalizzabile, e con grande capacità di creare posti di lavoro.

Il lino come materiale adsorbente

Studi recenti hanno mostrato che le fibre di lino sono capaci di adsorbire metalli inquinanti presenti in soluzione acquosa [3-7]. Abbar *et al.* hanno mostrato che un grammo di fibre è capace di adsorbire 8,4 mg di zinco, 9,9 mg di rame e 10,7 mg di piombo [3, 4]. Le fibre sono poste in contatto con i metalli presenti in acqua ad un pH compreso tra 4 e 7 (in funzione dell'elemento da complessare), per la durata di 1 ora e sotto agitazione. Melia *et al.* hanno ugualmente mostrato che alcuni sottoprodotti del lino sono interessanti come materiali non convenzionali per trattare il cadmio: per concentrazioni di inquinante comprese tra 1,1 e 21,5 mg, il lino è capace di eliminare più del 90% del metallo, impiegando meno di 10 minuti nel caso delle concentrazioni più basse [5]. La capacità massima

di adsorbimento riportata in questo caso dagli autori è di 3,36 mg/g. Abutaleb *et al.* hanno, invece, recentemente riportato una capacità massima di 40,9 mg/g per l'adsorbimento dell'uranio [6]. Tutti questi risultati sono stati ottenuti utilizzando del lino sotto forma di fibre.

Il gruppo di ricerca di Besançon studia da più di vent'anni l'utilizzo di sostanze naturali (amidi, destrine, ciclodestrine, cellulosa, canapa) per la salvaguardia dell'ambiente; in particolare si occupa del trattamento di acque contaminate, in collaborazione con l'Istituto G. Ronzoni di Milano e l'Istituto Protmed di Bucarest, i quali sono specializzati nella caratterizzazione di fibre naturali e sintetiche e nella loro modificazione [8-12]. Negli ultimi studi pubblicati è stato suggerito l'uso di feltri di canapa per la complessazione dei metalli aventi ottimi risultati. Sulla scia dello studio di materiali a base di cellulosa, in questo studio proponiamo, per la prima volta in letteratura, l'utilizzo di feltri a base di fibre di lino per la decontaminazione delle acque.

Il materiale impiegato è fornito dalla società francese Ecotechnilin. È costituito al 100% da fibre non tessute di lino, disposte in modo casuale al momento della fabbricazione. I materiali sono fabbricati tramite semplice frizione delle fibre senza aggiunta di prodotti chimici o di additivi. Il feltro usato presenta una grammatura di 300 m²/g e uno spessore di 5 mm (Fig. 1). Le altre caratteristiche sono le seguenti: porosità 85%, diametro delle fibre 10-15 µm, diametro dei pori 110 µm e umidità



Fig. 1 - Feltro di lino

<10%. Da un punto di vista chimico, la fibra di partenza è costituita da cellulosa (70-75%), emicellulosa (18-20%), lignina (2%), pectina (2%) e cera (1,5%).

Prove di adsorbimento

Nel processo sperimentale è stato utilizzato il metodo *batch* al fine di valutare al meglio la capacità di adsorbimento del materiale in lino usato come substrato. Tra le varie tecniche generalmente impiegate nello studio del trattamento delle acque reflue, quella *batch* è tra le più usate in quanto presenta elevata semplicità e basso costo di procedura, facile interpretazione dei dati ottenuti, riproducibilità dei risultati e agevole passaggio su scala industriale. La procedura *batch* impiegata in questo studio consiste nel mettere direttamente in contatto l'adsorbente e l'adsorbato in condizioni sperimentali controllate (concentrazione dell'inquinante da rimuovere, massa del feltro, volume della soluzione, tempo di contatto, agitazione, pH e temperatura). Raggiunto l'equilibrio, il feltro viene recuperato e la soluzione analizzata tramite ICP. L'entità di adsorbimento ottenuta viene espressa sotto forma di percentuale (come generalmente riportato in letteratura) e i risultati di seguito presentati sono stati ottenuti come valore medio calcolato su almeno tre esperimenti replicati (n=3).

In Fig. 2 è riportata la percentuale di adsorbimento al variare del metallo presente in soluzione. Sette metalli, di cui cinque in forma bivalente (Mn, Co,

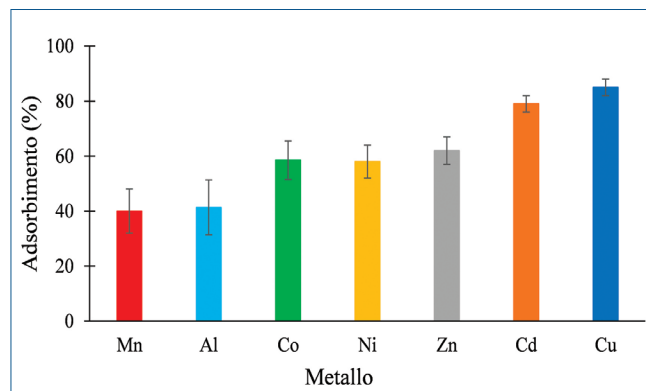
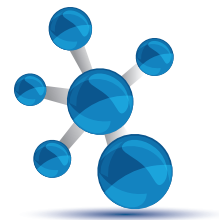


Fig. 2 - Variazione dell'adsorbimento al variare del metallo in soluzione (concentrazione = 25 mg/L; massa = 1 g; volume = 100 mL; tempo = 1 h; agitazione = 250 rpm; pH = 5; temperatura = 22±1°C; n = 5)



Ni, Zn, Cd, Cu) e uno in forma trivalente (Al), sono stati studiati singolarmente ad una concentrazione iniziale di 25 mg/L e pH iniziale di $5 \pm 0,1$. In 100 mL di soluzione una massa di 1 g di feltro è stata impiegata per l'adsorbimento di ciascun metallo. Le altre condizioni sperimentali sono: tempo di contatto 1 h, temperatura 22 °C, velocità di agitazione 250 rpm. I risultati mostrano che tra i metalli indagati ad avere l'affinità maggiore per il lino è il rame: 1 g di feltro è, infatti, in grado di adsorbire l'80% di 2,5 mg di metallo presente in 100 mL di soluzione. Questi risultati sono stati ottenuti da una serie di cinque esperimenti replicati, dai quali si evince l'elevata riproducibilità degli esperimenti. Per gli altri metalli studiati, è stato osservato il seguente ordine di adsorbimento: $Cu > Cd > Zn > Ni > Co > Al > Mn$. Sorprendentemente, lo stesso andamento è stato precedentemente riportato in un analogo studio condotto utilizzando un feltro di canapa [10]. Tale somiglianza tra i risultati dei due feltri è dovuta alla presenza di una simile struttura molecolare a base di cellulosa ed emicellulosa; tuttavia le percentuali di adsorbimento ottenute con il lino sono tra il 10-20% più elevate di quelle della canapa. Questa migliore affinità del lino per i metalli è spiegabile grazie ad una maggiore capacità di scambio ionico (0,87 mmol/g), di cui la canapa è priva. È, inoltre, possibile mettere in evidenza la bassa resa di adsorbimento del manganese, in accordo con quanto riportato in letteratura dove quest'ultimo risulta essere tra gli elementi metallici più difficili da

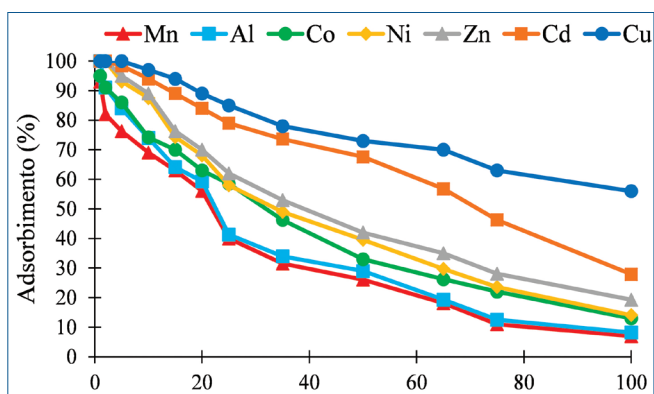


Fig. 3 - Variazione dell'adsorbimento in funzione della concentrazione iniziale (mg/L) in soluzione monocontaminata (massa = 1 g; volume = 100 mL; tempo = 1 h; agitazione = 250 rpm; pH = 5; temperatura = 22 ± 1 °C; n = 3)

compiere [8, 9]. Infine, anche l'adsorbimento del catione trivalente di alluminio con il lino risulta secondario (solamente il 40%), a dimostrazione di una debole interazione tra i due.

Altro risultato interessante è riportato in Fig. 3, la quale mostra la variazione dell'adsorbimento in funzione della quantità iniziale di metallo in soluzione. Fissata la massa di feltro e il tempo di contatto, è stata fatta variare la concentrazione da 1 mg/L fino a 100 mg/L. Questi ultimi valori sono stati scelti in funzione delle concentrazioni reali di metallo presenti nelle acque reflue industriali non ancora chiarificate. La normativa francese prevede, infatti, che la quantità di ciascun metallo permessa nelle acque industriali scaricate nell'ambiente rientri nell'ordine di mg/L: ad esempio per il rame il valore limite concesso è di 3 mg/L per le acque provenienti da industrie metallurgiche. I risultati della Fig. 3 mostrano che l'ordine di adsorbimento dei metalli rimane invariato per ogni concentrazione esaminata. Si può anche osservare che all'aumentare della concentrazione, l'adsorbimento diminuisce. Tutti questi risultati sono in accordo con quanto ottenuto impiegando diverse fibre vegetali, come ad esempio la canapa.

L'influenza della massa del feltro, variata nell'intervallo di 0,25-2 g, sull'adsorbimento del metallo è riportata in Fig. 4. Per la concentrazione di 25 mg/L studiata, si osserva come il rame ed il cadmio presentino l'affinità maggiore per il lino indipendentemente dalla massa usata (in particolare il rame,

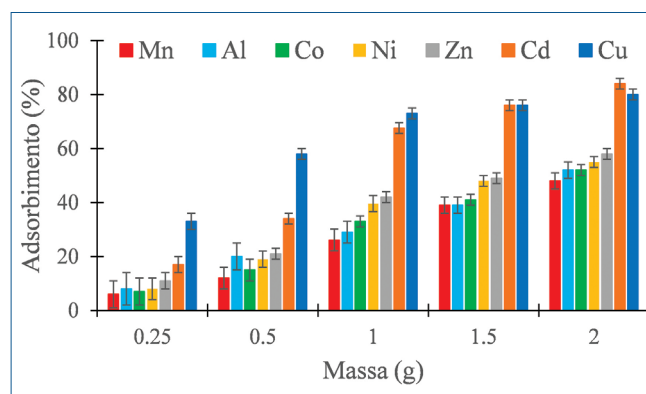


Fig. 4 - Influenza della massa di lino sull'adsorbimento del metallo (concentrazione = 25 mg/L; volume = 100 mL; tempo = 1 h; agitazione = 250 rpm; pH = 5; temperatura = 22 ± 1 °C; n = 3)

che mostra alti risultati anche con masse minori). È inoltre possibile notare come l'entità di adsorbimento migliori all'aumentare della quantità di feltro impiegata. Questo risultato è spiegabile grazie ad una maggiore presenza di siti attivi e ad una più elevata probabilità di collisione del metallo con il materiale. Infine, l'ordine di adsorbimento dei metalli precedentemente riportato risulta invariato. Un esame della letteratura sull'uso dei materiali a base di cellulosa, usati per adsorbire i metalli bivalenti, indica che tra i vari fattori in grado di spiegare questi risultati di adsorbimento si hanno l'elettronegatività degli ioni in soluzione (ad esempio il rame presenta la più elevata elettronegatività di Pauling), la massa molare del metallo (più la massa è importante, più facile è l'interazione come nel caso del cadmio) e il raggio ionico dei cationi (più questo è ampio, più alta è la capacità di adsorbimento dei polisaccaridi). Altro parametro indagato è stato il tempo di contatto necessario a raggiungere lo stato di equilibrio dell'adsorbimento, fattore rilevante per una futura applicazione a livello industriale. La Fig. 5 riporta le cinetiche di adsorbimento del metallo nell'intervallo di tempo di 1-120 min. Si può notare come l'adsorbimento di ciascun elemento cresca rapidamente già nei primi minuti di contatto, a dimostrazione di una forte interazione tra i metalli e la superficie del feltro di lino. All'aumentare graduale del tempo si osserva il raggiungimento di un plateau di saturazione, corrispondente allo stato di equilibrio dell'adsorbimento e oltre il quale la concentrazione finale di metallo in soluzione non presenta più

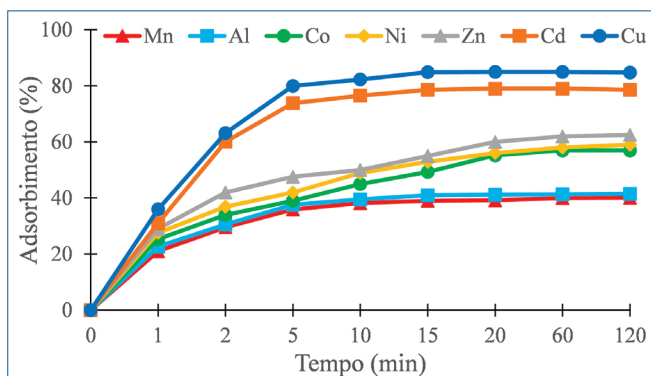


Fig. 5 - Cinetica di adsorbimento del metallo (concentrazione = 25 mg/L; massa = 1 g; volume = 100 mL; agitazione = 250 rpm; pH = 5; temperatura = 22±1 °C; n = 3)

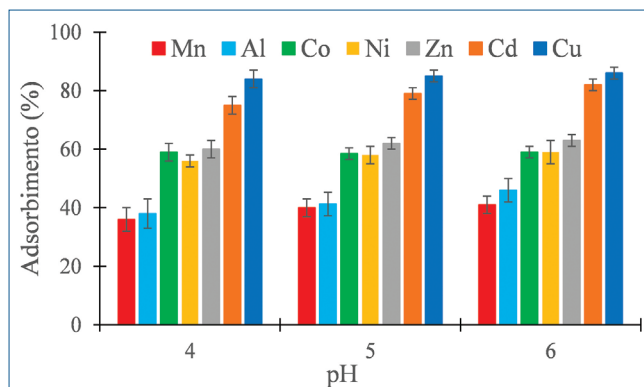


Fig. 6 - Influenza del pH sull'adsorbimento del metallo (concentrazione = 25 mg/L; massa = 1 g; volume = 100 mL; tempo = 1 h; agitazione = 250 rpm; temperatura = 22±1 °C; n = 3)

alcuna variazione. Il dato interessante è l'elevata rapidità di queste cinetiche: in soli 10 min. è possibile ottenere l'equilibrio di adsorbimento per tutti e sette i metalli studiati in soluzione monocontaminata. Altro risultato rilevante è che l'adsorbimento risulta essere indipendente dal pH iniziale, studiato nell'intervallo 4-6 (Fig. 6) che corrisponde ai valori di pH ritrovati nelle acque industriali reali. In questi esperimenti è stato osservato un lieve aumento del pH finale della soluzione da 0,2 a 0,5.

Al termine dello studio del processo di adsorbimento tra il lino e i singoli metalli, si è proceduto usando una soluzione policontaminata contenente tutti e sette gli elementi, in modo da valutare l'efficienza del feltro di lino anche nel caso della contemporanea presenza di più cationi. La Fig. 7 riporta la variazione dell'adsorbimento in funzione

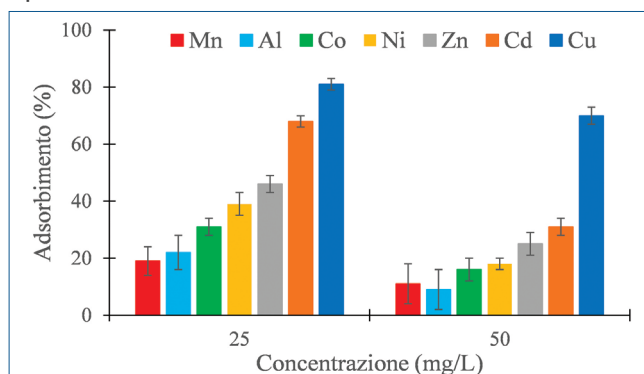
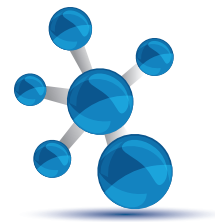


Fig. 7 - Variazione dell'adsorbimento in funzione della concentrazione iniziale (25 mg/L, 50 mg/L) in soluzione policontaminata (le due concentrazioni in grafico si intendono per ogni metallo; massa = 1 g; volume = 100 mL; tempo = 1 h; agitazione = 250 rpm; pH = 5; temperatura = 22±1 °C; n = 3)



di due concentrazioni iniziali (25 mg/L, 50 mg/L) in soluzione policontaminata. Le soluzioni sono state preparate aggiungendo ciascun metallo alla concentrazione di 25 o 50 mg/L, ottenendo, pertanto, una concentrazione finale totale di 175 o 350 mg/L. Gli esperimenti in soluzione policontaminate sono stati realizzati utilizzando gli stessi parametri precedentemente impiegati per le soluzioni monocontaminate (Fig. 7). Alla concentrazione di 175 mg/L (alquanto elevata) si può notare come il feltro di lino presenti buona capacità di adsorbimento, soprattutto per il rame (80%, stesso valore ottenuto in soluzione monocontaminata) e il cadmio (65%, valore leggermente inferiore a quello precedentemente ritrovato) anche in presenza di più metalli; i valori di adsorbimento di tutti gli altri metalli risultano minori. Questo risultato è indice di competizione tra gli elementi, anche se l'ordine generale di adsorbimento non cambia. Quando la concentrazione passa a 350 mg/L, come atteso, tutti gli adsorbimenti diminuiscono drasticamente ad eccezione del rame. Dunque anche ad alte concentrazioni (5 mg in 100 mL) 1 g di lino è in grado di adsorbire grandi quantità di rame presente in 35 mg di metalli totali.

Conclusioni

Questi dati dimostrano che i feltri a base di lino potrebbero costituire un'ottima risorsa in campo ambientale per la decontaminazione delle acque reflue dell'industria metallurgica. Per aumentare le prestazioni di adsorbimento, una possibilità è ovviamente quella di impiegare una quantità di feltro maggiore [8, 11]; altra via sulla quale il gruppo sta già lavorando è quella di funzionalizzare la cellulosa con gruppi carbossilici (provenienti da reattivi usati anche in ambito agro-alimentare come gli acidi policarbossilici) [9, 10], ampiamente conosciuti in letteratura come leganti specifici per i metalli [13]. Infine, stiamo impiegando gli stessi feltri in lino per complessare miscele industriali reali, provenienti da processi metallurgici o da miniere. Ulteriore obiettivo finale sarà quello di incenerire questi materiali al termine dei processi di adsorbimento, al fine di recuperarne i metalli per un loro possibile utilizzo in catalisi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Crini, E. Lichtfouse, *Hemp Production and Applications*. Springer Nature, Switzerland, 2020.
- [2] A.D. Muir, N.D. Westcott, *Flax. The genus Linum*, CRC Press Taylor & Francis, 2003.
- [3] B. Abbar *et al.*, *Process Safety and Environmental Protection*, 2017, **109**, 369.
- [4] B. Abbar *et al.*, *Academic Journal of Civil Engineering*, 2017, **35**, 656.
- [5] P.M. Melia *et al.*, *RSC Advances*, 2018, **8**, 40378.
- [6] A. Abutaleb *et al.* *Journal of Advanced Research*, 2020, **22**, 153.
- [7] N.A. Jasim, T.K. Hussein, *Diyala Journal of Engineering Sciences*, 2019, **12**, 1.
- [8] N. Morin-Crini *et al.*, *Journal of Applied Polymer Science*, 2020, **137**, 48823.
- [9] N. Morin-Crini *et al.*, *Environmental Chemistry Letters*, 2019, **17**, 393.
- [10] S. Loiacono *et al.*, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 2018, **93**, 2592.
- [11] S. Loiacono *et al.*, *La Chimica e l'Industria*, 2017, **2**, 8.
- [12] N. Morin-Crini, G. Crini, *Eaux Industrielles Contaminées*, Presses Universitaires de Franche-Comté, Besançon, France, 2017, p. 512, ISBN: 978-2-84867-589-3, <http://pufc.univ-fcomte.fr/>
- [13] G. Crini, E. Lichtfouse, *Green Adsorbents for Pollutant Removal. Fundamentals and Design*, Springer Nature, Switzerland, 2018, p. 390, ISBN: 978-3-319-92110-5, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-92111-2>

Metal Removal from Solutions on a Flax-Based Felt

In this study, a flax-based material in the form of a felt was used to adsorb metals in solutions using the batch method. The factors affecting the biosorption process were initial metal concentration, biosorbent mass, contact time and pH. Based on the results, flax-based felt could serve as a non-conventional, innovative and efficient biosorbent for pollutant removal from industrial effluents.



CONDENSATORI A MEMBRANA: USI E PROSPETTIVE

I condensatori a membrana sono dei processi innovativi che sfruttano la natura idrofobica di membrane microporose per favorire la condensazione e il recupero selettivo del vapore acqueo contenuto nei flussi gassosi. In questo lavoro viene introdotto e analizzato il condensatore a membrana con il suo principio di funzionamento e le potenziali possibili applicazioni.

L'ingegneria alla base dei processi a membrana ha già fornito diverse ed interessanti soluzioni ad alcuni dei principali problemi della società moderna [1-3]. Le tecnologie a membrana sono, infatti, ampiamente utilizzate in una vasta gamma di applicazioni, che spaziano dal trattamento di acqua potabile alla produzione di energia, fino alla produzione farmaceutica. Negli ultimi anni è stata sviluppata una nuova e innovativa operazione a membrana in grado di affiancarsi alle convenzionali tecnologie al fine di recuperare acqua pulita dagli scarichi gassosi dei processi industriali e rimuovere gli eventuali inquinanti presenti in essi (ad esempio i VOC, *Volatile Organic Compounds*). Tale processo è chiamato condensatore a membrana, il cui funzionamento è basato sull'utilizzo di membrane idrofobiche microporose. Il condensatore a membrana promuove il recupero dell'acqua mediante la condensazione del vapore contenuto nei flussi gassosi in uscita da centrali elettriche, torri di raffreddamento, ecc. [4-9]. Così facendo è possibile il recupero delle acque dai gas di scarto industriali e il controllo della composizione dell'acqua recuperata rimuovendo eventuali sostanze chimiche e particelle presenti. In Fig. 1 è riportato lo schema semplificato di un impianto di condensazione a membrana. In particolare, la corrente gassosa viene alimentata, attraverso un MFC (Mass Flow Controller), all'ingresso del modulo contenente la membrana idrofobica. Il modulo a membrana, posto all'interno di una camera climatica, viene mantenuto, quindi, ad una temperatura costante. Nel modulo, la natura idrofobica del-

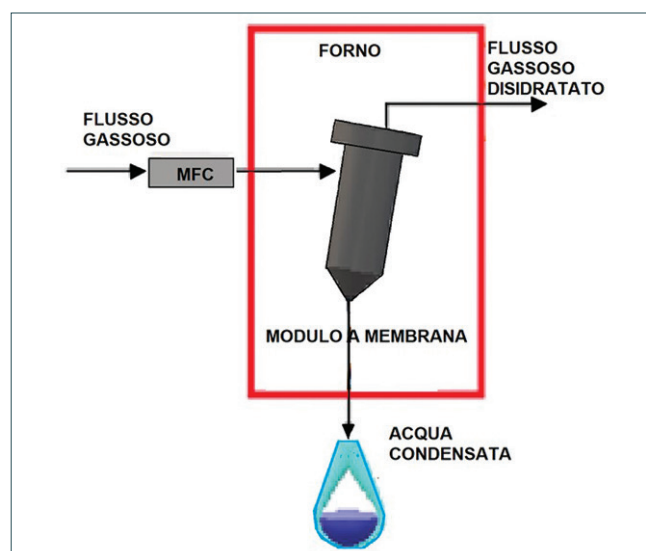
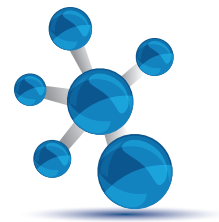


Fig. 1 - Schema dell'impianto di un condensatore a membrana semplificato

la membrana impedisce la penetrazione del liquido nei pori, lasciando invece passare i gas disidratati (in percentuale variabile a seconda delle condizioni operative). Pertanto, l'acqua liquida è recuperata sul lato retentato, mentre gli altri gas sul lato permeato dell'unità a membrana. I parametri che controllano il processo sono la portata di alimentazione (Q_{Feed}), l'area della membrana (A_{Membrane}), il rapporto fra i due precedenti parametri $Q_{\text{Feed}}/A_{\text{Membrane}}$, oltre alla differenza di temperatura (ΔT) tra l'alimentazione T_{feed} e quella del modulo contenente la membrana. Il rapporto fra la portata di alimentazione e l'area di membrana ($Q_{\text{Feed(dry)}}/A_{\text{Membrane}}$) fornisce un parametro che



consente di calcolare l'area della membrana al fine di avere le migliori prestazioni del sistema. La proprietà fondamentale che deve mostrare la membrana utilizzata nei condensatori a membrana è un'elevata idrofobicità che eviti la penetrazione dell'acqua liquida nei pori della membrana e quindi favorisca la separazione della fase liquida da quella gassosa recuperata sul lato permeato. Agenti contaminanti possono ridurre l'idrofobicità di una membrana andando a danneggiarne le proprietà chimico-fisiche. Oltre alla già citata idrofobicità, le membrane da utilizzare nel condensatore a membrana devono possedere determinate caratteristiche quali: pori piccoli con distribuzione delle dimensioni stretta, resistenza ad alcoli, tensioattivi e prodotti chimici (come acidi e basi), porosità tra il 70 e l'80% e alta conducibilità termica [10]. Questi sono parametri fondamentali nel calcolo del rendimento termico e, quindi, dei consumi energetici [4]. Per tale motivo la sfida principale è identificare i materiali per la realizzazione di membrane che mostrino un'eccellente resistenza e stabilità. Le configurazioni delle membrane utilizzate sono in genere a fibra cava o piane. In Fig. 2 viene riportato un esempio di modulo metallico contenente membrane a fibra cava utilizzate nell'ambito del progetto MATCHING [4]. Le membrane maggiormente utilizzate nel condensatore sono in genere polimeriche. In letteratura è possibile trovare anche altre tipologie di membrane come quelle ceramiche dove, per esempio, Kim *et al.* [11], hanno sviluppato membrane ceramiche idrofile per il recupero dell'acqua dai gas di combustione. Al contrario delle precedenti membrane idrofobiche, nel caso delle membrane idrofile i vapori d'acqua sono in grado di passare attraverso

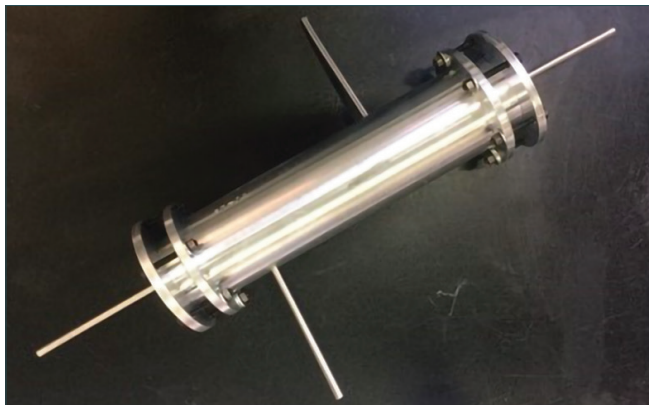


Fig. 2 - Modulo a membrana utilizzato nell'ambito del progetto MATCHING [4]

la membrana tramite condensazione capillare e raccolta sul lato permeato. In generale, questa applicazione può essere utilizzata per il recupero dell'acqua dai gas di scarico dalle torri di raffreddamento [12]. Invece, fra i materiali polimerici più utilizzati per la preparazione di membrane idrofobe, abbiamo il PP (polipropilene) e il PVDF (polivinilidene fluoruro) a cui spesso vengono aggiunti altri materiali superidrofobici come grafene, hyflon, teflon, nanotubi di carbonio ecc. [13-16]. L'aggiunta di questi materiali (alquanto costosi) permette di avere membrane composite dove lo strato idrofobo, depositato su un supporto più economico, può portare a membrane con un aumento della stabilità a lungo termine a costi contenuti. Inoltre, essi migliorano la produttività e l'efficienza del processo attraverso la migliore resistenza alla bagnabilità e alla polarizzazione termica.

La quantità di acqua recuperata varia anche in funzione dell'umidità della corrente gassosa da trattare e della differenza di temperatura tra il flusso gassoso e la superficie della membrana [17].

Al fine di evidenziare i vantaggi dell'innovativo processo a membrana è bene confrontare il condensatore con le tradizionali tecniche di condensazione già presenti in letteratura (Tab. 1) quali:

- scambiatore di calore (processo molto semplice ma il cui principale limite è la corrosione causata dagli inquinanti acidi spesso presenti nelle correnti gassose di scarico);
- adsorbimento liquido e/o solido (valida alternativa che presenta però diversi inconvenienti quali: perdite di essiccante e rigenerazione dell'adsorbente con relativi costi, bassa qualità dell'acqua prodotta);
- separazione criogenica (processo con alti consumi energetici e quindi molto costoso, non conveniente nei processi di disidratazione a causa dell'elevata differenza di punto di ebollizione tra i gas e l'acqua);
- processi di separazione con membrane dense (presentano elevati consumi energetici a causa delle alte pressioni necessarie per il recupero del vapore acqueo dalle correnti gassose).

Dal confronto si evince come il condensatore a membrana sia un processo meno incline a corrosione e sporcamento e presenti un basso consumo energetico. Per quanto riguarda poi la qualità dell'acqua prodotta dal condensatore a membrana, questa, nel peggiore dei casi, è sufficiente per le torri di raffreddamento o per le caldaie.

	Recupero di acqua (%)	Purezza dell'acqua (%)	Manutenzione e durabilità	Aspetti ambientali	Costi degli investimenti	Sostenibilità economica (euro m ⁻³)
Assorbimento liquido e/o solido [20]	22-62	>95	Corrosione e formazione di cristalli di sale a causa della presenza di essiccanti salini e O ₂ nei fumi	Aumento delle emissioni di CO ₂ Riduzione delle emissioni di SO _x Perdite di CaCl ₂	5,8x10 ⁶ \$ (2006) + 200.000 \$/anno (2006) come costi operazionali	4,4 \$ m ⁻³
Scambiatori di calore [21]	<70	Sufficiente per la composizione della torre di raffreddamento. Contaminanti nell'acqua	Corrosione dovuta alla formazione di un sottile strato liquido di acidi diluiti e depositi di ceneri volanti	La co-cattura di SO _x e NO _x potrebbe portare a un profitto ambientale riducendo i sistemi DENO _x e FGD	6,4x10 ⁶ euro (2011)	1,5 ⁻²
Membrane dense [22]	20-40	>95	Rimozione delle ceneri e FGD necessari per evitare il danneggiamento della membrana	Operazione di bonifica	N/A	1,5 per zone umide;
Condensatori a membrana [5]	>70	Sufficiente per la composizione della torre di raffreddamento. Contaminanti nell'acqua	Rimozione della cenere per evitare il danneggiamento della membrana	Operazione di bonifica	N/A	1,5-2,5 ^{a)}

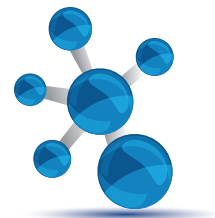
a) Considerando solo i costi relativi al fabbisogno energetico e ai moduli a membrana

Tab. 1 - Confronto fra le tecniche tradizionali e il condensatore a membrana [5]

Data la dipendenza del recupero d'acqua dalla differenza di temperatura ΔT , necessario per raffreddare e condensare il vapore, è possibile diversificare e ottimizzare il processo cambiando e gestendo le modalità di raffreddamento del sistema [7, 21]. In tal maniera è possibile distinguere diverse configurazioni per il condensatore a membrana come di seguito riportato [22]:

1. Configurazione 1: il flusso di alimentazione viene raffreddato esternamente prima dell'ingresso nel modulo a membrana mediante una corrente fredda (ad esempio utilizzando acqua di raffreddamento) [22]. Il flusso gassoso sovrasaturo entra in contatto con le superfici della membrana, dove l'acqua liquida rimane nel lato retentato;
2. Configurazione 2: il flusso di alimentazione viene raffreddato all'interno del modulo a membrana da un gas freddo posto nel permeato, in controcorrente al flusso principale. In questo caso, per un calcolo dei consumi energetici del processo è necessario considerare anche la potenza necessaria per spingere il gas freddo al fine di compensare le perdite di carico nell'intero sistema [22];
3. Configurazione 3: in quest'ultimo caso si ha l'u-

nione delle due configurazioni precedenti. Il flusso di alimentazione viene inizialmente raffreddato parzialmente tramite un mezzo esterno (come in Configurazione 1) e successivamente all'interno del modulo a membrana tramite un gas in controcorrente (circa 20 °C) (come in Configurazione 2) [22]. Ciò consente di aumentare la quantità di acqua recuperata riducendo il consumo di energia. Ovviamente nelle ultime due configurazioni, la quantità di acqua liquida recuperata è dipendente dalla temperatura del gas in controcorrente utilizzato per il raffreddamento. Per un confronto fra le varie configurazioni citate, è stata considerata una corrente gassosa di scarico tipica dei processi industriali. In Tab. 2 sono riportate le condizioni operative del processo simulato, le caratteristiche del modulo a membrana e le caratteristiche del gas utilizzato. Da una prima analisi di confronto è possibile osservare come la Configurazione 1 mostri il consumo energetico più elevato [22], mentre la Configurazione 2 mostra i consumi più bassi. Per quanto riguarda il recupero dell'acqua, la Configurazione 2, mostra un fattore più elevato rispetto a quello della Configurazione 1. In ogni caso, la Configurazione 3 mostra la più alta



Recupero di acqua (%)	Purezza dell'acqua (%)
Umidità relativa, %	100
Temperatura del gas di scarto, °C	55,5 per configurazione 2 e 3, 50<T<90 per configurazione 1
Pressione di alimentazione, bar	1
Portata di alimentazione, m ³ h ⁻¹	0,03
Composizione del flusso di alimentazione, % molare	N ₂ :CO ₂ :O ₂ =78:17:5
Area membrana, m ²	0,0013
Porosità membrana,	0,8
Porosità media della membrana, nm	10 ⁻⁴

Tab. 2 - Condizioni operative, caratteristiche del modulo a membrane e caratteristiche del flue gas utilizzato per la simulazione delle differenti configurazioni del condensatore a membrana

quantità di acqua liquida recuperata (escludendo i casi limite in cui si hanno consumi troppo elevati), mentre il consumo di energia è inferiore alla Configurazione 1 ma superiore alla Configurazione 2. In particolare, la quantità massima di acqua liquida recuperabile era di circa il 46,8% con un raffreddamento esterno ΔT_{est} pari a 6 °C.

Il condensatore a membrana è stato inizialmente sviluppato nell'ambito del progetto FP7 "CAPWA" (Capture of evaporated water with novel membranes), e successivamente sviluppato nel progetto H2020 "MATCHING" (Materials & Technologies for Performance). Nei due progetti elencati il condensatore a membrana è stato testato teoricamente e sperimentalmente per il recupero di acqua e sostanze chimiche da un gas di scarico sintetico. In questo modo è stato possibile stabilire le condizioni operative minime per un recupero efficace di acqua liquida pura al fine di ridurre il consumo di energia del processo. La qualità dell'acqua liquida recuperata dal condensatore a membrana nel caso di contaminanti all'interno del gas di alimentazione è strettamente influenzata da diversi parametri che influenzano il contenuto finale di contaminanti. Come accennato precedentemente, il condensatore a membrana può essere utilizzato anche per controllare la concentrazione di contaminanti nell'acqua liquida recuperata. Test preliminari sono stati effettuati considerando la

presenza di NH₃ nella corrente gassosa, in quanto è un contaminante normalmente presente in vari scarichi industriali. Le analisi sperimentali eseguite considerando la presenza di NH₃ nella corrente gassosa alimentata hanno confermato che la concentrazione di NH₃ nell'acqua liquida recuperata aumenta al crescere del ΔT . Pertanto, oltre al recupero dell'acqua, un altro importante vantaggio del condensatore a membrana è la possibilità di recuperare le sostanze chimiche necessarie nell'impianto e, allo stesso tempo, di ridurre le emissioni. Questi sono aspetti fondamentali di cui tenere conto in realtà altamente industrializzate dove i problemi legati alla scarsità d'acqua e all'inquinamento atmosferico sono sempre più pressanti. Mentre in CAPWA e in MATCHING, il condensatore a membrana era utilizzato solo per il recupero dell'acqua da flussi gassosi di scarto, una nuova applicazione può essere come fase di pretrattamento per successive unità di separazione per ridurre al minimo il contenuto di contaminanti di vari flussi gassosi, rimuovendo, nel frattempo, parte del vapore acqueo contenuto. Questo aspetto è talvolta essenziale quando il gas deve subire ulteriori processi di separazione, come, ad esempio, nella separazione dell'anidride carbonica. In effetti, i vincoli e le normative attuali sulle emissioni di CO₂ delle centrali elettriche hanno costretto produttori e ricercatori a concentrarsi sulla separazione della CO₂ dai flussi di gas di combustione e a sviluppare specifiche tecnologie di cattura della CO₂. Queste possono essere adattate alle centrali elettriche esistenti e progettate in nuovi impianti con lo scopo di raggiungere il 90% della cattura di CO₂ limitando l'aumento del costo dell'elettricità a non più del 35%.

Attualmente, le principali strategie per la cattura dell'anidride carbonica in un processo di combustione di combustibili fossili presentano problemi tecnici legati al fatto che le membrane polimeriche non possono sopportare temperature elevate e/o condizioni chimicamente difficili. I flussi di gas di raffineria contengono impurità come vapore acqueo, gas acidi, olefine, aromatici e altri organici. Gli idrocarburi pesanti possono essere presenti anche negli impianti petrolchimici e nel trattamento del gas naturale, rappresentando un problema, principalmente nei moduli a fibra cava. A concentrazioni relativamente basse, queste impurità provocano la plastificazione della membrana e la perdita di selettività, mentre a

concentrazioni più elevate possono condensare sulla superficie della membrana. Un altro problema è l'invecchiamento fisico, che influisce negativamente sulle proprietà di polimeri (come poli[1-(trimetilsilil)-1-propino] (PTMSP), polimeri a microporosità intrinseca (PIMs), ecc.), limitandone l'applicabilità. La soluzione per il buon funzionamento dei moduli polimerici è un'attenta selezione del pretrattamento dell'alimentazione. In questo campo, i condensatori a membrana possono essere considerati una soluzione adeguata per pretrattare i flussi di fumi che devono essere alimentati ad un'altra unità a membrana utilizzata per la separazione della CO₂. Quest'ultima risulterà notevolmente ridotta nelle dimensioni e la sua durata sarà prolungata rispetto a quella prevista senza l'utilizzo del condensatore.

Un caso particolare può essere costituito anche dall'abbattimento del particolato contenuto, in genere, nei flussi gassosi di scarico. Morfologia, struttura e proprietà di trasporto di massa della membrana, unitamente alle caratteristiche della corrente gassosa e delle particelle in essa contenute, determinano la capacità del condensatore di trattenere le particelle. La reiezione del particolato è fortemente dipendente dalla velocità del flusso permeante soprattutto nel caso di particelle con diametro molto piccolo (ad esempio >0,3 µm) e dallo spessore della membrana il quale influisce negativamente soprattutto per le particelle piccole [23]. La densità delle particelle e la temperatura del condensatore non condizionano in modo significativo le performance della membrana, dove la percentuale di reiezione decresce all'aumentare del diametro medio dei pori della membrana. Per avere un efficace abbattimento delle particelle è quindi fondamentale disporre di membrane con una distribuzione dei pori stretta.

BIBLIOGRAFIA

- [1] F. Macedonio, E. Drioli, *Engineering*, 2017, **3**, 290.
- [2] C.A. Quist-Jensen, A. Ali *et al.*, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, 2019, **94**, 129.
- [3] A. Ali, E. Drioli, F. Macedonio, *Appl. Sci.*, 2017, **7**, 1026.
- [4] F. Macedonio, M. Frappa *et al.*, *Environ. Eng. Res.*, 2019, **25**, 222.
- [5] A. Brunetti, S. Santoro *et al.*, *CLEAN - Soil, Air, Water*, 2014, **42**, 1145.
- [6] M.F. Macedonio, F.E. Drioli, *J. Membr. Sci. Res.*, 2019.
- [7] F. Macedonio, A. Brunetti *et al.*, *Procedia Eng.*, 2012, **44**, 202.
- [8] D. Wang, A. Bao *et al.*, *Appl. Energy*, 2012, **91**, 341.
- [9] Z.M. Wan, J.H. Wan *et al.*, *Appl. Therm. Eng.*, 2012, **42**, 173.
- [10] F. Macedonio, M. Cersosimo *et al.*, *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, 2014, **86**, 196.
- [11] J.F. Kim, A. Park *et al.*, *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 2018, **6**, 6425.
- [12] M.M. DeBusk, B. Bischoff *et al.*, *Ceramic Transactions Series*, F. Dogan, T.M. Tritt *et al.* (Eds.), 2014, vol. 246, ch. 16, 141.
- [13] M. Frappa, A.E. Del Rio Castillo *et al.*, *Nanoscale Adv.*, 2020, **2**, 4728.
- [14] Z. Cui, J. Pan *et al.*, *Sep. Purif. Technol.*, 2020, **247**, 116992.
- [15] D. Hou, H. Fan *et al.*, *Sep. Purif. Technol.*, 2014, **135**, 211.
- [16] A. Kyoungjin An, E.-J. Lee *et al.*, *Sci. Rep.*, 2017, **7**, 41562.
- [17] F. Macedonio, M. Cersosimo *et al.*, *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, 2014, **86**, 196.
- [18] A. Ito, *J. Memb. Sci.*, 2000, **175**, 35.
- [19] B.C. Folkedahl, G.F. Weber, M.E. Collings, *Water Extraction from Coal-Fired Power Plant Flue Gas*, Pittsburgh, PA, and Morgantown, WV, 2006.
- [20] C. Isetti, E. Nannei, A. Magrini, *Energy Build.*, 1997, **25**, 185.
- [21] F. Macedonio, A. Brunetti *et al.*, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2013, **52**, 1160.
- [22] F. Macedonio, A. Brunetti *et al.*, *Sep. Purif. Technol.*, 2017, **181**, 60.
- [23] M. Frappa, A. Brunetti *et al.*, *J. Membr. Sci. Res.*, 2020, **6**(3), 269.

Membrane Condenser: Uses and Perspectives

Membrane condensers are innovative processes that exploit the hydrophobic nature of microporous membranes to promote the condensation and the selective recovery of the water vapor from waste gaseous streams. In this work, the membrane condenser is therefore introduced and analysed with its operating principle and the potential applications.

Change is here

ChemPubSoc Europe has transformed into Chemistry Europe.



Our mission is

to evaluate, publish, disseminate and amplify the scientific excellence of chemistry researchers from around the globe in high-quality publications.

We represent 16 European chemical societies and support their members at every stage of their careers as they strive to solve the challenges that impact humankind. We value integrity, openness, diversity, cooperation and freedom of thought.

Chemistry Europe

- 16 chemical societies
- From 15 European countries
- Who co-own 16 scholarly journals
- And represent over 75,000 chemists
- With 109 Fellows recognized for excellence in chemistry
- 13 million downloads in 2019
- 9,800 articles published in 2019

www.chemistry-europe.org

Batteries & Supercaps

ChemBioChem

ChemCatChem

ChemElectroChem

ChemistryOpen

Chemistry-Methods

ChemistrySelect

ChemMedChem

ChemPhotoChem

ChemPhysChem

ChemPlusChem

ChemSusChem

ChemSystemsChem



Massimo Bandiera^{a,b}, Roelof Balk^b, Maria J. Barandiaran^a

^aPOLYMAT e Dipartimento di Chimica Applicata, Facoltà di Scienze Chimiche
Universidad del País Vasco UPV/EHU, Donostia-San Sebastián (E)

^bBASF SE

Ludwigshafen am Rhein (D)
massimobandiera@yahoo.it

DISPERSIONI POLIMERICHE INDUSTRIALI ECOSOSTENIBILI

Sono state studiate le cinetiche delle polimerizzazioni in emulsione stabilizzate da resine polimeriche in condizioni industriali, ampliando la descrizione del fenomeno del ritardo di conversione. Inoltre, è stato esaminato il graffaggio tra la resina e le particelle polimeriche, distinguendo quantitativamente il contributo relativo dei meccanismi sottesi.

Infine, sono state proposte metodologie per incrementare il graffaggio e mitigare il fenomeno del dilavamento nelle applicazioni finali.

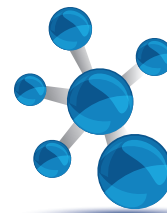
Introduzione

Il processo di polimerizzazione in emulsione (EP) si inserisce nell'ampio contesto della ricerca di soluzioni con ridotto impatto ambientale; la sostituzione di solventi organici con l'acqua quale mezzo di reazione permette la produzione e l'utilizzo di prodotti polimerici in maniera maggiormente sicura. La EP è un tipo di polimerizzazione radicalica in cui, partendo da un'emulsione di monomeri in acqua, si ottiene una dispersione di nanoparticelle polimeriche (lattice). Dal punto di vista industriale, la EP rappresenta la tecnica principale per la sintesi di dispersioni polimeriche acquose, fornendo accesso ad un'ampia serie di prodotti impiegati in svariati campi, come, ad esempio, vernici, rivestimenti ed adesivi. Nel processo di EP i tensioattivi rappresentano una componente chiave, svolgendo tre scopi fondamentali: stabilizzazione delle gocce di monomeri, generazione di micelle e stabilizzazione delle particelle di polimero in crescita, portando quindi ad un prodotto finale stabile [1]. I tensioattivi classicamente usati in EP possono essere descritti dal punto di vista chimico come molecole ioniche a basso peso molecolare. Nonostante siano componenti quasi indispensabili nel processo di EP, la loro presenza nelle formulazioni genera importanti problemi. Le formulazioni a base di lattici stabilizzati con tensioattivi ionici soffrono di limitata stabilità ai cicli di gelo-disgelo e di incompatibilità con altre sostanze di natura ionica eventualmente presenti nelle formulazioni [2, 3]. Focalizzandosi, poi, in applicazioni nelle quali la dispersione viene impiegata come film polimerico, ad esem-

pio nelle vernici e negli adesivi, problematiche come la sensibilità all'umidità, scarsa adesione al substrato e ridotte capacità protettive derivano direttamente dalla presenza di tensioattivi dal processo di EP: in dettaglio, le molecole di tensioattivo possono migrare e accumularsi nelle interfasi film-aria e film-substrato [4-7]. Dal punto di vista ambientale, inoltre, specialmente per applicazioni esterne nell'ambito dei rivestimenti per l'edilizia, di importante interesse è il fenomeno del dilavamento, correlato alla migrazione del tensioattivo verso la superficie. Quando un film polimerico è soggetto a fenomeni meteorologici, considerevoli quantità di tensioattivi possono essere liscivate dalla vernice o dalla pittura, finendo poi nei corsi d'acqua e nel suolo. I tensioattivi comunemente usati sono di tipo sintetico, spesso con limitata biodegradabilità e problemi di accumulo nell'ambiente [8].

L'uso di tensioattivi polimerici, pur presentando potenziali svantaggi nel processo di EP [9], rappresenta una promettente soluzione al problema della migrazione nel film polimerico e della dilavazione. Essendo la migrazione un fenomeno sostanzialmente controllato dalla diffusione, pesi molecolari elevati implicano cinetiche più lente [10]. Di conseguenza, anche i problemi di deterioramento delle prestazioni del rivestimento, quale ad esempio la scarsa adesione al substrato, si presenteranno dopo maggior tempo dall'applicazione. Questo non garantisce tuttavia, a lungo termine, l'assenza di problemi di sensibilità all'acqua, tantomeno la prevenzione del dilavamento e del rilascio di sostanze chimiche.

Massimo Bandiera ha ricevuto il Premio "Miglior Tesi di Dottorato" 2020, assegnato dalla Divisione di Chimica Industriale, per il manoscritto intitolato "Non-migratory alkali-soluble resins in emulsion polymerization: synthesis and characteristics of industrial-like systems".



Obiettivo del lavoro

In questo lavoro, tensioattivi polimerici indicati con il nome di resine alcali-solubili (“Alkali-soluble Resins”, ASR) sono stati studiati in processi di EP in condizioni industriali (*i.e.* modalità semi-continua e alto contenuto di solidi). Chimicamente, si tratta di copolimeri anfifilici a basso peso molecolare, ottenuti polimerizzando monomeri quali, ad esempio, stirene ed esteri (met)acrilici con monomeri di tipo anionico come l’acido (met)acrilico, quindi solubili a pH alcalini. Industrialmente le resine ASR possono essere ottenute principalmente per polimerizzazione continua ad alta temperatura in bulk, oppure “in-situ” per EP e successiva neutralizzazione. Inizialmente sono state indagate le caratteristiche cinetiche e di nucleazione dei sistemi di EP stabilizzati con ASRs. Successivamente sono state studiate le reazioni di graffaggio che possono connettere chimicamente il tensioattivo polimerico alle particelle, diminuendo la tendenza alla migrazione in fase film. Infine, sono state proposte delle metodologie per aumentare la percentuale di graffaggio e diminuire ulteriormente la tendenza verso il dilavamento nelle formulazioni applicate.

Cinetiche delle EP stabilizzate con resine alcali-solubili

Riguardo l’aspetto cinetico, nelle sintesi in EP stabilizzate da ASRs sono stati osservati fenomeni di ritardo nella conversione, in confronto ad analoghi sistemi stabilizzati con tensioattivi classici [11-13]. In letteratura questa caratteristica è stata giustificata con l’impedimento sterico prodotto dallo strato di ASR esterno alle particelle, che ostacola l’entrata dei radicali dalla fase acquosa verso le particelle dove avviene la polimerizzazione. Il numero di radicali per particella viene, dunque, diminuito, conseguentemente la velocità di polimerizzazione decresce [14-16]. In questo studio è stato dimostrato come accanto a questo fenomeno di tipo “fisico” ve ne sia un altro, molto più rilevante, di natura chimica. Le resine ASR sintetizzate ad alta temperatura possono presentare consistenti frazioni di catene aventi doppi legami terminali, a seguito di fenomeni di terminazione per β -scissione. Nel caso della EP di acrilati stabilizzata con resine ASR, le catene polimeriche acriliche in crescita possono reagire con i doppi legami terminali della resina, portando alla formazione di radicali intermedi terziari estremamente stabili; la resina agisce in questo caso come un “serbatoio di radicali” (radical sink). Contrariamente, quando vengono polimerizzati dei metacrilati, l’analogica addizione sulla resina di catene metacriliche in cre-

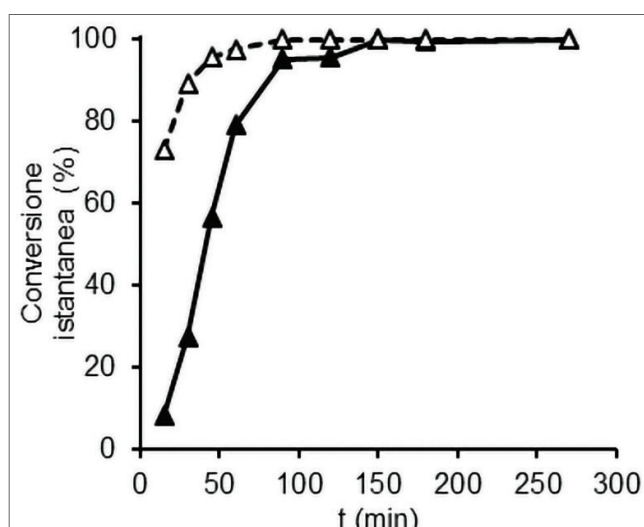


Fig. 1 - Esempio di conversione istantanea nella EP stabilizzata con resine ASR di acrilati (linea continua) o metacrilati (linea tratteggiata)

scita genera radicali reattivi, che possono propagare più velocemente. Di conseguenza, nessun apprezzabile ritardo di conversione è osservato (Fig. 1) [17, 18].

Studio del graffaggio e metodologie di incremento

Nel caso di reazioni di EP stabilizzate con tensioattivi polimerici possono comunemente verificarsi reazioni di graffaggio tra la resina ASR e le particelle polimeriche. Due meccanismi in maniera simultanea possono contribuire al graffaggio: la reazione con doppi legami terminali (“macromonomer method”, Fig. 2a), che, come descritto, può avere effetti cinetici di reazione, estrazione di idrogeno e successiva propagazione (“grafting from”, Fig. 2b) su unità acriliche nella resina da parte di radicali entranti le particelle. È stato quantificato come il meccanismo di estrazione di idrogeno non consenta percentuali di graffaggio elevate, mentre la presenza di doppi legami reattivi permette di raggiungere percentuali significativamente maggiori [17]. Alla luce del relativo peso dei due metodi, sono state proposte differenti strategie per introdurre doppi

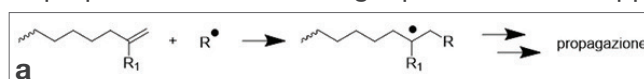
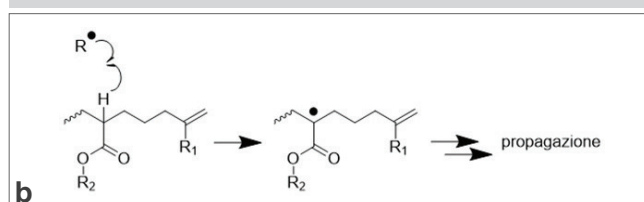


Fig. 2 - a) Graffaggio della resina per incorporazione di doppi legami terminali (sopra); b) graffaggio della resina per estrazione di idrogeno (sotto)



legami nella struttura delle resine ASR, allo scopo diminuire la tendenza al dilavamento del tensioattivo. In dettaglio, l'introduzione di doppi legami tramite monomeri epossidici, quali glicidilmetacrilato e allil-glicidil-etero, ha consentito di incrementare la frazione di resina legata alle particelle in dispersione. Di rilievo ancora maggiore sono stati i risultati ottenuti con la sintesi di resine ASR "in-situ" impiegando agenti di trasferimento di catena con meccanismo di addizione-frammentazione. In questo caso, la maggioranza delle molecole di resina prodotte presenta un doppio legame terminale, disponibile a reagire durante la EP. Come evidenziato in precedenza, la resina può essere vista, in questo caso, come un macromonomero; pur con differenze dipendenti dal tipo di monomero usato per la produzione del lattice (incorporazione come comonomero nel caso di acrilati, addizione-frammentazione reversibile nel caso di metacrilati), è stata sempre osservata l'incorporazione totale della resina nelle frazioni ad altro peso molecolare, indicando il graffaggio pressoché completo del tensioattivo. L'effetto dell'aumento del graffaggio è stato poi studiato formulando le dispersioni in impregnanti per legno. È stato possibile dimostrare come i film ottenuti siano estremamente resistenti addirittura a soluzioni acquose basiche, nelle quali resine polimeriche convenzionali contenenti acido (met)acrilico verrebbero facilmente estratte e dilavate dal rivestimento [19].

Conclusioni

Riassumendo, in questo lavoro è stata migliorata la descrizione della cinetica e della nucleazione in sistemi di EP industriale stabilizzati con resine ASR. In particolare, il fenomeno del ritardo di conversione che viene comunemente osservato è stato chiarito dal punto di vista chimico. Il relativo contributo dei meccanismi di graffaggio tra il tensioattivo polimerico e le particelle è stato analizzato, evidenziando come l'incorporazione attraverso doppi legami sia preponderante sull'estrazione di idrogeno. Sono state, infine, descritte delle strategie per aumentare il graffaggio che si sono rivelate particolarmente efficaci per ridurre il dilavamento in formulazioni modello per rivestimenti. Su queste basi, una nuova generazione di dispersioni polimeriche potrà auspicabilmente essere sviluppata, consentendo la produzione di formulazioni a ridotto rilascio di composti chimici, e quindi a minor impatto ambientale, garantendo contemporaneamente una prolungata vita in servizio dei rivestimenti polimerici.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il programma di ricerca ed innovazione dell'Unione Europea Horizon 2020 per aver fornito supporto economico attraverso il progetto Marie Skłodowska-Curie TRACKWAY-ITN 642514.

BIBLIOGRAFIA

- [1] A.M. van Herk, R.G. Gilbert, *Chemistry and Technology of Emulsion Polymerisation*, John Wiley & Sons, Oxford, 2013, 43.
- [2] F.A. Di Gioia, R.E. Nelson, *Ind. Eng. Chem.*, 1953, **45**, 745.
- [3] R.H. Ottewill, R. Satgurunathan, *Colloid Polym. Sci.*, 1995, **273**, 379.
- [4] E. Kientz, Y. Holl, *Colloids Surf. A*, 1993, **78**, 255.
- [5] L.N. Butler, C.M. Fellows, R.G. Gilbert, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2003, **42**, 456.
- [6] F. Belaroui *et al.*, *J. Colloid Interface Sci.*, 2003, **261**, 336.
- [7] L.N. Butler *et al.*, *Prog. Org. Coatings*, 2005, **53**, 112.
- [8] M.J. Scott, M.N. Jones, *Biochim. Biophys. Acta - Biomembr.*, 2000, **1508**, 235.
- [9] N. Ballard *et al.*, *Langmuir*, 2014, **30**, 9053.
- [10] N. Shirakbari *et al.*, *J. Macromol. Sci. Part B*, 2014, **53**, 1286.
- [11] D.Y. Lee, J.H. Kim, *J. Polym. Sci. Part A.*, 1998, **36**, 2865.
- [12] D.Y. Lee *et al.*, *Colloids Surf. A*, 1999, **153**, 89.
- [13] H.D. Hwu, Y.D. Lee, *Polymer*, 2000, **41**, 5695.
- [14] S.C. Thickett, R.G. Gilbert, *Macromolecules*, 2006, **39**, 6495.
- [15] A.N.F. Peck, J.M. Asua, *Macromolecules*, 2008, **41**, 7928.
- [16] S. Caballero *et al.*, *Macromolecules*, 2009, **42**, 1913.
- [17] M. Bandiera *et al.*, *Eur. Pol. J.*, 2017, **97**, 77.
- [18] M. Bandiera *et al.*, *Polym. Chem.*, 2019, **10**, 1769.
- [19] M. Bandiera *et al.*, Patent Application WO/2020/007985, 2020.

Eco-Friendly Industrial Polymeric Dispersions

Kinetics of emulsion polymerizations stabilized with polymeric resins have been studied in industrial conditions, expanding the description of the retardation of conversion. Moreover, the grafting between the resin and the polymeric particles has been explored, separating quantitatively the relative contribution of the mechanisms behind it. Finally, methodologies to increase grafting and to mitigate the leaching in the final applications have been proposed.



UNA NUOVA ERA DI RITARDANTI DI FIAMMA

L'aumento degli incendi domestici e l'ampio uso del cotone in diversi campi di applicazione ha portato a un notevole sforzo sia accademico che industriale per trovare nuovi ritardanti di fiamma biocompatibili e non tossici per tessuti cellulosici. In questo studio, il cotone è stato reso ignifugo da un rivestimento superficiale a base di poliammidoammine derivanti da amminoacidi naturali, grazie alla proprietà intrinseca di intumescenza e alla loro attività come radical-scavenger.

In questo lavoro di tesi magistrale sono state studiate la sintesi, l'applicazione e la caratterizzazione di polimeri derivanti da α -amminoacidi naturali con proprietà ignifuga per uno dei materiali più usati e più infiammabili esistenti, il cotone.

Negli ultimi anni è stato osservato un incremento esponenziale di incendi domestici (2017: 3,2 milioni di incendi, 17 mila morti) causati principalmente dalla presenza di materiale infiammabile (come tende, divani, poltrone ecc.) posto vicino a fonti di calore o ad apparecchi elettronici.

Dal 1950, sono stati fatti molti studi sui ritardanti di fiamma (FR) per il cotone, materiale molto usato in diversi campi, come gli indumenti, l'*automotive* e i trasporti [1]: dai primi anni Duemila fino ad ora, le molecole presenti in commercio sono per la maggior parte a base fosforo [2]. Questi composti presentano diverse limitazioni e per questo motivo, recentemente, sono state studiate alternative biocompatibili e naturali, come il DNA e alcune proteine, che però, malgrado gli ottimi risultati, non presentano possibilità di applicazioni industriali.

Sulla base di questi studi, il gruppo di ricerca dove ho svolto il tirocinio ha da poco studiato le potenzialità di una famiglia di polimeri, nota per numerose applicazioni in campo biotecnologico e medicale [3]: le poliammidoammine (PAAs), in particolare quelle derivanti da amminoacidi naturali. Tali polimeri, oltre ad essere biocompatibili [4] e degradabili [5] possono essere sintetizzati con un processo *green*, eco-compatibile e facilmente scalabile

a livello industriale. Il risultato dei primi studi condotti [6] ha dimostrato che tutte le PAA analizzate sono caratterizzate da una resistenza intrinseca al calore, definita intumescenza. Ciò significa che, quando esposte al calore, le PAA decompongono formando una struttura carboniosa termicamente stabile (*char*) che, rigonfiandosi, agisce come strato protettivo per il substrato sottostante limitando il passaggio di ossigeno, massa e calore tra il materiale e l'ambiente.

Inoltre, omopolimeri aventi nella struttura dell'unità ripetente un ponte disolfuro derivante da un residuo di cistina [7] sono risultati degli ottimi *radical-scavenger*: essendo il meccanismo di combustione di tipo radicalico, questi polimeri sono in grado di interrompere in fase gas la combustione della cellulosa contenuta nel cotone.

Queste PAAs sono sintetizzate attraverso una reazione di poliaddizione di Michael tra un'ammina primaria o secondaria con una bisacrilammide; la sintesi avviene in 48 h, a temperatura ambiente, in acqua, senza l'uso di catalizzatori e senza prodotti di scarto.

Partendo da questi risultati, sono state studiate le correlazioni tra struttura e proprietà antifiamma di molecole naturali con funzioni azotate, carbossiliche e disolfuree. In particolare, le prime, sviluppando ammoniaca, diluiscono i radicali presenti in fase gas, facendo risultare più complicato il protrarsi di reazioni di combustione; le funzioni carbossiliche, invece, sviluppano una grande quantità di *char* e,

Alessandro Beduini ha ricevuto il Premio "Miglior Tesi di Laurea Magistrale" 2020, assegnato dalla Divisione di Chimica Industriale, per il manoscritto intitolato "Homo- and copolymeric polyamidoamines as flame retardants for cotton fabrics".

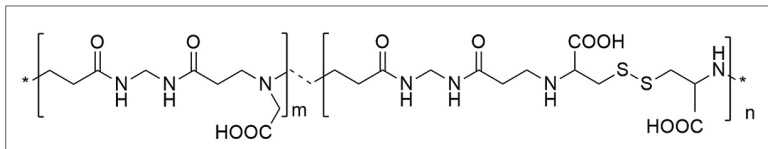


Fig. 1 - Struttura chimica del copolimero M-G_m-C_n

infine, la presenza di un legame S-S nel mezzo di una molecola, porta alla formazione di radicali S, interrompendo la propagazione radicalica tipica della reazione di combustione. Dopo questi studi, sono stati sintetizzati una serie di omo- e copolimeri contenenti queste funzioni nella propria struttura, tra cui quattro copolimeri derivanti da *N,N'*-metilbisacrilammide (M), glicina (G) e cistina (C), con diverse composizioni: 30:70, 60:40, 50:50 e 70:30 G:C (Fig. 1). Il comportamento di questi copolimeri è stato confrontato con quello degli omologhi omopolimeri (M-G e M-C) e con i loro *blend*.

Tutti i polimeri sono stati applicati come *coating* per tessuti di cotone con una grammatura di 200 g·m⁻². Ciascun campione è stato imbevuto per pochi minuti in una soluzione acquosa molto diluita, mimando una tipica applicazione industriale; successivamente,

il tessuto è stato asciugato per poi stabilire l'*add-on*, ossia la quantità di polimero depositato sul campione; per tutti i provini è stato calcolato un *add-on* ≈16%, quantità confrontabile a quella dei ritardanti di fiamma attualmente impiegati in commercio.

Tutti i provini sono stati caratterizzati termicamente e in Fig. 2 si può osservare come la formazione di *char* e la conseguente intumescenza, rendano termicamente più stabile il campione trattato.

Sono stati poi effettuati test di combustione in configurazione orizzontale e in verticale, che rappresenta, quest'ultima, una condizione molto drastica di incendio; possiamo osservare che, nel test verticale (Fig. 3), il copolimero con almeno il 50% di cistina protegge efficacemente il substrato, inibendo la combustione del cotone, ottenendo un residuo >95%, come dimostrato dalla morfologia del residuo osservata al FE-SEM (Fig. 4). Al contrario, il *blend* non ha protetto efficacemente il tessuto.

Nel test orizzontale è stato osservato un ottimo risultato per tutti i campioni, in particolare per il copolimero M-G₇₀-C₃₀.

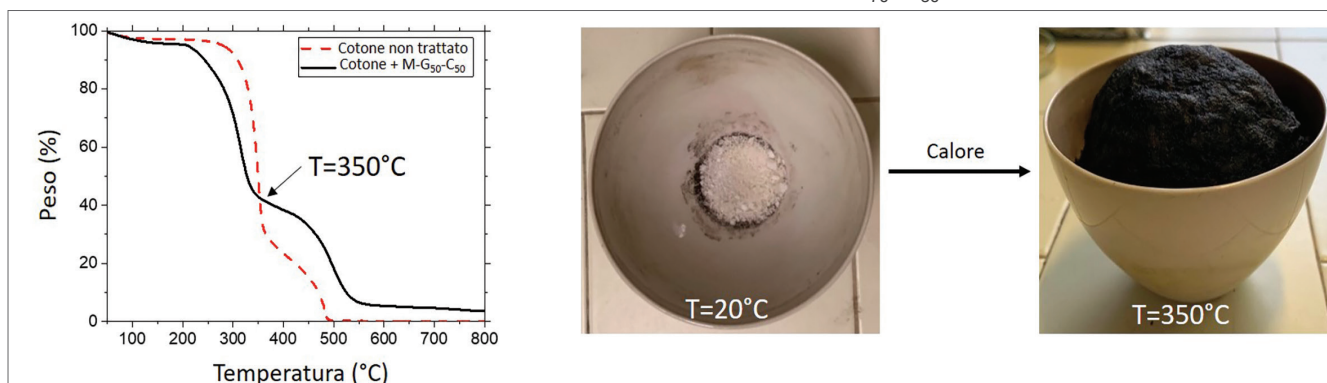


Fig. 2 - Grafico d'esempio di un'analisi TGA del copolimero M-G₅₀-C₅₀ e relativa prova del fenomeno di intumescenza

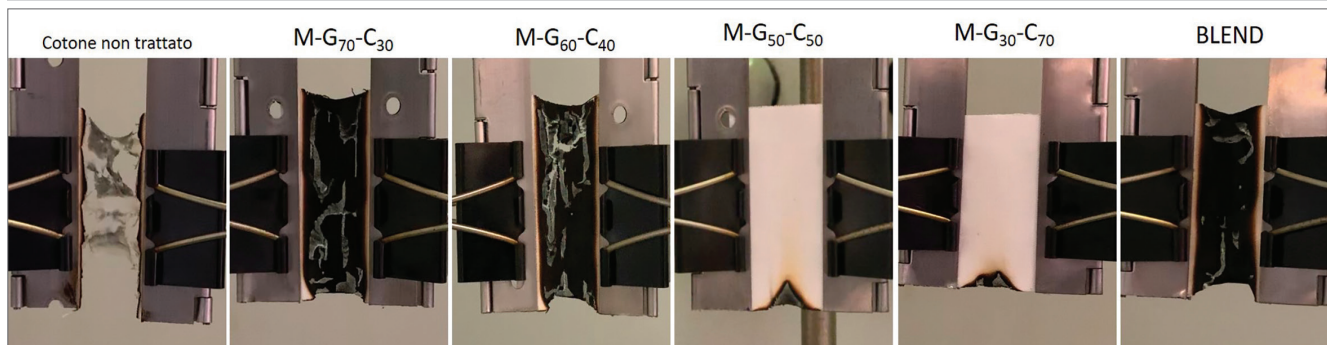


Fig. 3 - Residui dei test di combustione in configurazione verticale

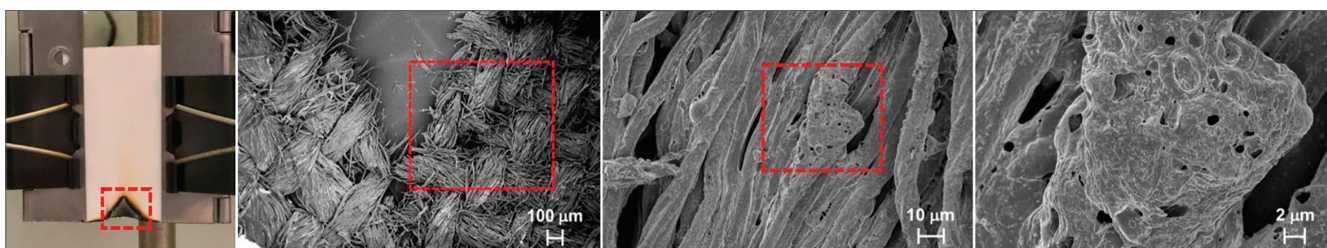


Fig. 4 - Foto del provino e micrografie FE-SEM del residuo di cotone trattato con il copolimero a diversi ingrandimenti

Da questi risultati possiamo concludere che, per applicazioni di un tessuto in configurazione orizzontale (*i.e.* tappeto), il copolimero più performante è M-G₇₀-C₃₀, mentre per un impiego in verticale (*i.e.* tende), i copolimeri M-G₅₀-C₅₀ e M-G₃₀-C₇₀ sono i più efficienti ma, la formulazione funzionante con la minor quantità di cistina è la migliore da un punto di vista economico.

Il copolimero M-G₅₀-C₅₀ è quindi il candidato migliore per applicazioni miste (sia orizzontali che verticali) e per questo motivo, sono stati studiati gli *add-ons* minimi in entrambe le configurazioni; è stato confermato il 16% per il verticale mentre, per l'impostazione orizzontale, è stato osservato un *add-on* minimo pari al 7%.

Confrontando i risultati ottenuti con quelli presenti in letteratura, si può osservare che il copolimero M-G₅₀-C₅₀ ha prestazioni migliori in verticale rispetto all'omopolimero M-G e in orizzontale rispetto all'omopolimero M-C.

Per applicazioni commerciali, un'altra caratteristica importante dei tessuti è la resistenza a un pannello radiante. Per tale motivo, tessuti di cotone trattati con il copolimero M-G₅₀-C₅₀ e il *blend* dei due omopolimeri sono stati testati al cono calorimetro a consumo di ossigeno a parità di *add-on*. Rispetto al cotone non trattato, il trattamento con il copolimero ha aumentato il tempo di innesco (+50%), ha diminuito il picco di velocità del rilascio di calore (-55%) e ha ridotto le emissioni di CO (-20%) e CO₂ (-29%) mentre, per quanto riguarda il *blend*, le prestazioni sono state decisamente inferiori (+20, -40, -4 e -15%, rispettivamente).

Inoltre, sono stati sintetizzati e testati altri copolimeri, sostituendo la cistina e/o la glicina con altri monomeri come arginina, 2-metilpiperazina e l'acido 2-amminoetilfosfonico, ma nessuno di questi ha avuto prestazioni confrontabili con quelle del copolimero M-G₅₀-C₅₀.

In conclusione, è stato dimostrato che, le poliamidoammine copolimeriche con α -amminoacidi naturali con proprietà di intumescenza e con compor-

tamento di radical scavenger, rendono ignifugo un materiale molto infiammabile come il cotone, migliorando il comportamento degli omopolimeri studiati in precedenza; inoltre, la sintesi rapida, a temperatura ambiente, in acqua, senza l'uso di catalizzatori, senza la formazione prodotti di scarto e l'applicazione sul tessuto compatibile con le esigenze di un processo, rendono questa ricerca interessante non solo per la conoscenza degli aspetti di base della scienza dei polimeri, ma anche per un possibile sviluppo industriale di questa famiglia di polimeri.

Ulteriori informazioni: A. Beduini *et al.*, *Polymers*, 2019, **11**, 1904; <https://www.mdpi.com/2073-4360/11/11/1904>.

BIBLIOGRAFIA

- [1] J. Alongi, G. Malucelli, *RSC Adv.*, 2015, **5**, 24239.
- [2] A.R. Horrocks, *Polym. Degrad. Stabil.*, 2011, **96**, 377.
- [3] E. Ranucci, A. Manfredi, *Chem. Afr.*, 2019, **2**, 167.
- [4] P. Ferruti, *J. Polym. Sci. Polym. Chem.*, 2013, **51**, 2319.
- [5] M. Arioli *et al.*, *Polymers*, 2020, **12**, 1376.
- [6] A. Manfredi *et al.*, *Polym. Degrad. Stabil.*, 2018, **151**, 52.
- [7] A. Manfredi *et al.*, *Polym. Degrad. Stabil.*, 2018, **156**, 1.

A New Flame Retardant Era

The increase in domestic fires and the widespread use of cotton in different fields of application has led to a considerable academic and industrial effort to find new biocompatible and non-toxic flame retardants for cellulosic fabrics. In this study, cotton was made non-flammable by a surface coating based on polyamidoamines deriving from natural amino acids, thanks to their intrinsic properties of intumescence and radical-scavenger character.



Giulia Forghieri, Michela Signoretto (Supervisor),
Isabella Concina (Co-Supervisor)
Dipartimento di Scienze Molecolari e Nanosistemi
Università di Venezia "Ca' Foscari", Mestre (VE)
giulia.forghieri@unive.it

MATERIALI NANOSTRUTTURATI PER LA FOTO-CONVERSIONE DI CO₂

Tra i tentativi per controllare il livello di gas serra (GS), come, per esempio, la quantità di biossido di carbonio (CO₂) nell'atmosfera, vi è l'utilizzo di tecnologie finalizzate a cattura e utilizzo del carbonio (CUC). Nello studio descritto, l'ossido di zinco (ZnO) e l'ossido di titanio (TiO₂) sono stati testati prima come candidati per la cattura di CO₂ e sua conversione diretta mediata dal solo utilizzo della luce, poi per un processo di fotocatalisi elettro-assistito, mediante l'applicazione di un potenziale elettrico, nell'ottica di un processo di conversione più sostenibile ed economico rispetto alle tecnologie attualmente impiegate.

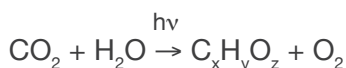
Indice delle abbreviazioni

BC	Banda di conduzione
BV	Banda di valenza
CUC	Cattura ed utilizzo del carbonio
CV	Ciclic voltammetry
DAS	Deposizione atomica a strati (da atomic layer deposition, ALD)
EIS	Electrochemical impedance spectroscopy
FTO	Fluorine-doped Tin Oxide
GS	Gas serra
LSV	Linear sweep voltammetry
NT	Nanotubi
RBS	Rutherford Backscattering Spectrometry
REI	Reazione di evoluzione dell'idrogeno
REO	Reazione di evoluzione dell'ossigeno
SC	Semiconduttore
SCE	Saturated calomel electrode
SEM	Scanning electron microscope, microscopia elettronica a scansione
TEM	Transmission electron microscope, microscopia elettronica a trasmissione
TEPD	Trasferimento elettronico protone-dipendente
TPD	Temperature programmed desorption
TPO	Temperature programmed oxidation
TPR	Temperature programmed reduction
UV	Ultravioletto
XRD	X-ray diffraction spectroscopy, spettroscopia a diffrazione a raggi-X

Introduzione

Il biossido di carbonio (CO₂) è uno dei maggiori sottoprodotti derivanti dalla combustione di carbone fossile - oltre che da altre attività antropiche - la cui concentrazione nell'atmosfera, insieme a quella di altri gas serra (GS), risulta responsabile del processo di riscaldamento globale e, più in generale, di quella serie di cambiamenti le cui ripercussioni sono state riscontrate anche a livello climatico [1, 2]. Il Rapporto Speciale sulle Energie Rinnovabili e la Mitigazione del Cambiamento Climatico (RSEN) [3] ha sottolineato il ruolo fondamentale delle energie rinnovabili accoppiate alle pratiche di cattura ed utilizzo del carbonio (CUC) [4].

L'utilizzo della luce per la conversione - anche noto con il termine di fotocatalisi - di CO₂ per mezzo di materiali fotoattivi, in genere si basa sull'abilità di semiconduttori (SC) di impiegare l'energia dei fotoni incidenti nella formazione di nuovi legami chimici, in una reazione chimica che coinvolge il trasferimento di elettroni o buche e genera prodotti a base carboniosa e ossigeno molecolare (Fig. 1) [5]:



Giulia Forghieri ha ricevuto il Premio "Miglior Tesi di Laurea Magistrale" 2020, assegnato dalla Divisione di Chimica Industriale, per il manoscritto intitolato "Nanostructured materials for the photo-driven conversion of CO₂: an investigation on the strategies for improved photo-catalysis by metal oxide semiconductors".

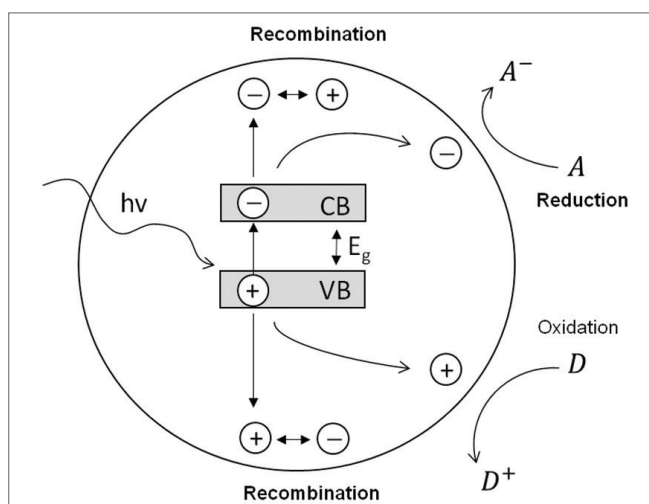


Fig. 1 - Meccanismo di generazione di coppie elettrone-buca

Proprietà dei catalizzatori, quali mobilità di carica, presenza di difetti e attività superficiale, sono alla base dell'efficienza del processo fotocatalitico, il cui successo dipende dalla prevalenza del trasferimento di carica sugli eventi di ricombinazione delle coppie elettrone-buca [6]. Le suddette proprietà possono essere incrementate per mezzo di (a) modifica dell'esposizione del reticolo cristallino superficiale, (b) co-catalizzatori e (c) accoppiamento con un altro semiconduttore [6]. Inoltre, come riportato altrove [7-9], gli orbitali *d* nei metalli di transizione, così come la dimensione dei materiali, il numero e il tipo di difetti sarebbero coinvolti sia nella selettività del substrato che nell'attività fotocatalitica. L'accoppiamento di SC con un metallo o con un altro SC è, in genere, impiegato per promuovere il trasferimento di carica e diminuire la ricombinazione, talvolta incrementando l'assorbimento luminoso [6, 10, 11]. In virtù della sua abbondanza, stabilità, non tossicità, eccitabilità nell'ultravioletto (UV) e di una banda di valenza (BV) in grado di ossidare l'acqua e di ridurre i protoni, TiO_2 è largamente impiegato sia in foto- che in elettro-catalisi [5, 12]. Similmente, l'ossido di zinco (ZnO) è un semiconduttore naturalmente diffuso e non tossico, noto per le sue proprietà emissive ed è impiegato principalmente in ambito ottico e piezoelettrico [13]. In virtù di un'elevata energia di gap (fino a 3,3 eV), peraltro simile a quella di TiO_2 , della sua conduttività e di una BV in grado di ossidare l'acqua, ZnO è stato proposto come candidato sia nell'elettrolisi dell'acqua [14] che in fotocatalisi, sebbene in questo caso il suo impiego sia in parte

limitato da eventi di foto-corrosione [15]. Il cerio è uno degli elementi più abbondanti tra le terre rare e il suo ossido può presentarsi sottoforma di CeO_2 o di Ce_2O_3 , con energia di gap in genere compresa tra 3,2 e 2,8 eV [16], a seconda delle dimensioni e del rapporto stechiometrico tra i due ossidi quando presenti nello stesso materiale [17-19].

Per le suddette proprietà, i sistemi $\text{CeO}_2\text{-TiO}_2$, ZnO e TiO_2 sono stati studiati anche per la foto-elettrolisi dell'acqua, che consiste nella riduzione o nell'ossidazione dell'acqua per mezzo di coppie elettrone-buca foto-generate. I due processi vengono detti reazione di evoluzione dell'ossigeno (REO) e reazione di evoluzione dell'idrogeno (REI), rispettivamente [20]. Etero-giunzioni derivanti dall'accoppiamento tra SC e SC o di SC con metalli sono spesso impiegate per migliorare la mobilità elettronica, il trasferimento elettronico, l'assorbimento luminoso e la stabilità del materiale nel sistema foto-elettrocatalitico [21].

L'oggetto del seguente progetto è stato lo studio del potenziale di ossidi metallici nano-strutturati per l'impiego nella foto-conversione di CO_2 in CH_4 e nella foto-elettroconversione dell'acqua, con l'obiettivo di valutarne e migliorarne l'efficienza foto- ed elettro-catalitica e la foto-stabilità in fase gas e in condizioni moderate di pressione e temperatura.

Risultati e discussione

Le analisi cristallografiche (XRD) effettuate sulle polveri dei sistemi misti contenenti cerio, oltre a confermare la presenza delle fasi cristalline, hanno mostrato modifiche strutturali evidenti solo nelle polveri di $\text{CeO}_2\text{-TiO}_2$, quando paragonati alle polveri di TiO_2 e ZnO, suggerendo da un lato l'avvenuto inserimento di cerio nel reticolo cristallino di TiO_2 , con conseguente formazione di una nuova fase tendenzialmente amorfa, e, dall'altro, la formazione di cluster cristallini individuali di CeO_2 e ZnO nei sistemi misti $\text{CeO}_2\text{-ZnO}$. La modifica strutturale in $\text{CeO}_2\text{-TiO}_2$ ha comportato un aumentato assorbimento luminoso nella regione visibile, mostrato dalle analisi di spettroscopia di riflettanza. L'analisi di microscopia elettronica (SEM e TEM) ha confermato le dimensioni nanometriche, comprese tra i 20 ed i 50 nm, e la forma rotondeggiante dei materiali a base di ZnO e dei materiali a base di cerio, $\text{CeO}_2\text{-TiO}_2$ e $\text{CeO}_2\text{-ZnO}$, queste ultime risultate in media di 28 nm e 12 nm, rispettivamente. I test di adsorbimento dell'azoto hanno mostrato isoterme tipiche

di materiali mesoporosi in ZnO e TiO₂ con un'area superficiale pari a 33 m²/g e 50 m²/g. Quest'ultima è risultata aumentare in seguito all'aggiunta di cerio in CeO₂-TiO₂ e CeO₂-ZnO. L'introduzione di metalli come rame e argento sulla superficie di ZnO ha comportato l'inibizione dell'emissione visibile del materiale (610 nm), come mostrato dall'analisi dello spettro di emissione di ZnO per mezzo di spettroscopia di foto-luminescenza, ma lasciando invariato l'assorbimento luminoso nel visibile - come invece indicato dalle analisi di spettroscopia di riflettanza - suggerendo un'interazione elettronica post-eccitamento tra l'ossido e i metalli. La presenza di Ce è risultata in un leggero incremento dell'emissione ultravioletta di CeO₂-ZnO, rispetto a ZnO, suggerendo anche in questo caso un trasferimento di carica a livello dell'eterogiunzione tra i semiconduttori. La presenza di Ce ha anche modificato la capacità di adsorbimento di CO₂ dei materiali a base di ZnO e di TiO₂, come ipotizzato e supportato dallo studio del desorbimento a temperatura programmata di CO₂.

Confrontando l'attività fotocatalitica dei materiali sintetizzati, i materiali a base di TiO₂ sono risultati più efficienti per la conversione foto-mediata di CO₂ di quelli a base di ZnO, mostrando rispettivamente una produzione di CH₄ pari a 0,16 μmol e 0,41 μmol per grammo di catalizzatore. L'introduzione individuale di Ag o Cu di metalli su ZnO ha leggermente ridotto la produzione di metano, ma al contempo diminuito la produzione di O₂ - in rapporto a CH₄ - con conseguente aumento della foto-stabilità, mentre l'introduzione di Ce non ha portato ad una produzione misurabile di CH₄. L'introduzione di supporti a base di ossido di silicio (SiO₂), porosi o meno, hanno incrementato la produzione di CH₄ - a parità di condizioni e con l'impiego di una minore quantità di catalizzatore - più che raddoppiandola (1,15 μmol per g di catalizzatore), classificandosi come i sistemi più efficienti tra quelli testati (Fig. 2).

La forma e la dimensione dei nanotubi (NT) di TiO₂ e ZnO, ottenuti per mezzo di sintesi idrotermale, sono state studiate con analisi cristallografiche e microscopiche (SEM, TEM) che hanno confermato la presenza di cerio in forma di ossido (Fig. 3), precedentemente depositato su NT di ZnO e TiO₂ per mezzo di roto-deposizione, e quella di TiO₂, depositato in vari spessori per deposizione atomica a strati (DAS), e ulteriormente confermato con la tecnica

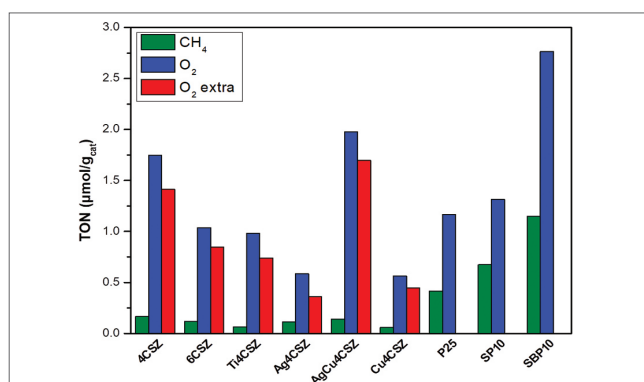


Fig. 2 - Numero di turnover (TON) dei materiali a base di ZnO e TiO₂ esposti per 6 h a illuminazione UV in flusso con miscela CO₂/H₂O con rapporto 13,33

di RBS. La presenza di strati superficiali di CeO₂ o di TiO₂ di spessore nanometrico, ha inibito l'emissione visibile di ZnO, come suggerito dall'analisi di fotoluminescenza. Tuttavia, mentre nei test foto-elettrocatalitici per la REO la presenza di CeO₂ ha in generale aumentato la conduttività dei NT di ZnO e TiO₂, la presenza di strati di TiO₂ ha agito da isolante, diminuendo la foto-corrente prodotta da ZnO e aumentando la resistenza al trasferimento di carica tra il nanomateriale e l'acqua. Sebbene NT di TiO₂ siano risultati più foto-stabili, la deposizione di Ce ha aumentato la foto- e l'elettro-stabilità ZnO.

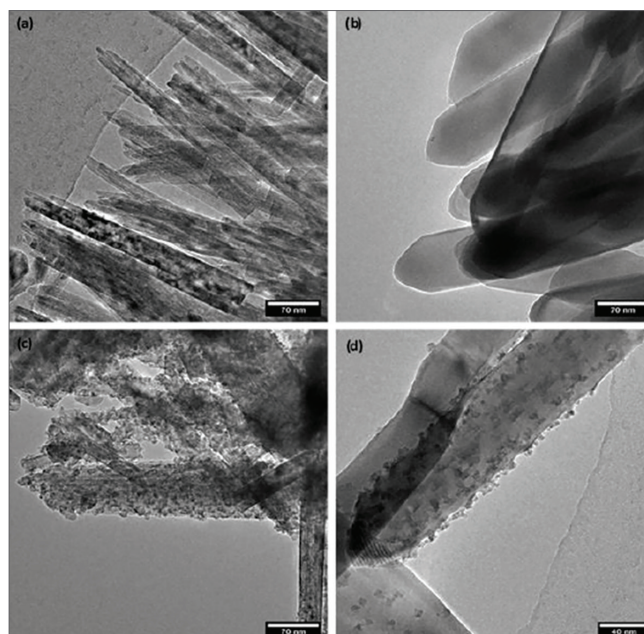
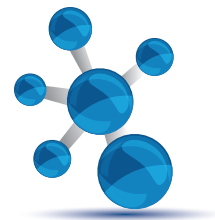


Fig. 3 - Analisi TEM di (a) NT di TiO₂, (b) NT di ZnO con minori quantità di CeO₂, (c) NT di TiO₂, (d) NT di ZnO con maggiori quantità di CeO₂, che mostrano la presenza di nanoaggregati in (c) e (d)



Conclusioni e prospettive

La progettazione e l'inizio degli esperimenti sono avvenuti all'Università Ca' Foscari di Venezia nel Dipartimento di Scienze Molecolari e Nanosistemi e con il supporto del gruppo di ricerca CATMAT, che si occupa di design, sintesi e caratterizzazione di materiali a scopo applicativo, comprendente la catalisi, con particolare riguardo allo sviluppo di processi sostenibili. La parte conclusiva del progetto si è svolta in Svezia, all'Università di Tecnologia di Luleå e ha riguardato la sintesi e la caratterizzazione di nanotubi (NT) di ZnO e di TiO₂ decorati con nanoparticelle di CeO₂ per roto-deposizione o con nano-strati di TiO₂ per deposizione atomica (DAS). Le diverse caratterizzazioni e test effettuati hanno, dunque, fornito l'opportunità di esplorare l'influenza di fattori quali l'affinità di adsorbimento, la struttura cristallina, il trasferimento di carica e la stabilità durante i processi foto-catalitico ed elettrochimico, al fine di ottenere una più efficace foto-conversione della CO₂ nella prospettiva futura di maggiore impiego dei suddetti materiali a livello industriale. Nell'ottica di un'economia circolare e di una produzione di energia pulita, i risultati ottenuti sottolineano il potenziale promettente di processi quali foto-catalisi ed elettro-catalisi nella conversione di CO₂ o nell'elettrolisi di H₂O, al fine di produrre vettori energetici - come CH₄ e H₂ - in modo sostenibile e conveniente.

BIBLIOGRAFIA

- [1] B. Metz, O. Davidson *et al.*, IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, Cambridge University Press, United Kingdom and New York, 2015, p. 77.
- [2] R.K. Pachauri, L.A. Meyer, IPCC Climate Change 2014, Synthesis Report, 2014, p. 75.
- [3] O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga *et al.*, Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Cambridge University Press, 2011, p. 16.
- [4] M. Hoel, S. Kverndokk, *Resource and Energy Economics*, 1996, **18**, 115.
- [5] S.N. Habisreutinger, L. Schmidt-Mende, J.K. Stolarczyk, *Angewandte Chemie International Edition*, 2013, **52**, 7372.
- [6] S. Bai, J. Jiang *et al.*, *Chemical Society Review*, 2015, **44**, 2893.
- [7] W.-J. Ong, L.-L. Tan *et al.*, *Sustainable Chemistry*, 2014, **7**, 690.
- [8] E.M. Andrews, J. Flake, Y. Fang, *ECS Transactions*, 2015, **66**, 22.
- [9] F. Liu, Y.H. Leung *et al.*, *Journal of Physical Chemistry C*, 2013, **117**, 12218.
- [10] V. Subramanian, E.E. Wolf, P.V. Kamat, *American Chemical Society*, 2004, **126**(15), 4943.
- [11] A. Tanaka, K. Hashimoto, H. Kominami, *American Chemical Society*, 2014, **136**(2), 586.
- [12] L. Liu, Y. Li, *Aerosol Air Quality Research*, 2014, **14**, 453.
- [13] Ü. Özgür, Ya.I. Alivov *et al.*, *Journal of Applied Physics*, 2005, **98**, 041301.
- [14] S. Wang, B. Zhu *et al.*, *Applied Catalysis B: Environment*, 2019, **243**, 19.
- [15] Y. Li, W. Xie *et al.*, *Langmuir*, 2010, **26**(1), 591.
- [16] S. Tsunekawa, J.-T. Wang, Y. Kawazoe, *Journal of Alloys and Compounds*, 2006, **408**, 1145.
- [17] E.D. Sherly, J.J. Vijaya, L.J. Kennedy, *Journal of Molecular Structure*, 2015, **1099**, 114.
- [18] A.M.T. Silva, C.G. Silva *et al.*, *Catalysis Today*, 2009, **144**, 13.
- [19] S. Watanabe, X. Ma, C. Song, *Journal of Physical Chemistry C*, 2009, **113**, 14249.
- [20] T. Jafari, E. Moharreri *et al.*, *Molecules*, 2016, **21**(1), 900.
- [21] M. Ni, M.K.H. Leung *et al.*, *Renewable Sustainable Energy Review*, 2007, **11**, 401.

Nanostructured Materials for the Photo-Conversion of CO₂

Amongst the attempts to control the increasing levels of greenhouse gases (GHG), such as carbon dioxide (CO₂), there is the implementation of carbon capture and utilization (CCU) technologies. In the described study, zinc oxide (ZnO) and titanium oxide (TiO₂) were tested first as candidates for the coupled capture and direct conversion of CO₂, using light as energetic source and requiring no additional energetic supply, and then for the electro-assisted photo-catalysis, in presence of a bias potential, as cleaner and cheaper alternative to the more widely employed metals.



Valentina Domenici

Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale, Università di Pisa

valentina.domenici@unipi.it

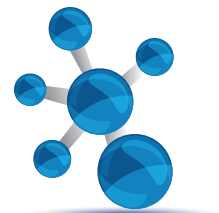
DIDATTICA DELLA CHIMICA A DISTANZA: ATTIVITÀ CON GLI STUDENTI UNIVERSITARI E A SUPPORTO DEGLI INSEGNANTI DI SCUOLE PRIMARIE E SECONDARIE

La didattica a distanza ha coinvolto in modo trasversale il mondo della scuola e dell'università. In questo articolo saranno descritte alcune esperienze maturate nell'ambito di alcuni corsi universitari per la formazione dei futuri insegnanti di chimica e insegnanti delle scuole primarie, e attività di chimica progettate a supporto degli insegnanti delle scuole primarie e secondarie per la didattica a distanza.

Introduzione

La didattica a distanza è stata ed è ancora sotto i riflettori del mondo della scuola e dell'università per il proseguirsi delle disposizioni che molti Paesi, Italia compresa, hanno adottato per marginare gli effetti negativi della pandemia di Covid-19. A partire dal mese di marzo 2020, come riportato dal sito dell'Unesco [1], e per periodi molto diversi nei vari Paesi del mondo, centinaia di milioni di studenti sono rimasti a casa e l'unica possibilità di garantire una certa continuità dell'attività educativa e formativa svolta tipicamente in classe è stato l'utilizzo della cosiddetta "DAD", ovvero la didattica a distanza. Alcuni degli strumenti e delle modalità di insegnamento impiegati nella didattica a distanza, come le piattaforme di e-learning e l'utilizzo delle lezioni videoregistrate, erano conosciuti e sperimentati già da tempo in alcuni Paesi, come Stati Uniti, Australia e Regno Unito, in combinazione con le altre modalità più tipiche della didattica in presenza, anche per

quanto riguarda l'insegnamento della chimica [2-5]. L'eccezionalità della situazione che stiamo ancora vivendo, dal punto di vista dell'educazione e dell'insegnamento, è dovuta principalmente al fatto che la didattica a distanza ha, in molti casi, completamente sostituito la didattica in presenza, rivelandone alcuni limiti. Recenti studi svolti in Italia [6, 7] hanno evidenziato, ad esempio, come il passaggio repentino da 'didattica in classe' a 'didattica a casa' abbia richiesto un grande sforzo da parte delle famiglie, in termini di riorganizzazione degli spazi e del tempo per seguire i propri figli, di adeguamento degli strumenti digitali e della connessione internet. Dal punto di vista dell'apprendimento, invece, sembra che gli effetti più negativi della didattica a distanza siano legati alla maggiore difficoltà di coinvolgimento degli allievi nelle lezioni e alla difficoltà di concentrazione, all'assenza di socializzazione e di interazione tra compagni, che avviene normalmente durante le lezioni in presenza. Tuttavia, è piuttosto difficile



imputare tutti questi elementi negativi alla didattica a distanza in sé e per sé senza tener conto anche della situazione psicologica degli adolescenti e dei giovani in conseguenza della pandemia e del modo in cui è stata gestita.

La comunità dei chimici e degli insegnanti di chimica di tutto il mondo ha risposto all'emergenza Covid-19 con grande impegno e senso di responsabilità. Molte società chimiche, dall'American Chemical Society [8, 9] alla Royal Society of Chemistry [10] fino alla stessa Società Chimica Italiana [11], hanno messo in rete esperienze, proposte didattiche, software e molte altre risorse per aiutare i docenti di tutte le scuole nella didattica a distanza. In questa breve relazione riporterò alcuni esempi di attività didattiche sviluppate in questo periodo di emergenza nell'ambito di alcuni corsi universitari e a supporto di insegnanti delle scuole secondarie e primarie, soffermandomi sugli aspetti didattici e sulle metodologie utilizzate [12].

Un corso universitario di storia della chimica tutto a distanza

Tra i corsi universitari del Corso di Laurea triennale in Chimica dell'Università di Pisa da qualche anno esiste un corso opzionale da 3 crediti, "Storia della Chimica ed Elementi di Didattica", suggerito agli studenti del primo anno e aperto agli esterni in quanto accreditato nell'ambito del percorso PF24, ovvero incluso nei 24 CFU per la formazione degli insegnanti. Trattandosi di un corso del secondo semestre, nel 2020, si è svolto prevalentemente a distanza.

Come riportato in un recente articolo [13], la modalità 'a distanza' ha permesso di ampliare una parte del corso che già utilizzava abbondantemente la piattaforma di e-learning, in particolare con una serie di attività che gli studenti possono fare in modalità "asincrona", ovvero in orari diversi da quelli della lezione, e che prevedono anche dei test di autovalutazione sui vari argomenti proposti, dall'alchimia alla nascita della chimica moderna, dalla teoria atomico-molecolare all'evoluzione storica del concetto di "elemento chimico". Affrontare questi argomenti durante le lezioni in presenza consente normalmente

di lavorare sui testi, leggendo brani di testi originali, discutendo insieme agli allievi, anche divisi in piccoli gruppi, alcune tematiche e, soprattutto, sperimentando le metodologie di insegnamento storico/epistemologico [14]. Come ben sanno molti colleghi che hanno sperimentato la didattica a distanza durante questo periodo, il coinvolgimento degli allievi in discussioni collettive è molto più difficile quando gli studenti sono 'nascosti' dietro i loro schermi. Un modo per facilitare la partecipazione degli allievi è ricorrere alla metodologia della *flipped-classroom*, dando prima del materiale da leggere o approfondire, chiedendo poi di presentarlo ai compagni durante la lezione successiva, oppure organizzando dei lavori di gruppo a distanza, seguendo la metodologia del *cooperative learning*. Quest'ultima metodologia è stata sperimentata durante l'ultima parte del corso ed ha avuto un buon risultato sia in termini di gradimento da parte degli studenti, che di partecipazione. Ad ogni gruppo, composto da tre studenti, era stato assegnato uno dei capitoli del libro di Eric Scerri [15] sulla storia della scoperta di alcuni elementi chimici e doveva seguire una scheda per la preparazione di un lavoro di gruppo che toccasse vari temi, dal contesto storico alle dispute relative alla priorità della scoperta, dagli aspetti etici a quelli tecnico-scientifici legati alla scoperta dell'elemento chimico. Nelle lezioni conclusive del corso, tutti i gruppi hanno relazionato agli altri riguardo i risultati della ricerca svolta (Fig. 1), mostrando, nonostante la distanza fisica, una notevole partecipazione e interazione. Le discussioni scaturite da questi incontri sono state



Fig. 1 - Immagine composta con le restituzioni finali da parte degli studenti universitari del corso di Storia della Chimica ed Elementi di Didattica sul lavoro collettivo, condotto a distanza, sul libro di Eric Scerri "A tale of seven elements"

utili agli studenti anche per riflettere su alcuni temi di attualità, come la diffusione delle scoperte scientifiche attraverso i media e gli aspetti etici legati ai meccanismi di pubblicazione dei risultati scientifici. Da questo punto di vista, la modalità “a distanza” non ha influito negativamente sul corso e neanche sui risultati ottenuti dagli studenti nell’esame conclusivo [13].

Supporto agli insegnanti delle scuole nella didattica a distanza

Nel dibattito interno alla comunità dei chimici e dei docenti di chimica, uno degli aspetti più volte emerso ha riguardato la difficoltà di proporre attività laboratoriali a distanza. L’apprendimento della chimica, infatti, passa dalla sperimentazione in laboratorio, dall’osservazione dei fenomeni, dalla misura e dalla raccolta dei dati, dalla pratica e dall’utilizzo delle apparecchiature di laboratorio e delle procedure sperimentali. Tutto questo è molto difficile da fare in assenza di un laboratorio fisico, reale, ma non è impossibile. Alcune attività laboratoriali possono essere progettate, ad esempio, per la produzione di video didattici che possano essere utilizzati dai docenti e proposti, commentati e discussi con i ragazzi nella didattica a distanza. Alcuni esempi di queste attività sono state progettate e realizzate nel laboratorio SMSLAB presso il Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell’Università di Pisa da alcuni studenti del corso di “Fondamenti e metodologie didattiche per l’insegnamento della chimica” (Fig. 2). Ad esempio, una serie di video didattici sui “Giardini Chimici” [16], un esempio di reazioni chimiche molto affascinanti per la varietà delle forme e dei colori assunti dai precipitati, sono stati realizzati per due diversi target: la scuola primaria e la scuola secondaria di II grado. Nel primo caso, gli studenti hanno realizzato anche un sito web interattivo [17] che include, oltre alla visione di alcuni brevi video, la risoluzione di cruciverba e di altri giochi interattivi



Fig. 2 - Fotografie scattate presso il Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale (Università di Pisa) durante la preparazione dei video didattici e delle attività interattive sui “Giardini Chimici” destinate alle scuole primarie e secondarie. In foto le studentesse del corso di Didattica della Chimica che hanno preparato le attività: Chiara Scala e Nicole Vita

in un percorso che, ad oggi, è stato già sperimentato da diverse classi di alcune scuole di primarie e dai bambini che hanno seguito le attività on-line durante la “Notte dei Ricercatori e delle Ricercatrici, Bright2020” lo scorso 27 novembre 2020 [18]. Le insegnanti delle scuole primarie hanno utilizzato questi video e questo sito per introdurre ai bambini il concetto di trasformazione chimica, ma anche per avvicinare i bambini alla chimica.

Un lavoro più lungo e complesso è quello svolto nell’ambito di una tesi di laurea magistrale di didattica della chimica dalla studentessa Gioia Fano, seguita dalla sottoscritta e dal docente dell’Istituto Tecnico Superiore “Cattaneo” di San Miniato, San-

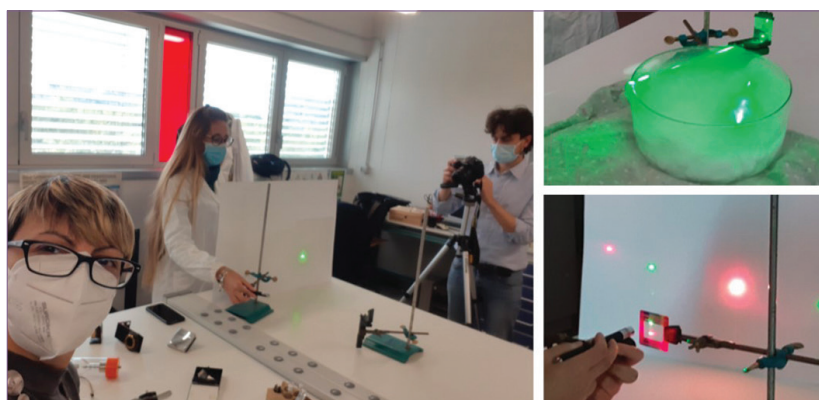


Fig. 3 - Fotografie scattate presso il Laboratorio SMSLAB di Spettroscopia del Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell’Università di Pisa durante la preparazione dei video didattici di introduzione alla spettroscopia destinati alle scuole secondarie di II grado. In foto oltre alla sottoscritta, la studentessa Gioia Fano e il docente Sandro Jurinovich, durante le riprese dei video



dro Jurinovich (Fig. 3), per costruire un percorso didattico di introduzione ai fenomeni ottici della luce e alla spettroscopia, a supporto degli insegnanti delle scuole secondarie di II grado. In questo caso, basandoci anche sull'esperienza maturata negli anni passati su attività laboratoriali di tipo *inquiry-based learning* denominate "Fare chimica con la luce" [19, 20], si è cercato di produrre materiale utile per la didattica a distanza, come video di esperienze da mostrare agli studenti, video con spiegazioni su come realizzare a casa semplici spettroscopi, presentazioni e siti web interattivi

per far elaborare i dati direttamente dagli allievi. Una parte di queste attività, tutte disponibili in rete, sono state presentate anche nel corso della Scuola nazionale "Del Re" di didattica e di formazione degli insegnanti organizzata dalla Divisione di Didattica della Chimica della Società Chimica Italiana [21].

Formazione degli insegnanti e sperimentazione di nuovi modi di fare didattica

Infine, un'altra metodologia sperimentata durante il periodo del primo lockdown ha riguardato il modulo di Didattica della Chimica del corso di "Fondamenti e didattica della fisica e della chimica" del corso di Scienze della Formazione Primaria dell'Università di Pisa. Anche in questo caso, il corso si è svolto interamente a distanza e, per un maggiore coinvolgimento degli allievi, sono stati proposti degli esperimenti di chimica realizzabili a casa. Le lezioni, infatti, prevedevano sia una parte di spiegazione dei concetti che avveniva durante le video lezioni sia una parte di realizzazione di semplici esperimenti. Come già noto in letteratura [22], esiste una lunga serie di esperimenti di scienze e di chimica adatti ai bambini, ma anche ai ragazzi più grandi, che possono essere svolti con materiali facilmente reperibili, in casa e in tutta sicurezza, e che possono avere, se inseriti in attività guidate e ben strutturate, un valore didattico notevole (Fig. 4). Dalle prove di miscibilità agli esperimenti sulla solubilità, dalle reazioni acido-base agli indicatori di pH



Fig. 4 - Alcune fotografie realizzate a casa durante il periodo marzo-aprile 2020 in occasione delle lezioni a distanza di Didattica della Chimica per il Corso di Laurea in Scienze della Formazione Primaria (Università di Pisa)

naturali, dall'osservazione delle tipiche reazioni che avvengono durante la cottura dei cibi alla preparazione di un gel disinfettante, molti sono gli esempi di attività sperimentate e documentate [23, 24] durante il corso. Anche in questo caso, la didattica a distanza ha comportato una necessaria rimodulazione dell'insegnamento, con l'utilizzo di strategie didattiche diverse. La didattica a distanza, infatti, richiede di modificare l'impostazione delle lezioni, la scansione dei tempi e soprattutto i metodi e, da questo punto di vista, la letteratura e le esperienze condivise in rete rappresentano un grande aiuto per i docenti. Quello che la didattica a distanza non può garantire, invece, è proprio tutto ciò che è legato al contesto della classe, della scuola o dell'università e dei suoi ambienti: la socializzazione, la relazione e i rapporti umani *in primis*.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <https://en.unesco.org/news/290-million-students-out-school-due-covid-19-unesco-releases-first-global-numbers-and-mobilizes>
- [2] J.J. Lagowski, *Pure and Applied Chemistry*, 1999, **71**, 845.
- [3] E. Boschmann, *J. Chem. Educ.*, 2003, **80**, 704.
- [4] T. Nguyen, *MERLOT: Journal of Online Learning and Teaching*, 2015, **11**, 309.
- [5] V. Domenici, *Substantia*, 2020, **4**, 961, <https://riviste.fupress.net/index.php/subs/article/view/961>

- [6] <https://www.edscuola.eu/wordpress/?p=134880>
- [7] <https://www.cnr.it/it/news/9890>
- [8] T.A. Holme, *J. Chem. Educ.* 2020, **97**, 1219.
- [9] <https://cen.acs.org/education/Tips-teaching-timecoronavirus/98/i12>
- [10] <https://www.rsc.org/news-events/articles/2020/apr/our-support-for-teachers-working-remotely-during-covid-19/>
- [11] <http://www.soc.chim.it/it/node/2557>
- [12] <https://www.unipa.it/Didattica-a-distanza-e-didattica-attiva-integrazione-possibile/>
- [13] V. Domenici, *J. Chem. Educ.*, 2020, **97**, 2905.
- [14] V. Domenici, *Insegnare e apprendere chimica*, Mondadori Università, 2018, Cap. 6, ISBN: 978-88-6184-600-5.
- [15] E. Scerri, *A tale of seven elements*, Oxford University Press, London, 2013.
- [16] <https://smslab.dcci.unipi.it/education.html>
- [17] <https://it.padlet.com/chiss31498/nn24394h7d1e52gg>
- [18] <https://bright.dcci.unipi.it/bright-2020/giardini-chimici.html>
- [19] V. Domenici, *Atti di Pianeta Galileo*, 2012, **1**, 57.
- [20] V. Domenici, L. Sentieri, G. Silvi, A. Lenzi, *La Chimica nella Scuola*, 2018, **3**, 53.
- [21] <https://sites.google.com/cattaneodigitale.it/spettroscopia/home-page>
- [22] D. Kennepohl, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2007, **8**, 337.
- [23] [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A_chemistry_distance_lesson_during_the_COVID-19_pandemic_in_Italy_\(cropped_squared\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A_chemistry_distance_lesson_during_the_COVID-19_pandemic_in_Italy_(cropped_squared).jpg)
- [24] <http://smslab.dcci.unipi.it/didattica-distanza.html>

Experiences of Chemical Education in Distance Learning Mode during the Epidemic Covid-19

In this paper, several examples of activities about chemical education in distance learning mode planned and realized during the pandemic Covid-19 are reported focusing on the most relevant methodological and learning issues.

LIBRI E RIVISTE SCI

Targets in Heterocyclic Systems Vol. 24

È disponibile il 24° volume della serie "Targets in Heterocyclic Systems", a cura di Orazio A. Attanasi, Bortolo Gabriele, Pedro Merino e Domenico Spinelli

http://www.soc.chim.it/it/libri_collane/th/s/vol_24_2020

Sono disponibili anche i volumi 1-23 della serie.

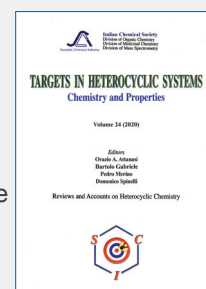
I seguenti volumi sono a disposizione dei Soci gratuitamente, è richiesto soltanto un contributo spese di € 10:

- G. Scorrano "La Storia della SCI", Edises, Napoli, 2009 (pp. 195)
- G. Scorrano "Chimica un racconto dai manifesti", Canova Edizioni, Treviso, 2009 (pp. 180)
- AA.VV. CnS "La Storia della Chimica" numero speciale, Edizioni SCI, Roma 2007 (pp. 151)
- AA.VV. "Innovazione chimica per l'applicazione del REACH" Edizioni SCI, Milano, 2009 (pp. 64)

Oltre "La Chimica e l'Industria", organo ufficiale della Società Chimica Italiana, e "CnS - La Chimica nella Scuola", organo ufficiale della Divisione di Didattica della SCI (www.soc.chim.it/riviste/cns/catalogo), rilevante è la pubblicazione, congiuntamente ad altre Società Chimiche Europee, di riviste scientifiche di alto livello internazionale:

- ChemPubSoc Europe Journal
- Chemistry A European Journal
- EURJOC
- EURJIC
- ChemBioChem
- ChemMedChem
- ChemSusChem
- Chemistry Open
- ChemPubSoc Europe Sister Journals
- Chemistry An Asian Journal
- Asian Journal of Organic Chemistry
- Angewandte Chemie
- Analytical & Bioanalytical Chemistry
- PCCP, Physical Chemistry Chemical Physics

Per informazioni e ordini telefonare in sede, 06 8549691/8553968, o inviare un messaggio a segreteria@soc.chim.it





Società Chimica Italiana

La *Società Chimica Italiana*, fondata nel 1909 ed eretta in Ente Morale con R.D. n. 480/1926, è un'associazione scientifica che annovera quasi quattromila iscritti. I Soci svolgono la loro attività nelle università e negli enti di ricerca, nelle scuole, nelle industrie, nei laboratori pubblici e privati di ricerca e controllo, nella libera professione. Essi sono uniti, oltre che dall'interesse per la scienza chimica, dalla volontà di contribuire alla crescita culturale ed economica della comunità nazionale, al miglioramento della qualità della vita dell'uomo e alla tutela dell'ambiente.

La *Società Chimica Italiana* ha lo scopo di promuovere lo studio ed il progresso della Chimica e delle sue applicazioni. Per raggiungere questi scopi, e con esclusione del fine di lucro, la *Società Chimica Italiana* promuove, anche mediante i suoi Organi Periferici (Sezioni, Divisioni, Gruppi Interdivisionali), pubblicazioni, studi, indagini, manifestazioni. Le Sezioni perseguono a livello regionale gli scopi della Società. Le Divisioni riuniscono Soci che seguono un comune indirizzo scientifico e di ricerca. I Gruppi Interdivisionali raggruppano i Soci interessati a specifiche tematiche interdisciplinari.

La Società organizza numerosi convegni, corsi, scuole e seminari sia a livello nazionale che internazionale. Per divulgare i principi della scienza chimica nella scuola secondaria superiore organizza annualmente i *Giochi della Chimica*, una competizione che consente ai giovani di mettere alla prova le proprie conoscenze in questo campo e che seleziona la squadra nazionale per le *Olimpiadi Internazionali della Chimica*.

Rilevante è l'attività editoriale con la pubblicazione, congiuntamente ad altre Società Chimiche Europee, di riviste scientifiche di alto livello internazionale. Organo ufficiale della Società è la rivista *La Chimica e l'Industria*.

Nuova iscrizione

Per la prima iscrizione il Candidato Socio deve essere presentato, come da Regolamento, da due Soci che a loro volta devono essere in regola con l'iscrizione. I Soci Junior (nati nel 1986 o successivi) laureati con 110/110 e lode (Laurea magistrale e Magistrale a ciclo unico) hanno diritto all'iscrizione gratuita e possono aderire - senza quota addizionale - a due Gruppi Interdivisionali.

Contatti

Sede Centrale

Viale Liegi 48c - 00198 Roma (Italia)
Tel +39 06 8549691/8553968
Fax +39 06 8548734

Ufficio Soci Sig.ra Paola Fontanarosa

E-mail: ufficiosoci@soc.chim.it

Segreteria Generale Dott.ssa Barbara Spadoni

E-mail: segreteria@soc.chim.it

Amministrazione Rag. Simone Fanfoni

E-mail: simone.fanfoni@soc.chim.it

Supporto Utenti

Tutte le segnalazioni relative a malfunzionamenti del sito vanno indirizzate a webmaster@soc.chim.it

Se entro 24 ore la segnalazione non riceve risposta dal webmaster si prega di reindirizzare la segnalazione al coordinatore WEB giorgio.cevasco@unige.it

Redazione "La Chimica e l'Industria"

Organo ufficiale della Società Chimica Italiana

Anna Simonini

P.le R. Morandi, 2 - 20121 Milano

Tel. +39 345 0478088

E-mail: anna.simonini@soc.chim.it



A cura di Silvia Cauteruccio e Monica Civera

Dipartimento di Chimica
Università di Milano
silvia.cauteruccio@unimi.it
monica.civera@unimi.it

Metodologie per la valorizzazione dell'anidride carbonica

Nel vasto ambito delle tecnologie verdi, la riduzione delle emissioni di CO₂ attraverso processi industriali finalizzati alla trasformazione della CO₂ in prodotti ad elevato valore aggiunto è una necessità ancora molto pressante a livello mondiale. Infatti, se da una parte sono state sviluppate diverse tecnologie di cattura e stoccaggio del carbonio per il settore industriale, la trasformazione sia chimica che biologica della CO₂ da fonti di emissione puntuali cambia completamente la prospettiva, elevando la CO₂ da scarto di cui disfarsi a risorsa essenziale, ad esempio nella produzione di solventi, di derivati polimerici come i policarbonati, oppure nella realizzazione di materiali per l'edilizia. A livello accademico è un continuo susseguirsi di contributi relativi a questa tematica, come dimostrato ad esempio da una collana speciale dal titolo "CO₂ Utilization" pubblicata dalla rivista **Green Chemistry**, nella quale sono presenti diversi lavori in forma di reviews e full papers riguardanti le ultime metodologie sviluppate per la conversione di CO₂ in prodotti di rilevanza sintetica. Altrettanti contributi

fer, *Nat. Commun.*, 2021, **12**, 197]. La selettività nei confronti della CO₂ rispetto, ad esempio, a metano o altri idrocarburi C₂ deriva principalmente dal fatto che questi ultimi presentano una polarità inversa che non permette un'interazione efficiente. MUF-16 sono in grado così di separare la CO₂ da CH₄ e C₂H₂ in un ampio intervallo di valori di pressione e composizione della miscela gassosa, e quest'ultimo aspetto risulta particolarmente rilevante nella purificazione di gas naturale e di materie prime di origine industriale.

I due ultimi articoli selezionati hanno invece come obiettivo la messa a punto di strategie sintetiche al fine di trasformare la CO₂ in composti organici di interesse sintetico. Il gruppo di Wang [C. Wang, *Green Chem.*, DOI: [10.1039/d0gc03510f](https://doi.org/10.1039/d0gc03510f)] ha sviluppato un sistema catalitico a base di AgNO₃ e liquido ionico [Ch][Tri] in grado di promuovere la ciclizzazione carbossilativa di alcoli propargilici e CO₂ a basse concentrazioni per ottenere i corrispondenti carbonati ciclici (Fig. 1c). L'efficienza di tale sistema catalitico, influenzata dalla natura del catione e dell'anione del liquido ionico, è risultata molto buona anche in termini di riciclo del ca-

sono stati pubblicati tra la fine del 2020 e l'inizio del 2021, e qui di seguito riporto un breve commento su tre lavori che affrontano la problematica del consumo di CO₂ attraverso due approcci differenti.

Un primo approccio prevede la cattura selettiva di CO₂ attraverso lo sviluppo di una famiglia di *metal organic frameworks* (MUF-16, Fig. 1a,b) i cui pori hanno dimensione e caratteristiche elettroniche complementari alla CO₂ che viene quindi intrappolata selettivamente attraverso legami a idrogeno e altre interazioni non covalenti [S.G. Tel-

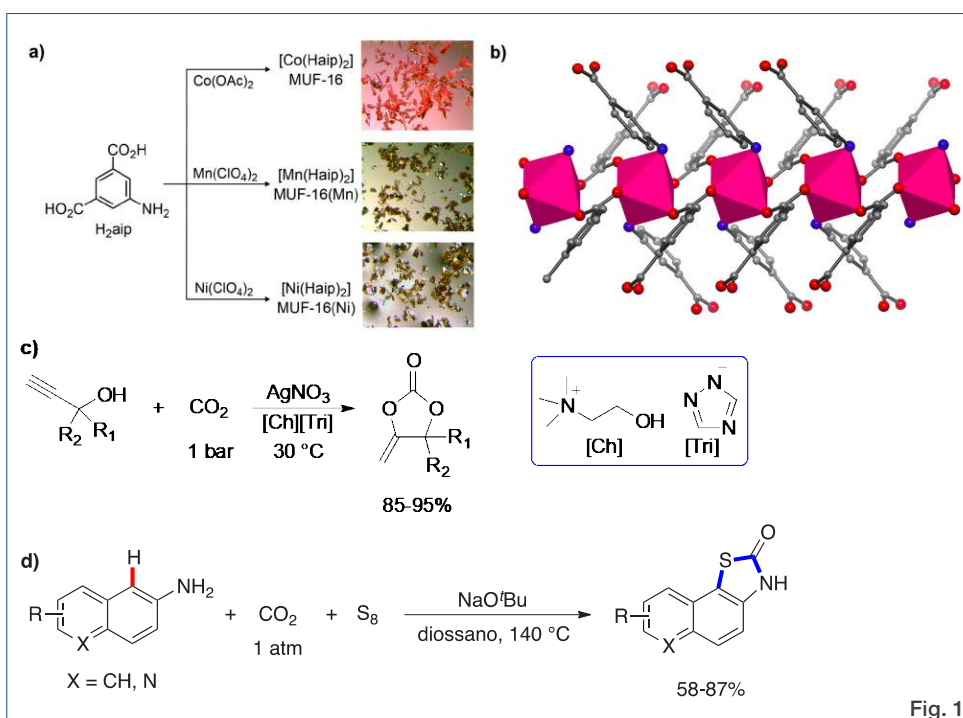


Fig. 1

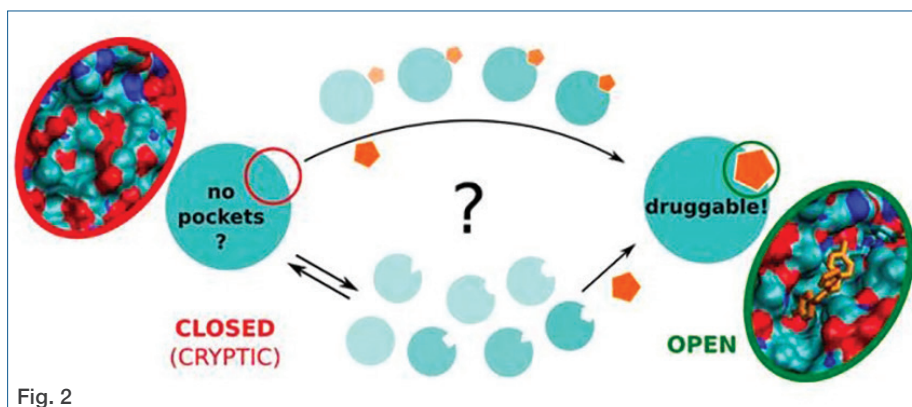
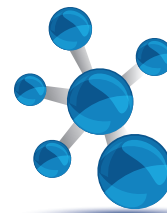


Fig. 2

proteine contenenti siti criptici, è emersa la natura plastica dei residui che formano la tasca, spesso localizzati nelle parti disordinate e non risolte della struttura, *loop*, ma anche in regioni soggette a cambi di struttura secondaria [D. Beglov, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, DOI: [10.1073/pnas.1711490115](https://doi.org/10.1073/pnas.1711490115)]. Spesso questi siti criptici si trovano vicini a degli hot spots, ovvero dei residui che maggiormente contribuiscono all'energia libera di legame.

talizzatore. Infine, è stata sviluppata una reazione multicomponente in condizioni *metal-free* in grado di produrre tiazolidinoni facendo reagire arilammine con zolfo elementare e CO₂ (1 atm) in presenza di *t*-butilato di sodio [D.-G. Yu, *Green Chem.*, DOI: [10.1039/d0gc03723k](https://doi.org/10.1039/d0gc03723k)]. Tale reazione procede mediante una funzionalizzazione del legame C(sp²)-H e porta alla formazione di tre legami in un solo passaggio (Fig. 1d). Uno studio meccanicistico preliminare sembra dimostrare la presenza di un isocianato quale intermedio chiave per la formazione del prodotto finale.

Studiare i siti 'nascosti' delle proteine con la dinamica molecolare

Molti target farmacologicamente interessanti sono considerati 'undruggable' perché non presentano siti adatti allo sviluppo di ligandi competitivi rispetto ad un substrato. Recentemente si stanno sviluppando delle strategie alternative di *drug design* mirate alla scoperta di siti nascosti o allosterici. Questi siti criptici, spesso identificati in modo casuale, non sono presenti nella struttura cristallografica di una proteina nello stato *unbound*, ma diventano accessibili solo grazie ad un cambio conformazionale che può essere indotto da diversi fattori. Può infatti verificarsi grazie ad un adattamento indotto dall'interazione del ligando (*induced-fit*) o da una selezione di una conformazione da parte del ligando (*conformational selection*) o dalla combinazione dei due meccanismi. In letteratura il dibattito su questo aspetto è ancora aperto. Da un'analisi delle strutture cristallografiche di

ni a degli hot spots, ovvero dei residui che maggiormente contribuiscono all'energia libera di legame. Le tecniche di dinamica molecolare (MD), ormai capaci di descrivere eventi su scale di microsecondi, sono diventate un *tool* fondamentale per l'identificazione di siti criptici [A. Kuzmanic, *Acc. Chem. Res.*, DOI: [10.1021/acs.accounts.9b00613](https://doi.org/10.1021/acs.accounts.9b00613)]. Simulazioni MD di proteine in presenza di solventi misti, acqua e ad alcuni *probes* idrofobici, data la natura lipofila dei siti nascosti, possono favorire il processo di apertura della tasca. Per accelerare questo cambio conformazionale spesso vengono usati metodi di *enhanced sampling*, come la metadinamica. In questo caso la scelta delle variabili collettive, solitamente di natura geometrica, lungo le quali seguire la transizione richiede molte prove. Nel caso del metodo JEDI [R. Chucillo, *J. Chem. Theory Comput.*, DOI: [10.1021/ct501072t](https://doi.org/10.1021/ct501072t)] si utilizza uno score di *druggability* per una regione della proteina come variabile collettiva ed i cambi conformazionali sono guidati dall'ottimizzazione di questo parametro. Considerando la natura idrofobica dei siti criptici Oleinikovas [*J. Am. Chem. Soc.*, DOI: [10.1021/jacs.6b05425](https://doi.org/10.1021/jacs.6b05425)] ha escogitato un metodo (SWISH) in cui le interazioni con l'acqua vengono scalate attraverso Hamiltoniane. Questo rende la proteina meno idrofobica facilitando l'esplorazione dei siti nascosti. Anche i *Markov State Models*, capaci di integrare simulazioni indipendenti in una mappa dello spazio conformazionale della proteina che cattura eventi su vasta scala, sono un *tool* molto indicato per l'identificazione di potenziali siti criptici.



INSEGNARE LA TAVOLA PERIODICA

La tavola periodica è il nostro alfa ed omega; dopo tutto, prima e insieme alla meccanica quantistica (MQ).

Con una differenza: mentre la MQ è una disciplina complessa e certo non insegnabile a qualunque livello, la Tavola rappresenta uno strumento flessibile e basato su evidenze sperimentali molte delle quali accessibili ai nostri sensi e parte integrante della nostra cultura storica (come per i gruppi di elementi con diverse proprietà) e dunque uno strumento didattico eccezionale.

Anche alcuni aspetti della MQ possono essere trattati con semplici evidenze sperimentali, per esempio alcune righe spettroscopiche sono accessibili con strumenti semplici, **ne ho parlato tempo fa** e ci tornerò quanto prima; ma certo nulla di comparabile con la bellezza, ampiezza e completezza della tavola, che forse noi chimici diamo talmente per scontata da dimenticarne il potenziale rivoluzionario dal punto di vista culturale (ed anche estetico: a questo riguardo vi segnalo anche un recente articolo di **Nature Physics su verità e bellezza**).

Oggi vorrei raccontarvi di un breve articolo comparso di recente sul **Journal of Chemical Education** che potrebbe essere utile ed interessante; anche se ammetto sulle prime mi è sembrato troppo semplice e perfino per certi aspetti troppo elementare.

Il lavoro è quello citato nella Fig. 1, che propone l'idea di un approccio che gli autori definiscono "non-storico" alla Tavola.

Per capirci, noi del blog da un anno stiamo facendo, grazie essenzialmente al lavoro certosino di Rinaldo Cervellati (e di qualcun altro di noi) una serie di post che sono, appunto, in questo solco "storico", con l'unica aggiunta di una considerazione doverosa sugli aspetti ambientali e di ciclo di tutti gli elementi. Questo è il modo tradizionale di presentare la Tavola, elemento per elemento, con il racconto per ciascuno di essi dei vari aspetti di scoperta, di uso di applicazione, e nel nostro caso di recupero, riciclo, effetti biogeochimici. Ma si tratta di un modo impegnativo e complesso; mentre siamo nel mondo di twitter, abbiamo il limite dei pochi caratteri, dell'immagine e così via.

Ed ecco che si sviluppano una serie di proposte che servono principalmente a semplificare la presentazione e gli aspetti della Tavola in quanto tale; che senso ha la Tavola? Perché la tavola è così?

Noi sappiamo che dietro la tavola c'è la MQ, ma come si fa a consolidare questa nostra certezza agli occhi poco abituati alla riflessione astratta di quei tanti studenti di scuola secondaria o di primo anno di università, ai quali sappiamo bene di non poter parlare di orbitali? (credo che questa sia una cosa da accettare oramai, se non vogliamo trasformare gli orbitali in scatole, contenitori, tradendo oltre la lettera lo spirito e, in molti casi, perfino le regole base della MQ): «Piu-

JOURNAL OF CHEMICAL EDUCATION
pubs.acs.org/jchemeduc Communication

Introducing Students to the Periodic Table Using a Descriptive Approach of Superheroes, Meats, and Fruits and Nuts
Gregory S. Watson,^{*} David W. Green, and Jolanta A. Watson

Cite This: <https://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemeduc.0c01143> Read Online

ACCESS | Metrics & More | Article Recommendations

ABSTRACT: In some universities, there is a significant population of first year chemistry students who enter the system with very little prior knowledge of the subject. This, coupled with preconceived ideas of subject difficulty, necessitates that the introduction of key concepts is carried out in a nonthreatening, engaging, simplistic, and efficacious manner. The periodic table is one of the most important and fundamental tools and forms the base of the scaffold for all aspects of not only chemistry but all of the sciences. Traditionally, this is introduced in a historical manner which identifies various elemental properties and builds up the table through time, often highlighting key individuals. We have adopted a novel nonhistorical approach as a preintroduction to the formal periodic table to our first-year chemistry students. This introduction focuses on key characteristic aspects of the table construction, such as grouping objects using columns, rows, blocks, and color; numbering of objects; use of abbreviations for objects; combining individual objects; and transitioning across and down the table, e.g., size changes across and down the table. These features are demonstrated using a variety of pseudo "periodic tables", including the Periodic Tables of iPad Apps, Fruit and Nuts, Meat, and Superheroes. The delivery of the various tables to introduce students to the chemical periodic table could be adopted (and appropriately adapted) to any level of the education system (from primary to tertiary levels). Feedback from students ($n = 226$) using the Likert scale showed the utilization of this form of introduction to be an effective way in teaching the various critical concepts of the periodic table.

KEYWORDS: First-Year Undergraduate/General, High School/Introductory Chemistry, Elementary/Middle School Science, Interdisciplinary/Multidisciplinary, Analogies/Transfer, Humor/Puzzles/Games, Nonmajor Courses, Periodicity/Periodic Table Fig. 1

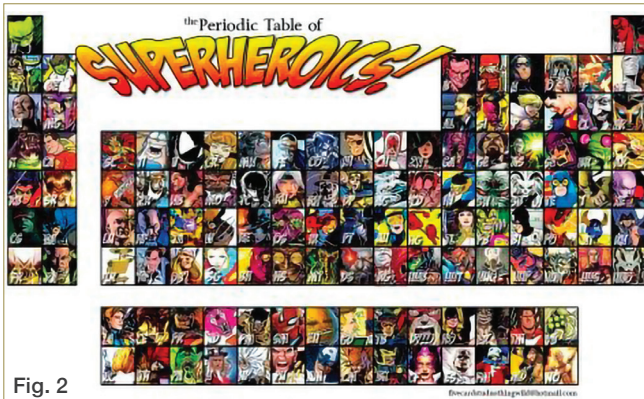
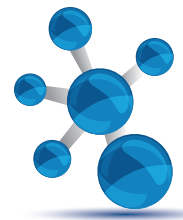


Fig. 2

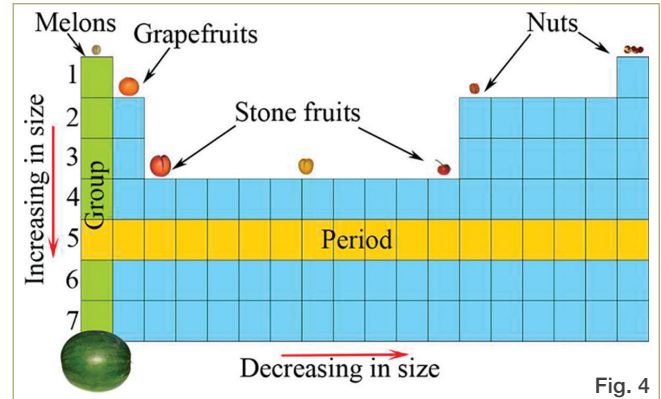


Fig. 4

tosto che introdurre la tavola periodica in tutta la sua grandezza e complessità, come viene comunemente mostrato in un tradizionale libro di testo di chimica, l'attenzione è rivolta all'esibizione delle caratteristiche chiave della tabella, come il raggruppamento utilizzando blocchi e colore, numerazione, uso di abbreviazioni, combinando singoli oggetti/elementi insieme, passando su e giù per la tavola periodica. Il nostro approccio alternativo e contemporaneo è iniziare con una serie di tabelle costituite da oggetti che lo studente avrà incontrati durante le sue esperienze precedenti all'università. Agli studenti viene inizialmente chiesto "quale sarebbe il migliore modo per comunicare a qualcuno una serie di oggetti e aspetti di un gruppo di oggetti? Un elenco, immagini, verbalmente, un video o un altro metodo? Che ne dici di una singola pagina

che mostra una tabella?"».

E a questo punto si introducono le tabelle più diverse. Ve ne mostro alcune: la tabella dei supereroi (Fig. 2), nella quale gruppi diversi degli ormai numerosissimi supereroi, alcuni in conflitto con gli altri, costruiscono una complessa tabella "super-eroica". Si può ordinare il materiale in base al sesso, alle capacità dei supereroi e così via.

Più semplice ed intuitiva, anche per noi vecchietti, la tabella delle diverse carni, provenienti da animali differenti e, ovviamente, da parti distinte dell'animale (Fig. 3). In questo caso il peso atomico può essere collegato al prezzo della carne e l'animale o il tessuto di origine alle diverse zone della tavola vera e propria.

Ma forse quella che associa più elementi utili poi nella didattica è invece la tabella basata sulle proprietà di diversi tipi di frutti (Fig. 4). Qui entrano in gioco i meloni di diversa dimensione, ma anche i frutti tipo agrumi (grapefruits, letteralmente sarebbero i soli pompelmi), le drupe (traduzione più fedele possibile di stone fruits), ossia i frutti come le pesche e le ciliegie che hanno un tessuto contenente al centro un singolo seme, e, infine, le noci, anche qui con le loro varie alternative; le dimensioni possono essere correlate attentamente con le dimensioni dei veri atomi sia nella direzione del gruppo che del periodo; ovviamente sono esempi, non riproducono completamente le pro-

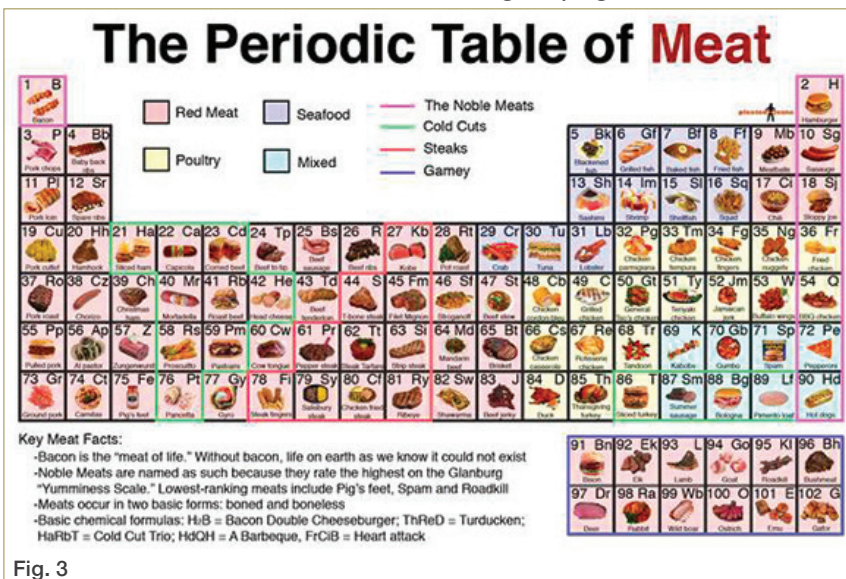


Fig. 3

proprietà di diversi tipi di frutti (Fig. 4). Qui entrano in gioco i meloni di diversa dimensione, ma anche i frutti tipo agrumi (grapefruits, letteralmente sarebbero i soli pompelmi), le drupe (traduzione più fedele possibile di stone fruits), ossia i frutti come le pesche e le ciliegie che hanno un tessuto contenente al centro un singolo seme, e, infine, le noci, anche qui con le loro varie alternative; le dimensioni possono essere correlate attentamente con le dimensioni dei veri atomi sia nella direzione del gruppo che del periodo; ovviamente sono esempi, non riproducono completamente le pro-

prietà degli elementi, ma rispondono all'esigenza di introdurre questo particolare modo di classificare le cose.

Potete naturalmente immaginare le liste di oggetti più diverse: dai fiori alle applicazioni per cellulari e cercare questa rappresentazione come esempio dell'uso della Tavola e della sua validità, cercando di trovare proprietà utili alla successiva introduzione della tavola vera e propria.

Di primo acchito la mia reazione è stata negativa, ho pensato che fosse una sorta di rinuncia a spingere gli studenti a pensare più in grande, che forse potesse essere utile nella scuola secondaria o forse perfino prima; ma come conclude il lavoro: «*Quelli che entrano all'università e scelgono una laurea in scienze non sempre arrivano in possesso di conoscenze di base e habitus mentale che si allineano con il campo. Inoltre, un elemento fondamentale come la tavola periodica degli elementi è percepito da molti studenti come astratto e difficile. Quindi è necessaria una strategia di coinvolgimento. Di conseguenza, un contemporaneo e nuovo approccio per introdurre la tavola periodica, adatto per gli studenti con diverse conoscenze della materia precedente, è stato incorporato nel corso di chimica del primo anno, che è attualmente alla sua quarta iterazione. Presentando la tavola periodica in modo memorabile e familiare si riduce lo stress, si rafforza la costruzione della conoscenza, si motiva e si aumenta la determinazione ad avere successo...*».

Questo forse è ancora più vero in determinati Paesi ma, per la mia esperienza didattica in Italia sta diventando reale anche da noi; l'uso prevalente delle immagini e dei video, la riduzione della lettura e degli esercizi mnemonici (pensate a quanti oggi imparano a memoria le poesie, per esempio), l'estesa riduzione della motivazione ad apprendere come garanzia di successo nella vita (ossia il blocco di fatto del cosiddetto ascensore sociale) sono fattori che devono far riflettere. Forse un suggerimento come quello di questo lavoro può essere utile all'università o, in alcuni più fortunati casi, anche alla scuola media superiore.

Sono aperto a qualunque commento, ma credo siano esperienze utili almeno dal punto di vista della sperimentazione didattica.

VETRINA SCI

Polo SCI - Polo a manica corta, a tre bottoni, bianca ad effetto perlato, colletto da un lato in tinta, dall'altro lato a contrasto con colori bandiera (visibili solo se alzato), bordo manica dx con fine inserto colore bandiera in contrasto, bordo manica a costine, spacchetti laterali con colore bandiera, cuciture del collo coperte con nastro in jersey colori bandiera, nastro di rinforzo laterale. Logo SCI sul petto. Composizione: piquet 100% cotone; peso: 210 g/mq; misure: S-M-L-XL-XXL; modello: uomo/donna. Costo 25 € comprese spese di spedizione.



Distintivo SCI - Le spille in oro ed in argento con il logo della SCI sono ben note a tutti e sono spesso indossate in occasioni ufficiali ma sono molti i Soci che abitualmente portano con orgoglio questo distintivo.

La spilla in oro è disponibile, tramite il nostro distributore autorizzato, a € 40,00.

La spilla in argento, riservata esclusivamente ai Soci, è disponibile con un contributo spese di € 10,00.



Francobollo IYC 2011 - In occasione dell'Anno Internazionale della Chimica 2011 la SCI ha promosso l'emissione di un francobollo celebrativo emesso il giorno 11 settembre 2011 in occasione dell'apertura dei lavori del XXIV Congresso Nazionale della SCI di Lecce. Il Bollettino Informativo di Poste Italiane relativo a questa emissione è visibile al sito: www.soc.chim.it/sites/default/files/users/gadmin/vetrina/bollettino_illustrativo.pdf

Un kit completo, comprendente il francobollo, il bollettino informativo, una busta affrancata con annullo del primo giorno d'emissione, una cartolina dell'Anno Internazionale della Chimica affrancata con annullo speciale ed altro materiale filatelico ancora, è disponibile, esclusivamente per i Soci, con un contributo spese di 20 euro.



Foulard e Cravatta - Solo per i Soci SCI sono stati creati dal setificio Mantero di Como (www.mantero.com) due oggetti esclusivi in seta di grande qualità ed eleganza: un foulard (87x87cm) ed una cravatta. In oltre 100 anni di attività, Mantero seta ha scalato le vette dell'alta moda, producendo foulard e cravatte di altissima qualità, tanto che molte grandi case di moda italiana e straniera affidano a Mantero le proprie realizzazioni in seta. Sia sulla cravatta che sul foulard è presente un'etichetta che riporta "Mantero Seta per Società Chimica Italiana" a conferma dell'originalità ed esclusività dell'articolo. Foulard e cravatta sono disponibili al prezzo di 50 euro e 30 euro, rispettivamente, tramite il nostro distributore autorizzato.

Per informazioni e ordini telefonare in sede,
06 8549691/8553968,

o inviare un messaggio a simone.fanfon@soc.chim.it

AIDIC - Associazione Italiana Di Ingegneria Chimica - riunisce professionisti provenienti dall'industria e dal mondo accademico operanti nel settore dell'ingegneria chimica, ma anche giovani ancora in formazione e chiunque sia interessato a questo settore, promuovendo da oltre sessant'anni la diffusione delle conoscenze tecnico-scientifiche negli ambiti chimico, petrolchimico, alimentare, farmaceutico, delle biotecnologie, dei materiali, della sicurezza e dell'ambiente.

Da sempre impegnata a riconoscere e promuovere i meriti del mondo accademico, Aidic, in collaborazione con Orim, assegna ogni anno 3 premi a tesi di laurea magistrale a carattere innovativo ed applicativo, 2 premi a tesi di dottorato di ricerca a carattere innovativo ed applicativo e 1 premio a tesi sul tema del recupero dei metalli non ferrosi da rifiuti. Per l'edizione di quest'anno, le Tesi dovranno essere inviate entro il 28/02/2021, qui tutte le informazioni <https://www.aidic.it/res/PDF/bando2020.pdf>.

Il contributo alla formazione e all'aggiornamento di tecnici, industriali e accademici vede, inoltre, AIDIC protagonista nell'organizzazione di congressi di risonanza internazionale, che spaziano dalla biotecnologia industriale alle biomasse, dall'ingegneria di processo ai reattori, fino alla nanotecnologia e all'ingegneria alimentare.

Ecco tutti i congressi Aidic che si svolgeranno nel corso del 2021:

21-24 March, 2021 - Virtual Conference
CAMURE11-ISMR10 - 11th International Symposium
On Catalysis in Multiphase Reactors & 10th International
Symposium in Multifunctional Reactors
<https://www.aidic.it/camure11-ismr10>

28-31 March, 2021 - Virtual Conference
NINE2021 - 4th International Conference on Nanotechnology
Based Innovative Applications for the Environment
<https://www.aidic.it/nine2021>

18-21 April, 2021 - Virtual Conference
NOSE2020 - 7th International Conference
on Environmental Odour Monitoring & Control
<https://www.aidic.it/nose2020/>

23-26 May, 2021 - Naples, Italy
ICHEAP15 - 15th International Conference on Chemical
and Process Engineering
<https://www.aidic.it/icheap15/>

23-26 May, 2021 - Naples, Italy
EFF2021 - 3rd International Conference
on Engineering Future Food
<https://www.aidic.it/eff2021/>



Schema di piattaforma digitale
AIDIC Virvis (Virtual Vision)

NINE2021: a marzo la prima virtual conference NINE

Giunta alla sua quarta edizione, NINE2021, la Conferenza internazionale sulle applicazioni innovative per l'ambiente basate sulle nanotecnologie, si svolgerà quest'anno dal 28 al 31 marzo.

Originariamente previsto nella suggestiva cornice della città di Salerno, il congresso, organizzato dall'Associazione Italiana di Ingegneria Chimica (AIDIC) in collaborazione con la Società Chimica Italiana (SCI), l'Università degli Studi di Salerno, il Centro NANOMATES e la PMI Narrando, si terrà, invece, in forma interamente virtuale.

Una decisione dovuta alla situazione sanitaria ancora troppo incerta, ma che ha fornito agli organizzatori e al comitato scientifico l'opportunità di misurarsi con una nuova sfida, nella speranza che l'esperienza senza precedenti di una virtual conference rappresenti una possibilità di confronto e relazioni sempre più significativa nel campo dell'applicazione

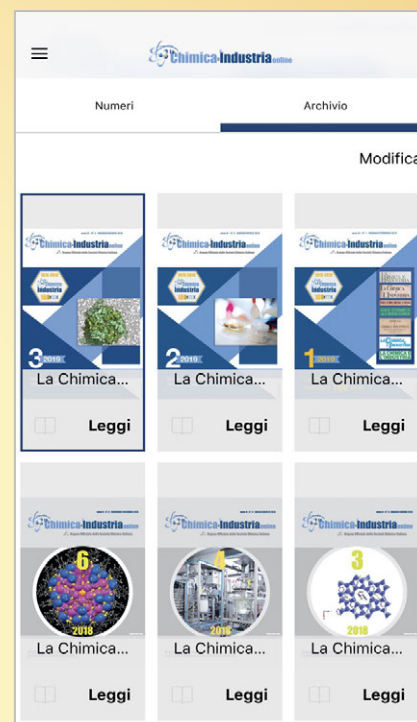
delle nanotecnologie alla protezione dell'ambiente e alla produzione di energia sostenibile.

Un'altra novità nell'edizione di quest'anno sarà l'inserimento di 2 sessioni speciali, dedicate rispettivamente a giovani scienziati e giovani start-up e dei relativi premi per i migliori contributi. Un terzo forum specifico inoltre raccoglierà i contributi delle nanotecnologie alla lotta contro SARS-CoV e Covid-19, introdotti da una conferenza chiave su "Ricerca e innovazione responsabili".

Per tutte le informazioni e gli aggiornamenti sul congresso: <https://www.aidic.it/nine2021>



Società Chimica Italiana



Leggi

La Chimica e l'Industria

Scarica la app

sul telefonino e sui tuoi dispositivi elettronici

È gratuita!

Disponibile per sistemi Android e iOS

