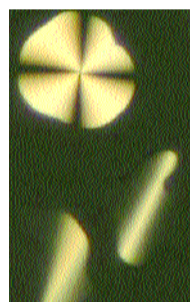




... ma i conti sono in regola

di **Dario Casati**

pag. **2**



Un nuovo scenario per l'origine della vita?

di **Tommaso Bellini, Marco Buscaglia e Giuliano Zanchetta**

pag. **4**



Scompiglio nello spazio

di **Marzio Giglio**

pag. **3**

Una pila per la mente

di **Alberto Priori, Francesca Mameli e Roberta Ferrucci**

pag. **6**



Il Laocöonte vaticano

di **Gemma Sena Chiesa**

pag. **7**



La sfida per l'energia del futuro

di **Gianluca Alimonti e Angela Bracco**

pag. **8**



Lalla Romano scrittrice a Milano

di **Giuliana Nuvoli**

pag. **10**

... ma i conti sono in regola

di **Dario Casati**, Prorettore,
Università degli Studi di Milano.

Come gestiremo le risorse a disposizione dell'Ateneo nell'anno che sta per iniziare, e come le abbiamo gestite in quello che si è chiuso? Le risposte si trovano nei documenti di bilancio che gli organi di governo dell'Ateneo discutono e approvano nel corso dell'anno: il bilancio di previsione a novembre, il conto consuntivo a giugno.

Si tratta di scadenze che divengono puntualmente occasione per riflessioni che giungono ben al di là delle cifre esposte (un dato di realtà dal quale comunque non è mai possibile né opportuno prescindere), spingendosi verso orientamenti, potenzialità, limiti e realizzazioni dell'Ateneo.

Il bilancio di previsione per il 2008 è stato un passaggio non facile, compiuto, una volta di più, in condizioni di grave incertezza, soprattutto per quanto riguarda la principale voce di entrata. Nel nostro ordinamento il bilancio di previsione deve attenersi, per le entrate e per le uscite, a rigidi criteri di sicurezza: le prime devono essere praticamente certe, le seconde devono coprire tutti gli impegni inderogabili, come gli stipendi, gli oneri finanziari, le spese di funzionamento ordinarie. Per questo motivo, normalmente, il bilancio di previsione risulta inferiore al consuntivo e, trattandosi di una previsione che deve in ogni caso garantire il funzionamento dell'Ateneo, non potrebbe essere diversamente.

Negli ultimi anni i nostri bilanci sono stati sempre predisposti in assenza di elementi precisi sulla principale voce di entrata, il fondo di funzionamento ordinario, che rappresenta circa il 70% del totale e al quale è vincolata la principale voce di uscita, le spese per il personale, che non possono superare il 90% del suo importo.



Il bilancio di previsione è costruito di fatto attorno a questo fondo, che tuttavia, a novembre 2007, al momento della compilazione, era difficile da stimare, non conoscendosi i criteri che si sarebbero utilizzati a livello nazionale per ripartirlo. In via prudenziale, ci si è dunque basati sull'importo dell'assegnazione provvisoria per il 2007, comunicato a metà settembre. Per le altre voci di entrata, non utilizzabili per coprire le spese permanenti, e cioè altri fondi pubblici, contributi degli studenti e trasferimenti da privati, ci si è parimenti attenuti agli importi del 2007. Per conseguire il pareggio si è scelto come criterio generale quello di assicurare la copertura alle voci di spesa

consolidate e non derogabili, tenendo conto degli incrementi relativi al personale, da anni a carico dell'Ateneo, dei nuovi oneri permanenti derivanti dalla stabilizzazione del personale tecnico amministrativo e dell'aumento dei costi energetici e di gestione degli edifici, cresciuti sia per l'incremento degli spazi che per la dinamica delle tariffe. Su un totale di spesa di 532,6 milioni di euro, l'insieme di queste voci non comprimibili comporta una maggiore uscita pari a 12,8 milioni di euro, di cui 8,75 per il personale, 3,9 per beni e servizi e 150 mila euro per il sistema bibliotecario. La spesa per il personale, ormai prossima al limite del 90% del f.f.o., è pari a circa 260 milioni e comprende, oltre alle retribuzioni del personale di ruolo, anche i budget di facoltà, le assunzioni di personale delle categorie protette, le stabilizzazioni e la dinamica contrattuale. Per far fronte alle maggiori spese si è fatto ricorso, come già negli ultimi anni, al rinvio o alla riduzione di alcune voci secondo un criterio di rotazione. In particolare, constatata l'esistenza di disponibilità di fondi delle strutture, si sono ridotte le assegnazioni dei contributi alle strutture (da 5,6 a 4,2 milioni) e alle scuole di specializzazione (da 3,3 a 2,7 milioni). Le spese per le grandi attrezzature sono state ridotte di 413 mila euro, anche in vista di una revisione dei criteri generali di assegnazione. Gli acquisti di arredi, infine, sono diminuiti di 200 mila euro.

Questi tagli hanno consentito di incrementare di 550 mila euro le risorse stanziare per le borse di dottorato e gli assegni di ricerca, che in totale ammontano a 14,2 milioni, e di conservare gli stanziamenti per il fondo First (5,95 milioni), per il cofinanziamento dei PRIN (2,35), per grandi attrezzature, collezioni e scavi (1,2), per il sistema bibliotecario (6,13), per gli studenti (5,65).

Per avere un bilancio sano è stato dunque necessario comprimere alcune voci, con l'augurio che sia l'ultima volta. Insieme agli interventi di valorizzazione delle risorse umane e di razionalizzazione dell'uso del patrimonio edilizio, nonché alle economie di gestione, è questa la strada obbligata se vogliamo realizzare i grandi progetti avviati per garantire al nostro Ateneo il mantenimento e il costante miglioramento dei livelli di qualità della didattica e della ricerca raggiunti in questi anni. Questo è il nostro impegno per il futuro.

Scompiglio nello spazio

di **Marzio Giglio**, Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Milano.

Seconda settimana di settembre del 2007, Kiruna (Svezia), un posto dannatamente lontano. Voli fino a Stoccolma, e poi quasi raddoppi il volo da Milano per finire nella parte Lapponica della Svezia. Neve a settembre, un hangar con dentro strutture di carpenteria metallica assai ben verniciate, bauli di alluminio con prodigi di tecnica e una miriade di tavoli e schermi. Siamo ad Esrange, la base dell'Agenzia Spaziale Svedese che collabora alle operazioni di raccolta dati a terra provenienti da un satellite per una missione dell'Agenzia Spaziale Europea ESA. Fuori un trionfo di giallo di betulle e verde di conifere. Sugli schermi un razzo ancora attaccato alla torre di lancio. Il paesaggio nello schermo è desertico. Per forza, è Baikonur, Kazakistan. Non si sa se ci sono problemi... Poi il lancio, il razzo inseguito con lo zoom delle telecamere.

Per fortuna tutto è andato bene e la navicella Foton M3, una palla di due metri contenente una dozzina di apparati strumentali ed una quarantina di esperimenti, finalmente è in microgravità. E, tra gli esperimenti, un esperimento dell'Università di Milano in collaborazione con l'Università della California, a Santa Barbara. Dopo un giorno, ad ogni passaggio ad intervalli di circa un'ora, una minuscola porzione dei dati dagli esperimenti viene scaricata a terra. I dati appaiono subito molto belli e generano immagini assai spettacolari. Da Estec, il braccio tecnico di ESA, vogliono subito le immagini: vengono mostrate alla riunione dei delegati nazionali, che per caso cadeva in quei giorni. Si finisce ogni notte molto tardi. Una notte una immensa aurora boreale verdastra dardeggia in cielo. Tutti sono molto contenti.

Ci è sembrato il caso di raccontarlo: un esperimento sulle fluttuazioni in un sistema fuori dall'equilibrio, un sistema "stressato" come si dice in gergo.

Perché studiare le fluttuazioni? Che tutto fluttui, è una esperienza quotidiana (ad esempio i ritardi dei treni fluttuano, e uno non sa mai bene con quale ritardo arriverà). I fisici sono degli infaticabili curiosi e hanno scoperto che questo esercizio di guardare in che modo una misura fluttua attorno ad una media è veramente interessante.

Ad esempio, si possono mettere in acqua delle particelle microscopiche, metterle tra due vetrini, e guardare cosa accade osservandole con un microscopio.

L'esperimento è altamente suggestivo e raccomandato a tutti gli studenti di discipline scientifiche. Anche se le particelle sono così piccole che il microscopio non ne vede alcun dettaglio, ogni particella appare come un puntino luminoso assai brillante, come le stelle in cielo. La cosa spettacolare è che le particelle si muovono con un moto frenetico (sembrano vive) e disordinato: appare chiaro che non sanno in che direzione andare. Da qui il termine "passeggiate a caso" o "random walk". La causa del moto sono la miriade di urti delle molecole del liquido ospite. Misure di questo moto disordinato forniscono preziose informazioni. Infatti, se si sceglie una zona nell'immagine che contenga molti di questi punti luminosi, si contano quante particelle ci sono su una certa area e si studiano le fluttuazioni di questo numero, allora la meccanica statistica insegna come arrivare a conoscere la massa delle particelle. E ancora: se si studia quanto tempo occorre perché le particelle compiano una certa distanza, è possibile risalire ad una misura esatta del loro diametro. Se non vi pare spettacolare, pensate che grazie a questo risultato, usando la luce, che ha lunghezza d'onda di metà di un millesimo di millimetro,

riuscite a misurare il diametro di una proteina globulare in soluzione, con diametro più piccolo di un centesimo della lunghezza d'onda. Insomma, come misurare il diametro interno di un ago di siringa col metro della sarta. Non male!

I risultati sopra indicati sono il frutto di analisi che possiamo fare su sistemi, come quello della soluzione, che sono in equilibrio, cioè in condizioni di omogeneità (la concentrazione delle palline in media è costante su ogni piccola area sotto il microscopio). Condizione questa solitamente garantita dal fatto che, dopo la preparazione del campione, si attende per un tempo molto lungo, in modo da consentire a qualunque disomogeneità di sfumare. Ma cosa accade se il sistema è fuori dall'equilibrio, ad esempio è disomogeneo? Fino a qualche lustro fa, non si sapeva esattamente cosa aspettarsi. Era tuttavia convinzione comune che le cose non potessero andare in modo molto diverso dal caso di equilibrio: i moti casuali si sviluppano su scale microscopiche e pertanto si pensava che tutto dovesse rimanere confinato a scale spaziali assai nascoste, accessibili solo con microscopi.

Poi apparve il rivoluzionario lavoro teorico di Kirkpatrick, Cohen e Dorfman ("Kinetic theory of the fluctuations of a gas not in equilibrium", *Phys. Rev. Lett.* 42, 862, 1979) che faceva previsioni veramente spettacolari, e assolutamente non intuitive. La teoria infatti prevedeva che in presenza di un gradiente di temperatura (la temperatura delle particelle in soluzione aumenta linearmente in una direzione) le fluttuazioni avvenissero su tutte le scale, comprese le scale macroscopiche e legate alle dimensioni finite del campione stesso. Ancora più sorprendente era la previsione che l'ampiezza delle fluttuazioni dovesse crescere vertiginosamente con la scala spaziale. Ma - e c'è sempre un ma - la presenza della gravità agisce come un elemento che tende a smorzare le fluttuazioni su scale spaziali grosse, e pertanto le fluttuazioni vengono di fatto congelate.

Dodici anni fa, in occasione della tesi di dottorato di Alberto Vailati, decidemmo di lavorare su tale questione. In effetti la presenza della gravità è una vera e propria iattura, in quanto, per qualunque sistema in soluzione, la scala spaziale alla quale questa divergenza delle fluttuazioni viene bloccata è dell'ordine di pochi centesimi di millimetro, il che

spiega perché questo spettacolare effetto non è prontamente osservabile sulla terra. Per fortuna, avevamo messo a punto delle raffinatissime tecniche ottiche che hanno consentito di eseguire delle misure su un campione dove erano presenti gradienti di concentrazione assai ben controllabili, permettendoci così di osservare l'effetto previsto. I dati erano molto precisi e confermavano che, ancorché piccolo sulla terra, questo effetto era chiaramente osservabile. Il lavoro fu pubblicato su *Nature* ("Giant fluctuations in a free diffusion process", *Nature* 360, 262, 2007) e nella sezione "News and Views" della rivista venne osservato che sarebbe stato uno splendido esperimento da fare nello spazio, in condizioni di microgravità.

Forti del *reprint* di *Nature*, stilammo una proposta per un progetto che fu accolto dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA): partì così Gradflex (Gradient Driven Fluctuations Experiment).

A questo progetto vennero associati due studenti di dottorato, Roberto Cerbino, da poco ricercatore presso la nostra Università, e Stefano Mazzoni, che ora lavora come Project Scientist in Estec. La gestione tecnica di Gradflex fu affidata ad Alberto Vailati, ora professore associato presso il Dipartimento di Fisica.



Figura 1. Lancio della navicella spaziale FOTON M3 nello spazio a bordo di un razzo SOYUZ-U (ESA - S. Corvaja).

Ricerca

Sin dalle fasi preliminari, si decise di avviare una collaborazione con l'Università della California a Santa Barbara (UCSB), con il professor D.S. Cannell, grande esperto di tecniche ottiche e con il quale era in atto già da tempo un rapporto di lavoro. Fu deciso di formare un'attività congiunta con la NASA, che sponsorizzava UCSB, ed ESA che sponsorizzava UNIMI attraverso la convenzione allora in atto tra INFN/CNR ed Università di Milano.

Di fatto Gradflex è composto da due esperimenti, entrambi relativi a fluttuazioni di non equilibrio, ma riguardanti separatamente fluttuazioni di temperatura e di concentrazione. Per brevità parleremo solo di questo secondo esperimento.

La strumentazione consiste in una cella dove si applica un gradiente di temperatura che induce un gradiente di concentrazione in maniera assai accurata (le temperature sono controllate a pochi millesimi di grado di stabilità). Le fluttuazioni sono visualizzate mediante una tecnica ottica di grande sensibilità, così sensibile che tutti i fasci devono viaggiare sotto vuoto, perché minuscoli disturbi nell'aria possono perturbare la misura. Le immagini vengono poi mostrate in falsi colori, dove le variazioni di colore sono legate a variazioni locali di concentrazione causate dalle fluttuazioni. Per confronto, a terra si è usato uno strumento gemello al quale venivano imposte le stesse sequenze di gradienti

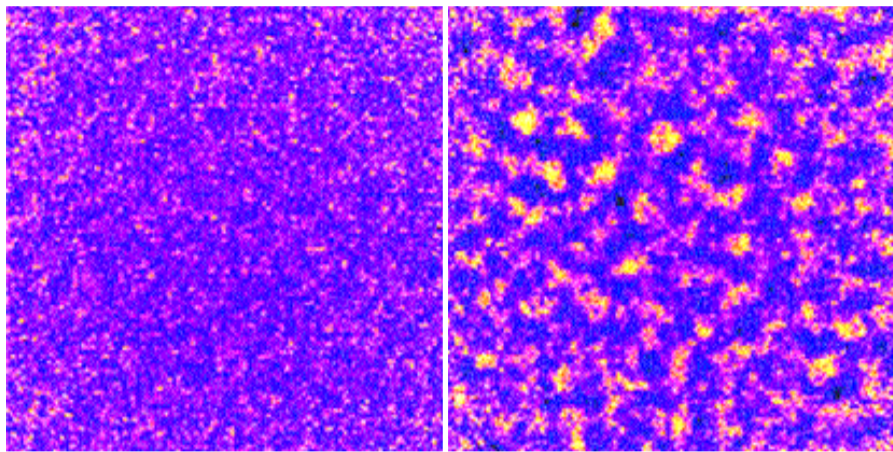


Figura 2. Immagini in falsi colori delle fluttuazioni di concentrazione di non equilibrio generate in presenza di un gradiente di concentrazione sulla terra (riquadro di sinistra) e nello spazio (riquadro di destra).

di temperatura applicate al sistema in microgravità.

Il confronto, mostrato in Figura 2, è assai eloquente.

Si mostrano appaiate due immagini quadrate del campione a terra (a sinistra) ed in volo (a destra) dopo l'imposizione del gradiente termico che induce il gradiente di concentrazione a scatenare le fluttuazioni.

Tenendo conto che il lato della immagine quadrata è 13 mm, è immediato notare che nella figura di destra appaiono fluttuazioni della stessa dimensione dello spessore del campione, che era di 1 mm. Ovviamente queste immagini possono essere studiate in maniera quantitativa, e già dai dati preliminari si osserva una variazione di un fattore 100 nell'ampiezza quadratica delle fluttuazioni. I dati preliminari sono stati presentati in ottobre ad un congresso internazionale in Giappone.

Questo studio è un passo in avanti nella comprensione dei sistemi fuori dall'equilibrio, un terreno assai poco studiato e di grande interesse anche applicativo: basti pensare che la maggior parte dei sistemi

interessanti che ci circondano sono invariabilmente fuori dall'equilibrio.

In particolare questa ricerca ci insegna che il ritorno all'ordine avviene facendo buon uso del più ordinato dei disordini: quello che privilegia le scale più grandi.

Da un punto di vista pratico è difficile fare previsioni sulle applicazioni, anche se qualche idea è già allo studio.

Cristalli liquidi di DNA: un nuovo scenario per l'origine della vita?

di **Tommaso Bellini, Marco Buscaglia e Giuliano Zanchetta**, Laboratorio di fluidi complessi e biofisica molecolare, Dipartimento di Chimica, biochimica e biotecnologie per la medicina, Università degli Studi di Milano.

L'uomo da sempre cerca e riconosce forme e regolarità nella natura, dalle sequenze di stelle idealmente raggruppate in costellazioni alle simmetrie dei fiocchi di neve. Scoprire la forte tendenza di molte specie molecolari a disporsi spontaneamente in modo ordinato porta sempre con sé un brivido di stupore e stimola ad interrogarsi sulla generalità di questa tendenza e sulle sue leggi. Ciò è ancora più vero quando i protagonisti di forme d'ordine inaspettate sono il DNA e l'RNA, le molecole che veicolano l'informazione genetica di tutti i viventi. In questo caso infatti si aggiunge una ulteriore suggestione: è possibile che la vita, e in particolare l'uomo, che tanto ama scoprire ordine e regolarità nella natura, sia in ultima analisi proprio un esito di questa tendenza all'ordine della realtà naturale?

Ricerche compiute nel nostro laboratorio e da un gruppo dell'Università del Colorado a Boulder, con cui collaboriamo, hanno mostrato che frammenti molto brevi di DNA o RNA a doppia elica hanno un'inaspettata tendenza ad associarsi tra loro e a strutturarsi in cristalli liquidi, e ciò grazie ad alcune proprietà fisiche finora poco apprezzate. Questi risultati sono descritti in due articoli, uno recentemente apparso su *Science* e l'altro pubblicato su *PNAS* (Proceedings of the National Academy of Science USA). Tra le varie implicazioni, questa scoperta può aiutare a ricostruire l'originaria formazione, nell'antichità del nostro pianeta, delle lunghe molecole di DNA e RNA che sono alla base della vita e può in tal modo suggerire nuove ipotesi per spiegare perché proprio queste molecole, tra le molte varianti possibili, siano emerse come vettore dell'informazione genetica.

Spesso le molecole che compongono i materiali si dispongono spontaneamente nello spazio secondo geometrie ordinate.

Questo avviene non solo nei cristalli, strutture con disposizione molecolare perfettamente periodica, ma anche in altri materiali all'interno dei quali l'ordine molecolare è meno assoluto, come per esempio in alcuni materiali argillosi, in miscele di acqua e sapone e nelle membrane cellulari. Un altro esempio di materiali che presentano ordine parziale spontaneo è fornito dai cristalli liquidi, materiali fluidi che vengono impiegati nella fabbricazione di display. I cristalli liquidi sono tipicamente formati da molecole piuttosto rigide e di forma allungata.

Queste molecole, proprio a causa della loro forma e dei continui urti tra loro, preferiscono orientarsi secondo una comune direzione, come accade quando degli stuzzicadenti vengono scossi in una scatola. Allineandosi tra loro, infatti, gli stuzzicadenti sono più liberi di muoversi rispetto a quando, orientati a caso, si ostruiscono mutuamente il moto, come nel caso del gioco dello Shanghai. Questa semplice osservazione fu formulata rigorosamente nel 1949 dal grande fisico norvegese-americano Lars Onsager, che dimostrò che, proprio a causa della loro forma, sistemi di molecole sufficientemente lunghe e strette tendono ad orientarsi in una comune direzione in modo da occupare lo spazio più efficacemente, aumentando in tal modo l'entropia del sistema: un fatto che dimostra che quando si parla di entropia non bisogna necessariamente identificarla con il disordine! Nei cristalli liquidi le molecole si dispongono in modo parzialmente ordinato in orientazione e posizione, ma senza perdere il carattere fluido dell'insieme. Questa combinazione di ordine e fluidità è proprio quella che rende questi materiali così adatti per le applicazioni nei display.

Il DNA è una molecola che può notoriamente essere molto lunga.

DNA e RNA sono infatti polimeri lineari costituiti da una catena di zuccheri alla quale sono attaccati pendagli laterali, le basi azotate

Ricerca

adenina (A), timina (T), citosina (C), guanosina (G). Ogni base si può legare selettivamente solo ad un'altra base specifica e quindi sequenze di basi complementari permettono a due catene di accoppiarsi e formare la nota struttura a doppia elica. In accordo con la teoria di Onsager, il DNA in acqua può essere preparato in modo da formare cristalli liquidi. Come si capì in seguito, liquido cristallina era la disposizione spaziale del DNA della celeberrima "photo 51", un diffrattogramma ottenuto da Rosalind Franklin e ritenuto meno informativo rispetto a quelli in fase cristallina. Fu questa la foto che Maurice Wilkins mostrò a James Watson un pomeriggio del gennaio 1953 al King's College di Londra.

Non è quindi sorprendente che lunghe molecole di DNA possano strutturarsi in cristalli liquidi. Il fatto nuovo da noi scoperto è che è possibile ottenere fasi ordinate anche utilizzando frammenti di doppia elica di DNA nettamente troppo corti perché il principio di Onsager possa valere. Ottenere cristalli liquidi con molecole di DNA si è rivelato fin troppo facile! Infatti, per quanto utilizzassimo frammenti di DNA sempre più corti, questa tendenza verso strutture ordinate rimaneva. Siamo arrivati a osservare la formazione di cristalli liquidi anche in eliche di DNA con sole sei coppie di basi, ovvero molecole più larghe che lunghe. Per intenderci, invece che di nano-stuzzicadenti si tratta semmai di nano-barattoli o nano-lattine, che quindi non dovrebbero avere alcun vantaggio entropico ad allinearsi. Invece osserviamo che i nanoframmenti di DNA si strutturano su vasta scala, formando cristalli liquidi che coinvolgono miliardi di molecole. In tal modo le nanoscopiche molecole formano domini strutturati grandi abbastanza da essere facilmente osservati con un semplice microscopio ottico polarizzato, come mostrato in Figura 1 per la sequenza autocomplementare CGCGAATTCGCG: i diversi colori riflettono il grado di allineamento delle eliche e la loro direzione. C'è poi stata un'altra sorpresa. Abbiamo osservato che, mescolando anche a più bassa concentrazione i piccoli frammenti di doppia elica con altri tipi di molecole polimeriche più flessibili, compresi altri segmenti di DNA in singolo filamento, le doppie eliche si separano - spontaneamente! - formando goccioline di cristallo liquido immerse nel resto della miscela, che invece rimane nella forma di un normale liquido disordinato (come mostrato in Figura 2, dove i domini colorati indicano la presenza di strutture ordinate, mentre il fondo nero è il liquido disordinato). Quindi non solo i frammenti di doppia elica tendono all'ordine collettivo, ma si separano da altri polimeri non ugualmente capaci di formare strutture ordinate.

Combinando i nostri risultati con quelli degli amici americani, siamo arrivati a capo di questo rebus. I frammenti di doppia elica presentano una certa tendenza ad impilarsi, congiungendo le basi delle nano-lattine le une alle altre grazie a tenui interazioni attrattive di tipo idrofobico, formando quindi dei "polimeri fisici", aggregati lineari instabili, non legati chimicamente, che si spezzano e si riformano di continuo. Tuttavia, tali catenelle di frammenti di DNA, se concentrate, sono mediamente abbastanza lunghe da favorire l'allineamento collettivo previsto da Onsager. Inoltre, quando questo processo avviene in miscele con numerose altre molecole polimeriche o singoli filamenti di DNA, i polimeri fisici di DNA tendono a segregare a causa della differenza di flessibilità con il resto della soluzione molecolare, di nuovo per un effetto entropico. In questo modo, le collanine di nano-DNA, instabili se troppo diluite, si separano in gocce stabili di DNA ordinato.

Moltissimi interrogativi senza risposte certe si presentano a chi cerca di investigare gli albori della vita sul nostro pianeta. Un'ipotesi abbastanza condivisa è che la vita possa essere emersa nella forma di molecole simili a segmenti di RNA (ritenuto più antico del DNA), capaci di auto-replicazione e selezione in quanto portatori allo stesso tempo di informazione e di attività catalitica, i cosiddetti ribozimi, enzimi ribonucleici. Tuttavia, affidare la sintesi di molecole lunghe e sofisticate come i polimeri di DNA o RNA alla pura combinazione casuale di molecole più semplici renderebbe il fenomeno talmente improbabile da essere sostanzialmente impossibile. Per questa ragione, gli scienziati del settore spesso invocano l'esistenza di processi auto-aggregativi o auto-regolamentati della materia, che possano favorire la sintesi delle complesse molecole prebiotiche.

In questo ambito, le nostre osservazioni suggeriscono un possibile scenario per spiegare la formazione di lunghi filamenti di DNA e RNA in doppia elica. Infatti, in una miscela di sequenze corte di DNA (e per l'RNA avviene lo stesso), solo quelle capaci di formare eliche, di impilarsi e quindi di formare cristalli liquidi si condensano selettivamente, concentrandosi spontaneamente per ragioni fisiche. Questo facilita enormemente la formazione di legami chimici tra gli estremi a contatto e quindi la formazione di molecole di DNA o RNA più lunghe. A loro volta, molecole più lunghe hanno maggiore tendenza ad allinearsi in cristalli liquidi, instaurando un circolo virtuoso per l'allungamento delle eliche. Potrebbe essere proprio questa forte tendenza alla strutturazione che ha fatto emergere l'RNA - o qualche suo precursore strutturalmente affine - come la molecola più efficiente nel promuovere la sua stessa crescita attraverso questi meccanismi di selezione, polimerizzazione fisica e condensazione in domini di cristalli liquidi.

Ogni scoperta scientifica in qualche modo modifica la nostra visione degli eventi naturali. La scoperta di nuove proprietà associative del DNA ci ha portato a confrontarci con il tema così complesso degli albori della vita e a formulare un'ipotesi che potrebbe strappare al baratro dell'infinitamente improbabile uno dei molti processi necessari all'insorgere della vita. L'ipotesi che questa scoperta suggerisce, in linea con altre recenti investigazioni legate al mondo prebiotico, è che la vita abbia potuto svilupparsi grazie all'esistenza di molecole che possiedono al tempo stesso la struttura modulare necessaria per la codifica genetica e la tendenza all'ordine collettivo. Con ciò sottraendo un po' della meraviglia per eventi prebiotici assolutamente improbabili, ma al contempo suscitandola per nuovi nessi tra la nostra esistenza e la struttura della materia. Invece della vita nata da una vincita alla lotteria, la vita nata dall'esistenza di un angusto "passaggio a nord-ovest" nel panorama delle leggi naturali.

<http://physics.litasegr.unimi.it>

M. Nakata, G. Zanchetta, B. D. Chapman, C. D. Jones, J. O. Cross, R. Pindak, T. Bellini, N.A. Clark, "End-to-end stacking and liquid crystal condensation of 6 to 20-base pair DNA duplexes", *Science*, 318, 1276 (2007);

G. Zanchetta, M. Nakata, M. Buscaglia, T. Bellini, N.A. Clark, "Phase separation and liquid crystallization of complementary sequences in mixtures of nanoDNA oligomers", *Proc Natl Acad Sci USA*, 105, 1111-1117 (2008).

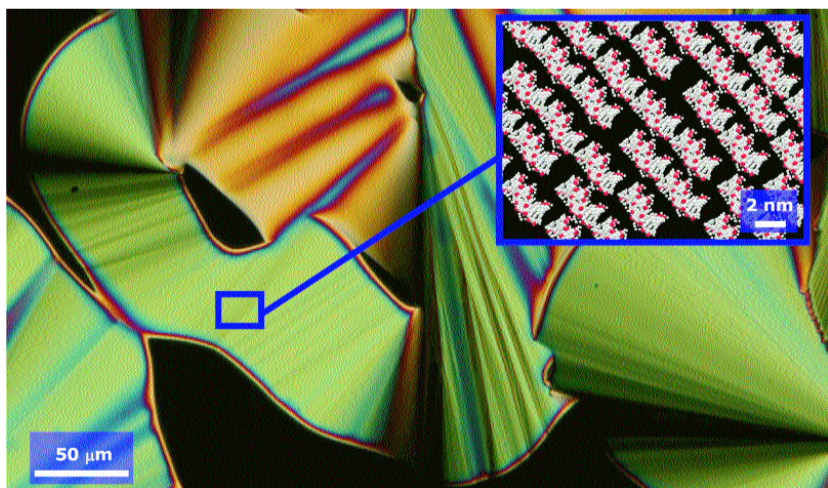


Figura 1

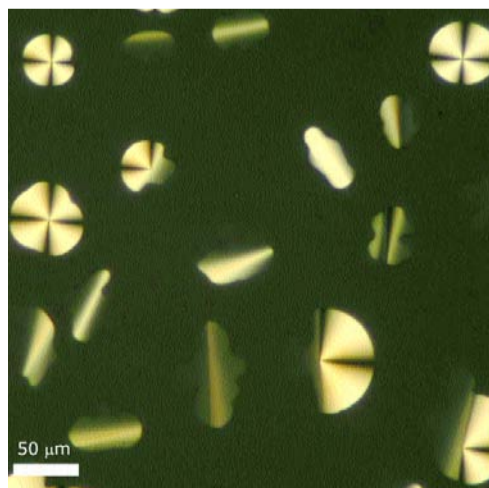


Figura 2

Figura 1. La tendenza dei frammenti di doppia elica a strutturarsi in colonne, come schematizzato nello zoom, fa sì che in ampie zone del campione, miliardi di molecole di DNA si allineino spontaneamente nella stessa direzione. Ciò è facilmente visibile mediante microscopia ottica polarizzata: i colori e i chiaroscuri riflettono la qualità e la direzione dell'allineamento dei frammenti di DNA.

Figura 2. Quando frammenti di doppia elica di DNA vengono miscelati con molecole più flessibili essi tendono a segregarsi. Si formano così goccioline di cristalli liquidi di DNA, chiare nell'immagine al microscopio polarizzato, circondate dalla miscela liquida disordinata degli altri polimeri, che nell'immagine appare nera.

Una pila per la mente

di Alberto Priori, Francesca Mameli e Roberta Ferrucci, Dipartimento di Scienze neurologiche, Università degli Studi di Milano.

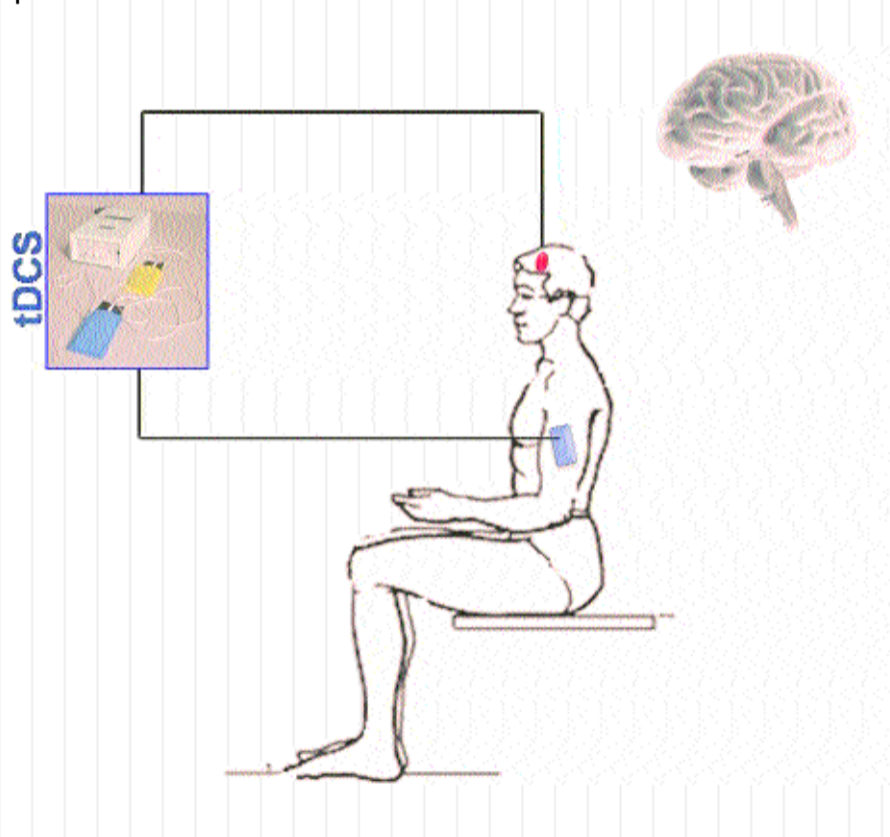
Le funzioni cognitive permettono di adattare le nostre azioni e reazioni a un ambiente in continua trasformazione. Queste sono la memoria, il ragionare e il predire le conseguenze delle azioni. Da alcuni anni, il Laboratorio di Neurostimolazione dell'Università degli Studi di Milano, attivo presso la Fondazione IRCCS Policlinico Mangiagalli e Regina Elena e coordinato da Alberto Priori, ha condotto studi sui processi cognitivi umani con l'impiego di una particolare metodica di stimolazione cerebrale non invasiva denominata stimolazione transcranica con correnti dirette o *transcranial direct current stimulation* (tDCS).

Tale metodica consiste nell'applicazione in prossimità dell'area di interesse di elettrodi eroganti una corrente di bassissima intensità non percepibile dalla persona e in grado di interferire e modulare in modo non invasivo la funzione delle aree cerebrali sottostanti influenzando anche sui processi cognitivi, come memoria e linguaggio, e su variabili comportamentali, come il tempo di reazione e la capacità di operare scelte di vario tipo. Per esempio, sono stati studiati i processi cognitivi associati alla capacità di mentire. L'esperimento è stato condotto su un gruppo di volontari sani al fine di indagare se fosse possibile interferire con i processi cognitivi alla base della menzogna. Infatti, sebbene mentire sia un compito cognitivo molto complesso, nel quale intervengono numerose aree del cervello umano, la struttura maggiormente coinvolta è il lobo frontale. Applicando la tDCS a tale area cerebrale si è dimostrato che è possibile interferire con la capacità di mentire. Si tratta, per ora, di uno studio pilota inserito all'interno di un più ampio filone di ricerca sui processi decisionali umani. Tale argomento riveste infatti notevole importanza a livello giuridico/forense e ha rilevanti implicazioni economiche e sociali. L'interesse da parte di studiosi di diverse discipline è dimostrato anche dalla istituzione, presso il nostro Ateneo, del corso interfacoltà in Scienze cognitive e processi decisionali, coordinato da Gabriella Pravettoni, che sarà attivato il prossimo anno accademico.

Sempre con la metodica di tDCS è stato dimostrato che il cervelletto - una porzione dell'encefalo che si riteneva preposta esclusivamente a funzioni motorie - è direttamente implicato nei processi cognitivi. Si è infatti dimostrato che il cervelletto è coinvolto nei processi mnesici, e più specificatamente risulta essere responsabile del miglioramento della memoria con l'esercizio. Le funzioni non motorie del cervelletto sono implicate in malattie dal forte impatto sociale, come per esempio l'autismo. La possibilità di modulare la funzione del cervelletto con la tDCS apre quindi interessanti prospettive applicative in ambito clinico per la terapia di questo genere di patologie. Infatti, la semplicità di applicazione della tDCS, l'assenza di effetti collaterali, il basso costo, la persistenza degli effetti indotti, rappresentano aspetti importanti per il suo impiego terapeutico.

In questa prospettiva, presso il Laboratorio di Neurostimolazione sono stati studiati gli effetti della tDCS anche su pazienti con afasia, un disturbo del linguaggio conseguente a ictus che impedisce a questi malati di dare il nome corretto agli oggetti e/o a comprendere quanto viene loro detto. Lo studio ha dimostrato che stimolando con la tDCS le aree cerebrali colpite dall'ictus i pazienti miglioravano, seppure transitoriamente, la capacità di denominare correttamente gli oggetti. Tale studio sarà esteso presto ad un maggior numero di pazienti e con un trattamento di stimolazione più lungo. Considerata l'elevata frequenza dei disturbi del linguaggio conseguenti a ictus, tale trattamento comporterebbe la possibilità di individuare una nuova strategia terapeutica da associare alla riabilitazione del linguaggio. Sempre in ambito prettamente clinico, in uno studio non ancora

pubblicato è stato valutato l'effetto di un singolo trattamento di stimolazione nei pazienti affetti da malattia di Alzheimer. Tale patologia è la forma più frequente di demenza nella popolazione anziana dei paesi occidentali, rappresentando sino al 50-60% dei casi di deterioramento mentale. Il sintomo principale è costituito da una progressiva perdita della memoria e successivamente anche delle altre funzioni cognitive. Per quanto la ricerca scientifica abbia dedicato molto tempo alla individuazione di una terapia più efficace, i trattamenti farmacologici esistenti hanno ancora un'efficacia limitata e provvisoria. Lo studio ha dimostrato che stimolando le aree cerebrali maggiormente colpite dalla patologia i pazienti miglioravano proprio nei compiti di memoria. Per questo motivo verrà condotto uno studio multicentrico in collaborazione con l'Università di Harvard e l'Università McKenzie in cui i pazienti saranno sottoposti ad un trattamento di maggiore durata e intensità al fine di poter individuare una potenziale nuova terapia da associare ai tradizionali trattamenti farmacologici e riabilitativi ad oggi utilizzati per l'Alzheimer. Infine, ci sembra utile accennare che la stimolazione tDCS è stata impiegata con successo anche in ambito non cognitivo, e più specificatamente sulla fatica muscolare, un sintomo presente in numerose patologie neurologiche e in particolare nei pazienti affetti da sclerosi multipla. Lo studio, condotto su soggetti sani, ha evidenziato che dopo una singola stimolazione della corteccia motoria le persone miglioravano in modo significativo la performance motoria di resistenza senza avvertire lo stato di affaticamento derivante dall'esercizio fisico. In conclusione, la tDCS è una metodica semplice, sicura e a basso costo che rappresenta uno strumento di esplorazione sperimentale dei processi cognitivi e mentali in condizioni normali e patologiche e che si potrà rivelare un valido contributo terapeutico in associazione ai trattamenti convenzionali di diverse patologie neurologiche e psichiatriche.



Stimolazione transcranica con correnti dirette

Lo schema illustra l'impiego della metodica di stimolazione transcranica con correnti dirette (tDCS). Il paziente viene sottoposto a stimolazione mediante il posizionamento degli elettrodi sullo scalpo in prossimità dell'area di interesse. La tecnica è assolutamente non invasiva, indolore e di facile impiego.

Priori A., Mameli F., Cogiamanian F., Marceglia S., Tiriticco M., Mrakic-Spota S., Ferrucci R., Zago S., Polezzi D., Sartori G. "Lie-specific involvement of dorsolateral prefrontal cortex in deception". *Cerebral Cortex*. 2007

Ferrucci R., Marceglia S., Vergari M., Cogiamanian F., Mrakic-Spota S., Mameli F., Zago S., Barbieri S., Priori A. "Cerebellar transcranial direct current stimulation impairs the practice-dependent proficiency increase of working memory". *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2008

Monti A., Cogiamanian F., Marceglia S., Ferrucci R., Mameli F., Mrakic-Spota S., Vergari M., Zago S., Priori A. "Improved naming after transcranial direct current stimulation in aphasia". *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*. 2007

Cogiamanian F., Marceglia S., Ardolino G., Barbieri S., Priori A. "Improved isometric force endurance after transcranial direct current stimulation over the human motor cortical areas". *European Journal of Neuroscience*. 2007

Il Laocoonte vaticano: due libri e un percorso intorno all'antico

di Gemma Sena Chiesa, Dipartimento di Scienze dell'Antichità, Università degli Studi di Milano.

Cinquecento anni fa a Roma venne scoperta la più famosa statua giunta a noi dall'antichità classica, il gruppo di Laocoonte assalito con i figli dai serpenti perché si opponeva all'ingresso in Troia del cavallo di legno.

La grande scultura aveva subito colpito l'immaginario di tutta l'Europa colta per la storia patetica che rappresentava e per la sconvolgente forza dell'arte che la caratterizzava.

Il gruppo divenne ben presto un mito più che una statua e fu considerato il simbolo più alto dell'antichità classica.

L'anniversario del ritrovamento è stato celebrato a Roma con una grande mostra ai Musei Vaticani dove la notissima scultura è conservata. Le manifestazioni si sono concluse a Milano nell'autunno scorso con la presentazione presso il nostro Ateneo di due volumi che indagano il fascino sempre vivo dell'antico capolavoro, entrambi nati nell'ambito della Scuola di specializzazione in Archeologia.

I docenti del Dipartimento di Scienze dell'antichità hanno dato con questa pubblicazione un importante contributo alla ricerca scientifica intorno ad una testimonianza singolare e affascinante del mondo classico, ancora ampiamente discussa nella sua datazione e nella sua collocazione storica e culturale.

Il primo volume, a cura di Giorgio Bejor, *Il Laocoonte dei Musei vaticani, cinquecento anni dalla scoperta* (Quaderni di Acme 93, Cisalpino, Milano), presenta i contributi degli antichisti del Dipartimento di Scienze dell'antichità. Importanti novità scientifiche riguardano il dibattito estetico e la discussione sul Laocoonte nel '700: Elio Franzini ha ripercorso le riflessioni di G. E. Lessing che, indagando sull'unità e la differenza tra poesia e scultura, vedeva nel

Laocoonte il punto più alto di una concezione "classica" dell'arte, in polemica con la lettura che dell'antico capolavoro aveva fatto J. Winkelmann.

Gli scritti di Winkelmann, Mengs e Visconti sul Laocoonte vaticano sono poi raccolti da Fabrizio Slavazzi in una utilissima antologia critica.

Il mito di Laocoonte quale appare in origine nelle fonti greche, da Omero a Pindaro, è esaminato da Giuseppe Zanetto, che ne sottolinea, con interessanti osservazioni, le diverse varianti ed il loro significato, mentre la versione ricordata nella *Troiae halosis* recitata nel *Satyricon* di Petronio davanti a un quadro con la caduta di Troia, è messa a confronto da Maria Assunta Vinchesi con la celebre descrizione virgiliana della morte di Laocoonte.

Nuove ipotesi sul luogo di rinvenimento della celebre statua e sulla sua collocazione in antico nella villa di Mecenate, divenuta poi la dimora principesca di Tito, sono state avanzate da Fabrizio Slavazzi.

Teresa Alfieri Tonini si sofferma sulle testimonianze epigrafiche, partendo dalle iscrizioni rodie che ricordano i celebri scultori del Laocoonte e la loro cerchia e giungendo fino alla notissima tabella di Sperlonga, con i nomi degli autori dei gruppi scultorei ivi collocati.

L'inserimento del gruppo del Laocoonte nella tradizione artistica ellenistica e romana e l'evolversi della sua fama si evidenziano in tre contributi. Giorgio Bejor, tracciando un ampio quadro della cultura artistica tardoellenistica (il periodo in cui secondo Plinio *revixit ars*, l'arte rifiorì), pone a confronto il Laocoonte con le grandi repliche di gruppi "barocchi" presenti a Roma alla fine del I sec. a.C. Matteo Cadario riprende, con molte novità interpretative, l'esame dei diversi Laocoonti nella pittura romana a partire dai due celebri dipinti pompeiani della casa di Laocoonte e della Casa del Menandro. Chi scrive, riconsiderando la strana "assenza" di una iconografia così significativa sulle pietre incise classiche da anello - sulle quali compaiono invece molti altri temi

popolarissimi legati al mito troiano - si interroga sulle ragioni della scarsa fama, all'infuori della celebre citazione pliniana, riscontrata dal gruppo del Laocoonte nel mondo romano.

La memoria del Laocoonte nell'arte rinascimentale e moderna trova alcune interessanti illustrazioni nel lavoro di Elisabetta Gagetti sulla sterminata serie di gemme incise moderne con il famoso gruppo vaticano, a testimonianza della straordinaria popolarità del capolavoro tra XVI e XIX secolo. Sullo stesso argomento Chiara Pradella illustra la figura artistica e il rapporto con l'antico di G. Cristoforo Romano, uno dei primi artisti rinascimentali chiamati a esaminare il gruppo appena scoperto. Chiude il volume l'interessante storia, delineata da Ilaria De Aloe, degli studi critici sul Laocoonte vaticano susseguitisi negli ultimi cento anni.

Il secondo volume, *Laocoonte in Lombardia cinquecento anni dopo la sua scoperta*, curato da Gemma Sena Chiesa con Elisabetta Gagetti (edizioni Vienneperre, Milano), raccoglie le ricerche sulle tracce della fama che ha accompagnato la celebre opera a Milano e in Lombardia tra '500 e '800. L'Università Statale ha voluto offrire questo studio alla città, proponendo un itinerario ideale alla ricerca della memoria dell'antico nella nostra regione.

Un gruppo di docenti e specializzandi ha infatti riscoperto nei musei lombardi tesori d'arte fra loro molto diversi, noti e meno noti, che si ispirano, nel tempo e con motivazioni diverse, alla celebre statua simbolo dell'antichità. Si tratta di rinvenimenti spesso sorprendenti in una città considerata indifferente alla memoria del classico.

Il viaggio alla ricerca della memoria del Laocoonte inizia appena fuori dalla odierna Lombardia, a Varallo Sesia, un luogo certo inaspettato. Appena una decina d'anni dopo la scoperta, Gaudenzio Ferrari, nelle devote storie di Gesù che dipinge tra i monti, usa l'immagine del Laocoonte per caratterizzare la romanità del palazzo di Pilato.

Pochi anni dopo, tracce del Laocoonte vaticano si ritrovano in un centro ben più famoso, a Mantova, nel Palazzo Ducale, tra gli spettacolari tesori dei Gonzaga, che si ponevano al centro della cultura classica nel '500 e dove operava un pittore eccelso, Giulio Romano. Probabilmente a Isabella d'Este era appartenuto un vigoroso bronzo di cui non si conoscono per intero le vicende. Il bronzo, ora a Brescia, rappresenta una delle scoperte più interessanti della nostra indagine.

A Milano la memoria della statua antica è presente nel '600 all'Ambrosiana. Domina lo scalone un grandioso calco già appartenente a Leone Leoni (lo scultore che si era costruito

poco lontano il palazzetto degli Omenoni per ospitarvi la sua strepitosa collezione d'arte). Affascinanti disegni di Rubens sono fra i pezzi più spettacolari delle raccolte del cardinal Federico Borromeo: Laocoonte diveniva per il dotto cardinale un esempio educativo del magistero degli antichi e un insegnamento morale di sopportazione della sofferenza. Tutt'altro significato, legato alla moda per l'antico della fine del '700, ha una bella porcellana Ginori del primo '700, un Laocoonte "bianco", reso nel nuovo materiale di moda in età neoclassica e conservato nel museo più amato dai milanesi, il Poldi Pezzoli. La statuetta gareggiava con i famosi pezzi "all'antica" delle fabbriche di Meissen, di Wedgwood e di quelle napoletane e doveva, assieme ad altre riproduzioni di statue classiche, formare un fastoso centro tavola di alto valore culturale. La vicenda di Laocoonte e della sua punizione divina riappare ottant'anni più tardi. Proprio tra l'ultimo periodo della presenza napoleonica e la restaurazione, gli allievi dell'Accademia di Brera



Antichità classica

gareggiano sul tema del Laocoonte. Sono stati ritrovati, oltre a disegni e schizzi, il quadro del vincitore, Francesco Hayez, una bellissima tela fra l'ideale eroico neoclassico e il patetismo esotico del primo romanticismo, e quelli di altri giovani artisti, come Antonio De Antoni e Angelo Inganni, nonché una misteriosa tela anonima, ora al Museo dell'800 a Villa Reale.

La Raccolta Bertarelli al Castello Sforzesco contiene una quindicina di straordinarie stampe, ognuna con una sua storia particolare, che ritraggono o si ispirano al Laocoonte vaticano. È un Laocoonte di carta non meno significativo degli altri: è proprio attraverso le stampe che

la fama di un'opera così emozionante divenne nota a tutti, assumendo il valore di simbolo del mondo classico. Fra le stampe della Bertarelli c'è un prezioso esemplare cinquecentesco di una enigmatica incisione attribuita a Tiziano, con Laocoonte e i suoi figli trasformati in tre scimmie. Un'allegoria, una caricatura, un gioco misterioso che ancora oggi resta irrisolto.

Andare a vedere Tiziano e il suo misterioso Laocoonte alla Bertarelli, ritrovare le altre memorie dell'antico nascoste nei musei milanesi può essere davvero un'avventura speciale, la conclusione di un viaggio ideale alla scoperta di quanto Milano possiede e non conosce abbastanza.

Interventi

La sfida per l'energia del futuro

di **Gianluca Alimonti** e **Angela Bracco**, INFN - Sezione di Milano e Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Milano.

Questo contributo ha lo scopo di riassumere, presentandone i punti più salienti, i risultati di un'attività iniziata con il workshop "L'energia per il futuro: nucleare e fonti rinnovabili" (www.mi.infn.it/energiaperfuturo), organizzato nel novembre 2006 dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) Sezione di Milano, dall'Università degli Studi di Milano e dal Centro di Ricerca per l'Ambiente e l'Impresa (CRAI). L'iniziativa, che si è svolta al Dipartimento di Fisica, è poi proseguita con un ciclo di seminari monotematici ed è stata presentata alla conferenza "The future of science: the energy challenge" (www.thefutureofscience.org), tenutasi a Venezia nel settembre 2007.

In tutti questi incontri la discussione ha preso il via dalla presentazione della situazione attuale e dai limiti che questa comporta, per poi passare alle possibili soluzioni. Per macro aree, si è trattato di:

- produzione di energia da fonti fossili: limiti e prospettive di questo scenario;
- contributo e sviluppi delle fonti nucleari (sia fissione che fusione);
- potenzialità delle fonti rinnovabili;
- importanza di una più elevata efficienza nella produzione e nell'utilizzo di energia.

Il ben noto punto di partenza, da tutti sottolineato, è che il fabbisogno energetico mondiale è soddisfatto per il 77% dalle fonti fossili. Le riserve non sono infinite e secondo alcuni modelli siamo oramai prossimi al picco della produzione sia del petrolio che del gas naturale. Anche l'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA), organizzazione da sempre ottimista in questo settore, nel suo "Medium-Term Oil Market Report" dello scorso luglio, prevede crescenti ristrettezze sui mercati petroliferi a partire dal 2010 e le capacità di riserva OPEC ridotte al minimo entro il 2012. Recenti studi evidenziano inoltre come la combustione degli idrocarburi causi gravi malattie, sia il principale responsabile dell'inquinamento del pianeta e, anche se questo punto è tuttora al centro del dibattito scientifico, sembri essere una delle cause del riscaldamento del pianeta.

Dalle varie presentazioni è emerso molto chiaramente che al momento una soluzione che possa, da sola, far fronte al crescente bisogno energetico globale non esiste: più plausibile sembra invece il ricorso ad un mix di soluzioni alternative, le quali richiedono tutte, per motivazioni tecnologiche, scientifiche od economiche, significativi, mirati e coraggiosi investimenti nella ricerca. Considerando inoltre il tempo necessario per liberarsi dalla dipendenza delle fonti fossili, processo inevitabilmente lungo, è importante che la via dell'innovazione, chiave del futuro, venga imboccata subito.

Un punto importante in discussione, che riguarda proprio questa necessaria fase di transizione, è la possibilità di produrre energia sfruttando le attuali metodologie ed infrastrutture ma con una maggiore attenzione ambientale. Si inseriscono in questo ambito gli studi riguardanti il cosiddetto "carbone pulito": centrali a carbone che consentano l'eliminazione della CO₂ prodotta dalla combustione (Carbon Capture and Sequestration).

A detta degli esperti, tale tecnologia si è dimostrata efficace su piccola scala: ora si tratterebbe di costruire impianti di dimensione commerciale, verificarne le prestazioni ed eseguire test di stoccaggio geologico della CO₂ per quantità dell'ordine del milione di tonnellate all'anno. Si stima che con i necessari investimenti in ricerca e sviluppo, si possa

arrivare ad avere questo tipo di centrali entro il 2020, con un costo dell'energia elettrica così prodotta che ammonterebbe a circa il doppio di quello attuale.

È subito emerso chiaramente come in un libero mercato la competitività economica dell'energia pulita sia fondamentale per affrontare il problema ambientale a livello globale. Supponendo ad esempio di riuscire a produrre energia "pulita" in Europa, implicando questo un aggravio dei costi, le grosse industrie troverebbero conveniente spostarsi in Paesi come la Cina dove, senza un accordo globale, l'energia continuerebbe ad essere prodotta, a minor costo, dal carbone non pulito, con un peggioramento della situazione mondiale. Per questo motivo è importante considerare sempre i costi aggiuntivi che una tecnologia pulita comporta.

Per quanto riguarda l'energia nucleare da fissione è stato chiaramente sostenuto che in questo caso non esisterebbero costi aggiuntivi, in quanto si tratta di una tecnologia per sua stessa natura pulita ed economicamente competitiva anche rispetto al carbone non CCS (attualmente la produzione energetica più economica).

Le controindicazioni, in questo caso, sono la sicurezza, le scorie ed il rischio di proliferazione. Attualmente nel mondo circa il 16% dell'energia elettrica viene prodotta dalle 437 centrali nucleari esistenti, mentre una trentina sono in costruzione ed oltre 70 in fase avanzata di progetto. I reattori di III generazione, in costruzione, o quelli di III+, praticamente pronti, hanno degli standard di sicurezza che portano, ad esempio, la probabilità di fusione del nocciolo (l'incidente più grave ipotizzabile) a valori tra 10⁻⁷ e 10⁻⁸ per reattore per anno. Non bisogna poi dimenticare che recenti studi hanno dimostrato che tra le principali fonti energetiche, quella nucleare è quella che storicamente ha causato il minor numero di decessi da incidente per unità di energia prodotta.

Quello delle scorie è stato definito un piccolo grande problema: senza sminuire la pericolosità delle scorie ad alta attività, che non devono assolutamente entrare in contatto con l'ecosistema, non si può non tenere in considerazione che un reattore tipico da 1000 MW_e produce, dopo riprocessamento e vetrificazione, circa 4 m³ all'anno di queste scorie. Troppo spesso ci si dimentica che una centrale di pari potenza alimentata a combustibile fossile emette milioni di tonnellate di CO₂ oltre, nel caso del carbone, a decine di migliaia di tonnellate di polveri contenenti mercurio, metalli tossici ed elementi radioattivi. In ogni caso, la gestione delle scorie passa sempre più attraverso il riprocessamento con l'estrazione degli elementi più attivi e di quelli riutilizzabili che vengono poi reinseriti in reattori in grado di utilizzare percentuali crescenti di combustibile ad ossidi misti. I reattori di IV generazione, che dovrebbero essere pronti per il 2030, produrranno poi scorie la cui radiotossicità tornerebbe a livelli naturali in pochi secoli (grazie alla trasmutazione sfruttata anche negli ADS, Accelerator Driven System, sistemi sottocritici allo studio, in grado di riprocessare le scorie dei reattori attuali) e in tal modo attaccheranno alla radice il problema della proliferazione, poiché non sarà più necessario l'arricchimento del combustibile nucleare. Anche nel settore del nucleare quindi, dove sono pronti reattori in grado di tamponare la situazione e dare un grande aiuto subito - tra l'altro i tempi tecnici per la realizzazione di un moderno reattore sono ridotti a pochi anni - sono necessari importanti investimenti nella ricerca per arrivare in tempi brevi a reattori che

Interventi

sfruttino meglio le risorse e producano scorie che richiedono limitati stoccaggi sia nello spazio che nel tempo.

In questo ambito anche l'INFN, che promuove, coordina ed effettua la ricerca scientifica nel campo della fisica subnucleare, nucleare ed astroparticellare, ha recentemente dato origine a una commissione paritetica con l'Ansaldo che si occupa di sviluppare competenza e strumentazione di fisica nucleare nel campo dell'energia. In particolare, questo obiettivo si traduce in sviluppo di rivelatori per radiazione nucleare e particelle in eventuali applicazioni di acceleratori ed in investimento nella formazione. Per questo aspetto, un ruolo importante è giocato dalle Università, mediante i corsi di fisica nucleare e le sue applicazioni. L'INFN contribuisce allo sviluppo di alcuni aspetti di ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), collaborazione internazionale nella quale 33 Paesi, rappresentanti più della metà della popolazione mondiale e più del 75% del prodotto lordo globale, hanno unito i propri sforzi sulla strada del primo reattore a fusione. Tale ricerca richiede conoscenze in diversi settori del sapere umano e notevoli investimenti: è significativo come l'impegno sia condiviso da tutti, così come lo saranno i benefici che, a detta degli stessi ricercatori, arriveranno dopo il 2050.

La discussione sull'energia solare trae la sua origine dal fatto che il Sole irraggia sulla Terra circa 9000 volte il fabbisogno energetico mondiale: gli esperti del settore hanno mostrato che attualmente però non esistono tecnologie in grado di sfruttare in modo economicamente conveniente, e su grande scala, questo potenziale. Tranne l'energia idroelettrica, praticamente già sfruttata al massimo e sulla quale si hanno forti dubbi per l'impatto che comporta sull'ecosistema, e quella eolica, conveniente solo in particolari siti con le giuste caratteristiche di ventosità, le altre richiedono significativi sviluppi prima di poter incidere sul bilancio globale. Gli investimenti nella ricerca qui giocano un ruolo ancor più fondamentale e devono essere guidati non da facile demagogia ma da una corretta valutazione del rapporto costo/benefici. Sono quindi state analizzate alcune direttrici.

Riguardo l'energia fotovoltaica, sono oramai molti gli esperti nel mondo, fra cui il premio Nobel Zhores Alferov, che sostengono che non convenga insistere sull'attuale, costosa e poco efficiente tecnologia basata sul silicio, quanto piuttosto investire nella ricerca di nuovi materiali fotovoltaici, celle multistadio, sistemi a concentrazione, sfruttando anche le recenti conquiste delle nanotecnologie. Solo così si potrà arrivare ad un'energia fotovoltaica su larga scala pulita ed economica, con investimenti coraggiosi e mirati, senza dispersione di capitali in una strada senza prospettive.

Il solare termodinamico (produzione di vapore ad alta temperatura, e quindi di elettricità, tramite concentrazione di energia solare) è una soluzione tecnicamente pronta, a detta del premio Nobel Carlo Rubbia, ma che richiede anch'essa importanti investimenti per renderla economicamente competitiva. Per la sua intrinseca necessità di forte insolazione diretta, è molto più adatta a climi secchi, come il deserto del Sahara, che non alle regioni del mondo dove viene consumata la maggior quantità di energia. Ne consegue la necessità di grosse infrastrutture per lo stoccaggio ed il trasporto dell'energia prodotta.

Sono necessari investimenti nella ricerca anche per rendere competitiva la geotermia: l'Italia è tra i primi produttori al mondo di questa forma di energia, grazie alla presenza di siti quali Larderello, zona in cui il calore interno del pianeta, praticamente inesauribile, affiora naturalmente alla superficie. Per poter sfruttare questa fonte in maniera diffusa e significativa, si devono sviluppare i cosiddetti sistemi geotermici ingegnerizzati: attraverso trivellazioni di circa 10 Km, si inietta e preleva acqua dagli strati profondi della crosta terrestre, così da estrarre calore da utilizzare anche per la produzione di elettricità.

Le biomasse sono una vasta famiglia di sostanze, tra loro anche molto diverse, che necessitano di tecnologie differenti per la trasformazione in prodotti finali utilizzabili: tra questi, spiccano i biocarburanti e questo è forse il settore in cui la ricerca può giocare un ruolo ancora più importante. Prendendo come esempio l'Italia, è stato dimostrato che se fossero coltivati per la produzione di biodiesel i terreni incolti per accordi comunitari, riusciremmo a soddisfare solo qualche percentuale del fabbisogno nazionale dei trasporti.

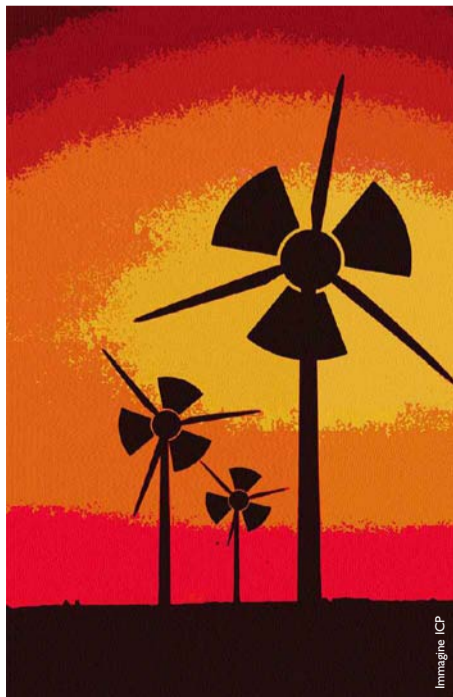
Volendo aumentare l'estensione dei terreni dedicati ai biocarburanti, è emerso molto chiaramente il pericolo della competizione con le colture destinate all'alimentazione, che rischierebbe di causare un notevole aumento del prezzo dei prodotti, così come capita già di osservare a livello globale per il grano. Bisogna inoltre considerare che con le attuali tecnologie, l'energia necessaria nell'intero processo produttivo del biocarburante è di poco inferiore, se non, in alcuni casi, addirittura superiore, all'energia poi restituita dalla combustione del biocarburante stesso. Questa problematica richiede un'enorme ricerca interdisciplinare, che studi come minimizzare le risorse utilizzate per la produzione della biomassa, massimizzarne la produzione (qui la genetica gioca un ruolo fondamentale), migliorare i processi di trasformazione, magari anche considerando i processi chimici delle termiti, ancora per la maggior parte ignoti. Di fronte a queste problematiche è recente la decisione del DOE (Department of Energy) americano di investire 500 milioni di dollari nella fondazione di tre centri di eccellenza nelle bioenergie, riunendo così esperti in diversi settori e favorendo l'interdisciplinarietà della ricerca: questo esempio è stato presentato come la via più adatta per affrontare una simile problematica.

Infine, ma non perchè meno importante, è stata da tutti sottolineata una strada di immediata applicabilità: l'efficienza energetica. Ci sono studi che dimostrano molto chiaramente come il più veloce ritorno ambientale ed economico passi attraverso investimenti volti a diffondere le tecniche e la cultura di una più efficiente produzione ed utilizzo di energia. Si tratta di implementare l'uso di tecnologie già esistenti in settori quali l'edilizia e l'industria: trigenerazione, pompe di calore, coibentazione, motori elettrici ad alta efficienza ed inverter; illuminazione e altro, possono fare risparmiare ad un Paese come l'Italia percentuali a doppia cifra del fabbisogno elettrico nazionale (praticamente l'elettricità importata dalla Francia, prodotta dall'equivalente di sette reattori nucleari di media taglia). Gli esempi non mancano: negli ultimi anni in California, grazie ad un'attenta politica di efficienza energetica, il consumo pro capite di energia è rimasto costante, a differenza degli altri Stati americani, a fronte di una significativa crescita economica e tecnologica.

Più vicino a noi, la STMicroelectronics, per produrre un chip di pari complessità, utilizza oggi oltre il 40% in meno di elettricità rispetto al 1995, anno in cui è stato lanciato il "Decalogo ambientale": sull'intera produzione ciò significa risparmiare l'equivalente di una centrale da 220MW.

Ancora più vicina a noi è la concreta possibilità di applicare a livello individuale una serie di precauzioni (non eccedere nella climatizzazione in casa, utilizzare valvole termostatiche sui termosifoni e lampadine a basso consumo, non lasciare gli elettrodomestici in stand-by e molto altro) che complessivamente possono portare ad una riduzione fino al 30% dell'energia consumata.

Va sottolineato che per tutti gli studiosi intervenuti le diverse soluzioni esposte, dalla fissione nucleare al solare, dalle biomasse alla fusione nucleare, dalla geotermia alla cattura e stoccaggio della CO₂, necessitano tutte per motivi tecnologici, scientifici o economici, di significativi, mirati e coraggiosi investimenti nella ricerca. Si è inoltre raccomandato che l'atteggiamento corretto per affrontare la problematica energetica non può focalizzarsi unicamente sulle varie tecniche di produzione, dovendo invece considerare *tutti* i costi, ambientali e sociali, che queste comportano.



Una nota sul valore e il costo dell'energia

Il KWh è quella quantità di energia che permette di far funzionare un condizionatore o un forno elettrico per circa un'ora. Per l'equivalenza tra energia e lavoro, è anche il lavoro necessario per alzare una tonnellata di ben 367 metri.

Approssimativamente la stessa energia che serve ad un uomo per andare in cima al Monte Bianco. Per generare questo KWh è stato prodotto sino ad 1 Kg di anidride carbonica che, dispersa nell'ambiente, ha saturato un volume d'aria equivalente ad oltre dieci appartamenti di media dimensione. Questo KWh lo paghiamo, consegnato nelle nostre case, quanto spedire un sms.

Un ringraziamento va a Pier Francesco Bortignon per averci spinto a questa scrittura con stimolanti spunti, grazie anche alla sua preziosa esperienza di docente presso il Dipartimento di Ingegneria nucleare del Politecnico di Milano.

Lalla Romano scrittrice a Milano

di **Giuliana Nuvoli**, Dipartimento di Filologia moderna, Università degli Studi di Milano.

Nei giorni 1 e 8 giugno 2007 si è tenuto, nella Sala Napoleonica di Via S. Antonio, il Convegno "Lalla Romano scrittrice a Milano", organizzato dalla Facoltà di Lettere e Filosofia e dalla SILSIS Lombardia. Al Convegno era abbinata una mostra di fotografie, carte inedite, disegni e dipinti della scrittrice. La mostra è stata curata da Antonio Ria e da Giuliana Nuvoli, organizzatrice anche del Convegno.

Nella primavera del 1947 Lalla Romano lascia Cuneo per raggiungere il marito, Innocenzo Monti, a Milano. La prima casa è di fortuna, tra le macerie che si rincorrono a vista, in Via Signorelli, non lontano dal Cimitero Monumentale. Innocenzo, funzionario alla Comit, è a Milano dall'anno precedente: Lalla ottiene il trasferimento alla scuola media Arconati di Via Commenda e iscrive il figlio Piero all'istituto San Siro. Insegna lettere dal 1947 al 1959. Il latino e l'italiano sono le materie che predilige; la storia e la geografia le impara con gli studenti. Per il latino ricorda: "Dettavo io la traduzione dei testi, così si guadagnava tempo"; per l'italiano le importa, più di ogni altra cosa, che i ragazzi imparino ad amare la lettura. E insegna a scrivere: "Avevano un quaderno dove potevano annotare liberamente i loro pensieri. Li rivedevo e, se c'erano questioni importanti, personali, ne parlavamo. Era una cosa molto segreta fra me e ciascuno di loro". Lalla domina l'universo della scuola, ma le sfugge quello del figlio. Piero è riottoso al mutamento. Per lui Milano è l'ingresso doloroso nel mondo degli adulti: vagabonda tra le macerie; è attirato dagli spari, dagli scontri; si allontana da casa e non frequenta la scuola. La madre, trepida, cerca conforto anche dai bidelli per saperne di più su questo figlio ribelle.

A Milano rivede Enzo Paci che la introduce ai "Lunedì" di Alberto Mondadori, in Via Locatelli: menti brillanti e conversazioni appassionate. Lì incontra Elio Vittorini, i cui "occhi beduini, misteriosi, lampeggiano di allegria fanciullesca e insieme sono timidi, selvatici" e conosce Carlo Bo, "solenne, ma anche ironico; cattolico, ma anche cristiano".

Ma, sopra tutto, ritrova Eugenio Montale, che aveva conosciuto a Forte dei Marmi. Diventano amici e Lalla frequenta assiduamente la casa di Via Bigli: in un primo periodo nel tardo pomeriggio, poi dopo cena. I due sono simili e, a volte, lontani: Montale ama l'opera, Lalla la musica da camera. Però vanno insieme alla Scala e si fanno concessioni reciproche. Montale è grato per le visite di Lalla e per l'assistenza di Innocenzo su questioni bancarie; Lalla gli è riconoscente per le recensioni che lui scrive sul "Corriere" e che l'aiutano a capire meglio il senso della sua scrittura.

Accanto a Montale, in quella Milano viva del dopoguerra, l'altra figura di spicco è Sergio Solmi amico e parente di Raffaele Mattioli, e responsabile dell'ufficio legale della Banca Commerciale Italiana.

Sono anni intensi nella città, pieni di passione intellettuale: "Per l'artista e l'uomo di lettere - ricorda Solmi - Milano sembra trasformarsi ogni giorno più in un luogo astratto, contrassegnato da una frenetica civiltà culturale, che anela a scarnire le cose fino all'osso. (...)

A qualsiasi ora del giorno o della sera, cavando l'orologio di tasca, si può asserire con perfetta sicurezza che in quel momento una dozzina

almeno di oratori, artistici o letterari, stanno parlando in qualche punto della città".

Uno di questi luoghi è il bar in Via San Paolo, dietro Palazzo Marino, dove la Romano incontra Solmi, Ferrata, Sereni, Bacchelli:

un appuntamento quotidiano, al termine del quale Lalla passa a prendere Innocenzo alla Banca Commerciale, in piazza della Scala, e fa con lui il breve tratto sino alla casa di Via Brera.

Centrale la figura di Innocenzo; e nevalgica la Comit e Raffaele Mattioli. Banchiere umanista colto e raffinato, finanziatore di riviste, di case editrici, consigliere culturale della Ricciardi, Mattioli fa dire a Solmi: "La letteratura mina alle basi la Banca Commerciale!".

Attraverso la Comit Lalla conosce Riccardo e Ada Bacchelli (il figlio di lei era collega di Innocenzo). Ada Bacchelli è una donna piena di fascino, Riccardo "un generoso conversatore e molto più moderno di quel che sembri". È un'amicizia che diventa strettissima, fatta di frequentazioni quotidiane e di viaggi.

Poi c'è Vittorio Sereni, col quale Lalla si capisce al volo: sono diversi con qualcosa in comune: "l'avventuroso (magari immaginario), l'imprevedibile, la collera leggera e fugace". Vittorio ha anche molto di Innocenzo: "la discrezione, la generosità, il disprezzo della meschinità".

E ancora Luigi Rognoni: la loro è un'amicizia giocosa che le consente di imparare molto sulla musica e sul cinema. Nella sua casa conosce René Leibowitz, Luciano Berio, Roland Barthes.

Ma non mancano le amicizie con le donne, due in particolare.

La prima è Daria Menicanti, moglie del filosofo Giulio Preti; la seconda è Grazia Cherchi: non si incontrano spesso, ma parlano molto al telefono. Di libri, di tutto.

Negli anni verranno ancora Paolo Volponi, Dante Isella, Cesare Segre, Vincenzo Consolo, Giuseppe Pontiggia e Fernanda Pivano. Per Lalla le amicizie sono fondamentali: "Nella vita sono importanti gli incontri che abbiamo avuto: certo, li rimpiangiamo, ma l'importante è che ci siano stati".

In mezzo a tutto questo Lalla scrive e dimentica i pennelli: l'arrivo a Milano coincide, infatti, con l'abbandono definitivo della pittura. I quadri finiscono in cantina.

La conversione, in realtà, si era verificata nel 1944, quando Cesare Pavese l'aveva invitata a tradurre per l'Einaudi i *Trois contes* di Flaubert. E l'avvicinamento alla scrittura come mestiere avviene, in qualche modo, grazie a Montale, che le fa avere l'incarico di scrivere sulle mostre di pittura a Torino: la rivista è il *Mondo Europeo* di Firenze (dal 1945 al 1947). Giunta a Milano, Lalla si scopre narratrice e Vittorini le fa da mentore: scrive la presentazione a *Le metamorfosi* (1951) e il risvolto a *Maria* (1953), pubblicando entrambi i romanzi nella sua collana "I gettoni". Sono anni duri: "A Milano, dopo la guerra, ebbi un periodo difficilissimo: insegnavo, dovevo correggere i compiti, far studiare il figlio mentre caricava e scaricava una rivoltella, fare i

lavori domestici, e tutto in cucina, magari con la radio accesa. Eppure, anche allora che la mia attività pareva compromessa, scrivevo i miei libri ugualmente..."

Lalla condivide la tensione di quegli intellettuali che, nel vuoto dell'immediato dopoguerra, sentono il bisogno di ricostruire un'unità morale della persona umana salvaguardando, però, il singolo. È un imperativo categorico che la coinvolge, come insegnante, in battaglie



Lalla Romano nel giardino della casa di via Brera.
Foto di Vincenzo Cottinelli.

Letteratura

in difesa della libertà di coscienza: sono gli anni di Scelba e per lei, quelle lotte, rappresentano “avventure più importanti di quelle della Resistenza perché *in tempo di pace*”.

Ma non cede alla tentazione del “gruppo”, del partito: è gelosamente individualista e ostinata nel difendere i suoi spazi.

Escono *Tetto murato* (1957) e *Diario di Grecia* (1959), e la Romano lascia l’insegnamento: “Sono andata in pensione perché negli ultimi tempi mi stancava alzarmi presto la mattina, ma mi piaceva molto fare scuola”.

Nel 1964 il romanzo *La penombra che abbiamo attraversato* vince il Premio dei Librai Milanesi, ma non il premio Viareggio, nonostante l’appoggio di Bobbio, Longhi, Piovene, Sapegno, Ungaretti. Montale, per protesta, si dimette dalla giuria del Premio. Lalla diventa così famosa, e si identifica sempre più con Milano.

Eugenio Montale scrive cose di lei che, in questi anni, avrebbero potuto essere dette della sua città d’adozione: “I suoi personaggi sono anime chiuse e non sopportano il sole, il freddo sole dell’analisi critica.

Ma la lezione che da essi scaturisce è una lezione di alta dignità che va ben oltre la dignità stilistica dell’autrice. Una scrittrice di memoria, dunque, un postumo omaggio alla stella di Proust? Lalla Romano ha una sensibilità nordica anche lei (...). La sua poesia non è fluviale, ma contratta, ridotta all’osso. Non è *fin de siècle*, è dei nostri tempi”.

La casa di Lalla è in via Brera, dal 1951; lei ama scrivere nella stanza accanto al salotto, con la finestra che dà sul cortile. Scrive e guarda la grande magnolia che le bombe hanno risparmiato. In quest’ultimo scorcio degli anni Sessanta il fervore dei dibattiti si riaccende: ma si parla di cose che lei sente più lontane. E ferma lo sguardo dentro la sua casa: su Piero e suo figlio Emiliano. Piero è la figura centrale di *Le parole fra noi leggere* (1969), con cui vince il premio Strega; il nipotino Emiliano è il personaggio principale de *L’ospite* (1973).

Continuano a essere difficili i rapporti col figlio, che non le perdonerà mai di averlo usato: non andrà neppure ai funerali della madre. Forte resta, invece, il legame con Innocenzo che, nel 1975, diventa Presidente della Banca Commerciale: “Entrò adagio, ma era come stanco; disse: - C’è una novità... Ho avuto la nomina di Presidente. La mia emozione fu imprevedibile. Lo abbracciai singhiozzando. (...) Quello che mi travolse fu il lungo peso del suo lavoro in sottordine, della sua infinita pazienza. Non piangevo di gioia, ma di pietà”.

Nel 1976 viene eletta consigliere comunale di Milano come indipendente nelle liste del P.C.I., ma si dimette l’anno dopo: “Ho aderito soltanto per quello che riguarda l’amministrazione, e perché ero stata invitata. Non mi sono mai rifiutata, per quel poco che ho potuto dare; del resto ero inadatta e ho lasciato presto l’incarico”.



Raffaele Mattioli.

Ma, aggiunge: “L’ho fatto perché conservo la convinzione che sono da combattere le risorgenze fasciste”.

Il rapporto privilegiato e geloso è quello con la scrittura: escono *La villeggiante* (1978) e *Una giovinezza inventata* (1979); nel 1982 inizia la collaborazione col “Corriere della Sera”.

Il primo giorno d’ottobre del 1984, muore Innocenzo. Ricorda con tenerezza: “Dormivamo separati per la differenza di gusti nelle coperte, per la mia insofferenza: lui finiva sempre per liberarsi del lenzuolo, e avvolgersi nella coperta. Anche l’ultimo panno che l’ha avvolto non è stato un lenzuolo, ma un plaid”.

Con la morte di lui è come se qualcosa si fosse rotto, e qualcosa d’altro, di più morbido, si fosse impossessato della sua scrittura. Si era servita delle parole come di un corsetto: ci si era chiusa dentro, preoccupata di definire mondi e caratteri, memorie e imperativi. Ora

è il momento in cui l’immagine torna a prender vita, questa volta non è più segno pittorico, ma fotografia, da cui nascono *La treccia di Tatiana* e *Romanzo di figure* (1986), libri di parole e di ritratti.

Non sono cambiate, però, le sue collere. Così, quando il “Corriere della Sera” non le pubblica una stroncatura del *Kafka* di Piero Citati, accoglie l’invito di Montanelli e se ne va al “Giornale Nuovo”: lo storico quotidiano milanese dovrà aspettare il 1994 per vederla tornare. In questi anni ha un nuovo compagno accanto: con Antonio Ria conosce la tenerezza di certi amori senili, in cui i ruoli si mescolano e si fondono perché, in realtà, non importanti. La sua vista cala rapidamente e la salute si fa precaria. La grande magnolia, morbida e imperiosa, è sempre davanti alla finestra; il sole milanese, quando arriva, rimanda a volte opulenti bagliori che feriscono gli occhi.

La scrittura ora è frammentaria: da *Nei mari estremi* (1987), a *Un sogno del Nord* (1989), passando per

Le lune di Hvar (1991), *L’eterno presente*. *Conversazione con Antonio Ria* (1998) si arriva al postumo *Diario ultimo* (2006), mosaico quasi slegato e indecifrabile.

Ma ci sono le memorie: tenaci e vivide, come *La messa da requiem* di Verdi, ascoltata nella Chiesa di San Marco, con l’orchestra e del coro della Scala diretti da Riccardo Muti. Emozionata aveva scritto: “Fu un avvenimento grande”.

C’è il Piemonte della sua giovinezza, e c’è Milano: i suoi salotti letterari, i caffè con gli amici scrittori, Piazza della Scala e la Banca Commerciale, Via Bigli, Brera. Non distante e non dimenticata, anche la periferia della città: la nebbia, gli operai che tornano a casa in bicicletta e il senso finito e silenzioso della vita.

Lalla Romano muore il 26 giugno 2006. Il suo testamento, una frase di Boccioni: “Da questa esistenza io uscirò con un disprezzo per tutto ciò che non è arte. Non c’è nulla di più terribile dell’arte”.

Lalla Romano

Periferia *

*I giovani operai dagli occhi tristi
Pedalavano lenti sull’asfalto
Un disco regalava dai balconi
“Quando mi baci tu...”
Ma erano troppo dolci le parole
Per le loro spalle stanche.*

Raffaele Mattioli

Lode al tempo*

*Io ti ringrazio, tempo.
Tu mi hai arricchito
anche quando ti ho perduto.
Irrevocabile sei,
perché nella immemore tua indifferenza
misuri te stesso
ugualmente vivo e nuovo e prodigo.
Amico pur quando avverso
Tu non mi tradisci: se non hai più nulla da dare,
finisci.*

* Ho trovato questi due componimenti fra le carte di Lalla Romano, preparando il Convegno e la mostra organizzata presso la Statale di Milano il 1° e l’8 giugno 2007. Sono stati pubblicati (per la prima e unica volta) su “la Repubblica” del 1° giugno 2007.



"Sistema Università" è edito da Università degli Studi di Milano, via Festa del Perdono 7, Milano

Comitato di redazione:
Ilaria Bonomi, Pier Francesco Bortignon, Franca Carandente, Silvano Carli, Dario Casati, Paolo Cavallari, Alberto Corsini, Maria Elisa D'Amico, Roberto Escobar, Marco Ferraguti, Pier Luigi Manachini, Marino Regini.

Direttore responsabile:
Anna De Gaetano

Responsabile di redazione:
Anna Cavagna

Redazione:
Ufficio Stampa e pubblicazioni
tel. 0250312983

Progetto grafico:
BLZ

Impaginazione:
Adriana Bolzonella

Stampa:
Arti Grafiche Stefano Pinelli
Via R. Farneti 8, Milano

La versione online di "Sistema Università" è disponibile all'indirizzo <http://www.sisuni.unimi.it>