

DNA pedagogy: between sociology of science and historical-epistemic issues

(Pedagogia del DNA: tra sociologia della scienza e questioni storico-epistemiche)

Teresa Celestino¹

Abstract

The pedagogical function of science teaching may benefit from an analysis of the historical-epistemic dimension, without neglecting the socio-political context in which a given research was carried out. In the case of DNA structure, the background of its discovery is particularly complex. Starting from the analysis of some papers, the view on the circumstances that led to their drafting broadens. We try to answer the fundamental question for any educator: why teach all that? Ethics issues are related to the general organisation of research, increasingly focused on speed and competition. Even teaching is affected by these dynamics, not only in higher education, but also at secondary level; students should be made aware of this trend. The history of science could therefore favour a more general awareness.

Keywords: DNA, sociology of science, molecular biology, ethics in research, slow research, slow teaching.²

Sunto

La funzione pedagogica dell'insegnamento scientifico può trarre vantaggio da un'analisi della dimensione storico-epistemica, senza trascurare il contesto socio-politico nel quale una determinata ricerca è stata condotta. Nel caso della struttura del DNA, i retroscena della sua scoperta sono particolarmente

¹ Insegnante liceale e docente a contratto nel SSD CHIM/03 presso la Facoltà di Farmacia e Medicina, Sapienza Università di Roma; teresa.celestino@uniroma1.it

² Received on June 30, 2023. Accepted on December 13, 2023. Published on December 31, 2023. DOI: 10.23756/sp.v11i2.1268. ISSN 2282-7757; eISSN 2282-7765. ©Celestino. This paper is published under the CC-BY licence agreement.

complessi. Dopo l'analisi di alcuni articoli, si allarga gradualmente la vista sulle circostanze che hanno condotto alla loro stesura. Si cerca di rispondere a una domanda fondamentale per ogni educatore: perché insegnare tutto ciò? Le questioni etiche riguardano l'organizzazione generale della ricerca, sempre più tesa alla velocità e alla competizione. Persino l'insegnamento è influenzato da dinamiche simili, non solo in ambito accademico, ma anche a livello secondario; gli studenti dovrebbero essere a conoscenza di questa tendenza. La storia della scienza può dunque favorire una maggiore consapevolezza.

Parole chiave: DNA, sociologia della scienza, biologia molecolare, etica della ricerca, slow research, slow teaching.

1. Introduzione

I tempi e le modalità della progressiva decifrazione della struttura del DNA sono stati sviscerati in molte pubblicazioni di diverso taglio: scientifico, storico, sociologico, giornalistico, didattico. La levatura dei ricercatori coinvolti e la peculiarità del periodo postbellico sono certamente tra gli elementi chiave per la comprensione di una stagione irripetibile della storia della scienza. Tuttavia, la sterminata letteratura disponibile non ha ancora offerto un resoconto completamente chiaro delle dinamiche in gioco: se le scoperte scientifiche del Novecento sono documentate da una quantità di fonti impensabile nelle epoche precedenti, è anche vero che tali fonti si rivelano spesso parziali e incomplete, lasciando molto spazio all'interpretazione [1]. Inoltre, la grande quantità di materiale documentale da una parte offre una ricca panoramica allo storico della scienza, dall'altra rende più arduo il suo lavoro di selezione e collegamento. Questo spiega perché la storiografia ha dedicato e dedica così tanto spazio alle vicende che ruotano attorno a una delle scoperte più importanti del secolo breve; se infatti la natura stessa del fatto storico – emergente da numerose variabili interrelate – ne rende impossibile un'analisi del tutto chiarificatrice, continuare a sviscerarlo è esercizio doveroso oltre che appassionante. Non è questa la sede per ribadire quanto un certo tipo di revisionismo possa prestarsi a strumentalizzare il presente; le considerazioni qui esposte vogliono solo stimolare alcune riflessioni sull'uso didattico delle tappe che hanno permesso di chiarire la struttura molecolare del DNA.

Il docente che illustra tale percorso ai suoi allievi limitandosi ai soli risultati sperimentali, si accorge di quanto sia didatticamente inefficace trascurare l'elemento umano; tuttavia, il considerarlo può a sua volta indurre o a una posizione di fredda neutralità nei confronti degli attori in scena o a un goffo (e spesso inconsapevole) tentativo di insegnamento morale. Posizione, quest'ultima, fonte di un imbarazzo di cui

ben si rendeva conto Sandro Onofri (1955-1999) in veste di insegnante [2], quando citando George Steiner (1929-2020) nel suo intenso *Registro di classe* scriveva:

Cosa autorizza il pedagogo a ingozzare con le sue priorità e i suoi valori esoterici quello che Shakespeare chiamava «the general»³ (cioè coloro che non amano il caviale), soprattutto quando sa, nel profondo del suo cuore turbato, che i capolavori intellettuali e artistici non sembrano rendere la società e gli uomini più umani, più pronti alla giustizia e alla clemenza? Quando intuisce che gli studi umanistici non umanizzano, che le scienze e persino la filosofia possono assecondare la peggiore politica? [3]

Nel momento in cui viene a mancare una ponderata riflessione sui limiti dell'azione didattica, sull'opportunità di talune scelte in un dato contesto classe e sul rischio di possibile sconfinamento in interpretazioni prive di basi, gli esiti si traducono inevitabilmente in una visione semplificatrice se non ingenua del fatto storico-scientifico, tradendo l'iniziale intento di trasmettere una pur vaga idea di complessità. Ne è un esempio la narrazione talvolta stereotipata delle vicende che ruotano attorno a Rosalind Franklin (1920-1958), il cui contributo alla decifrazione della struttura del DNA è ormai (giustamente) riconosciuto come determinante persino nei testi per la scuola secondaria (che si adeguano sempre con ritardo ai risultati della ricerca storica); ma quello di Franklin non è il solo contributo scientifico a lungo sottovalutato: altri sono tuttora quasi del tutto assenti nel discorso pubblico sulla storia della scoperta dei vari dettagli strutturali del DNA. La morte precoce ha certamente contribuito ad acuire l'ingiustizia subita dalla scienziata; inoltre, il fatto di essere donna si è sposato con la rivalutazione delle figure femminili nella scienza degli ultimi decenni, in risposta alla necessità di incrementare il numero delle carriere scientifiche tra le giovani.

La saggistica offre molti trattati dettagliati e complessi, ben più estesi di quanto sia disposto a leggere un adolescente medio tra i 16 e i 18 anni. Qui si tenterà di sottolineare degli aspetti utili per l'insegnamento secondario, fornendo riferimenti bibliografici per eventuali approfondimenti. Si cercherà di evidenziare soprattutto due dimensioni: quella prettamente storico-epistemica e quella attinente alla sociologia della scienza – campo di studi per il quale il cammino verso la doppia elica costituisce uno tra i casi più adatti per indagare le modalità di funzionamento degli istituti di ricerca, sia negli aspetti micropolitici interni sia nella loro inevitabile osmosi con il mondo esterno.

Il caso storico qui presentato si presta ottimamente alla rappresentazione teatrale, ottimo veicolo per illustrare agli studenti le dinamiche interne dei laboratori e per avviare un dibattito su questioni etiche; questioni che condizionano inevitabilmente la didattica

³ *I heard thee speak me a speech once, but it was / never acted, or if it was, not above once. For the / play, I remember, pleased not the million; 'twas / caviar to the general. But it was, as I received it / (and others whose judgment in such matters cried / in the top of mine) an excellent play, well digested / in the scenes, set down with as much modesty as / cunning.*

William Shakespeare, *Hamlet*, Act II, Scene II.

accademica e, di riflesso, quella secondaria – cruciale nel permeare i valori dei futuri ricercatori.

2. Partiamo dalla fine: il 1953

Come illustrato da Cerruti [1], partire dalla pubblicazione di James D. Watson (1928-) e Francis H. C. Crick (1916-2004) del 1953 sulla rivista *Nature* [4] è consigliabile per svariate ragioni:

- pur illustrando una delle più grandi scoperte del secolo, l'articolo è straordinariamente breve;
- non solo: la presentazione dei dati sperimentali segue – non precede – la descrizione dei dettagli strutturali del modello, peraltro accompagnata da una illustrazione estremamente stilizzata, quasi a voler risparmiare il tempo occorrente per una rappresentazione grafica maggiormente esplicativa (*Questa figura è puramente diagrammatica. I due nastri simbolizzano le due catene di zuccheri-fosfati, e le bacchette orizzontali le coppie di basi che tengono le catene insieme. La linea verticale indica l'asse della fibra*);
- colpisce inoltre il basso numero di riferimenti bibliografici (appena sei!), giustificato solo in parte dalla scarsa letteratura scientifica effettivamente disponibile sull'argomento. Watson e Crick informano il lettore che Linus C. Pauling (1901-1994) e Robert B. Corey (1897-1971) hanno gentilmente fornito il loro manoscritto come *preprint*, permettendo loro di proporre una struttura *radicalmente diversa*. Non possono evitare di citare scienziati come Erwin Chargaff (1905-2002) per motivare l'appaiamento delle basi puriniche e pirimidiniche complementari (*nelle forme tautomeriche più plausibili*); o William T. Astbury (1898-1961), che già in una pubblicazione del 1938 aveva ipotizzato un modello a basi complanari impilate [5]. Affermano inoltre di non essere al corrente dei dettagli presentati negli articoli seguenti - pubblicati nello stesso numero della rivista - al momento di concepire la struttura descritta, *che poggia principalmente ma non completamente su dati sperimentali pubblicati e su argomenti stereochimici*: una *excusatio non petita*, scrive Cerruti [1], che suscita facilmente sospetti di furto di proprietà intellettuale.

Gli articoli di *Nature* a cui fanno riferimento Watson e Crick sono due: il primo riporta le firme di Maurice H.F. Wilkins (1916-2004), Alexander R. Stokes (1919-2003) e Herbert R. Wilson (1929-2008) [6]; il secondo quelle di Rosalind Franklin e Raymond G. Gosling (1926-2015) [7] [8]. Data l'importanza che i due scienziati implicitamente vi

attribuiscono, seguono alcuni cenni al loro contenuto, con alcune considerazioni sulle vicende che ne hanno accompagnato la stesura.

3. L'articolo di Wilkins

L'articolo di Wilkins [6], fisico del King's College London, specifica che l'acido nucleico deossipentoso presenta la medesima composizione in tutte le specie, sebbene con rapporti diversi tra le basi; osserva come le catene polinucleotidiche possano impacchettarsi in una configurazione cristallina, semicristallina o paracristallina. Cita i risultati inediti di Stokes relativi agli spettri di diffrazione, i quali avevano dimostrato l'esistenza di una struttura elicoidale.

Martin J. Tobin, autore dell'editoriale dal titolo *April 25, 1953. Three Papers, Three Lessons* [9], ricorda che nel 1951 Stokes aveva fornito l'evidenza matematica di una struttura elicoidale, confermata nello stesso anno da Bruce Fraser (1924-2019). Secondo Fraser, il DNA presentava i gruppi fosfato all'esterno e basi impilate separate da una distanza di 3,4 Å. Questa ricerca era stata completata prima che Watson cominciasse a lavorare con Crick; ma né Stokes né Fraser pubblicarono i loro risultati. Infatti, pure Franklin e Gosling (anch'essi del King's College) scrivono nel loro articolo [7]: *in questo laboratorio ... Stokes (risultati non pubblicati) ... e Wilkins furono i primi a proporre queste strutture [elicoidali] per l'acido nucleico*. Inoltre, Tobin [9] richiama l'attenzione sul fatto che gli stessi Watson e Crick [4] si riferiscono con riluttanza (*grudgingly*) al modello di Fraser, ma liquidandolo come *piuttosto mal definito* e decidendo quindi di non commentarlo. Se Stokes e Fraser avessero pubblicato i risultati, i loro meriti sarebbero stati maggiormente riconosciuti, e quelli di Watson e Crick ridimensionati; da qui una delle lezioni di Tobin: una ricerca non ha valore se non pubblicata [9].

Ritorniamo all'articolo di Wilkins e coautori: dopo la parte introduttiva si interpreta una foto a raggi X, confermando ulteriormente la struttura elicoidale e citando anche altre foto ottenute con DNA estratto da tessuti di diversi campioni, come il timo di vitello e di maiale, il germe di grano o il batteriofago T2. In particolare, gli autori invitano il lettore a visionare la *foto eccezionale* ottenuta dai colleghi Franklin e Gosling, rimandando al loro articolo (*see following communication*). Nonostante alcune ambiguità, proseguono, in generale si può affermare l'esistenza di un certo accordo tra i dati sperimentali e il tipo di modello proposto da Watson e Crick (*see also preceding communication*). Notano che quando le fibre del DNA (indicato come nucleato di sodio) sono stirate, l'elica è in tutta evidenza maggiormente estesa in lunghezza, come una molla a spirale in tensione. Anche nell'ultimo paragrafo (*Structure in vivo*) gli autori rimandano all'articolo di Watson e Crick, in riferimento al significato biologico di un doppio filamento di acido nucleico, fornendo evidenze del fatto che la struttura elicoidale esiste in tutti i sistemi biologici intatti.

È del tutto evidente uno strano gioco di rimandi: Watson e Crick dichiarano nel loro articolo che non erano a conoscenza dei dati presentati nei contributi di Wilkins e Franklin quando hanno formulato il modello; tuttavia Wilkins scrive il suo lavoro facendo

riferimento ad alcuni elementi descritti proprio da Watson e Crick (oltre che da Franklin). Si intuisce che gli autori (o parte di essi) hanno in qualche modo collaborato, ma preferendo pubblicare separatamente. L'istituzione cui appartiene la coppia Watson&Crick è il laboratorio Cavendish dell'Università di Cambridge, mentre Franklin opera al King's College di Londra, in un gruppo diretto da Wilkins. Se due articoli separati sullo stesso tema di ricerca possono essere facilmente spiegati con la competizione tra due prestigiose istituzioni, la presenza di due distinti lavori a firma di Franklin e Wilkins lasciano invece perplessi (anche in considerazione del rapporto gerarchico tra i due).

Sapere inoltre dell'invito di Watson e Crick a Wilkins ad aggiungere la sua firma come terzo autore (invito declinato) [10], complica ulteriormente il quadro; ad ogni modo tutti e tre vinceranno il premio Nobel nel 1962 senza menzionare l'importante contributo di Rosalind Franklin [11], deceduta per un tumore quattro anni prima.

4. L'articolo di Franklin

L'articolo a firma di Franklin e Gosling [7] [8] mostra chiaramente i progressi compiuti dai due ricercatori verso la comprensione della struttura tridimensionale del DNA (indicato come timonucleato di sodio, in riferimento al tessuto del timo di vitello da cui l'acido nucleico è stato estratto). Si tratta di un articolo di due pagine senza sottosezioni, in cui gli autori deducono informazioni strutturali sul DNA dai loro dati di diffrazione dei raggi X; compare una sola figura, la famosa foto n. 51 (che tempo prima Wilkins aveva mostrato a Watson senza prima essere autorizzato dalla collega Franklin [12]).

L'articolo inizia con una breve discussione sull'effetto del contenuto di acqua sulla struttura del DNA; si prendono in considerazione le forme A e B del DNA, le diverse immagini di diffrazione cui esse danno luogo e le modalità di transizione da una forma all'altra in dipendenza del contenuto di acqua (la forma A si forma a bassa umidità; la foto 51 era stata ricavata dalla diffrazione dei raggi X della forma B, dunque in presenza di un maggiore tasso di umidità). Nel lavoro si confuta una struttura del DNA che Pauling e Corey avevano proposto l'anno precedente, costituita da tre fibre elicoidali avvolte l'una intorno all'altra con gli atomi di fosforo di ciascuna fibra verso l'interno. Franklin e Gosling sostengono invece che gli atomi di fosforo sono disposti verso l'esterno, e che probabilmente il DNA ha una struttura elicoidale a filamento doppio.

L'atteggiamento dei due ricercatori è molto prudente: essi fanno riferimento a modelli di diffrazione a raggi X ricavati da altri scienziati su sostanze a struttura elicoidale, precisando però che quei dati da soli non sono del tutto sufficienti a confermare il modello proposto. Franklin e Gosling fanno riferimento principalmente alla forma B, che considerano quella più stabile; una volta assunta una forma elicoidale, effettuano un'analisi matematica del loro modello di diffrazione dei raggi X presentando un'equazione valida per un'elica a singolo filamento. Illustrando sinteticamente la combinazione di strumenti matematici e dati sperimentali, essi spiegano le caratteristiche

osservate nella foto 51, in particolare le macchie scure (che rappresentano i raggi X diffratti). Gli atomi che diffondono maggiormente i raggi X sono quelli con il maggior numero di elettroni; il fosforo è l'atomo più ricco di elettroni del DNA, dunque è quello che contribuisce in maniera determinante nel dare luogo alla forma a X delle immagini di diffrazione ottenute (che dimostrano la sua posizione verso l'esterno dell'elica). Dopo aver determinato il raggio di una fibra di DNA e il numero di nucleotidi per giro dell'elica, gli autori ringraziano, tra gli altri, James Watson, Francis Crick e Sir John Turton Randall (1905-1984).

Randall, a capo del dipartimento dove operavano Wilkins e Franklin, era considerato non solo un grande scienziato, ma anche un eroe di guerra per l'invenzione del magnetrone a cavità, un dispositivo che permetteva di individuare oggetti lontani di inestimabile aiuto nei bombardamenti notturni e nella caccia ai sottomarini tedeschi. Personaggio carismatico ed eccentrico, aveva molto fiuto nell'individuare ricercatori di talento; una volta assunti, era meno abile nel definirne i ruoli [10]. I dissapori tra Franklin e Wilkins si collocano in questo contesto, ed erano aggravati dalle difficoltà che una scienziata doveva affrontare in un ambiente maschilista, nonostante la politica di Randall si distinguesse per il risalto dato alle ricercatrici, numerose nei laboratori che dirigeva [11]. Franklin era consapevole sia della propria preparazione scientifica sia del pericolo che altri potessero appropriarsi dei suoi risultati; Wilkins, ad esempio, che lei si ritrovava come capo pur non stimandone le capacità. In questo clima di tensione, è facile capire come Wilkins abbia potuto mostrare a Watson la foto 51 senza chiedere il permesso a colei che l'aveva ricavata. La seguente scena, tratta da una delle tante sceneggiature teatrali sulla complicata vicenda della doppia elica [13], mostra Franklin e Wilkins che comunicano grazie al povero Gosling costretto a fare da intermediario:⁴

Wilkins (M.W.), Gosling (R.G.), Franklin (R.F.):

M.W.: Would you please ask Miss Franklin if she would mind terribly if I were to work with her on the B form of DNA. I have some new samples and I think we should collaborate.

R.G.: Miss Franklin, Dr. Wilkins like to know if you might consider ..

R.F.: Please, tell him that I will not collaborate, and I don't appreciate his desire to infringe on my material.

R.G.: She said she would not collaborate.

⁴ È possibile visionare ai seguenti link le scene della commedia teatrale di Anne Ziegler:

<https://www.youtube.com/watch?v=BB3VD6n2fxs> (trailer)

<https://www.youtube.com/watch?v=LZqUmcnDB0M> (Gosling che fa da spola da Franklin e Wilkins)

<https://www.youtube.com/watch?v=hQ3NBtr8Xp0> (Watson mostra a Franklin il manoscritto di Pauling)

Dalla commedia è stata tratta una versione cinematografica, *Photograph 51* (regia di Michael Grandage, UK, 2018). Qui il trailer: <https://www.youtube.com/watch?v=bPCjY2-zLCI>

Qui una breve presentazione: <https://www.mymovies.it/film/2018/photograph-51/>

Utile anche la versione integrale di "The Glass Ceiling Under the Microscope" una discussione *post-play* con il Dr. Leroy Hood, la Dr. Anna Karlin, il Dr. Kalliopi Trachana e il Dr. Philip Thurtle al Seattle Repertory Theatre: <https://www.youtube.com/watch?v=I2tVCMHJuOo>

(ultima consultazione delle risorse on line nella presente nota a piè di pagina: 29/11/2023)

Teresa Celestino

M.W.: And why is that, precisely?

R.F.: He knows perfectly well.

R.G.: She says you know perfectly well

M.W.: My Lord, what's there to be afraid of?

R.G.: He says, "My Lord ..."

R.F.: I'm not afraid of anything!

R.G.: She's not afraid of anything.

R.F.: I mean I simply not have my data interpreted for me.

M.W.: I've verily had enough of this.

R.F.: I agree.

M.W.: I mean I can't take it anymore. What's more, your antipathy is distracting everyone in the lab.

R.F.: We'll work separately then. I'll take the A form, and you can have the B.

M.W.: Maybe I'd like A.

R.F.: Maurice, you're being ridiculous.

M.W.: Fine. B it is.

Franklin e Gosling non hanno descritto integralmente il modello, ad esempio individuando la disposizione antiparallela dei due filamenti di DNA, ma hanno determinato in modo indipendente molteplici caratteristiche strutturali. Molti storici affermano che *Molecular Configuration in Sodium Thymonucleate* è stato sottovalutato, in quanto solo l'articolo a firma di Watson e Crick ha attirato l'attenzione del mondo scientifico e della stampa. Uno dei motivi potrebbe risiedere nel linguaggio: secondo Tobin [9] snello, conciso ed efficace quello di Watson e Crick; inutilmente complicato quello degli altri due articoli di Wilkins e Franklin. Nonostante tale questione linguistica, non è semplice spiegare la risonanza mediatica del primo articolo di *Nature* a scapito dei due seguenti, anche alla luce del fatto che i tre articoli si completano a vicenda: ricordiamo che Watson e Crick non hanno descritto esperimenti o procedimenti matematici. Tuttavia alcune analisi tendono a considerare la mancanza di resoconti sperimentali un fatto più comune di quanto si pensi nella storia della scienza, e che la critica in tal senso sia *tipica del pregiudizio proprietario della ricerca* [14]. A tal proposito, Tobin rimarca nella terza delle sue *Three lessons* che è meglio collaborare che competere [9]: Franklin e Gosling in particolare ne avrebbero tratto solo vantaggi. Un punto di vista probabilmente troppo semplicistico, oltre che permeato da un freddo pragmatismo opportunista. D'altra parte, si ammette che *Watson e Crick non aspettarono e usarono dati sperimentali che Franklin e Wilkins volevano ancora analizzare prima di pubblicarli* [14]. Un comportamento eticamente riprovevole che sarà sempre più comune, favorito dal *publish or perish* che caratterizza la precarietà e la spietata competizione del mondo della ricerca odierno. Alla luce di questi fatti, non stupiscono le parole di Chargaff sulla celebre coppia: *due agenti pubblicitari alla caccia di un'elica* [1].

5. I chimici: necessari ma poco brillanti?

Quasi tutti i testi di biologia elencano brevemente le tappe storiche che hanno progressivamente portato all'identificazione del DNA come portatore dell'informazione genetica. Solitamente il percorso comincia con l'individuazione della nucleina nel 1869 da parte di Johan F. Miescher (1844-1895); seguono: la scoperta del *fattore di trasformazione* (1928) ad opera di Frederick Griffith (1879-1941), poi identificato nel DNA da Oswald Avery (1877-1955) nel 1944; una ulteriore importante conferma fornita dai genetisti Alfred D. Hershey (1908-1997) e Marta C. Chase (1927-2003). Questi ultimi realizzarono il loro celebre esperimento appena un anno prima della fatidica data del 1953, ma la struttura del DNA (nonostante il lavoro di Astbury del 1938 [5]) era ancora un mistero.

Molti fisici cominciarono a interessarsi di biologia nel periodo postbellico. Per spiegare l'origine di questa tendenza sono state formulate varie ipotesi: una di queste, forse frutto di elucubrazioni poco aderenti alla realtà, parla di sensi di colpa per aver contribuito alla realizzazione della bomba atomica; un'altra si basa sull'individuazione di linee di ricerca interessanti a cavallo tra biologia e fisica, e dalla constatazione che è generalmente più facile per un fisico accedere alla biologia che non per un biologo aprirsi alla fisica [15]. Senza dubbio il libro di Erwin R. J. A. Schrödinger (1887-1961) *What is life?* [16] è stato una grande fonte di ispirazione per i fisici, compreso lo stesso Crick. Il testo era infatti caratterizzato da uno stile affascinante e suggestivo. Cercava inoltre di spiegare la natura del vivente e la trasmissione dell'informazione genetica applicando in modo originale il punto di vista fisico al fatto biologico. Tra i vari concetti chiave troviamo quelli di: *entropia negativa* (occorre una fonte di energia esterna – in ultima analisi la luce solare – perché l'organismo vivo resista alla tendenza alla distruzione implicita nel secondo principio della termodinamica); *cristallo aperiodico* (il gene deve essere un cristallo, la cui morfologia regolare deve servire da modello per altri geni; deve essere però aperiodico, in modo da garantire la variabilità genetica).

Ciononostante, neanche il contributo congiunto di biologi e fisici riuscì a decifrare la struttura del DNA. Per quanto oggi possa sembrare paradossale, il motivo sta nell'assenza del contributo dei chimici, a lungo sottovalutato. Secondo Montaudou [14], lo stesso Max L. H. Delbrück (1906-1981), che dal 1940 collaborò con Hershey e Salvatore E. Luria (1912-1991) allo studio della genetica dei virus, non dava molta importanza alla chimica, considerandola una applicazione piuttosto banale della meccanica quantistica (opinione tuttora condivisa da molti fisici!).

Prima di recarsi a Cambridge, Watson si unì al cosiddetto *gruppo del fago* diretto da Luria all'Università di Bloomington. Di seguito uno stralcio di una intervista [17] in cui rievoca quel periodo:

Nel corso dei tre anni in cui lavorai alla mia tesi di dottorato, procedemmo a contare il numero delle particelle fagiche, ma nessuno parlò mai di DNA, e penso che la ragione fosse che il gruppo dei fagi era scarso in chimica. Erano tutti medici o fisici, e capire la struttura del DNA era un problema di chimica. C'era

anche una sorta di snobismo. Nella biologia il settore più intellettuale era la genetica, e nelle scienze fisiche il settore più intellettuale era la fisica. I chimici erano ritenuti necessari ma...poco brillanti. Beh, si sbagliavano: l'essenza della genetica doveva necessariamente venir fuori dalla chimica; di certo non venne fuori dalla fisica. Ma questo lo scoprimmo in seguito.

In un altro stralcio Watson ricorda il momento in cui si recò da Alex Todd⁵, il grande chimico di Cambridge, porgendogli il preprint di Pauling e dicendogli: *Questo manoscritto sembra folle. Sei d'accordo che è folle?*. Todd confermò: *Sì, è folle*. Watson continua: *Eravamo molto contenti (andrà quindi da Wilkins e Franklin dicendo loro di stare tranquilli: Pauling era molto lontano dalla soluzione!). L'incontro con Franklin è stato rievocato da Ziegler [13] nella scena seguente:*⁶

Watson (J.W.), Franklin (R.F.):

J.W.: Good morning! Good morning, lovely Rosalind.

R.F.: What are you doing here?

J.W.: It's nice to see you, too.

R.F.: You could knock.

J.W.: You know what I've got with me?

R.F.: How would I know?

J.W.: Pauling's manuscript.

R.F.: Alright.

J.W.: Alright?

R.F.: Look, I really ...

J.W.: Pauling's going to be publicly humiliated in two weeks when this thing is published, and you don't even want to see it?

R.F.: Why would I want to see it?

J.W.: To gloat, for one. You should see Bragg? He's walking on water these days. "Linus isn't gonna beat me this time". You see, he made some of the same mistakes Crick and I made. He's proposing a triple stranded helix for the phosphates on the inside.

R.F.: That's what this rush to publish does. It means our publications are littered with ridiculous mistakes.

J.W.: Do you think the DNA is a helix?

R.F.: I'm happy to arrange a time to sit down with you and discuss my findings. Right now is not possible, unfortunately.

J.W.: Maurice thinks you're anti healing.

R.F.: Maurice has no business saying who or what I am.

⁵ Alexander R. Todd (1907-1997) era effettivamente un grande scienziato, premio Nobel nel 1957 per le sue ricerche sui nucleotidi. Dunque, a distanza di molti anni Watson ricorda quel deciso (e rassicurante) parere di un chimico.

⁶ La scena è riprodotta in uno dei video elencati nella nota 2

J.W.: So you think it is healing, though?
R.F.: I think it might be.
J.W.: Are you sure you're interpreting your data correctly?
R.F.: What did you just say?
J.W.: How much theory do you have?
R.F.: Why are you here, Jim?
J.W.: To share.
R.F.: Oh really?
J.W.: I don't know. I thought you'd be interested in the manuscript, I thought ...
R.F.: Yes?
J.W.: I thought we could talk.
R.F.: But you've never shown any interest in doing that before, which leads me to believe that you're here to insult me that or you're not aware of the fact that you are insulting me, which is perhaps worse. Do you think if you demoralize me that I won't get it done?
J.W.: Get what done?
R.F.: The work, Jim!

Prima ancora del preprint, Crick e Watson avevano saputo dell'errata struttura a tripla elica a partire dalle lettere spedite all'ingenuo Peter Pauling, a Cambridge per un dottorato, dal celebre padre Linus [11] [12]. Non erano i soli a gioire dello sbaglio di Pauling: Sir William Lawrence Bragg (1890-1971), allora direttore del Cavendish, era già stato superato da Pauling nella determinazione cristallografica delle strutture proteiche, e avrebbe mal digerito una ulteriore vittoria, complici i sentimenti campanilistici all'origine della rivalità tra scienziati britannici e americani [11]. Dunque Pauling ha involontariamente offerto ai suoi colleghi oltreoceano importanti indizi con i suoi errori nella determinazione della struttura del DNA. Il contributo di Pauling è in realtà molto più vasto, e riguarda il suo celebre testo *The Nature of the Chemical Bond* [18]: in uno dei passi più significativi di una intervista [17], Watson, dopo aver candidamente ammesso l'ignoranza in chimica da parte sua e di Crick, spiega come quel libro sia stato per loro di fondamentale importanza.

La storia, si dice, non si fa con i se; ma ci sono buone ragioni per credere che Pauling sarebbe arrivato in tempi molto più brevi alla soluzione dell'enigma, se nel 1952 non gli fosse stato temporaneamente ritirato il passaporto prima della partenza per Londra (durante la *caccia alle streghe*, le manifestazioni guidate dallo scienziato in favore del disarmo nucleare portarono a facili sospetti di comunismo). Molto probabilmente gli studi di Franklin lo avrebbero portato sulla strada giusta, dato che la scienziata, già negli appunti preparati nel 1951 in occasione di un seminario dal titolo *Prova in favore della struttura a spirale* scriveva: *Grosse eliche con diverse catene, fosfati all'esterno, legami interelica fosfato-fosfato interrotti dall'acqua. Legami fosfatici compatibili con le proteine* [11]. Un seminario nel quale fu evidente la grande preparazione in chimica di

Franklin⁷ e di cui il biologo Watson e il fisico Crick non compresero nulla per ammissione dello stesso Watson [17], e che li indusse a buttarsi a capofitto nel libro di Pauling [18], perfezionando via via il loro modello molecolare ad altezza d'uomo (sul quale continuarono a lavorare clandestinamente, dopo l'ordine del loro direttore Bragg di non costruire più modelli: l'accanimento dei due nei confronti del DNA, argomento estraneo al loro programma di ricerca ufficiale, lo metteva in imbarazzo nei confronti del King's).

Un altro evento apparentemente minore ha agevolato i due nel decifrare la struttura del DNA in modo compiuto. Immaginiamo Watson e Crick che si apprestano a completare il modello con continui tentativi, modificando ripetutamente la loro costruzione tridimensionale; qualcosa ancora non torna nell'appaiamento delle basi, pur tenendo conto della formazione dei legami idrogeno a partire dai dati di Chargaff. Condivide il loro ufficio Jerry Donohue (1920-1985), uno dei più brillanti allievi di Pauling; costui guarda la costruzione e li avverte: *state mettendo gli atomi di idrogeno nel posto sbagliato!*. Secondo Donohue, le forme tautomeriche usate – che la coppia aveva riprodotto secondo quanto riportato da un testo di biochimica – sono errate: la guanina e la timina devono essere presenti nella forma chetonica, non enolica; la sua intuizione di chimico gli dice infatti che spesso sono indicate le forme tautomeriche più instabili: i chimici organici, secondo Donohue, avrebbero disseminato i testi di tautomeri improbabili. Riporta quindi l'esempio della struttura cristallina della dichetopiperazina determinata anni prima da Corey nel laboratorio di Pauling, al California Institute of Technology: la forma presente non era la forma enolica, bensì la chetonica. Watson riflette: Donohue non parla senza essere estremamente sicuro di ciò che dice, e non conosce altri che si intendano di legami a idrogeno più di lui. Questo dettaglio apparentemente di poca importanza è stato fondamentale [19]. Del resto, anche Chargaff aveva a suo tempo notato la loro ignoranza della struttura chimica delle purine e delle pirimidine [1]. Ciononostante, nella loro pubblicazione del '53 Watson e Crick omisero il terzo legame a idrogeno tra guanina e citosina [20]. Corey e Pauling corressero l'errore in un articolo di pochi anni dopo [21].

La comprensione definitiva della struttura tridimensionale e della composizione chimica del DNA segna simbolicamente il via di una *rivoluzione biologica* a partire dagli anni Cinquanta del secolo scorso: la biologia cominciava ad occupare una posizione centrale, paragonabile a quella della fisica nella prima metà del secolo. Questa rivoluzione portò alla nascita di un ramo della biologia contraddistinta dall'aggettivo *molecolare* [22], una chiara indicazione del contributo di natura prettamente chimica a questa nuova branca delle scienze della vita. Non poteva essere altrimenti, dati i fondamentali contributi dei

⁷ Di Franklin era nota non solo la grande preparazione, ma anche le eccezionali abilità sperimentali, tanto da indurre il suo collaboratore Gosling a parlare di “mani d'oro” [11]. Un aspetto assolutamente non secondario per l'ottenimento di dati affidabili.

chimici. Eppure, le due tradizioni di ricerca nelle quali la storiografia individua le radici della biologia molecolare afferiscono principalmente alla fisica e alla biologia [15]:

- la prima, sviluppata in Inghilterra (basti pensare a Bragg), riguarda lo studio cristallografico della struttura tridimensionale delle macromolecole biologiche tramite tecniche diffrattometriche;
- la seconda, portata in auge negli USA principalmente da Delbrück, Luria e Hershey, è rappresentata dal cosiddetto *gruppo del fago*.

L'analisi è ingenerosa: la strutturistica, la genetica e la microbiologia non sarebbero state sufficienti a chiarire la struttura del DNA se non fossero state combinate con la conoscenza dei legami chimici – quindi con la chimica *tout-court*. Se la scienza potesse essere rappresentata come una ruota, scrive Carl Djerassi (1923-2015),

la chimica costituirebbe il centro da cui si dipartono i raggi delle altre discipline. Chi vuole diventare un buon biologo, un biologo molecolare, ad esempio, oppure un genetista, un neurologo, ecc. non potrà mai ottenere nulla di buono nel proprio campo senza conoscere la chimica organica e la biochimica. E per conoscere la chimica organica, occorre prima imparare la chimica generale e in particolare la chimica fisica e teorica e la chimica analitica [...] Anche se la chimica è così centrale, questo non la rende la disciplina più importante: la rende semplicemente indispensabile. [23]

6. Il contesto sociale

L'insieme dei fattori implicati nella rincorsa al DNA rende questo frangente storico particolarmente appetibile per i sostenitori del programma forte in sociologia della scienza (*strong program*), secondo i quali la conoscenza scientifica va analizzata solo ed esclusivamente sul terreno della prassi sociale: non lo scontro tra diversi concetti è alla base della scienza, ma i conflitti sociali e la conquista del potere. Il programma forte sostiene un discostamento radicale dalla storiografia della scienza ispirata all'approccio concettuale, fino a negare il valore oggettivo della conoscenza e guardare con diffidenza persino la teoria kuhniana delle rivoluzioni scientifiche [24]. Come prevedibile, non sono mancate critiche all'insostenibilità di questa visione estremista; una di queste è stata formulata prendendo come esempio proprio la determinazione della configurazione molecolare del DNA [25], per cui la fitta rete delle relazioni implicate è talmente complessa da rendere impossibile una analisi puntuale. Sono infatti coinvolti rapporti a più livelli fra: singoli individui, gruppi di individui, diverse istituzioni dello stesso paese o di paesi differenti. A titolo esemplificativo Manier [25] cita: (1) l'analisi delle relazioni di coppia che collegano Watson&Crick a Pauling&Delbruck o a Wilkins&Franklin; (2) le relazioni da persona a persona all'interno di ciascuna di queste coppie; (3) le relazioni istituzionali fra il laboratorio Cavendish di Cambridge con il California Institute of Technology o il King's College di Londra. Le difficoltà nella classificazione e nel

controllo di tali fattori rendono impossibile dotare il programma forte di sufficiente affidabilità e coerenza.

Ad ogni modo, al di là degli estremismi della Scuola di Edimburgo, il contesto sessista in cui si trovava Rosalind Franklin è stato oggetto di analisi rilevanti ed è generalmente ritenuto un fattore non trascurabile nel determinare il corso della vicenda del DNA. Escludere le scienziate dalle riunioni importanti, riservare loro un ingresso ai locali accademici separato da quello dei colleghi uomini o considerare delle semplici assistenti a prescindere dalla loro levatura scientifica: si tratta di usanze perdurate fino agli anni Sessanta persino nelle università statunitensi. Ad aggravare la situazione di Rosalind contribuiva la presenza di numerosi ex-militari, che rendeva l'unità di biofisica luogo di cameratismo talvolta volgare [11]. Né aiutava la misoginia di personaggi come Watson (che negli anni successivi non esiterà a rilasciare dichiarazioni razziste verso le persone di colore [26]). Di seguito un ricordo di Rita Levi Montalcini (1909-2012), che all'inizio del suo soggiorno negli USA si recò in visita nel laboratorio di Luria, suo compagno di studi all'Università di Torino:

Al termine del «consulto», Luria mi presentò quello che definì il più dotato fra i suoi studenti, da poco entrato a far parte della sua équipe. Si trattava di James Watson, allora non ancora ventenne. Aveva l'aspetto di un adolescente, con la fronte ombreggiata da un ciuffo di capelli biondi che presto avrebbero lasciato posto a una precoce calvizie. La sua figura assorta e trasognata, la sua magrezza e il modo incurante di incedere, mi ricordavano l'Arlecchino del periodo blu di Picasso. Non si interessò affatto a me e si allontanò subito con un frettoloso saluto. Negli anni successivi, quando l'adolescente sconosciuto si sarebbe trasformato nel famoso Watson, i nostri rari incontri sarebbero stati caratterizzati dalla stessa assoluta indifferenza nei riguardi miei e delle mie ricerche. Mi era nota la sua misoginia, e la sua freddezza non fu mai per me ragione di turbamento. [27]

Alla luce di questa descrizione, non meravigliano le parole usate da Watson nei confronti di Franklin [12]:

Malgrado i lineamenti un po' marcati, non mancava di attrattive e avrebbe avuto il suo fascino se si fosse occupata un minimo del suo abbigliamento. Ma se ne guardava bene. Non metteva un filo di rossetto che facesse risaltare i capelli neri e lisci, e a trentun anni vestiva con la fantasia di un'occhialuta liceale.

Crick ha invece dichiarato che:

Le difficoltà e gli insuccessi di Rosalind sono stati soprattutto opera sua. Dietro i modi decisi ed energici, si nascondeva una persona ipersensibile e, paradossalmente, troppo risoluta per essere scientificamente attendibile e per

evitare le scorciatoie. Era troppo concentrata sulla ricerca per accettare consigli dagli altri, se questi non erano in linea con le sue idee. [11]

Considerazioni non sessiste, queste ultime, ma poco corrette nei confronti di chi non può replicare. Maddox [11] ha cercato di stabilire una sorta di equilibrio, riportando testimonianze del criticabile modo di vestire di Watson, o della sua abitudine di aggirarsi per i corridoi del Cavendish con una sorta di sorriso ebete. Né mancano considerazioni sul suo aspetto fisico: a differenza di Crick, non poteva avere la minima attrattiva per l'altro sesso. Neanche Wilkins è stato risparmiato; secondo uno studente del St John's College di Cambridge *era un giovanotto irritabile come una vecchia zitella, un po' malmesso, sempre pronto ad attaccare briga, un lupo solitario con la passione dell'ottica*. Chi sostiene che Wilkins fosse segretamente attratto da Franklin potrebbe non sbagliarsi; di fatto, la sua decisione di mostrare la foto 51 a Watson (che l'ha sempre definita determinante) sembra un banale dispetto da innamorato respinto. Le congetture sui protagonisti di questa avventura sono talmente tante che ancora oggi si pubblicano libri sull'argomento. Oltre alle fonti citate, è possibile leggere una autobiografia di Wilkins [28], altri libri particolarmente dettagliati [29] [30] e saggi dedicati alla figura di Rosalind Franklin come quello di Cervellati [31]. Le numerose le risorse in rete - *timeline*⁸, resoconti brevi⁹ o video – raramente omettono di parlare del contributo di Franklin, la cui morte precoce, se da un lato ha lasciato inizialmente nell'ombra il suo lavoro, dall'altro ha contribuito alla sua rivalutazione in tempi più recenti.

Djerassi ha chiaramente messo in luce come le difficoltà delle scienziate siano ancora oggi presenti nell'ambiente scientifico (e non solo); non tanto sotto forma di sessismo, quanto di organizzazione del lavoro di ricerca [32]: soggetto a ritmi così stressanti da penalizzare in particolare le donne, spesso costrette a interrompere la loro carriera pena la rinuncia alla costruzione di una famiglia. E tuttavia questo sistema non penalizza solo le ricercatrici, scrive ancora Djerassi, ma la comunità scientifica tutta, soggetta a un clima di competizione tale da spingere a una produttività non sempre fondata su prove solide. La tossicità degli ambienti di lavoro e la crescita delle frodi scientifiche non possono che essere conseguenze di un sistema dove quantità e velocità sono più importanti di qualità e profondità, che esigono ritmi lenti di maturazione. Djerassi dimostra tutto questo dietro lo schermo della finzione narrativa [33]; è stato accusato di lavare in pubblico i panni sporchi dei laboratori, e ha risposto di non trovare nulla di male in questo. Del resto, è quello che ha fatto anche Watson descrivendo dal suo punto di vista vicende realmente accadute [12]. Di fatto, il modello Watson&Crick ha vinto in tutti i sensi: non solo quello del DNA, ma anche quello della velocità e della competizione.

⁸ Particolarmente utile il seguente sito web:

<http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/dna/narrative/page1.html> (ultima consultazione: 29/11/2023).

⁹ Si veda ad esempio il post di R. Cervellati, *I retroscena del Nobel "rubato" a Rosalind Franklin*, pubblicato su "Il blog della SCI" il 31/12/2021: <https://ilblogdellasci.wordpress.com/2021/12/31/i-retroscena-del-nobel-rubato-a-rosalind-franklin/> (ultima consultazione: 29/11/2023).

7. Ricercare e insegnare con lentezza

Per un educatore è sempre difficile rispondere alle domande di senso degli studenti più riflessivi sui retroscena della corsa al DNA. A quale scopo infarcire le poche pagine dei libri di testo dedicate all'argomento con gli intrighi e le coincidenze che animano la storia della doppia elica? Non basta dire: la scienza è una attività umana, gli scienziati sono esseri umani, e il mondo della ricerca può essere spietato quanto quello della finanza; quindi, preparatevi a competere! Occorre una messa in discussione di tutto questo, per quanto ciò possa sembrare inutile; illustrare cosa può essere davvero la ricerca e come tale sistema *brutalmente competitivo* (espressione di Djerassi¹⁰) stia permeando anche il mondo dell'istruzione, non solo universitaria. La competizione spietata facilita inoltre il ricorso alla frode scientifica, un fenomeno certo non recente ma in crescita, complesso e statisticamente indagato [34]. Sandal [35], ex ricercatore biologo all'Università di Cambridge scrive:

La competizione a livello post dottorale fa sì che, specie nelle istituzioni più prestigiose, si creino facilmente situazioni estremamente tossiche. Scordatevi una platonica torre d'avorio. Significa che la gente sabota regolarmente il lavoro altrui, fa di tutto per accaparrarsi il credito di lavoro a cui ha partecipato poco o nulla, e altro che condivisione delle conoscenze: ognuno tiene i propri progetti praticamente secretati nel terrore che gli vengano rubati dalla concorrenza. Aggiungete il fatto noto che questo conduce sempre più ricercatori (una piccola minoranza, per fortuna, ma in crescita) a darsi alla frode scientifica pur di sopravvivere: si parte da casi in cui semplicemente si riducono i controlli, o si scopiazzano articoli da una parte all'altra, a storie eclatanti in cui si inventano dati di sana pianta per garantirsi il successo. Nota generale: «competitivo» non significa necessariamente «meritocratico».

La dimensione politica connaturata alla ricerca e alla docenza dovrebbe propugnare modalità di *slow research* e *slow teaching*, locuzioni usate da due pedagogisti finlandesi [36] che hanno sentito il bisogno di sottolineare il carattere intrinsecamente collaborativo dell'indagine conoscitiva e dell'insegnamento; non un dare agli studenti più tempo per leggere, pensare, esplorare e imparare: si tratta di andare oltre il concetto lineare di tempo inteso come risorsa da gestire, e di focalizzarsi sul presente, sulla qualità dell'attenzione in un contesto di consapevolezza collettiva. Ci troviamo in un periodo di *passioni tristi* [37], caratterizzato da casi di disagio giovanile sempre più frequente; è essenziale che anzitutto la scuola sia strutturata secondo un principio inderogabile: prima di *funzionare* occorre *esistere* [38].

Così come un ricercatore non dovrebbe essere costretto a pubblicare continuamente, anche il docente dovrebbe rifiutarsi di svolgere la sua attività esclusivamente in termini

¹⁰ Si veda https://www.castfvg.it/articoli/varie/ricerca/djerassi_carl.htm (ultima consultazione: 29/11/2023).

di obiettivi di apprendimento da raggiungere in tempi prestabiliti (*learnification* [38]), lasciando alla ricerca e all'insegnamento quel carattere di aleatorietà e imprevedibilità che caratterizza tutte le attività prettamente intellettuali. Il discorso neoliberista mira ad allineare, gerarchizzare, uniformare, definendo l'educazione in termini di produzione del *capitale umano*; al contrario, sostiene quasi provocatoriamente il filosofo dell'educazione G. Biesta [39], bisogna liberare l'insegnamento dall'apprendimento, privilegiando il ruolo della relazione educativa. Innanzitutto occorre iniziare a depurare il linguaggio dell'educazione dai termini propri del mondo economico (alcuni esempi? Crediti, debiti, offerta formativa, etc.) [40], preparando gli studenti: non a competere, ma ad apprezzare la bellezza; a conoscere se stessi e individuare le proprie passioni, prima di immergersi nella frenesia del mondo; a comprendere le relazioni di interdipendenza, senza tuttavia usarle in un'ottica puramente opportunistica.

Un ricercatore la cui adolescenza è stata permeata da una educazione scientifica nel segno dei valori dell'umanesimo, probabilmente non avrà come unico fine quello di scavalcare i colleghi. Ma è molto difficile educare alla collaborazione evitando l'ingenuità oltre al cinismo. Per giunta, come diceva Steiner [3], l'arte, la filosofia e la scienza non sono necessariamente garanzia di una umanità migliore; i ricercatori non sono kantianamente morali per il solo fatto di aver studiato molto.

A noi, in veste di insegnanti, ricercatori o studenti, almeno il compito di provare a crederci.

Dal mio punto di vista, la fede sta nella convinzione che, facendo del nostro meglio, ci avvicineremo di più all'obiettivo e che l'obiettivo (il miglioramento del genere umano, presente e futuro) sia un bene degno di essere perseguito.

Da una lettera di Rosalind Franklin, studentessa a Cambridge, a suo padre [11].

8. Considerazioni conclusive

La scoperta della doppia elica ha un'importanza storica straordinariamente importante non solo come atto fondativo della biologia molecolare, ma anche per la comprensione delle attuali politiche della scienza. Un recente articolo di *Nature* ha evidenziato lo stato di profonda crisi risultante da un questionario sottoposto a un nutrito campione di postdoc di tutto il mondo tra i trenta e i quarant'anni [41]: mancanza di stabilità economica e geografica, salari bassi, forti pressioni che inducono ad abbandonare la carriera scientifica o a rimandare continuamente importanti progetti di vita come il matrimonio e la decisione di avere figli. L'altrettanto recente saggio di F. Coin *Le grandi dimissioni* [42] prende in esame profili professionali molto diversi per ambito lavorativo e prestigio sociale, mostrando come la disaffezione al lavoro stia investendo anche le figure più qualificate, sia nel settore privato che nel settore pubblico. L'indagine non risparmia le università, mettendo in luce le dinamiche estremamente competitive della ricerca e le pressioni nella sfera dell'insegnamento. Il periodo pandemico ha moltiplicato

i casi di burnout tanto da indurre molti docenti universitari a licenziarsi, soprattutto nell'area anglosassone. Molto peggiore è la situazione degli insegnanti di scuola in paesi come gli Stati Uniti. Il periodo post-Covid, anziché incoraggiare forme di welfare e un maggiore equilibrio tra vita privata e lavorativa, ha innescato una accelerazione delle politiche neoliberiste a livello globale.

La ricerca di ambito scientifico-tecnologico, necessitando di risorse materiali consistenti, è maggiormente coinvolta in meccanismi di competizione non di rado spietati che investono pesantemente la vita delle persone. L'orientamento scolastico alle materie STEM¹¹ non dovrebbe limitarsi a evidenziare dati di occupabilità e reddito: se una carriera in ambito scientifico può essere un potente mezzo di emancipazione – in particolare per le ragazze, ancor più se provenienti da paesi in via di sviluppo – è anche vero che occorre metterne in luce il prezzo da pagare. In sostanza, l'orientamento dovrebbe assumere una connotazione *politica* nel senso più nobile del termine: volto al bene dell'altro, reso consapevole della complessità insita in ogni scelta. Non solo orientare anzitutto a conoscere le proprie attitudini; non solo informare sul mercato del lavoro (ma evidenziandone le tendenze velocemente mutevoli e non sempre prevedibili); non solo elencare i tanti e innegabili vantaggi di una formazione scientifica. Tutto ciò non basta, perché ogni autentica riflessione sull'orientamento necessita di una messa in discussione delle inevitabili storture del sistema di cui gli studenti saranno parte, e di cui molto probabilmente risentiranno più dei loro insegnanti. In questo gioca un ruolo fondamentale l'onestà intellettuale dei docenti, soprattutto se:

- si sono inseriti nella scuola dopo una esperienza più o meno lunga nei settori STEM e sono donne (con particolare riguardo per l'ambito accademico, sia italiano che estero: perché queste ex-ricercatrici hanno operato tale scelta?);
- vedono chiaramente l'avanzare delle logiche neoliberiste nella macro- e micro-politica scolastica [43], logiche che stanno progressivamente snaturando le relazioni tra docenti e tra docenti e discenti, in favore di supposti criteri di efficienza e senza il dovuto ascolto alle voci autorevoli di chi suggerisce possibili vie per invertire la rotta [44].

In un contesto siffatto, la questione femminile – che la vicenda di Rosalind Franklin esemplifica in modo significativo – è solo uno dei tanti tasselli di un quadro generale di un sistema malato che coinvolge tutti, uomini e donne. La storia del DNA è quindi paradigmatica dei presupposti di regolazione di un mondo, quello della ricerca, che avrebbero progressivamente messo radici nell'accademia e inevitabilmente condizionato le politiche educative.

La storia della scienza rappresenta un ambito complesso e avvincente. Essa insegna come il processo della scoperta, per essere pienamente compreso anche sul versante epistemologico, necessita di una serie di considerazioni sul contesto dentro i laboratori e fuori di essi. Nell'accostarsi a un caso storico nessun fattore può essere trascurato: possono essere determinanti anche dettagli tecnici o nozioni apparentemente trascurabili (come il modo di rappresentare le tautomerie dei composti organici sui libri di testo!);

¹¹ Acronimo di *Science, Technology, Engineering and Mathematics*.

questo rende l'approccio storico estremamente significativo per lo studio delle scienze a livello scolastico e universitario, poiché contribuisce e al pieno possesso dei contenuti disciplinari e all'acquisizione di una visione di largo respiro, indispensabile per comprendere le dinamiche del presente.

Bibliografia

- [1] L. Cerruti. *Bella e potente. La chimica dagli inizi del Novecento ai giorni nostri*. Editori Riuniti Univ. Press, Roma, 2016 (versione digitale).
- [2] S. Onofri. *Registro di classe*. Minimum fax, Roma, 2019 (versione digitale).
- [3] G. Steiner. *Errata. Una vita sotto esame*. Garzanti, Milano, 2020 (versione digitale).
- [4] J.D. Watson, F. H.C. Crick. Molecular structure of nucleic acids. *Nature*, 171: 737-738, 1953. doi: 10.1038/171737a0
- [5] W.T. Astbury, F.O. Bell. X-Ray Study of thymonucleic acid. *Nature*, 141: 747-748, 1938. doi: 10.1038/141747b0
- [6] M.H.F. Wilkins, A.R. Stokes, H.R. Wilson. Molecular structure of deoxypentose nucleic acids. *Nature*, 171: 738-740, 1953. doi: 10.1038/171738a0
- [7] R. Franklin, R. Gosling. Molecular configuration in sodium thymonucleate. *Nature*, 171: 740-741, 1953. doi: 10.1038/171740a0
- [8] V. Hernandez, Molecular configuration in sodium thymonucleate (1953), by Rosalind Franklin and Raymond Gosling. Pubblicato in *The Embryo Project Encyclopedia* il 30/11/2019. URL: <https://embryo.asu.edu/pages/molecular-configuration-sodium-thymonucleate-1953-rosalind-franklin-and-raymond-gosling> (ultima consultazione: 29/11/2023)
- [9] M.J. Tobin. Three papers, April 25, 1953. Three lessons. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 167: 1047-1049, 2003. doi: 10.1164/rccm.2302011
- [10] A. Gann, J. Witkowski. The lost correspondence of Francis Crick. *Nature*, 467: 519-524, 2010. doi: 10.1038/467519a
- [11] B. Maddox. *Rosalind Franklin. La donna che scoprì la struttura del DNA*. Mondadori, Milano, 2004.
- [12] J. D. Watson. *La doppia elica. Il segreto della vita*. Garzanti, Milano, 2004.
- [13] A. Ziegler. *Photograph 51*. Dramatist's Play Service, New York, 2011.

- [14] G. Montaudò. Controversa storia della doppia elica: antefatto, scoperta, sviluppi. *Atti della Accademia gioenia di scienze naturali in Catania*, 45: 665-679, 2012. https://www.gioenia.unict.it/bollettino/bollettino2012-n375/full_papers/DNA_GM.pdf (ultima consultazione: 29/11/2023).
- [15] B. Fantini, Le origini della biologia molecolare. In Paolo Rossi, *Storia della scienza moderna e contemporanea. Il secolo ventesimo 2*. TEA, Milano, 2000, pp. 921-979.
- [16] E. Schrödinger. *What is life? The physical aspect of the living cell*. Cambridge University Press, New York, 2012. URL: <http://strangebeautiful.com/other-texts/schrodinger-what-is-life-mind-matter-auto-sketches.pdf> (ultima consultazione: 13/03/2023)
- [17] J. Watson. Videoracconto della collana Beautiful Minds *I grandi scienziati raccontano la storia della scienza*, a cura di P. Odifreddi (coordinamento scientifico), M. Calvano (regia), Gruppo Editoriale l'Espresso, Roma, 2010.
- [18] L. Pauling. *The nature of the chemical bond and the structure of molecules and crystals*. Cornell University Press, New York, 1940.
- [19] E. Gilliam. Watson's Double Helix, one small clue, and the importance of knowing what you don't know. *FreakTakes*, 2022. URL: <https://freaktakes.substack.com/p/watsons-double-helix-one-small-clue> (ultima consultazione: 29/11/2023).
- [20] S. Wain-Hobson. The third bond. *Nature*, 439: 539, 2006. doi: 10.1038/439539a
- [21] R.B. Corey, L. Pauling. Specific hydrogen-bond formation between pyrimidines and purines in deoxyribonucleic acids. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 65: 164-81, 1956. doi: 10.1016/0003-9861(56)90185-0.
- [22] T.V. Danylova, S.V. Komisarenko. Standing on the shoulders of giants: James Watson, Francis Crick, Maurice Wilkins, Rosalind Franklin and the birth of molecular biology. *The Ukrainian Biochemical Journal*, 92: 154-165, 2020. doi: 10.15407/ubj92.04.154
- [23] C. Djerassi. *Dalla Pillola alla penna*. Di Renzo Editore, Roma, 2018 (versione digitale).
- [24] G. Israel. *Incubi postmoderni e tirannia della tecnoscienza*. G. Israel, 2013 (versione digitale).
- [25] E. Manier. Levels of reflexivity: unnoted differences within the 'Strong Programme' in the sociology of knowledge. In *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*. Cambridge University Press, Cambridge, 1980, pp. 197-207. URL: <http://www.jstor.org/stable/192565> (ultima consultazione: 29/11/2023).

- [26] S. Fuso. *Strafalcioni da Nobel. Storie dei vincitori del più prestigioso premio del mondo... e delle loro più solenni cantonate*. Carocci, Roma, 2019 (versione digitale).
- [27] R. Levi Montalcini. *Elogio dell'imperfezione*. Mondadori, Milano, 1990.
- [28] M. Wilkins. *Maurice Wilkins: the third man of the double helix*. Oxford University Press, Oxford, 2005.
- [29] G. Williams. *Unravelling the double helix. The lost heroes of DNA*. Orion Publishing Group, Londra, 2019 (versione digitale).
- [30] H. Markel. *The secret of life: Rosalind Franklin, James Watson, Francis Crick, and the discovery of Dna's double helix*. W. W. Norton & Co, New York, 2021.
- [31] R. Cervellati. *Chimica al femminile*. Aracne, Roma, 2019.
- [32] L. Cardellini. Synthesizing a life: an interview with Carl Djerassi. *Journal of Chemical Education*, 88: 1366-1375, 2011. doi: 10.1021/ed100786w
- [33] C. Djerassi. *Il dilemma di Cantor*. Di Renzo Editore, Roma, 2018 (versione digitale).
- [34] M. Taddia, La devianza nella scienza: alcuni riscontri e aggiornamenti alle Reflections di Charles Babbage sulle frodi scientifiche (1830). In *Memorie di Scienze Fisiche e Naturali. Rendiconti della Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL*, serie V, vol. XXXIII, tomo II. Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Roma, 2009. pp 41-52. URL: <https://media.accademixl.it/memorie/S5-VXXXIII-P2-2009/Taddia41-52.pdf> (ultima consultazione: 29/11/2023).
- [35] M. Sandal. Cos'è la ricerca, davvero. *Il Post*, 2011. URL: <https://www.ilpost.it/2011/02/28/sulla-ricerca-scientifica/> (ultima consultazione: 29/11/2023).
- [36] P. Salo, H.L. Heikkinen. Slow science: research and teaching for sustainable praxis. *Confero*, 6: 87-111, 2018. doi: 10.3384/confero.2001-4562.181130
- [37] M. Benasayag, e G. Schmit. *Les passions tristes. Souffrance psychique et crise sociale*. La Découverte, Parigi, 2003.
- [38] M. Benasayag. *Funzionare o esistere?* Vita e pensiero, Milano, 2019.
- [39] G. Biesta. Against learning. Reclaiming a language for education in an age of learning. *Nordisk Pedagogik*, 25: 54-66, 2005. URL: https://www.ltu.se/cms_fs/1.123949!/file/Article+Biesta+against+learning.pdf (ultima consultazione: 29/11/2023).

- [40] A. Borsese, T. Celestino. Polisemia e sinonimia tra lessico scolastico e linguaggio scientifico: distorsione dei significati e ostacoli al diritto di cittadinanza. *Civitas Educationis. Education, politics and culture*, 11: 191-213, 2022. doi: 10.7413/2281-9568049
- [41] L. Nordling. Postdocs in their thirties tire of putting life on hold. *Nature*, 622: 881-883, 2023.
- [42] F. Coin. *Le grandi dimissioni. Il nuovo rifiuto del lavoro e il tempo di riprenderci la vita*. Einaudi, Torino, 2023 (versione digitale).
- [43] M. Baldacci. La scuola attraverso Gramsci. *L'ospite ingrato*, 9: 55-66, 2021.
- [44] G. Ferroni. *Una scuola per il futuro*. La nave di Teseo, Milano, 2021.