

Università degli Studi di Napoli “Federico II”

Scuola Politecnica e delle Scienze di Base
Area Didattica di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali

Dipartimento di Fisica “Ettore Pancini”



Laurea triennale in Fisica

**Comparison of Nature of Science
representations in Italian high school
physics textbooks**

Relatore:

Prof. Italo Testa

Candidato:

Marco Zunico

Matricola N85000577

A.A. 2020/2021

INDICE

Introduzione	3
1 Quadri teorici della Natura della Scienza e ricerca didattica	4
1.1 Visione condivisa di Lederman e Abd-El-Khalick	5
1.2 L'Approccio di Somiglianza Familiare	9
1.2.1 Il modello di Irzik e Nola	9
1.2.2 La "Riconcettualizzazione" di Erduran e Dagher	12
1.3 La ricerca sulla NOS	15
1.3.1 Concezioni degli studenti	16
1.3.2 Concezioni degli insegnanti	18
1.3.3 Natura della Scienza e Fisica Quantistica: una nuova frontiera?	20
1.4 Insegnamento e Apprendimento della Natura della Scienza	22
1.4.1 Il ruolo della storia della scienza	27
2 Didattica e Natura della Scienza	28
2.1 Model of Educational Reconstruction (MER)	29
2.2 Rappresentazione della Natura della Scienza nei libri di testo	33
2.3 La Natura della Scienza nel programma italiano di fisica	37
3 Analisi dei libri di testo	43
3.1 Materiali	44
3.2 Struttura	44
3.3 Procedura	45
3.4 Risultati	47
Conclusioni	51
Bibliografia	52

INTRODUZIONE

La cultura scientifica si caratterizza, a differenza di altre, per la sua complessità intrinseca. Oltre al puro contenuto nozionistico, la conoscenza scientifica presenta infatti altre caratteristiche peculiari che, tra le varie cose, ne descrivono la validità, l'origine e le implicazioni.

Tali caratteristiche, in letteratura e in ricerca didattica, sono identificate all'interno di un concetto più ampio che prende il nome di Natura della Scienza e sono ritenute sempre più di fondamentale importanza nell'insegnamento e nell'apprendimento delle discipline scientifiche. Questo orientamento ha fatto sì che esse fossero inserite esplicitamente, all'interno dei programmi scolastici, tra gli obiettivi dell'apprendimento.

Nella prima parte di questo elaborato, dopo aver fornito alcune possibili definizioni di Natura della Scienza, vengono presentati i risultati di diversi studi ad essa correlati, condotti a partire dalla seconda metà del secolo scorso.

Nel secondo capitolo l'attenzione è focalizzata sul rapporto tra Natura della Scienza e strumenti didattici, evidenziandone lo sviluppo nel tempo, fornendo una serie di informazioni basate su ricerche effettuate nel corso degli anni.

Infine, nell'ultima sezione di questo lavoro, sono riportati i risultati di un'analisi condotta sul principale strumento didattico utilizzato nella scuola italiana, i libri di testo, al fine di determinare una stima della qualità e della quantità delle rappresentazioni della Natura della Scienza fornite al loro interno.

CAPITOLO 1

QUADRI TEORICI DELLA NATURA DELLA SCIENZA E RICERCA DIDATTICA

Tra i principali aspetti della formazione scientifica vi sono l'insegnamento e l'apprendimento della Natura della Scienza, in inglese "Nature of Science" (NOS).

Tale acronimo è un concetto la cui definizione non mette in accordo l'intera comunità scientifica ma la cui comprensione è riconosciuta come fondamentale per capire completamente i concetti e i processi scientifici che i cittadini moderni incontrano nella vita quotidiana (NRC, 1996).

La scienza non è solo un corpo di conoscenze sterile, autonomo e immutabile, un metodo o un modo di pensare ma ha una sua natura dinamica, creativa e strettamente collegata al mondo circostante. La Natura della Scienza attiene a questi e ad altri aspetti fondamentali per una corretta formazione scientifica.

Essa indica «cos'è la scienza, come funziona, i fondamenti epistemologici e ontologici della scienza, come gli scienziati operano in quanto gruppo sociale, come la società influenza le attività scientifiche e come reagisce ad esse» (Clough & Olson, 2008).

McComas (2003) individua nella definizione e nello scopo della NOS "le regole del gioco" che hanno portato alla produzione della conoscenza e alla valutazione delle affermazioni di verità nel mondo naturale.

Già agli inizi del XX° secolo la Central Association of Science and Mathematics Teachers degli Stati Uniti (1907) aveva conferito al metodo scientifico un ruolo importante nell'educazione e nella formazione degli studenti; in quel periodo la NOS era indirettamente considerata una sua componente. Col passare degli anni è emersa una convergenza sempre maggiore sull'importanza del ruolo della Natura della Scienza, arrivando spesso a definirla come una componente critica dell'alfabetizzazione scientifica (NSTA, 1982).

Più recentemente, la conoscenza della NOS è stata inclusa nei curricula di vari Paesi (ad esempio Australia, Canada, Sudafrica, Regno Unito, Stati Uniti) come una delle

competenze che gli studenti dovrebbero raggiungere al termine del ciclo di studi secondario superiore (Lederman, 2007).

Gli argomenti a favore dell'importanza della comprensione della Natura della Scienza sono di vari tipi (Driver, Leach, Millar & Scott, 1996):

- *Utilitaristico*: la NOS è necessaria per dare senso alla scienza e gestire oggetti tecnologici e processi della vita quotidiana.
- *Democratico*: la NOS è necessaria per prendere decisioni informate su temi socio-scientifici.
- *Culturale*: la NOS è necessaria per apprezzare il valore della scienza come parte della cultura contemporanea.
- *Morale*: la NOS aiuta a sviluppare una comprensione delle norme della comunità scientifica che include obblighi morali che sono di valore generale per la società.
- *Apprendimento della Scienza*: la NOS facilita l'apprendimento di materie scientifiche.

La comprensione della Natura della Scienza da parte degli studenti e degli insegnanti rimane quindi una delle maggiori priorità per la ricerca e per l'educazione scientifica. Inoltre, «la longevità di questo obiettivo educativo è stata superata solo dalla longevità dell'incapacità degli studenti di spiegare il significato dell'espressione "natura della scienza", e di delineare le caratteristiche associate della scienza» (Lederman & Niess, 1997).

1.1 Visione condivisa di Lederman e Abd-El-Khalick

In letteratura scientifica sono presenti diverse definizioni di Natura della Scienza: già negli anni sessanta essa includeva i processi di indagine scientifica e la natura evolutiva dell'acquisizione della conoscenza (Klopfer, 1969).

Precedentemente Kimball (1968) aveva sviluppato un modello di NOS seguendo un approccio improntato sulla filosofia della scienza. Gli anni successivi hanno poi visto il fiorire di nuove definizioni.

Una delle definizioni maggiormente accettate è quella fornita da Norman G. Lederman (1992): la NOS è un modo per arrivare alla conoscenza; in senso epistemologico si identifica con i valori e con le idee inerenti alla conoscenza scientifica e al suo sviluppo.

Esistono vari aspetti che caratterizzano la Natura della Scienza ma, di essi, non esiste un'unica lista omnicomprensiva condivisa da tutto il mondo accademico. Dunque, non essendoci una lista migliore di un'altra, tutte hanno uguale validità nella misura in cui riescono a comprendere aspetti che ricalchino le caratteristiche fondamentali della conoscenza scientifica.

Negli ultimi 30 anni, però, la comunità scientifica dedicata alla ricerca didattica si è largamente focalizzata su una prospettiva comune seguendo le idee di Lederman, identificandosi in una sorta di “visione condivisa” (Lederman et al., 2002). Molti altri ricercatori, tra i quali Fouad Abd-El-Khalick, hanno infatti ripreso la definizione e le caratteristiche della NOS individuate da Lederman, che sono quindi diventate un importante punto di riferimento nella ricerca sulla Natura della Scienza.

In Tabella 1 sono elencati i dieci aspetti della Natura della Scienza della “visione condivisa” inseriti nella lista stilata e adottata da Abd-El-Khalick et al. (2008, 2017).

Tabella 1 – Aspetti rilevanti della NOS secondo Abd-El-Khalick et al., (2008; 2017)

ASPETTI	DESCRIZIONE
Empirico	Le affermazioni scientifiche derivano e/o sono consistenti con le osservazioni dei fenomeni naturali. Tali osservazioni sono filtrate dal sistema percettivo umano e da specifici strumenti scientifici e/o interpretate all'interno di elaborati quadri teorici.
Inferenziale	Le osservazioni sono affermazioni descrittive dei fenomeni naturali accessibili ai sensi (o a loro estensioni) e su cui i ricercatori possono essere d'accordo con relativa facilità (ad esempio: gli oggetti lasciati liberi da una certa altezza tendono a cadere verso il basso). Le inferenze, invece, sono affermazioni sulla natura dei fenomeni non direttamente accessibili ai sensi (ad esempio: gli oggetti tendono a cadere verso il basso a causa della “gravità”). I costrutti scientifici, come la gravità, sono inferenziali nel senso che possono essere verificati attraverso le loro manifestazioni o effetti.
Creativo	La scienza non è un'attività razionale e sistematica ma coinvolge la creatività e l'immaginazione umana in quanto gli scienziati devono inventare spiegazioni e modelli teorici. L'aspetto creativo, unito a quello inferenziale, implica che le entità scientifiche (atomi, campi di forze, specie, etc.) siano modelli teorici funzionali anziché fedeli copie della “realtà”.

Soggettivo	<p>La conoscenza scientifica è soggettiva e influenzata dalle idee e dal <i>background</i> personale dello scienziato. Questi fattori condizionano la scelta dei problemi da affrontare, i metodi di indagine, le osservazioni (cosa osservare e cosa no), e l'interpretazione di queste osservazioni.</p> <p>Contrariamente a quanto si crede, la scienza non parte mai da osservazioni neutrali: esse sono sempre motivate e guidate dai problemi presenti all'interno di particolari prospettive teoriche.</p>
Provvisorio	<p>La conoscenza scientifica non è mai assoluta o certa. Tutte le categorie di conoscenza (teorie, leggi, etc.) sono soggette a possibili revisioni qualora, grazie al progresso tecnologico e a nuove idee, emergessero ulteriori evidenze in grado di portare a modifiche o alla formulazione di differenti costruzioni teoriche.</p>
Il Mito del “Metodo scientifico”	<p>Questo mito spesso si manifesta nella credenza che ci sia una ricetta standardizzata per tutte le attività scientifiche che porti ad una conoscenza certa. Gli scienziati osservano, confrontano, misurano, verificano, formulano ipotesi, discutono, creano idee e strumenti concettuali, e costruiscono teorie e spiegazioni; tuttavia, non esiste un'unica metodica codificata applicabile in tutte le situazioni.</p>
Teorie scientifiche	<p>Le teorie scientifiche sono sistemi di spiegazioni ben consolidate, motivate e coerenti che: a) rendono conto di molteplici osservazioni apparentemente non correlate in molti campi di indagine, b) generano domande e problemi di ricerca, c) guidano indagini future. Spesso le teorie si basano su assiomi o assunzioni e postulano l'esistenza di entità non osservabili; dunque, una verifica diretta è impossibile. Solo le evidenze indirette supportano e validano le teorie: basandosi su di esse gli scienziati formulano delle previsioni e le verificano attraverso le osservazioni.</p>
Leggi scientifiche	<p>Le leggi sono descrizioni delle relazioni tra fenomeni osservabili. La legge di Boyle, che collega la pressione di un gas al suo volume a temperatura costante, ne è un esempio perfetto.</p> <p>Le teorie, al contrario, sono spiegazioni dedotte per i fenomeni osservati o per le regolarità in essi presenti; ad esempio, la teoria cinetica molecolare fornisce una spiegazione di ciò che accade ed è descritto dalla legge di Boyle. Teorie e leggi non si trasformano una nell'altra ma sono due tipi diversi di conoscenza.</p>
Dimensione sociale della scienza	<p>La conoscenza scientifica è discussa e sottoposta a controllo all'interno della comunità scientifica prima di essere pubblicata sulle riviste specializzate.</p>
Collocazione sociale e culturale della scienza	<p>La scienza è un'attività umana inserita e praticata nel contesto di un grande ambiente culturale. Dunque, la scienza influenza ed è influenzata da vari elementi e sfere culturali quali: tessuto sociale, strutture di potere, filosofia, religione, fattori politici ed economici.</p>

Altri aspetti come “indipendenza di pensiero”, “amoralità della scienza”, “controversie in ambito scientifico” e “semplicità delle spiegazioni” sono stati proposti da altri autori ma la comunità della Science Education ha ritenuto che le idee della “visione condivisa”

ispirata a Lederman siano adeguate all'istruzione dei ragazzi della scuola secondaria, in quanto includono i principi salienti della conoscenza scientifica.

Le critiche principali rivolte alla "visione condivisa" si concentrano su due fronti:

- la sua eccessiva semplificazione e schematicità (Hodson & Wong 2017), che potrebbe perfino indurre gli studenti a sviluppare uno stereotipo della Natura della Scienza (Irzik & Nola, 2011a; Matthews, 2012);
- la mancanza di indicazioni per l'insegnamento.

Nel corso degli anni si è spesso confuso il concetto di NOS con quello di Processo Scientifico o Indagine Scientifica (Lederman, 2007). Nonostante questi aspetti siano molto collegati e intrecciati esiste però una differenza:

- Processo e Indagine sono attività scientifiche pratiche e speculative che riguardano l'analisi di un fenomeno e la successiva formulazione di una teoria o legge.
- La NOS si riferisce all'aspetto epistemologico delle attività scientifiche e alle caratteristiche della conoscenza risultante.

Per dirimere tutti i dubbi, secondo Lederman, sarebbe più corretto utilizzare l'espressione "Nature of Scientific Knowledge" (Natura della Conoscenza Scientifica) al posto di "Nature of Science" ma ormai l'espressione, spesso male interpretata, è entrata con questa accezione in molti filoni di ricerca e ancora oggi esistono studi focalizzati più sull'Indagine che sulla vera natura della NOS.

Come detto, tale posizione non è condivisa da altri ricercatori. Ad esempio Ryder, Leach & Driver (1999) ritengono, invece, che le indagini scientifiche (specialmente i metodi) rappresentino un importante aspetto della Natura della Scienza.

Matthews (2012) provò ad andare oltre ad un modello costruito con forte enfasi epistemologica e focalizzato solamente sulla conoscenza scientifica quale era quello della "visione condivisa", sostituendo la nozione di "natura" (NOS) con quella di "caratteristiche" della scienza (Features of Science - FOS).

Le caratteristiche proposte da Matthews includono sperimentazione, idealizzazione, modelli, valori e questioni socio-scientifiche, matematizzazione, tecnologia, spiegazione, visioni del mondo e religione, scelta teorica e razionalità, femminismo, realismo e costruttivismo.

1.2 L'Approccio di Somiglianza Familiare

Negli ultimi anni una nuova visione si è fatta strada all'interno della comunità scientifica per cercare di definire le caratteristiche della Natura della Scienza in un'ottica più generale. Questo nuovo approccio, che tiene conto delle affinità e delle differenze tra le varie discipline scientifiche e le considera come elementi di un'unica "famiglia scienza", è identificato con il nome di Approccio di Somiglianza Familiare, in inglese "Family Resemblance Approach" (FRA).

1.2.1 Il modello di Irzik e Nola

I filosofi della scienza Gürol Irzik & Robert Nola (2011a, 2014) hanno tentato di rappresentare l'unità della scienza, senza sacrificarne la diversità, riprendendo il concetto di somiglianza familiare presente nell'opera di Wittgenstein e applicandolo alla NOS.

Hanno così elaborato un nuovo schema (il FRA) e l'hanno presentato come un'alternativa alla "visione condivisa", in quanto «più comprensivo e sistematico». Il vantaggio dell'utilizzo del FRA nella caratterizzazione di un campo scientifico è rappresentato dal fatto di poter effettuare raffronti, mediante un set di categorie, tra le varie discipline scientifiche, in quanto tutte presentano caratteristiche comuni ma nessuna di esse può definire la scienza o distinguerla dalle altre.

Ad esempio, se indichiamo con:

D - raccolta dati

I - formulazione inferenze

S - sperimentazione

P - possibilità di previsioni

V - verifica ipotetico-deduttiva

C - studio in doppio cieco

alcune caratteristiche delle discipline scientifiche, possiamo classificare:

astronomia = [D, I, P, V]

fisica delle particelle = [D, I, S, P, V]

scienza dei terremoti = [D, I, P', V]

medicina = [D, I, P'', S, C]

dove P' e P'' indicano differenze nel potere previsionale.

Nessuna delle quattro discipline possiede tutte le sei caratteristiche elencate ma esse ne condividono alcune, proprio come i membri di una grande famiglia; per tale motivo si parla di somiglianza familiare.

Il FRA concettualizza la scienza in termini di sistema cognitivo-epistemico e sistema socio-istituzionale; questa differenza non è netta ma le due parti interagiscono costantemente l'una con l'altra in miriadi di modi.

In origine, la struttura di Irzik & Nola (2011a) includeva solo gli aspetti cognitivo-epistemici, poi i due studiosi compresero che era necessario focalizzarsi anche sull'aspetto sociale e, nel 2014, arrivarono ad introdurre quattro nuove categorie (Tab. 2): questo bilanciamento riflette la natura complessa della scienza.

Tabella 2 – *Approccio di somiglianza familiare (Irzik & Nola, 2014)*

SCIENZA	
Sistema Cognitivo-Epistemico	Sistema Socio-Istituzionale*
1. Processi di indagine	5. Attività professionali
2. Scopi e valori	6. Etica scientifica
3. Metodi e regole metodologiche	7. Certificazione e diffusione sociale della conoscenza scientifica
4. Conoscenza scientifica	8. Valori sociali

* L'attributo istituzionale non era presente nell'opera originale ma è stato aggiunto successivamente

Per *Processi di indagine* si intendono attività tipiche degli scienziati come: porre domande (o problemi), fare osservazioni, raccogliere e classificare dati, progettare esperimenti, formulare ipotesi, costruire teorie e modelli, confrontare teorie e modelli alternativi.

Scopi e valori includono: previsioni, spiegazioni, coerenza, semplicità, produttività, fattibilità, verificabilità e adeguatezza empirica della ricerca.

Metodi e regole metodologiche si riferiscono alla varietà di approcci sistematici ed alle regole che gli scienziati seguono per esser certi di ottenere una conoscenza affidabile. In questi metodi sono inclusi ragionamenti di tipo induttivo, deduttivo e adduttivo.

Rientrano invece tra le regole metodologiche, indicazioni per utilizzare al meglio i metodi scientifici, quali ad esempio “a parità di condizioni scegli la teoria che è più esplicativa” e “usa esperimenti controllati per verificare ipotesi casuali”.

La categoria *Attività professionali* si riferisce ad attività che gli scienziati eseguono per comunicare la loro ricerca quali: frequentare meeting professionali per presentare i loro risultati, scrivere articoli per le pubblicazioni ed elaborare richieste di finanziamento per raccogliere fondi.

L'*Etica scientifica* si riferisce all'insieme di norme che gli scienziati osservano nel loro lavoro e nelle loro interazioni. Ad esempio le norme Mertoniane di universalismo, scetticismo organizzato, disinteresse e comunalismo (Merton, 1973) e altre norme etiche elaborate da Resnik (2007). Queste ultime includono ad esempio l'onestà e il rispetto per i soggetti della ricerca e per l'ambiente.

La *Certificazione e diffusione sociale della conoscenza scientifica* si riferisce al processo di revisione che costituisce un *controllo qualità sociale* in aggiunta ai meccanismi di *controllo epistemico* che includono: verifica, relazioni probatorie e considerazioni metodologiche.

I *Valori sociali* della scienza si riferiscono a principi quali: libertà, rispetto per l'ambiente e utilità sociale al fine di ottenere un miglioramento della salute e della qualità della vita delle persone oltre a contribuire allo sviluppo economico.

Dunque, risulta evidente la differenza tra l'idea fondamentale del FRA e quella alla base dell'approccio condiviso di Lederman e Abd-El-Khalick: il FRA implica un livello di organizzazione più alto, coinvolgente una *classe di idee* che approssima caratteristiche comuni; al contrario, la “visione condivisa” sviluppa *idee singole* sulla scienza. Ad esempio, il FRA si riferisce alla *Conoscenza scientifica* in quanto categoria cognitivo-epistemica chiave; la “visione condivisa” della NOS, invece, distingue tra teorie scientifiche e leggi. La prima (conoscenza scientifica) è una classe di idee mentre l'ultima è un'idea singola all'interno di quella classe.

Lo scopo del FRA, in ambito didattico, non può essere quello di insegnare agli studenti idee singole o dottrine filosofiche specifiche riguardo la scienza ma, piuttosto, favorire una comprensione olistica e contestualizzata della stessa. L'approccio del FRA, potenzialmente, può essere più interessante per gli studenti in quanto, non trattando solo aspetti epistemici, potrebbe favorire l'interesse e la motivazione verso gli aspetti socio-istituzionali. Esso, inoltre, fornisce modelli della Natura della Scienza più adeguati pedagogicamente e cognitivamente, poiché considera le relazioni tra i vari aspetti che, quindi, non risultano scollegati l'uno dall'altro.

1.2.2 La “Riconcettualizzazione” di Erduran e Dagher

L'immagine del FRA fornita da Irzik & Nola (2014) descrive le componenti della scienza in termini di categorie riconducibili a sistemi epistemici, cognitivi e sociali. Tuttavia, questa struttura non fornisce una rappresentazione esaustiva e la descrizione delle loro categorie è piuttosto breve.

Sibel Erduran e Zoubeida Dagher, basandosi su argomentazioni di filosofia della scienza e sulla loro esperienza di ricercatrici scientifiche, hanno sfruttato il potenziale del modello filosofico di Irzik e Nola per scopi istruttivi ed educativi, creando una struttura che costituisce uno strumento dinamico e interattivo in grado di rappresentare la scienza in modo globale, un'opportunità pedagogicamente valida.

Le ricercatrici sono partite dal presupposto che la Natura della Scienza, nel suo senso più ampio, includa un insieme di pratiche, metodologie, scopi e valori, norme sociali che devono essere trasmessi quando si insegna scienza.

La loro “Riconcettualizzazione” della NOS si basa su tre strutture precedentemente teorizzate da altri ricercatori: la visione consensuale (Lederman e Abd-El-Khalick), l'approccio del FOS (Matthews) e quello del FRA (Irzik e Nola).

Rispetto alla struttura teorica elaborata da Irzik e Nola, Erduran & Dagher (2014a) hanno reso esplicita l'attenzione alla dimensione politica e finanziaria della scienza, spesso tralasciata nell'insegnamento scolastico. Questi sono fattori che influenzano molto lo sviluppo e la validazione delle tesi scientifiche.

L'obiettivo principale del nuovo FRA era includere nuove idee sulla Natura della Scienza da poter inserire nell'educazione scientifica, in modo che gli studenti potessero

essere ispirati dallo stupore e dalla meraviglia delle molte facce della scienza ed imparare a pensare scientificamente.

Nei loro primi lavori, Irzik & Nola (2011a, 2011b) usarono il termine “Attività” per riferirsi alle idee sui processi utilizzati nelle indagini scientifiche; successivamente hanno impiegato l’espressione “Processi di indagine” (Irzik & Nola, 2014).

Nella loro rielaborazione, Erduran & Dagher (2014a) hanno adottato il termine “Pratiche” in quanto esso ingloba gli aspetti individuati da Irzik e Nola all’interno di una visione epistemica e discorsiva più ampia nonché per la sua forte presenza all’interno delle politiche curriculari contemporanee.

Inoltre, hanno aggiunto tre nuovi aspetti alle otto categorie individuate da Irzik & Nola nella loro ultima versione (2014). Per spiegare la relazione tra gli aspetti cognitivo-epistemici e quelli socio-istituzionali si utilizza il modello della ruota del FRA (Fig. 1): la scienza, in quanto sistema cognitivo-epistemico, occupa un cerchio diviso in quattro quadranti che ospitano le sue quattro categorie presentate prima.

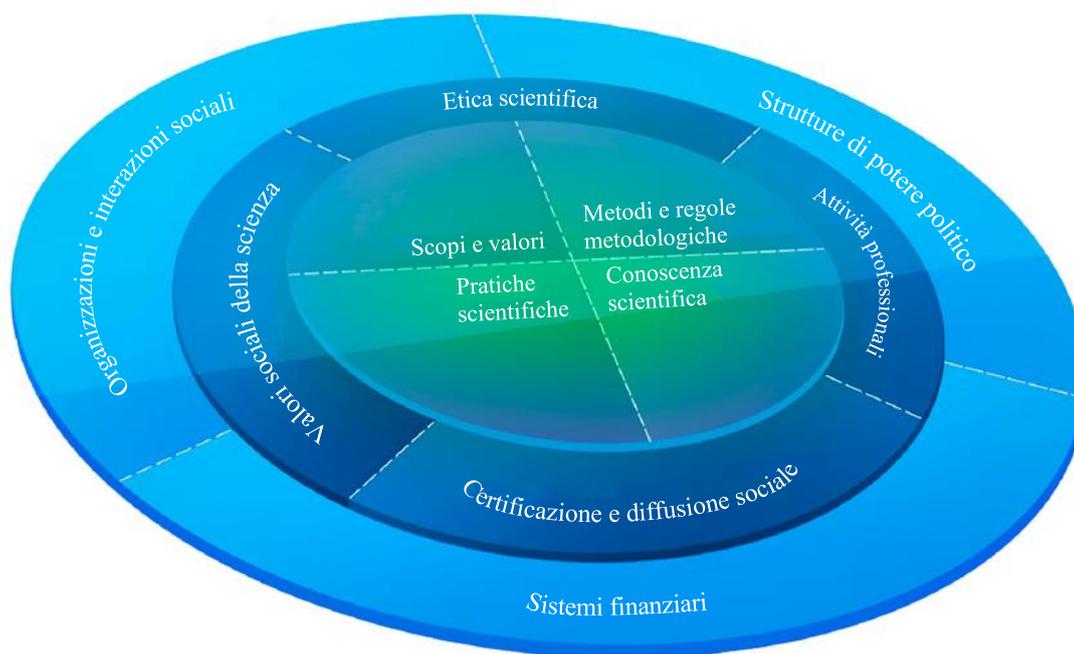


Figura 1 – Ruota del FRA

Questo cerchio è collocato in due settori circolari concentrici, quello interno include le quattro componenti sociali già individuate da Irzik & Nola (2014) mentre quello esterno comprende le tre categorie istituzionali aggiuntive: “organizzazioni e interazioni

sociali”, “strutture di potere politico” e “sistemi finanziari”. La presenza delle linee tratteggiate indica che le posizioni all’interno dei settori non sono rigide e che ogni componente si può spostare, attraversandole; ciò consente di rappresentare l’interconnessione tra le varie categorie.

La “Riconcettualizzazione” del FRA, da un formato testuale a un modello a cerchi concentrici, rende più chiara l’immagine della scienza in quanto sistema olistico, dinamico, interattivo e comprensivo, soggetto a varie influenze.

In Tabella 3 sono dettagliate le undici categorie, come teorizzato da Erduran & Dagher (2014a).

Tabella 3 – Aspetti della NOS secondo Erduran & Dagher (2014a)

ASPETTI COGNITIVO-EPISTEMICI	
Scopi e valori	L’attività scientifica è caratterizzata dall’adesione a un set di valori che guidano le pratiche scientifiche; questi scopi e valori sono spesso impliciti e possono includere accuratezza, oggettività, coerenza, razionalità, semplicità, verificabilità, etc.
Pratiche scientifiche	L’attività scientifica comprende un ampio insieme di pratiche cognitive, epistemiche e discorsive. Pratiche quali l’osservazione, la classificazione e la sperimentazione utilizzano una varietà di metodi per raccogliere dati storici e sperimentali. Pratiche cognitive come la spiegazione, la modellizzazione e la prevedibilità sono fortemente collegate a pratiche discorsive che implicano argomentazione e ragionamento.
Metodi e regole metodologiche	Gli scienziati effettuano indagini utilizzando un’ampia gamma di metodi osservativi, investigativi e analitici, che sono guidati da specifiche regole metodologiche, per produrre evidenze attendibili e costruire teorie, leggi e modelli in una particolare scienza.
Conoscenza scientifica	Teorie, leggi e modelli (TLM) sono costruiti correlati dell’attività scientifica che ne producono e/o ne validano la conoscenza; inoltre, forniscono spiegazioni logiche e coerenti per sviluppare la comprensione della scienza. La conoscenza scientifica è olistica e relazionale, e TLM sono concettualizzati come una rete completa, non come frammenti discreti e disconnessi di conoscenza.
ASPETTI SOCIO-ISTITUZIONALI	
Attività professionali	Gli scienziati si impegnano in numerose attività professionali che gli permettono di comunicare la loro ricerca, ivi incluse partecipazioni e presentazioni a conferenze, scritture e revisioni di articoli per riviste, elaborazione di proposte di sovvenzione e raccolte fondi.

Ethos scientifico	Gli scienziati dovrebbero osservare una serie di norme nello svolgimento del loro lavoro e durante le interazioni con colleghi di altre istituzioni. Queste norme possono includere scetticismo organizzato, universalismo, comunalismo e disinteresse, libertà e franchezza, onestà intellettuale, rispetto per i soggetti di ricerca e per l'ambiente.
Certificazione e diffusione sociale	Nella presentazione dei loro studi nelle conferenze e negli articoli per le riviste, il lavoro degli scienziati è revisionato e valutato criticamente da alcuni colleghi. Questa forma di controllo qualità sociale aiuta nella validazione della nuova conoscenza scientifica.
Valori sociali della scienza	L'attività scientifica include vari valori sociali tra cui utilità sociale, rispetto dell'ambiente, libertà, onestà, potere di decentramento, riconoscimento dei bisogni umani e uguaglianza dell'autorità intellettuale.
Organizzazioni e interazioni sociali	La scienza è organizzata socialmente in varie istituzioni, incluse università e centri di ricerca. La natura delle interazioni sociali tra membri di un team di ricerca che lavora su progetti diversi è governata da una gerarchia organizzativa. In un contesto organizzativo più ampio, la scienza è stata subordinata all'industria e alle forze di difesa.
Strutture di potere politico	L'attività scientifica avviene all'interno di un ambiente politico che impone i propri valori ed interessi. La scienza non è universale e i suoi risultati non sono sempre benefici per individui, gruppi, comunità o culture.
Sistemi finanziari	L'attività scientifica è vincolata da fattori economici. Gli scienziati raccolgono fondi per svolgere il loro lavoro, e enti governativi statali forniscono significativi livelli di fondi a università e centri di ricerca. Come tale, queste organizzazioni hanno una influenza sugli studi finanziati e condotti.

1.3 La ricerca sulla NOS

Negli ultimi settant'anni, la comunità scientifica ha prodotto innumerevoli studi relativi a varie linee di ricerca didattica collegate alla Natura della Scienza.

Di seguito sono riportati alcuni tra i risultati più significativi presenti all'interno della letteratura internazionale. Tali studi, dal momento della loro pubblicazione, hanno rappresentato un punto di riferimento per lo sviluppo di nuovi metodi di indagine e uno stimolo alla ricerca di soluzioni a problemi specifici.

1.3.1 Concezioni degli studenti

Nonostante l'importanza della comprensione e dell'insegnamento della NOS fosse stata riconosciuta come fondamentale già agli inizi dello scorso secolo, metodi e strumenti di valutazione delle idee degli studenti circa la Natura della Scienza sono stati formulati e validati soltanto a partire dagli anni '50.

I questionari utilizzati sono stati di diverso tipo (quesiti a risposta multipla, domande a risposta aperta su argomenti generali, interviste, questionari con scala Likert) e hanno avuto come target vari tipi di studenti (i più bravi e interessati, i meno preparati, etc.)

La prima indagine fu condotta da Leland Wilson (1954) ed era rivolta ad un gruppo di 43 studenti di una scuola superiore della Georgia (USA). Essa rivelò l'idea diffusa tra gli studenti che la conoscenza scientifica fosse assoluta e che lo scopo primario della scienza fosse quello di scoprire leggi naturali e verità.

Tutte le ricerche e gli studi successivi hanno sempre prodotto lo stesso risultato, in linea con le concezioni riscontrate da Wilson:

- Nell'analisi di Mead & Metraux (1957) fu impiegato un campione randomizzato a livello nazionale di 35.000 studenti statunitensi di varie età, sesso, distribuzione geografica e stato economico. A tutti fu chiesto di scrivere un saggio, la cui traccia era "Cosa pensi della scienza e degli scienziati?". I risultati rivelarono concezioni errate riguardo la scienza e la NOS.
- Mackay (1971) raccolse i dati su 1.203 studenti australiani dal 7° al 10° grado della scuola secondaria. Egli concluse che gli studenti avevano difficoltà nel comprendere:
 - a) il ruolo della creatività nella scienza
 - b) la funzione dei modelli scientifici
 - c) il ruolo delle teorie e delle loro relazioni con la ricerca
 - d) la distinzione tra ipotesi, leggi e teorie
 - e) la relazione tra sperimentazione, modelli e teorie, verità assoluta
 - f) il fatto che la scienza non si preoccupi solo di raccogliere e classificare dati
 - g) cosa sia una spiegazione scientifica
 - h) le interrelazioni e dell'interdipendenza tra i diversi rami della scienza.

Esaminando ragazzi di differenti classi di una grande scuola pubblica e di una piccola scuola privata con un test impostato sulla logica e sulla verifica delle ipotesi, Bady (1979) scoprì che la maggior parte degli studenti, indipendentemente dalla scuola o dall'anno scolastico, credeva che le ipotesi potessero essere opportunamente controllate e approvate con una verifica. Egli concluse che quegli studenti avessero una visione semplicistica e ingenuamente assoluta della natura scientifica delle ipotesi e delle teorie scientifiche.

In quegli stessi anni Peter Rubba (1976) stava sviluppando la "Nature of Scientific Knowledge Scale" (NSKS), uno strumento di valutazione basato su una scala Likert: essa consiste in 48 domande con cinque alternative di risposta (*fortemente d'accordo, d'accordo, neutrale, in disaccordo, fortemente in disaccordo*) basate sui 9 fattori della NOS di Showalter (1974). In seguito, Rubba (1977) accorpò alcuni fattori molto simili tra loro e li ridusse a 6 (amorale, creativo, provvisorio, parsimonioso, verificabile, unificato). Nei primi studi con questo strumento, egli scoprì che il 30% degli studenti di scuola superiore da lui intervistati credeva che la ricerca scientifica rivelasse verità incontrovertibili e necessariamente assolute (Rubba, 1977; Rubba & Andersen, 1978). Inoltre, la maggior parte di loro credeva che le teorie scientifiche, con continue operazioni di test e verifica, potessero tramutarsi in leggi. Col passare degli anni, data la sua grande adattabilità, l'NSKS subì ulteriori modifiche.

Successivamente Rubba, Horner & Smith (1981) scelsero un campione di 102 studenti del 7° e dell'8° grado, tra i più capaci e interessati alla scienza, per valutare la loro opinione sulle idee "le leggi sono teorie mature" e "le leggi rappresentano verità assolute". I risultati lasciarono sconcertati i ricercatori perché, nel complesso, i ragazzi tendevano a mostrarsi "neutrali" verso entrambe le idee.

Nelle ultime due decadi del Novecento sono aumentati gli studi aventi per oggetto le concezioni degli studenti, sia a livello di scuola superiore che universitario, ma nessuno studio è stato mai svolto con l'intento di identificare o testare possibili fattori causali.

Kang, Scharmann & Noh (2004) hanno sottoposto ad un quiz a risposta multipla un campione di 1.702 studenti della scuola del 6°, 8° e 10° grado della Corea del Sud. I risultati ottenuti sono stati in perfetto accordo con le ricerche precedenti: gli studenti sudcoreani testati avevano una visione empirico-assolutista della scienza.

Un filone di ricerca interessante è quello relativo allo studio delle “influenze ambientali” sulle concezioni degli studenti. Sutherland & Dennick (2002) cercarono di valutare le concezioni della NOS in studenti con diverse visioni del mondo. Il loro campione comprendeva 72 studenti del 7° grado di etnia Cree e 36 studenti del 7° grado canadesi di origine europea. I dati furono raccolti sia impiegando la NSKS, sia con delle interviste a tutti i ragazzi esaminati. Sebbene tra i due gruppi si evidenziassero delle differenze su vari aspetti della NOS, entrambi avevano visioni che sono considerate meno che adeguate rispetto a: provvisorietà, creatività, natura unificata della conoscenza, importanza della verifica empirica e natura amorale della conoscenza scientifica. I ricercatori scoprirono che sia la lingua che la cultura influenzavano le idee degli studenti, delineando un’area di ricerca da esplorare in modo più approfondito.

La conclusione generale che si ricava da tutti questi studi è che gli studenti non possiedono idee adeguate sulla Natura della Scienza. Sebbene queste ricerche siano state condotte su campioni non omogenei e con metodi differenti, sui quali qualcuno potrebbe sollevare dubbi circa la loro validità, è certamente significativo notare che tutte hanno prodotto gli stessi risultati.

1.3.2 Concezioni degli insegnanti

Le ricerche sulle concezioni degli insegnanti iniziarono a fiorire, per la maggior parte, successivamente a quelle condotte sugli studenti, perché vigeva l’idea che “un insegnante dovesse possedere un’adeguata conoscenza di ciò che andava a trasmettere ai suoi allievi”. Probabilmente, i risultati non soddisfacenti raggiunti dai ragazzi focalizzarono maggiormente l’attenzione della ricerca sulle concezioni dei loro maestri, anche se bisogna ammettere che il primo lavoro sulle idee degli insegnanti (Anderson, 1950) risulta comunque precedente a quello di Wilson (1954). Sottoponendo 58 insegnanti di biologia e 55 insegnanti di chimica del Minnesota a un questionario di 8 domande sul metodo scientifico, Anderson scoprì che entrambi i gruppi avevano concezioni della Natura della Scienza fortemente errate.

A partire dagli anni ’60 furono pubblicati numerosi studi sulle idee degli insegnanti: gli esiti purtroppo non si rivelarono soddisfacenti e, in alcuni casi, gli scarsi risultati evidenziarono una possibile incapacità di insegnare scienza. Furono eseguite numerose ricerche per individuare le cause di queste mancanze nei docenti di scienze, investigando

possibili correlazioni con particolari variabili accademiche quali, ad esempio, crediti di scienze delle scuole superiori, crediti di scienze del college, frequentazione di specifici corsi di scienze, media dei voti.

Carey & Stauss (1968), analizzando un campione di 17 futuri insegnanti di scienze in formazione presso l'Università della Georgia (USA), non trovarono alcuna relazione significativa tra queste variabili e le concezioni espresse dai futuri docenti ma, basandosi sui risultati, evidenziarono l'importanza che avrebbe potuto avere la frequentazione di un corso di metodi "specificamente orientato verso la NOS" per il miglioramento delle loro concezioni.

Due anni dopo, Carey & Stauss (1970) replicarono lo studio, stavolta su docenti di scienze in attività, e confermarono i risultati precedenti:

- a) Gli insegnanti, in generale, non possedevano adeguate concezioni della NOS
- b) Frequentare corsi di metodi scientifici produce un consistente miglioramento nel punteggio ottenuto nei test eseguiti prima e dopo il corso
- c) Non c'è correlazione tra le concezioni e le variabili accademiche, e nemmeno con gli anni di esperienza

A conclusione dello studio, essi consigliarono di includere corsi di storia e filosofia della scienza nei programmi di formazione degli insegnanti.

Tra i lavori più recenti, King (1991) studiò la preparazione in storia e filosofia della scienza di tredici futuri docenti in formazione presso l'Università di Stanford. Il dato più rilevante riguardava il fatto che la maggior parte "degli studenti" ritenesse più importante apprendere i principi chiave dell'insegnamento (preparazione delle lezioni, metodi di valutazione, etc.) rispetto alla storia e alla filosofia della scienza. Sebbene la maggior parte degli insegnanti fosse consapevole dell'importanza di queste due materie, la mancanza di preparazione in quell'ambito impediva loro di rendersi conto di come inserire tali aspetti all'interno dell'insegnamento.

King dovette concludere che la mancanza di preparazione in storia e filosofia della scienza condiziona fortemente l'insegnamento delle materie scientifiche.

1.3.3 Natura della Scienza e Fisica Quantistica: una nuova frontiera?

La Fisica Quantistica è l'ultimo argomento previsto nel programma di fisica della scuola superiore in molti Paesi. Essa rappresenta un *unicum* nel suo genere rispetto agli altri argomenti di fisica affrontati dagli studenti poiché, per averne piena comprensione, bisogna stravolgere gli schemi e le concezioni comuni agli argomenti precedenti. Già solo il problema della sua interpretazione mette in seria difficoltà le idee di ogni studente, evocando questioni filosofiche e paradossi.

Sono proprio le sue peculiarità che potrebbero rendere la fisica quantistica un argomento ideale per comprendere la vera Natura della Scienza, come testimoniato da uno studio condotto da Heike K. E. Stadermann & Martin J. Goedhart (2020) dell'Università di Groningen avente come oggetto le idee degli studenti sulla NOS in fisica quantistica.

Per la loro ricerca è stato selezionato un campione di 240 ragazzi tra i 17 e i 19 anni, frequentanti l'ultimo anno della scuola superiore in sei istituti pubblici in Olanda. Questi studenti appartenevano alle classi di otto insegnanti, dei quali solo uno aveva trattato esplicitamente nelle sue lezioni questioni di natura filosofica come l'interpretazione della fisica quantistica e il paradosso del gatto di Schrödinger. Gli altri sette si erano limitati a presentare gli argomenti proposti dai libri di testo, che non accennavano neanche minimamente alla NOS, e a mostrare la risoluzione di alcuni esercizi. Dopo aver assistito alle lezioni per un range variabile di 16-22 ore di lezione, agli studenti è stato somministrato un test di 20 domande a risposta multipla per verificare la loro conoscenza e comprensione di sette argomenti basilari della fisica quantistica, quali ad esempio: la natura ondulatoria della luce, l'effetto fotoelettrico, il modello quantistico dell'atomo, etc.

I risultati, riportati nell'istogramma in Figura 2, non sono stati esaltanti: un punteggio medio di 7,7 risposte corrette con una deviazione standard di 3,1.

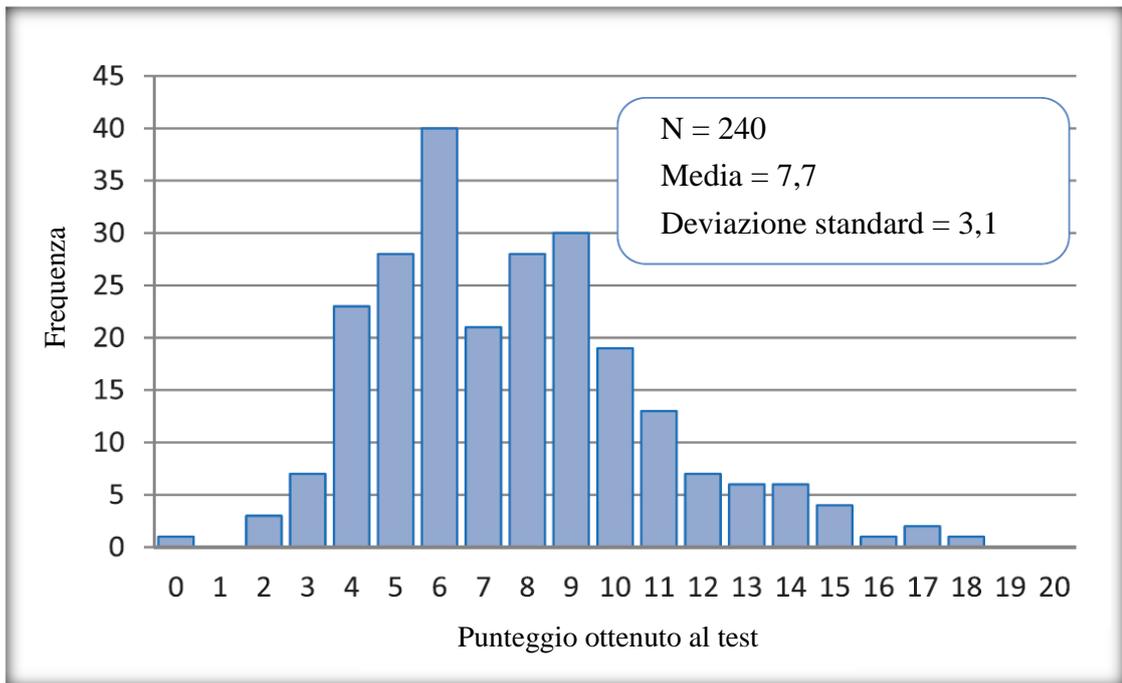


Figura 2 – Distribuzione dei risultati del test

Il campione è stato suddiviso in 3 fasce in base al punteggio totalizzato al test: meno di 6 punti, tra 6 e 12 punti, più di 12 punti.

Da questi gruppi sono stati selezionati 24 studenti: 6 dal primo gruppo, 13 dal secondo, 5 dal terzo e ognuno di essi è stato sottoposto alla stessa intervista, articolata in tre fasi. L'ultima fase riguardava l'analisi dei pareri degli studenti su cinque aspetti della NOS: il ruolo dei modelli scientifici, la provvisorietà della conoscenza scientifica, la creatività, la soggettività e le controversie nella scienza.

I risultati sono stati sorprendenti (Tab. 4): contrariamente a quanto emerso negli studi precedenti su altri argomenti di fisica, tutti gli studenti hanno dimostrato di avere una visione consapevole della Natura della Scienza in riferimento alla fisica quantistica. Ciò è sbalorditivo in quanto solo uno degli otto insegnanti ha parlato loro esplicitamente di questioni filosofiche/NOS e solo 6 ragazzi dei 24 hanno dichiarato, nella prima fase dell'intervista, di aver sentito parlare di filosofia della scienza (4 ad un corso di filosofia, 1 ad un corso di scienze e 1 per un suo interesse personale).

Bisogna però ammettere che l'esiguo numero di studenti che hanno partecipato a tutte le fasi dello studio (appena 24) rende la ricerca molto limitata; inoltre, lo stesso metodo

utilizzato per l'indagine sulla NOS, l'intervista, può aver condizionato positivamente i risultati della fase III.

Sarebbe dunque opportuno eseguire altre verifiche mirate di questo tipo allargando il campione e, se i risultati dovessero confermare quelli di Stadermann e Goedhart appena descritti, investire nell'insegnamento di questa teoria che sembra riuscire, più di altre, a stimolare i ragazzi verso riflessioni che portino alla vera comprensione della natura della conoscenza scientifica.

Tabella 4 – Risultati fase III

ASPETTO DELLA NOS	VISIONE DISINFORMATA	VISIONE INFORMATA	OSSERVAZIONI
Ruolo dei modelli scientifici	0	24	Sono state menzionate varie funzioni dei modelli, tutte adeguate
Provvisorietà della conoscenza scientifica	0	24	Tutti gli studenti hanno inteso la scienza come un processo in continua evoluzione
Creatività nella scienza	1	23	Per uno studente la creatività era compatibile con la fisica quantistica ma non con la fisica in generale
Soggettività nella scienza	0	24	Nessuno studente aveva una visione disinformata della soggettività in fisica quantistica
Controversie nella scienza	0	24	Tutti gli studenti distinguevano tra fisica quantistica e altri argomenti di fisica

1.4 Insegnamento e Apprendimento della Natura della Scienza

Il primo percorso di studi concepito per migliorare la comprensione della Natura della Scienza risale agli inizi degli anni '60: Klopfer (Klopfer & Cooley, 1963) sviluppò l'HOSC (History of Science Cases for High Schools), la cui connotazione principale era l'implementazione della storia della scienza al fine di ottenere importanti miglioramenti nelle idee degli studenti.

Il campione dello studio era costituito da 108 classi di scienze (biologia, chimica e fisica) per un totale di 2.808 studenti coinvolti. Dopo cinque mesi di corso, gli studenti sono stati sottoposti a un test di verifica che ha evidenziato significativi miglioramenti rispetto a quelli del gruppo di controllo, i quali non avevano seguito il corso facente capo all'HOSC. I risultati, inoltre, furono soddisfacenti per quanto riguarda tutte le materie studiate.

La grande estensione del campione contribuì a far ottenere credibilità e seguito al lavoro di Klopfer e Cooley che fu preso da esempio per lo sviluppo di successivi programmi scolastici, tra i quali: il "Biological Sciences Curriculum Study" (BSCS) e il "Physical Science Study Curriculum" (PSSC).

Nel 1961, Klopfer e Cooley avevano già ideato il TOUS (Test On Understanding Science), uno dei primi test utilizzati per la valutazione delle idee degli studenti. Questo strumento, che è stato uno tra i più utilizzati in ricerca didattica, consiste di 60 domande a risposta multipla con 4 alternative; oltre a quello generale, è possibile attribuire un punteggio anche per le tre sezioni "comprensione dell'attività scientifica", "lo scienziato", "i metodi e gli scopi della scienza".

Yager & Wick (1966) valutarono l'efficacia di vari *curricula* di biologia che si basavano su tre tipi di approccio:

- Approccio TL (Testi e Laboratorio), in cui si utilizzano solo i libri di testo e materiali di laboratorio a complemento.
- Approccio MRL (Laboratorio Multi-Referenziato), in cui, oltre ai materiali dell'approccio TL, si utilizzano anche testi, referenze ed estratti dalle opere scientifiche originali.
- Approccio MRLI (Laboratorio Multi-Referenziato e Idee), che include anche l'attenzione agli sviluppi storici dei concetti principali e dei principi scientifici.

I risultati migliori furono ottenuti con i gruppi sottoposti alla formazione di tipo MRLI seguiti, nell'ordine, da quelli MRL e poi TL. Yager e Wick conclusero che l'approccio MRLI (molto simile al programma HOSC) era nettamente migliore rispetto al più comunemente diffuso approccio TL.

Esistono però numerosi studi che certificano quanto il tipo di programma svolto non sia l'unico fattore determinante per una corretta comprensione dei concetti di NOS. In particolare:

- 1) Trent (1965) analizzò le concezioni di un campione di studenti da cinquantadue scuole superiori della California: una parte aveva seguito il corso di fisica tradizionale e l'altra il PSSC. Al termine dell'anno scolastico gli studenti furono sottoposti al TOUS che non evidenziò particolari differenze tra i due gruppi.
- 2) Jungwirth (1970) tentò di valutare l'efficacia del programma di biologia "BSCS versione Gialla", introdotto in Israele nel 1964. Il suo campione comprendeva 693 studenti del 10° grado provenienti da venticinque scuole superiori israeliane. Gli studenti furono testati sia all'inizio che alla fine dell'anno scolastico e non furono rilevate differenze rispetto al gruppo di controllo che aveva seguito il corso di biologia tradizionale.
- 3) Durkee (1974) lavorò con ventinove ragazzi di scuola superiore con ottimo livello di preparazione e che frequentavano un corso estivo di sei settimane trattante contenuti simili al PSSC. Gli studenti furono sottoposti al TOUS sia prima che dopo il corso e, dai risultati, non furono rilevati miglioramenti.

Questa inefficacia dei programmi può essere spiegata con l'introduzione di altre variabili che influenzano l'apprendimento degli studenti: una di queste è senza dubbio la figura dell'insegnante. Se infatti un programma risulta efficace con un docente e inefficace con un altro e la variabile rappresentata dagli allievi è "controllata", allora l'approccio educativo, lo stile e la personalità dell'insegnante devono costituire un fattore determinante (Trent, 1965).

Per comprovare l'influenza degli insegnanti sulle concezioni degli studenti, sono state condotte svariate ricerche, che si orientarono in due direzioni principali: una focalizzata sulle conoscenze dell'insegnante e l'altra su ciò che l'insegnante fa per influenzare la comprensione della Natura della Scienza da parte degli studenti.

In generale, tutti gli studi svolti hanno basato la loro indagine su due tipi di approccio all'insegnamento:

- *Approccio Implicito*: prevede attività pratiche di indagine o la storia della scienza per fornire alcuni aspetti della NOS, senza però alcun riferimento esplicito ad esso (Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002).

Con questo tipo di approccio si apprende la scienza “facendo scienza”. I programmi didattici sviluppati negli anni '60 e '70 (HOSC, PSSC, etc.) erano stati tutti strutturati seguendo un approccio implicito.

- *Approccio Esplicito*: tratta esplicitamente la Natura della Scienza e fornisce esercizi ed elementi di riflessione con cui gli studenti possono ragionare sulla NOS (Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002; Lederman, 2007).

Riassumendo i risultati delle prime ricerche sulla NOS, possiamo affermare che:

- Gli insegnanti di scienze non possiedono adeguate concezioni della Natura della Scienza.
- Miglioramenti nelle concezioni degli insegnanti sono stati raggiunti quando, nella loro formazione, sono stati inclusi gli aspetti storici della conoscenza scientifica o quando è stata prestata una particolare attenzione, diretta ed esplicita, nei confronti della Natura della Scienza.
- Le variabili accademiche non sono direttamente correlate alle concezioni degli insegnanti.

A partire dalla fine degli anni '80, gli studi sull'insegnamento e l'apprendimento sono stati condotti, oltre che per motivi squisitamente documentali, anche con un fine propositivo volto a fornire soluzioni per aiutare insegnanti e studenti.

Le ricerche hanno anche dimostrato che le idee degli studenti non sono influenzate solo dalle concezioni dei docenti e dal loro approccio educativo: questa visione semplicistica è stata smentita da numerosi studi. Esemplificativa è l'indagine condotta da Lederman (1999) su cinque insegnanti di biologia di scuola superiore con diversi anni di esperienza alle spalle: i dati sono stati raccolti nel corso di un intero anno scolastico attraverso interviste, questionari, osservazioni in classe, sia tra gli studenti che tra i docenti. I due insegnanti con più anni di esperienza (rispettivamente 14 e 15 anni) possedevano una buona conoscenza della Natura della Scienza ma nessuno degli studenti (neanche delle loro classi) dimostrò di possederne, questo perché gli insegnanti non intendevano trasmettere esplicitamente tali nozioni. Questo studio, oltre a smentire le relazioni tra concezioni degli insegnanti e pratica didattica, mise in evidenza l'importanza di una esplicita attenzione educativa verso la NOS.

Altre variabili che hanno influenza sugli studenti sono:

- Pressione nel trattare tutti i contenuti dei programmi (Abd-El-Khalick, Bell & Lederman, 1998; Duschl & Wright, 1989);
- Gestione della classe e principi organizzativi (Lantz & Kass, 1987; Lederman, 1995);
- Vincoli istituzionali (Brickhouse & Bodner, 1992);
- Esperienza di insegnamento (Brickhouse & Bodner, 1992; Lederman, 1995);
- Mancanza di risorse ed esperienze per valutare la comprensione della NOS (Abd-El-Khalick et al., 1998).

Bell, Lederman & Abd-El-Khalick (2000), in un altro studio sulle concezioni degli insegnanti in formazione, valutarono la conoscenza degli aspetti della Natura della Scienza di 13 insegnanti in pre-servizio con dei questionari a risposta aperta prima e dopo l'insegnamento a degli studenti. Sebbene tutti gli insegnanti avessero mostrato una buona comprensione della NOS, nessuno la integrava esplicitamente nelle proprie lezioni: la Natura della Scienza non costituiva uno dei loro obiettivi didattici, né essi tentarono di valutarne la comprensione da parte degli studenti.

Gli autori conclusero che possedere una adeguata conoscenza della Natura della Scienza non implica automaticamente che questa sarà inclusa all'interno della pratica didattica degli insegnanti. Inoltre, essi affermarono che la NOS dovesse essere inclusa tra gli obiettivi educativi all'interno dei programmi scolastici.

Abell, Martini & George (2001) monitorarono le concezioni di undici specializzandi per l'insegnamento alla scuola elementare durante un corso di metodi scientifici. Agli studenti fu chiesto di osservare la Luna ogni notte e di registrare le loro osservazioni. I docenti cercarono di essere più espliciti possibile riguardo alla NOS. Dopo l'indagine, gli studenti compresero che gli scienziati effettuano osservazioni e creano modelli ma non realizzarono che le osservazioni potevano precedere o seguire lo sviluppo di una teoria. Essi erano in grado di distinguere i processi di osservazione dalla formulazione di spiegazioni e di articolare gli aspetti della NOS ma non di vedere la connessione tra ciò che avevano imparato e ciò che avviene all'interno della comunità scientifica. Gli autori riconobbero l'importanza di essere espliciti nell'insegnamento della Natura della Scienza.

Al termine di un altro studio con alcuni insegnanti in formazione, impegnati in un corso di fisica presso l'Università Americana di Beirut, Abd-El-Khalick (2001) concluse che l'approccio esplicito e riflessivo all'insegnamento della NOS si era rivelato molto efficace.

Un notevole numero di studi, oltre a quelli già menzionati, ha dimostrato che l'approccio esplicito è generalmente più efficace di quello implicito, sia per insegnanti che per studenti, nell'insegnamento e nell'apprendimento della Natura della Scienza in tutti i differenti gradi scolastici (Lederman, 2007; Lederman & Lederman, 2014).

1.4.1 Il ruolo della storia della scienza

Già a partire dagli anni '60, la storia della scienza è stata considerata un buon mezzo per migliorare le concezioni degli studenti sulla NOS.

Lin & Chen (2002) improntarono su di essa un programma di formazione per aspiranti insegnanti di chimica di Taiwan. I sessantatré insegnanti coinvolti furono divisi in due gruppi: il gruppo sperimentale, a cui venivano proposti casi storici seguiti da discussioni e dibattiti che mettevano esplicitamente in risalto come gli scienziati sviluppassero la conoscenza; e il gruppo di controllo. I risultati evidenziarono miglioramenti significativi nella comprensione della Natura della Scienza degli insegnanti del gruppo sperimentale rispetto al gruppo di controllo; in particolare negli aspetti di creatività, natura soggettiva delle osservazioni e funzioni delle teorie scientifiche.

Gli autori confermarono l'efficacia dell'uso della storia della scienza quale strumento ottimale per la comprensione della NOS da parte degli insegnanti.

Esistono ricerche anche sul rapporto tra la storia della scienza e le idee degli studenti: Abd-El-Khalick & Lederman (2000) ne valutarono l'influenza nelle concezioni di 166 studenti universitari e 15 insegnanti di scienze in formazione presso l'Oregon State University. A tutte le unità del campione fu somministrato un questionario a risposta aperta sia all'inizio che al termine del corso: i risultati mostrarono che, prima del corso, la maggior parte degli intervistati possedeva una visione non adeguata della NOS e al termine dello stesso furono rilevati solo lievi miglioramenti. Inoltre, gli insegnanti in formazione ottennero risultati migliori rispetto agli studenti; probabilmente ciò è spiegabile col fatto che gli aspiranti insegnanti avevano già una adeguata struttura mentale derivata dall'aver frequentato in precedenza il corso di metodi scientifici.

CAPITOLO 2

DIDATTICA E NATURA DELLA SCIENZA

Rifacendosi all'idea universalmente accettata di trasposizione didattica formulata da Yves Chevallard (1991), i libri di testo, i programmi scolastici e gli organi di valutazione e analisi del funzionamento didattico costituiscono i “filtri” della noosfera ed influenzano la trasmissione della conoscenza (Fig. 3). Per l'insegnante, i libri di testo rappresentano uno degli strumenti di lavoro e un punto di partenza per la sua opera di trasposizione verso gli studenti. È essenziale dunque, oltre ad una adeguata preparazione del docente, una corretta impostazione dei libri scolastici.

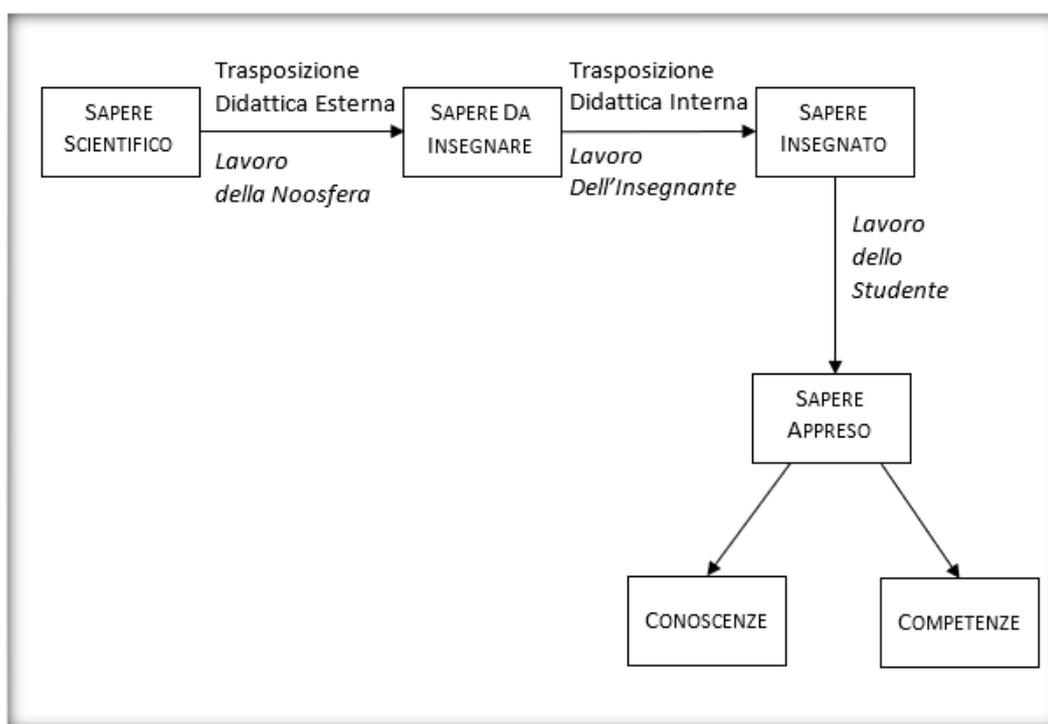


Figura 3 – Trasposizione didattica di Chevallard

Nei libri di testo per le discipline scientifiche è importante che, oltre al puro contenuto conoscitivo, sia messa in risalto anche la natura di quel contenuto per far comprendere appieno le implicazioni che quella legge, quel principio, quella formula, hanno nella realtà.

2.1 Model of Educational Reconstruction (MER)

Il primo passaggio, la trasposizione didattica esterna, risulta dunque fondamentale: per inquadrarlo in tutta la sua complessità è possibile utilizzare il consolidato Modello di Ricostruzione Educativa, in inglese “Model of Educational Reconstruction” (MER), che deriva dalla grande tradizione didattica tedesca.

Sviluppato originariamente per fini di ricerca, esso può essere impiegato con ottimi risultati anche nel campo dell’insegnamento scientifico. «Inizialmente, fu impiegato negli studi sulla ricostruzione educativa del *contenuto scientifico*; più recentemente si è compreso che anche i *processi scientifici* e le *concezioni della Natura della Scienza* avevano bisogno di subire questo processo per consentire un efficiente insegnamento e apprendimento degli argomenti scientifici. Questo modello collega strettamente la ricerca sulla struttura del contenuto scientifico e il significato educativo delle sue parti, e include anche studi empirici sulla comprensione degli studenti e prove preliminari di moduli didattici pilota nella pratica scolastica.» (Duit et al., 2012).

Il MER è basato su una posizione epistemologica costruttivista (Phillips, 2000). Il principio cardine di questo modello è quello di considerare le concezioni degli studenti non come un ostacolo all’apprendimento ma come un parametro essenziale per la pianificazione dei programmi e dei materiali didattici (Driver & Easley, 1978; Duit & Treagust, 2003; Treagust & Duit, 2008).

I contenuti scientifici insegnati sono il frutto di una selezione operata all’interno della comunità scientifica e qualsiasi loro presentazione all’interno dei libri di testo risulterà dunque una ricostruzione effettuata dagli autori secondo dei loro specifici scopi. In quest’ottica bisogna dunque considerare i libri di testo come descrizioni di concetti, principi e teorie e non come resoconti della realtà. Nella maggior parte dei casi, la conoscenza scientifica ha una validità fortemente inter-soggettiva rispetto alla conoscenza quotidiana ma, come quest’ultima, è pur sempre un sistema di costrutti mentali. Queste considerazioni valgono anche per i processi scientifici e la Natura della Scienza. In ogni caso, bisogna tener conto del fatto che il consenso riguardo le caratteristiche particolari dei processi scientifici e la Natura della Scienza è molto meno consolidato rispetto a quello sul contenuto scientifico (Lederman, 2007).

L’idea chiave della ricostruzione educativa è che la *struttura del contenuto scientifico* debba essere trasformata in *struttura del contenuto per l’istruzione*.

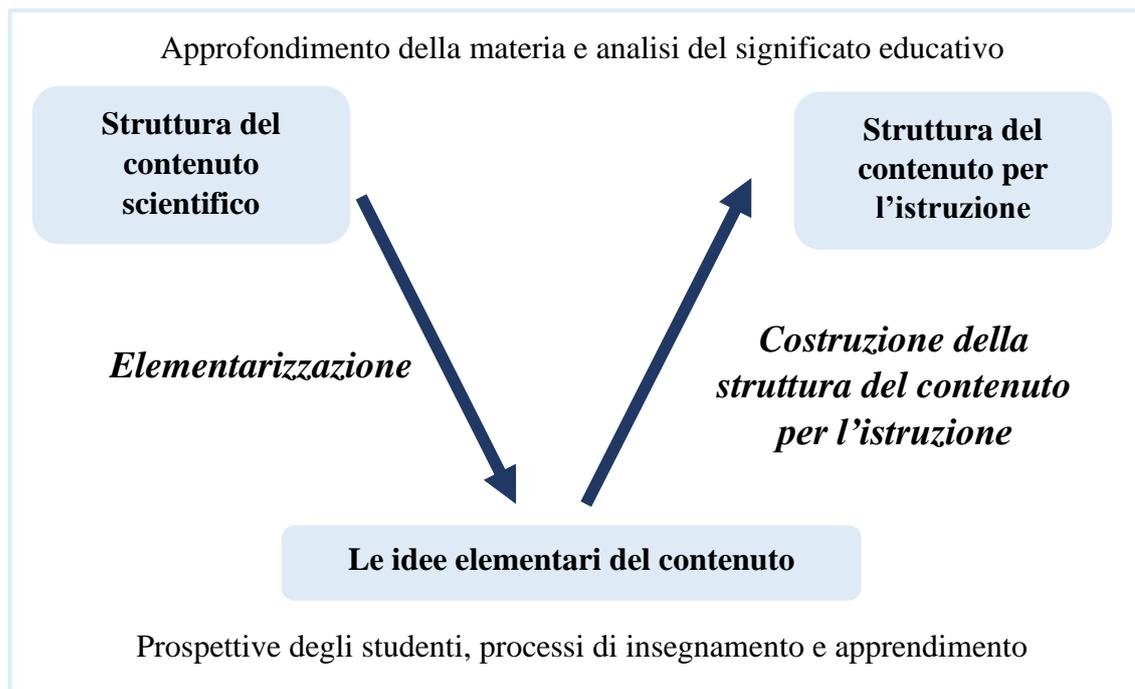


Figura 4 – Passaggi per la formazione della struttura del contenuto per l'istruzione

Come evidenziato in Figura 4 sono necessari altri due processi.

A. *Elementarizzazione*, che a sua volta include tre step:

1. Individuazione delle caratteristiche essenziali (gli elementi) del contenuto da trattare, ad esempio leggi generali, principi e fenomeni di base. Anche entità appartenenti ad un dominio complesso, come teorie scientifiche elaborate, possono essere considerate elementi in quanto si rivelano utili alla comprensione di altri concetti. Ad esempio, parlando di *Energia* si affrontano i concetti di Trasformazione, Degradazione, Conservazione e Trasferimento dell'energia (Duit & Häußler, 1994). Gli studenti trovano molto utile il concetto di degradazione dell'energia per comprendere quello di conservazione. Infatti, mentre la degradazione dell'energia si manifesta in tutti i processi del mondo reale, la conservazione può essere "osservata" solo in particolari esperimenti progettati appositamente e non nei processi quotidiani.
2. Riduzione della complessità del contenuto scientifico in modo che sia accessibile agli studenti. Ciò non vuol dire puramente "semplificare" il contenuto, perché lo scopo non è rendere la scienza più semplice ma trovare un

modo per introdurre gli studenti alle caratteristiche elementari di un contenuto che deve essere ricostruito nella ricerca degli elementi di cui sopra.

Molti, tra insegnanti ed educatori, pensano erroneamente che la struttura del contenuto per l'istruzione debba essere "più semplice" della struttura del contenuto scientifico, in modo da essere di facile comprensione per gli studenti. Diventerebbe, dunque, un processo di *riduzione*. In realtà, proprio per venire incontro ai bisogni degli allievi, esso deve essere molto più complesso. È infatti necessario inserire la conoscenza scientifica astratta in vari contesti per rivolgersi alle potenzialità d'apprendimento e alle difficoltà degli studenti.

3. Pianificare processi di apprendimento come una serie di metodi educativi che consentono di aiutare gli studenti nel passaggio dalle loro concezioni pre-scolastiche ai concetti scientifici (Bleichroth, 1991).

Si comprende, quindi, come il processo di *elementarizzazione* sia una delicata opera di mediazione tra la correttezza dei contenuti e l'accessibilità per i discenti.

B. *Costruzione della struttura del contenuto per l'istruzione*

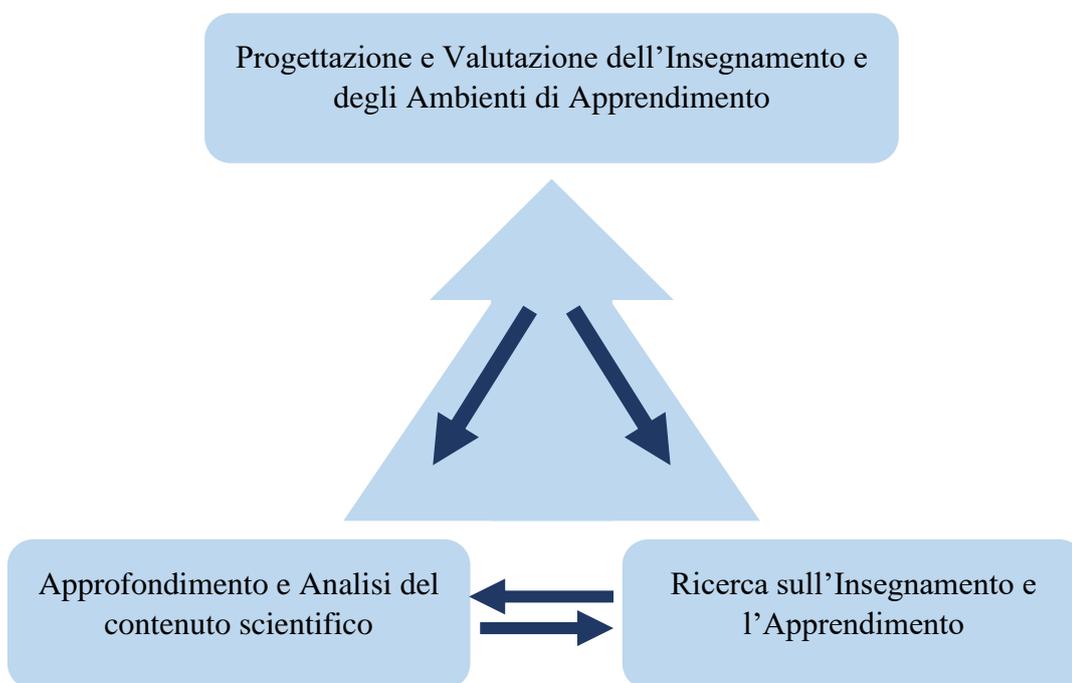


Figura 5 – *Le tre componenti del Modello di Ricostruzione Educativa*

Il Modello di Ricostruzione Educativa è costituito da tre componenti fortemente correlate (Fig. 5).

Approfondimento e Analisi del contenuto scientifico: comprende i processi di *Approfondimento dell'argomento e analisi del significato educativo*.

Il primo è un'analisi qualitativa del contenuto che si vuole insegnare, riportato nei libri di testo principali e nelle pubblicazioni chiave, e tiene conto anche del suo sviluppo storico.

Il secondo processo, un'analisi critica del contenuto scientifico, è necessario in quanto i testi accademici si rivolgono a scienziati ed esperti del settore ed è risaputo che la conoscenza scientifica spesso venga presentata in maniera astratta e condensata.

Ricerca sull'Insegnamento e l'Apprendimento: costituiscono il punto di partenza dei processi di Approfondimento e Analisi del contenuto scientifico e di Costruzione della struttura del contenuto per l'istruzione. In letteratura sono presenti numerosi lavori sull'insegnamento e sull'apprendimento della scienza: dagli studi delle concezioni degli studenti alle ricerche sui metodi educativi, passando per le indagini su possibili variabili d'influenza dell'apprendimento.

Progettazione e Valutazione dell'Insegnamento e degli Ambienti di Apprendimento: è inclusa la progettazione di materiali educativi, attività didattiche e sequenze di insegnamento e apprendimento. Questa progettazione è fortemente influenzata dai bisogni specifici e dalle capacità di apprendimento degli studenti nel raggiungere gli obiettivi prefissati. Vari metodi empirici sono utilizzati per valutare i materiali e le attività da progettare, ad esempio interviste con studenti e insegnanti, questionari sullo sviluppo delle variabili cognitive degli studenti e analisi di pratiche scolastiche video-documentate.

Come si evince anche in Figura 6, c'è una fondamentale interazione tra le tre componenti del MER. Non bisogna pensare, però, che vi sia una sequenza fissa tra di esse, bensì vi è una forte influenza reciproca. Il processo di ricostruzione va inteso come una procedura *step by step* consistente di molti passaggi ricorsivi tra le componenti.

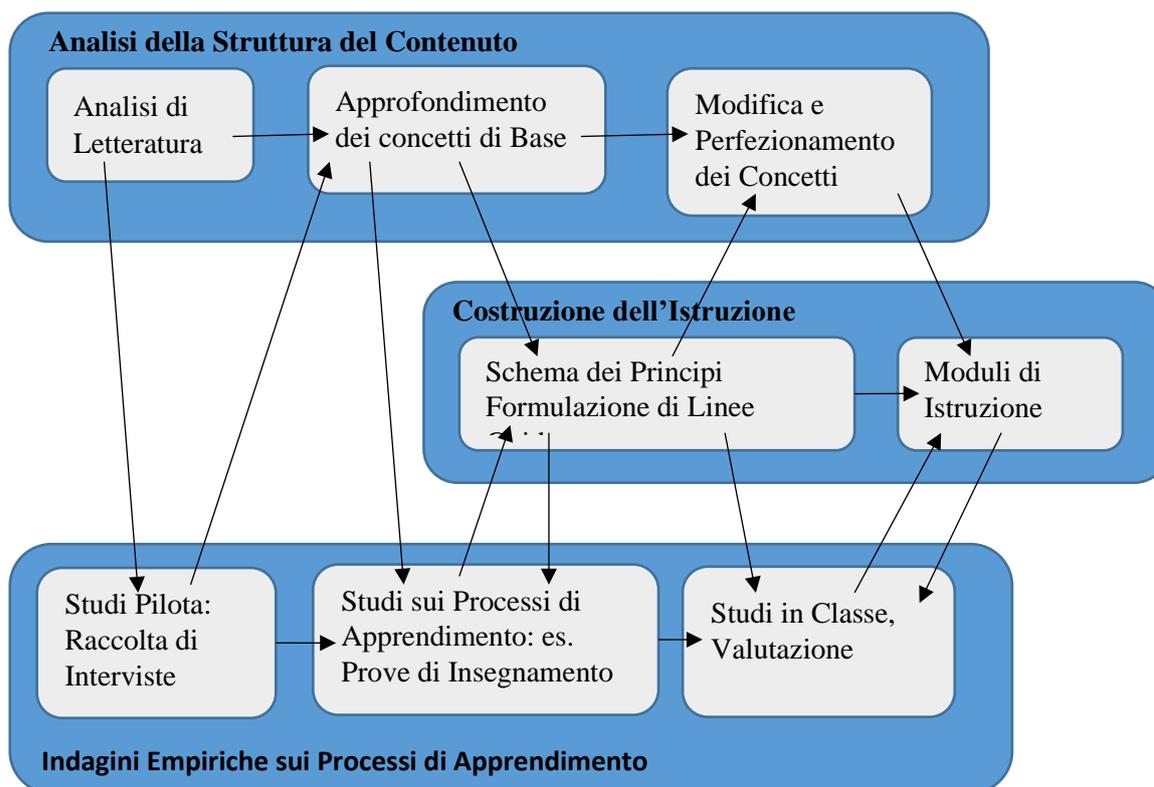


Figura 6 – Esempio di processo ricorsivo di Ricostruzione educativa (Kattmann et al., 1995)

2.2 Rappresentazione della Natura della Scienza nei libri di testo

La rappresentazione della Natura della Scienza nei libri di testo può avvenire con due tipi di approccio: esplicito ed implicito (Abd-El-Khalick et al. 2008, 2017).

- Si parla di approccio esplicito quando vengono fornite discussioni chiare o spunti di riflessione per aiutare i ragazzi a comprendere le caratteristiche, lo sviluppo e la validità della conoscenza scientifica.
- Si parla, invece, di approccio implicito quando vengono fornite idee che hanno bisogno di una riflessione propria o del supporto dell'insegnante affinché si arrivi alla piena comprensione dell'aspetto della NOS presentata nel testo.

La fisica, in quanto materia, si presta bene ad includere al suo interno la storia della scienza, argomento fortemente collegato con la sfera della NOS. Essa infatti suscita questioni filosofiche che possono risultare utili agli studenti per riflettere sui cambiamenti storici nei sistemi della conoscenza e nello sviluppo di strumenti

epistemici progressivamente utilizzati per testare, valutare, e accettare pezzi di conoscenza come “veri” (Stadermann & Goedhart, 2020; Levrini et al., 2014). Il progresso della fisica nella storia ha spesso rappresentato una fonte di conoscenza per investigare possibili parallelismi tra l’idea in evoluzione nell’apprendimento e lo sviluppo storico della fisica in quanto disciplina (Matthews, 1994).

Diverse ricerche, infatti, hanno dimostrato che un altro possibile modo per rappresentare particolari aspetti della NOS è attraverso la storia e la filosofia della scienza, per la possibilità di contestualizzare le scoperte e le innovazioni scientifiche. L’esame del contesto storico risulta efficace per migliorare la comprensione della NOS da parte degli studenti e, per tale motivo, alcuni studi hanno considerato la presenza di questo elemento nell’analisi dei libri di testo.

Un altro parametro, spesso oggetto di valutazione nella ricerca, è il grado di accuratezza e completezza con cui vengono rappresentati i vari aspetti della Natura della Scienza. In Tabella 5 sono riportati i quattro possibili livelli utilizzati negli studi di Abd-El-Khalick et al. (2008,2017).

Tabella 5 – Rubrica di valutazioni del Grado di accuratezza e completezza di un testo che analizza la NOS (Abd-El-Khalick et al. 2008, 2017)

LIVELLO	DESCRIZIONE
 informato	È fornita una rappresentazione precisa e completa
 Parzialmente informato	È fornita una rappresentazione precisa ma incompleta
 Misto	È fornita una rappresentazione sia informata che ingenua
 Ingenuo	È fornita una rappresentazione errata

Negli ultimi decenni, sono stati condotti un gran numero di studi e ricerche sulla rappresentazione della NOS nei libri di testo.

Chiappetta et al. (1991), analizzando sette libri di chimica di scuola media degli Stati Uniti, hanno valutato la quantità e la distribuzione di quattro particolari aspetti della Natura della Scienza: “scienza come insieme di conoscenze”, “scienza come metodo di indagine”, “scienza come modo di pensare”, “le relazioni tra scienza, tecnologia e

società”. I risultati hanno portato alla conclusione che i quattro aspetti analizzati erano distribuiti in maniera sbilanciata all’interno dei libri, i quali enfatizzavano eccessivamente il contenuto e il linguaggio scientifico ma trascuravano passaggi e riflessioni sulla scienza come processo logico, dedicando anche pochissimo spazio alla formazione e allo sviluppo della conoscenza scientifica.

Chiappetta & Fillman (2007) hanno effettuato la stessa valutazione su cinque libri di biologia della scuola superiore americana. Stavolta i quattro aspetti erano collocati e trattati in maniera più uniforme all’interno dei libri rispetto allo studio precedente.

Identica analisi è stata svolta da Lumpe & Beck (1996) con dei libri di biologia della scuola superiore e da Phillips et al. (2015) con dei libri di scienze della scuola primaria degli Stati Uniti. Come nel primo studio di Chiappetta, i testi presentavano un eccesso di contenuti scientifici a discapito della trattazione dei quattro aspetti della NOS presi in esame.

Niaz & Maza (2011) hanno valutato la rappresentazione della Natura della Scienza nei capitoli introduttivi di 75 libri di chimica in uso negli Stati Uniti. Per effettuare la valutazione si sono basati su nove criteri, per ognuno dei quali era possibile assegnare un giudizio: Non menzionata, Menzionata, Soddisfacente. La maggior parte dei testi ha ricevuto il giudizio peggiore (Non menzionata) con un range dal 44% (Criterio 1) al 94,7% (Criterio 8), mentre il giudizio “Soddisfacente” è stato assegnato con un range dall’1,3% (Criterio 2) al 17,3% (Criterio 1).

Aydin & Tortumlu (2015) hanno pubblicato uno studio in cui sono stati analizzati molti libri di chimica per la scuola superiore, utilizzati in Turchia. La loro analisi si è concentrata, oltre che sui vari aspetti della NOS, anche sul tipo di rappresentazione (approccio esplicito, implicito e storico) e sull’inserimento della stessa all’interno del testo (incorporata in un contenuto o inserita in modo generico). Alla fine, hanno tratto le seguenti conclusioni:

- La frequenza delle rappresentazioni della Natura della Scienza diminuiva man mano che aumentava il grado della classe.
- La NOS era maggiormente presentata in maniera implicita.

- La Natura della Scienza, di solito, era incorporata in un contenuto nei libri di testo del 9° e 10° grado, mentre nei libri del 12° grado era presentata per lo più in modo generico.

Upahi et al. (2020) hanno constatato una distribuzione non uniforme di differenti aspetti della NOS all'interno di tre libri di chimica utilizzati in Nigeria e, in particolare, una mancata rappresentazione di "natura interdisciplinare della scienza" ed "uso dei modelli".

Tra i lavori più illustri nella valutazione della rappresentazione della NOS nei libri di testo, notevole è stato il contributo apportato da Fouad Abd-El-Khalick.

Degna di interesse è l'analisi condotta su quattordici libri di chimica per la scuola superiore, nelle loro diverse edizioni, utilizzati negli Stati Uniti in un arco temporale di 40 anni (Abd-El-Khalick et al., 2008).

Sono stati analizzati i dieci aspetti della NOS individuati da Abd-El-Khalick (cfr. Tab. 1), l'approccio della rappresentazione e il grado di accuratezza, completezza e coerenza con cui erano rappresentati (cfr. Tab. 5).

I risultati hanno rivelato che la rappresentazione della Natura della Scienza non era adeguata agli standard richiesti dal documento di riforma dell'educazione scientifica approvato negli Stati Uniti. Un altro dato interessante emerso da questa ricerca è il fatto che non vi sono state variazioni significative nella rappresentazione della Natura della Scienza tra le varie edizioni dei libri di testo e tra i testi stessi.

Una decina d'anni dopo, Abd-El-Khalick et. al (2017) hanno concluso un altro studio su diciotto libri di fisica e sedici libri di biologia della scuola superiore, utilizzati negli ultimi 30 anni. Anche in questo caso, non sono state apprezzate variazioni significative tra i diversi testi utilizzati, nel periodo considerato. Tra i vari dati, è emerso che la rappresentazione della Natura della Scienza occupava meno del 2,5% delle pagine dei testi.

La struttura di analisi introdotta da Abd-El-Khalick è stata utilizzata da ricercatori anche in altri Stati: nel 2014 Chaisri & Thatong giunsero alla conclusione che raramente era utilizzato l'approccio esplicito nella rappresentazione della NOS all'interno di alcuni libri di biologia utilizzati nella scuola media in Thailandia; nel 2016 Ramnarain & Chanetsa hanno stabilito che la rappresentazione della maggior parte degli aspetti della

NOS non era adeguata nei tre libri di scienze in uso in Sudafrica, oggetto della loro indagine.

Nel 2020, Li et al. hanno valutato la presenza dei dieci aspetti della NOS, individuati da Abd-El-Khalick, all'interno di cinque versioni di libri di fisica dell'8° grado utilizzati nella Cina continentale. Sorprendentemente, la distinzione tra leggi e teorie scientifiche non era stata rappresentata in nessuno dei testi selezionati e la maggior parte delle rappresentazioni era stata realizzata con un approccio di tipo implicito.

Nel 2021, Haoli Zhuang et. al hanno utilizzato lo schema di Abd-El-Khalick per analizzare la rappresentazione della NOS in cinque libri di fisica utilizzati al 1° anno della scuola superiore nella Cina continentale. I risultati non sono stati positivi:

- In tutti i libri analizzati le rappresentazioni della NOS erano distribuite in modo non uniforme tra le pagine, e si concentravano maggiormente nelle prefazioni e nei poscritti dei capitoli.
- Più della metà degli aspetti della Natura della Scienza erano presentati in modo implicito.
- Il metodo scientifico era rappresentato male o incoerentemente in tre libri su cinque.

2.3 La Natura della Scienza nel programma italiano di fisica

Negli ultimi anni si è iniziato ad indagare sulla presenza e sulla rappresentazione della Natura della Scienza anche all'interno dei programmi scolastici.

Spesso, tali programmi si presentano come poco più di una mera raccolta di concetti e tralasciano quasi completamente i fondamenti epistemologici e filosofici della fisica. Ciò ha una ricaduta consequenziale sugli studenti in quanto gli insegnanti, per preparare le loro lezioni, si affidano molto ai libri di testo modellati su questi programmi.

La ricerca ha mostrato che fornire elementi di Natura della Scienza aumenta l'interesse degli studenti verso la fisica e lo stesso può dirsi della storia e della filosofia della scienza. Uno dei primi Paesi a includere tali elementi nei propri programmi scolastici sono stati gli USA con la pubblicazione di "*Science for all Americans*" (AAAS, 1989) e di "*Science Education Content Standards*" (NRC, 1996).

Nel primo di questi documenti sono definite 3 componenti della Natura della Scienza:

- Visione del mondo scientifico – il mondo è comprensibile, le idee scientifiche sono soggette al cambiamento, la conoscenza scientifica è durevole, la scienza non può fornire risposte complete a tutte le domande;
- Metodi scientifici di indagine – la scienza esige evidenza, la scienza è un misto di logica e immaginazione, la scienza spiega e predice, gli scienziati cercano di identificare ed evitare pregiudizi, la scienza non è autoritaria;
- Natura dell'attività scientifica – la scienza è un'attività sociale complessa, la scienza è organizzata in discipline contenutistiche ed è condotta in varie istituzioni, ci sono principi etici generalmente accettati nella condotta della scienza, gli scienziati partecipano negli affari pubblici, sia come specialisti che come cittadini.

Alla fine del secolo scorso, il programma scolastico di Hong Kong (Curriculum Development Council, 1998) incluse tra i suoi obiettivi il riconoscimento e la comprensione della natura evolutiva della scienza, incoraggiando gli insegnanti a condurre indagini scientifiche nelle loro classi, invocando le investigazioni come uno strumento ideale per l'apprendimento della conoscenza scientifica, evidenziando lo sviluppo delle pratiche di indagine ed abilità generiche come la collaborazione e la comunicazione.

Recentemente, anche Nuova Zelanda e Irlanda hanno incluso esplicitamente la NOS nei propri programmi. In quelli italiani, invece, non vi sono sezioni esplicite dedicate appositamente alla Natura della Scienza, pertanto studi specifici risultano complessi.

In particolare, Caramaschi et al. (2021) hanno analizzato il contenuto di Natura della Scienza nel programma di fisica del Liceo Scientifico in Italia, che negli ultimi anni risulta essere l'indirizzo di scuola secondaria superiore con il maggior numero di nuove iscrizioni (MIUR, 2019).

Il piano di studi per il Liceo Scientifico prevede, per tutti i suoi curricula, 66 ore l'anno nel primo biennio e 99 ore l'anno nel triennio finale, dedicate alla fisica (MIUR, 2010a). Il documento con le indicazioni specifiche per l'insegnamento (MIUR 2010b) è diviso in due sezioni: "Linee generali e competenze" e "Obiettivi specifici di apprendimento", quest'ultima articolata in 3 parti (Primo Biennio, Secondo Biennio e Quinto Anno).

Per l'analisi è stato usato l'Approccio di Somiglianza Familiare (FRA) teorizzato da Erduran & Dagher (2014a). Due ricercatrici, attraverso una scrupolosa analisi del testo,

hanno analizzato entrambe le sezioni e, per ognuna, hanno cercato di individuare i possibili riferimenti alla struttura del FRA implicitamente inseriti nel documento.

Al termine della raccolta dei dati, le ricercatrici hanno individuato 52 riferimenti alla NOS (Tabella 6) con una concordanza dell'84,6 % ed è emerso che:

- soltanto 6 trattavano aspetti socio-istituzionali; gli altri 46 erano tutti riconducibili ad aspetti cognitivo-epistemici.
- 3 aspetti socio-istituzionali (attività professionali, ethos scientifico e strutture di potere politico) non erano proprio trattati.

Questo sbilanciamento è stato riscontrato anche in altri studi aventi per oggetto il programma di scienze in Irlanda (Erduran & Dagher, 2014b), in Turchia (Kaya et al., 2019) e a Taiwan (Yeh et al., 2019).

I dati raccolti sono stati poi analizzati con uno strumento in grado di stabilire le possibili connessioni tra di essi: l'Epistemic Network Analysis (ENA). Lo scopo dello studio, infatti, non era solo quello di verificare quali categorie di NOS fossero presenti all'interno del programma di fisica ma anche di capire quali categorie fossero interconnesse tra di loro e di come apparisse l'intera struttura olistica. In sostanza, ogni volta che due o più aspetti della struttura FRA erano presenti all'interno della stessa frase, il software ENA creava un collegamento tra essi. Se era presente una sola categoria del FRA, nessun collegamento era creato. Questo metodo di analisi consente di individuare subito le categorie più interconnesse.

Tabella 6 – Risultati Analisi Categorie FRA

Categorie FRA	Aspetti cognitivo-epistemici				Aspetti socio-istituzionali							Tot
	S&V	P	M&RM	C	A	Ethos	Cert	Val	Org	Pol	Fin	
Rilevati da entrambi i ricercatori	3	10	8	19	0	0	1	1	2	0	0	44
Rilevati da un ricercatore	0	2	1	3	0	0	0	1	0	0	1	8
Totali	3	12	9	22	0	0	1	2	2	0	1	52

S&V	Scopi e valori	Cert	Certificazione e diffusione sociale
P	Pratiche Scientifiche	Val	Valori sociali della scienza
M&RM	Metodi e regole metodologiche	Org	Organizzazioni e interazioni sociali
C	Conoscenza scientifica	Pol	Strutture di potere politico
A	Attività Professionali	Fin	Sistemi finanziari
Ethos	Etica scientifica		

Sono stati prodotti grafici sia generali che specifici (solo per la prima sezione del documento, per i bienni di studio, etc.) in cui lo spessore delle linee è proporzionale al numero di collegamenti tra gli aspetti.

Nel grafico generale e omnicomprensivo (Fig. 7) si nota che la maggior parte dei collegamenti sono quelli tra “pratiche scientifiche” e “conoscenza scientifica”, “pratiche scientifiche” e “metodi e regole metodologiche”, “conoscenza scientifica” e “metodi e regole metodologiche”. Le connessioni meno frequenti sono quelle tra categorie appartenenti a due aspetti differenti (cognitivo-epistemici e socio-istituzionali) o tra le categorie degli aspetti socio-istituzionali.

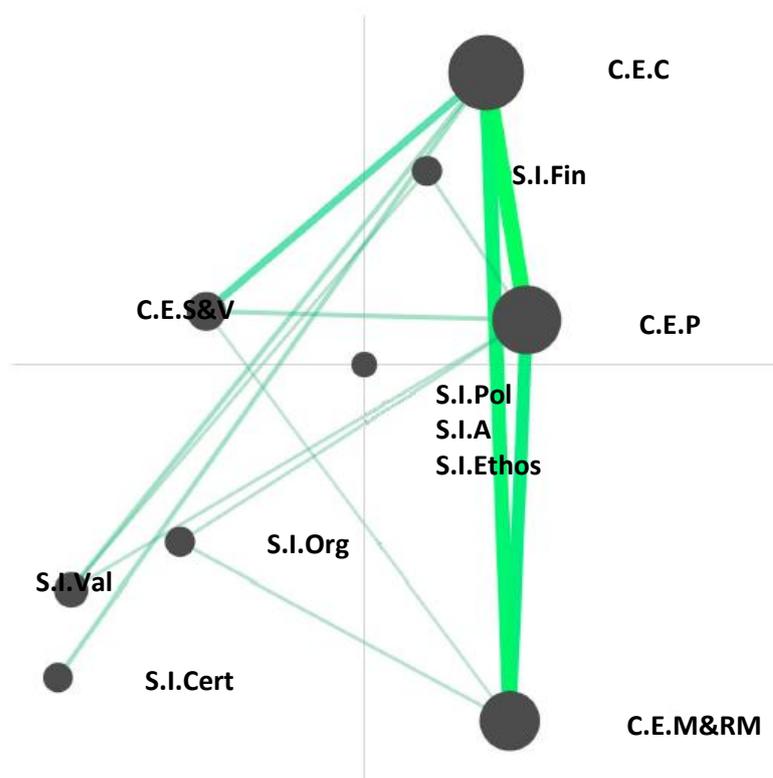


Figura 7 – Panoramica generale delle connessioni

L’assenza, o in alcuni casi la debolezza, di connessioni tra le categorie degli aspetti socio-istituzionali rappresenta una mancanza non di poco conto, in quanto le connessioni tra “organizzazioni e interazioni sociali”, “strutture di potere politico” e “sistemi finanziari” sono caratteristiche chiave della struttura FRA. Tali connessioni

sono ritenute vitali per la comprensione degli studenti riguardo al modo di operare della comunità scientifica all'interno dell'ambiente sociale e culturale (Erduran & Dagher, 2014a).

Analizzando i grafici relativi alle due sezioni del documento, “Linee generali e competenze” (Fig. 8a) e “Obiettivi specifici di apprendimento” (Fig. 8b), si nota che nella prima sezione sono presenti molte connessioni, maggiormente concentrate tra gli aspetti cognitivo-epistemici. Il grafico della seconda sezione, invece, presenta meno collegamenti, il più forte dei quali è tra “conoscenza scientifica” e “pratiche scientifiche”.

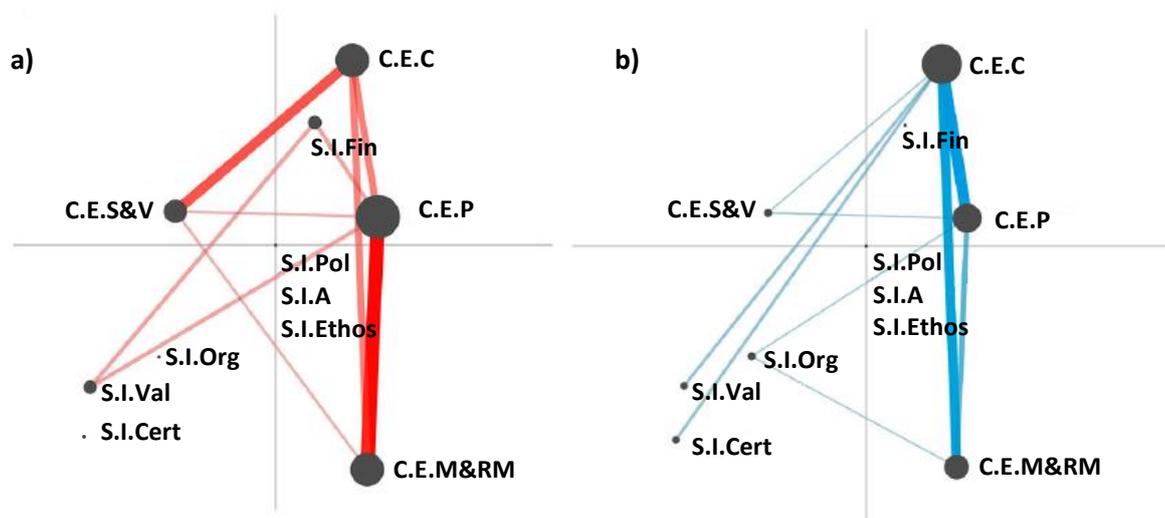


Figura 8 – Rappresentazioni delle connessioni nelle sezioni del programma italiano di Fisica

Se si prendono in considerazione le tre sottosezioni degli “Obiettivi specifici di apprendimento” (Fig. 9), si evince che la sottosezione relativa al primo biennio (Fig. 9a) presenta solo tre aspetti (conoscenza, pratiche, metodi e regole metodologiche), tutti interconnessi tra loro. Nel secondo biennio (Fig. 9b) e nell’ultimo anno (Fig. 9c) aumentano le categorie trattate e le connessioni ma la loro articolazione rimane, sorprendentemente, inferiore rispetto a quella della sezione “Linee generali e competenze”. Le connessioni nella seconda sezione non sono, quindi, né esplicite né particolarmente forti.

Le differenti strutture delle due sezioni del programma italiano mettono in luce un problema spesso percepito anche dagli insegnanti: una sorta di distacco tra gli obiettivi decantati nella sezione generale e la descrizione dei contenuti riportata nella sezione

specifica. Questa differenza lascia agli insegnanti una certa discrezionalità nella scelta di come trattare la Natura della Scienza, in base al proprio stile, gusto e posizioni epistemologiche.

In Italia, dunque, il programma di fisica del principale indirizzo scientifico di scuola superiore si dimostra lacunoso e non fornisce alcuna indicazione esplicita agli insegnanti per quanto concerne la Natura della Scienza.

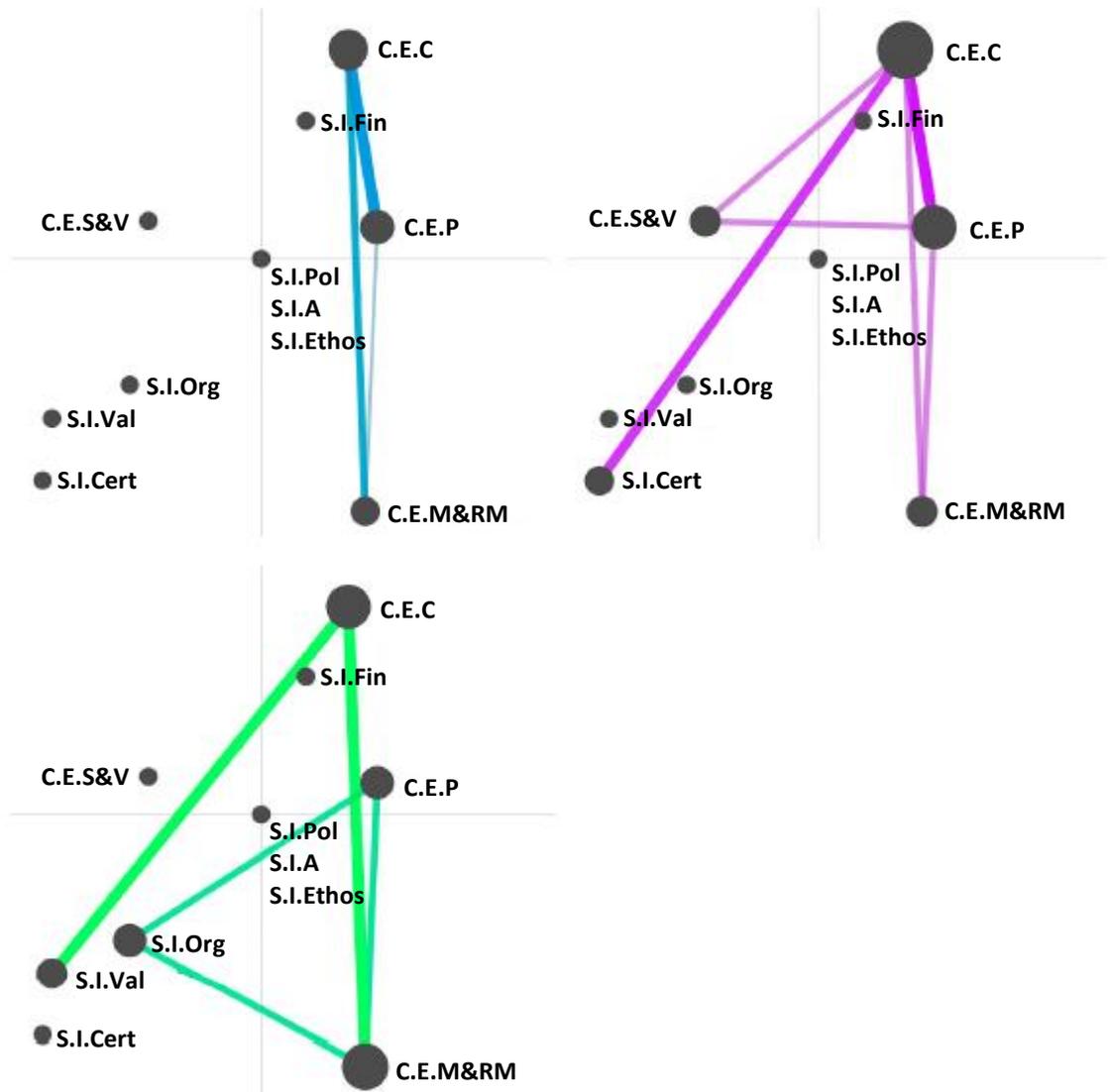


Figura 9 – Rappresentazioni delle connessioni nelle sottosezioni della seconda parte del programma

CAPITOLO 3

ANALISI DEI LIBRI DI TESTO

La fisica quantistica rappresenta una materia ampia e complessa da trattare.

I programmi di fisica della scuola superiore in vigore fino agli inizi del nostro secolo non includevano questo argomento e ancora oggi qualcuno potrebbe aver da ridire circa l'insegnamento di una teoria così complicata e difficile per gli studenti.

Essa, infatti, stravolge completamente il modo di pensare e ragionare costruito negli anni precedenti, presentando concetti e interpretazioni inusuali e contro-intuitive come la probabilità ontologica e il principio di indeterminazione, la quantizzazione delle grandezze e la revisione del determinismo.

Tuttavia, nei programmi scolastici attualmente in vigore si è ritenuto opportuno fornire almeno le basi concettuali per una comprensione qualitativa di molti fenomeni che sono alla base del funzionamento di dispositivi di uso comune (laser, fotocellule, computer, etc.).

All'interno di questo campo è possibile individuare tre ambiti concettuali e teorici distinti: la fisica dei quanti dei primi decenni del secolo XX, la meccanica quantistica, la teoria quantistica dei campi e il modello standard (Besson, 2015).

I libri di testo della scuola superiore generalmente trattano solo i primi due ambiti, dedicando ad ognuno di essi un capitolo nella sezione finale del tomo dell'ultimo anno.

In questo capitolo sono riportati i risultati di un'analisi comparata effettuata su 4 diversi libri di testo in uso nella scuola superiore italiana negli ultimi anni, al fine di verificare come in essi sia rappresentata la Natura della Scienza.

3.1 Materiali

I testi scolastici oggetto dell'analisi sono stati:

Testo A: CAFORIO-FERILLI "*FISICA*" 1^a edizione Marzo 2005, ISBN 9788800483049

Testo B: FABBRI-MASINI-BACCAGLINI "*PHOENOMENA LS3*" 1^a edizione 2013, ISBN 9788805073009

Testo C: AMALDI "*L'AMALDI PER I LICEI SCIENTIFICI – VOLUME 3*" 1^a edizione 2012, ISBN 9788808136558

Testo D: AMALDI "*IL NUOVO AMALDI PER I LICEI SCIENTIFICI.BLU – VOLUME 3*" 3^a edizione 2020, ISBN 9788808914057

3.2 Struttura

Sono stati esaminati i capitoli dedicati alla fisica quantistica, che in questo studio indicheremo come capitolo I e II.

Gli argomenti trattati nel primo capitolo sono pressoché comuni a tutti i testi: le evidenze fenomenologiche che hanno segnato la crisi della fisica classica e l'elaborazione dei primi modelli atomici.

Nel capitolo dedicato alla meccanica quantistica molti sono, ovviamente, i temi comuni come le principali caratteristiche della nuova teoria. Qualche testo propone anche alcune pagine dedicate a particolari applicazioni o alla presentazione di argomenti peculiari, ad esempio certi paradossi.

È stata analizzata sia la quantità degli aspetti della Natura della Scienza presenti in quelle pagine, sia la qualità della loro rappresentazione.

Per la classificazione degli aspetti della NOS è stato utilizzato lo schema elaborato da Abd-El-Khalick et.al (cfr. Tab. 1), di seguito riepilogato:

Empirico: la conoscenza scientifica si basa sulle evidenze sperimentali.

Inferenziale: la scienza verifica i propri costrutti attraverso le loro manifestazioni e i loro effetti.

Creativo: la scienza non è un'attività razionale e sistematica ma coinvolge la creatività e l'immaginazione umana, in quanto gli scienziati devono inventare spiegazioni e modelli teorici.

Soggettivo: la conoscenza scientifica è soggettiva e influenzata dalle idee e dal *background* personale dello scienziato.

Provvisorio: la conoscenza scientifica non è assoluta ma soggetta a possibili revisioni.

Metodo scientifico: gli scienziati usano un metodo che non è una procedura standardizzata.

Teorie Scientifiche: spiegazioni dedotte dai fenomeni osservati.

Leggi Scientifiche: descrizioni delle relazioni tra fenomeni osservabili.

Dimensione sociale della scienza: la conoscenza scientifica è discussa e sottoposta a controllo all'interno della comunità scientifica prima di essere pubblicata sulle riviste specializzate.

Collocazione sociale e culturale della scienza: la scienza influenza ed è influenzata da vari elementi culturali esterni.

Oltre al tipo di approccio (implicito o esplicito) è stato considerato anche il grado di accuratezza e completezza con cui sono rappresentati i dieci aspetti della Natura della Scienza, assegnando un punteggio da -3 a +3, utilizzando i criteri descritti in Tabella 7. Alla fine, per la rappresentazione di ogni aspetto è stato calcolato il voto medio tra quelli assegnati nei due capitoli, cosicché ad ogni libro potesse essere attribuito un voto tra -30 e +30 per le rappresentazioni della NOS nelle pagine dedicate alla fisica quantistica.

3.3 Procedura

Si è iniziato con una prima lettura dei testi per individuare i possibili aspetti della NOS presenti all'interno. L'analisi ha interessato paragrafi, schede di approfondimento, sezioni di storia ed esercizi guidati contenuti nei capitoli.

Si è proceduto, quindi, ad una seconda lettura comparata per verificare come lo stesso aspetto relativo a un particolare argomento fosse trattato nei diversi libri, al fine poi di attribuirgli un punteggio.

È importante fare delle precisazioni:

- Qualora un contenuto presentasse due aspetti diversi all'interno dello stesso paragrafo è stato considerato, ai fini dell'analisi, solo l'aspetto più esplicito.
- Qualora un contenuto presentasse lo stesso aspetto in paragrafi diversi, l'aspetto è stato considerato una sola volta nella sua totalità.

Tabella 7 – Griglia di valutazione delle rappresentazioni della NOS

PUNTEGGIO	RAPPRESENTAZIONI DELLA NOS	CRITERI
+ 3	Esplicita, informata e coerente	Affermazioni esplicite che forniscono una rappresentazione informata Coerenza attraverso i libri di testo selezionati nel trattare l'aspetto della NOS specifico e/o quelli direttamente collegati
+ 2	Esplicita, parzialmente informata	Affermazioni esplicite che forniscono una rappresentazione informata ma incompleta Coerenza dei libri di testo nel trattare l'aspetto della NOS specifico
+ 1	Implicita, informata e coerente	Una rappresentazione informata dell'aspetto della NOS specifico potrebbe essere dedotta dai libri di testo Assenza di altri messaggi espliciti e impliciti che sono incoerenti con la rappresentazione dedotta
0	Aspetto non individuato	Assenza di una descrizione esplicita o implicita dell'aspetto della NOS interessato Assenza di materiali per formulare un giudizio informato
- 1	Travisamento implicito	Potrebbe essere dedotta una rappresentazione ingenua dell'aspetto della NOS
- 2	Mista esplicita e/o implicita	Rappresentazioni implicite e informate che potrebbero essere dedotte in alcuni punti dei libri di testo sono contrapposte ad affermazioni esplicite e ingenua presenti in altri punti Affermazioni esplicite che forniscono messaggi contrastanti riguardo lo stesso aspetto della NOS o altri direttamente collegati
- 3	Esplicita, ingenua	Affermazioni esplicite che comunicano chiaramente una rappresentazione errata

3.4 Risultati

In Tabella 8 sono riportati i dati quantitativi per ogni libro in esame: per ciascun aspetto della Natura della Scienza è stato indicato il numero complessivo di volte in cui è stato rilevato tra i due capitoli.

Nelle Figure 10 e 11 è riportata in dettaglio la distribuzione delle rappresentazioni degli aspetti della NOS all'interno dei singoli capitoli.

Come si evince immediatamente, tre aspetti (Metodo Scientifico, Leggi scientifiche e Dimensione sociale della Scienza) non sono rappresentati in nessuno dei libri di testo. L'aspetto più rappresentato risulta quello "Provvisorio" che riflette i possibili cambiamenti della conoscenza scientifica qualora emergessero nuove evidenze in contrasto con teorie e leggi considerate acclamate. Come era lecito attendersi, questo aspetto trova ampio spazio nel primo capitolo, dedicato alla crisi della fisica classica e alla presentazione di fenomeni quali il corpo nero, l'effetto fotoelettrico, l'effetto Compton, etc. che hanno costretto alla revisione di teorie che sembravano in grado di spiegare tutti gli eventi fisici.

Tabella 8 – Numero di rappresentazioni degli aspetti della NOS nei capitoli di fisica quantistica

	Testo A	Testo B	Testo C	Testo D
<i>Empirico</i>	3	2	2	2
<i>Inferenziale</i>	1	1	1	1
<i>Creativo</i>	5	2	4	4
<i>Soggettivo</i>	3	5	2	2
<i>Provvisorio</i>	7	6	7	6
<i>Mito del "Metodo Scientifico"</i>	0	0	0	0
<i>Teorie scientifiche</i>	0	1	0	0
<i>Leggi scientifiche</i>	0	0	0	0
<i>Dimensione Sociale della Scienza</i>	0	0	0	0
<i>Collocazione sociale e culturale della Scienza</i>	2	1	0	0
Totale	21	18	16	15

Il libro A contiene il maggior numero di rappresentazioni (21), mentre il libro B fornisce almeno una rappresentazione per il maggior numero di aspetti, ben 7, al contrario del C e del D che invece ne trattano solo 5.

Osservando la distribuzione degli aspetti all'interno dei singoli capitoli, non si notano grosse differenze tra un testo e l'altro: oltre alla presenza predominante dell'aspetto

“Provvisorio”, nel primo capitolo emerge la quasi totalità delle rappresentazioni relative all’aspetto “Soggettivo”.

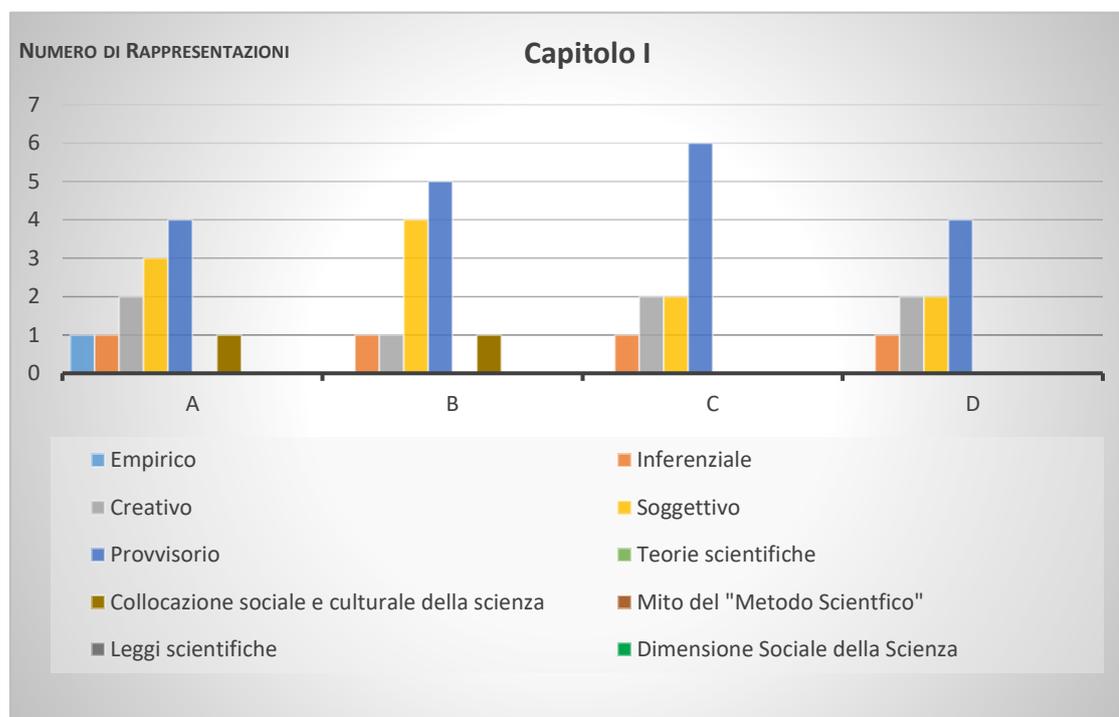


Figura 10 – Rappresentazioni nel Capitolo I dei libri analizzati

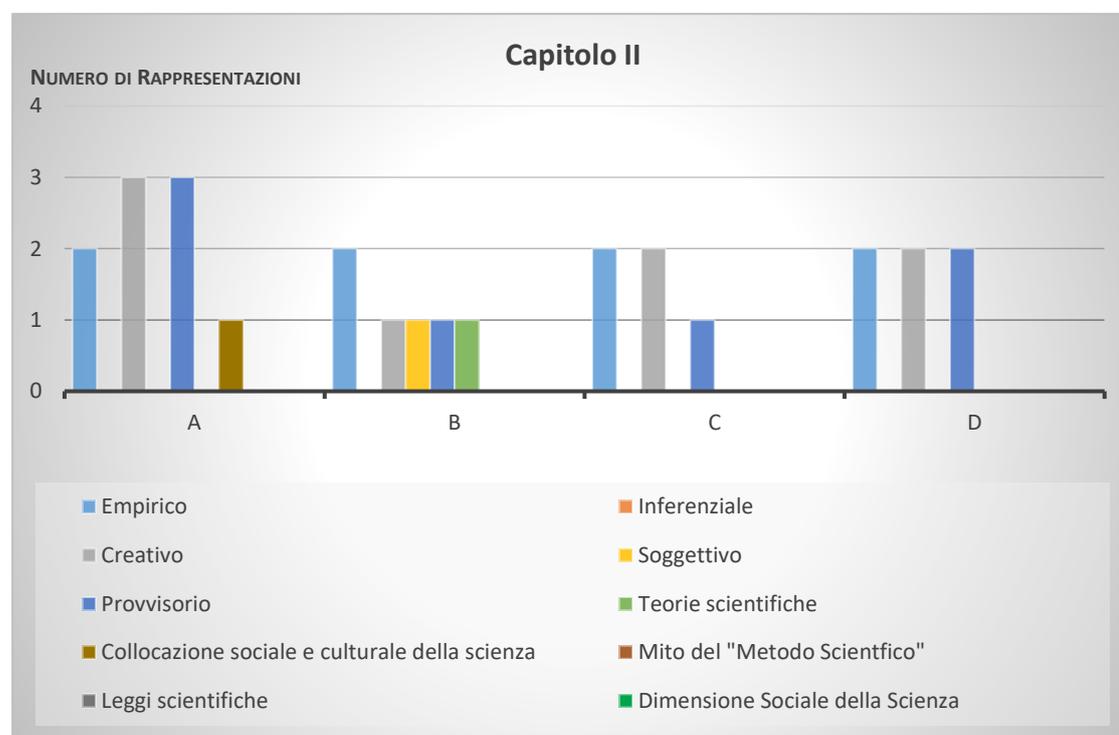


Figura 11 – Rappresentazioni nel Capitolo II dei libri analizzati

L'aspetto "Creativo" è distribuito in maniera uniforme tra i due capitoli, diversamente da quello "Empirico", che trova la predominanza delle rappresentazioni nel capitolo II.

In Tabella 9 sono riportati i punteggi attribuiti ad ogni libro per la rappresentazione complessiva degli aspetti della Natura della Scienza nei capitoli di fisica quantistica: i valori indicati costituiscono il voto medio calcolato per le rappresentazioni dei singoli aspetti. Ad esempio, il punteggio di 1 assegnato all'aspetto "Soggettivo" del testo A rappresenta la media aritmetica tra i tre voti -1, +2 e +2 attribuiti alle tre rappresentazioni di tale aspetto.

Non vi sono grosse differenze nel punteggio totale, a parte l'enorme divario tra il testo B e il testo C.

In generale, gli aspetti della Natura della Scienza, ove rappresentati, risultano forniti in maniera esplicita ma incompleta.

Tabella 9 – Punteggi dei libri di testo analizzati

<i>Aspetti della NOS</i>	<i>Punteggi</i>			
	Testo A	Testo B	Testo C	Testo D
<i>Empirico</i>	3	2	2	3
<i>Inferenziale</i>	2	2	1	2
<i>Creativo</i>	2	2	2	2
<i>Soggettivo</i>	1	2	2	2
<i>Provvisorio</i>	2	2	2	2
<i>Mito del "Metodo Scientifico"</i>	0	0	0	0
<i>Teorie scientifiche</i>	0	3	0	0
<i>Leggi scientifiche</i>	0	0	0	0
<i>Dimensione Sociale della Scienza</i>	0	0	0	0
<i>Collocazione sociale e culturale della Scienza</i>	3	2	0	0
Totale	13	15	9	11

Il libro A e il libro B sono gli unici due testi a presentare schede di approfondimento e di storia della fisica e ciò spiega in parte il loro miglior risultato, sia in termini quantitativi che qualitativi.

Il libro A, inoltre, è quello che, oltre a presentare il maggior numero di rappresentazioni, ne offre anche la descrizione ideale in due aspetti su sei (“Empirico” e “Collocazione sociale e culturale della Scienza”).

A titolo esemplificativo si riportano due esempi.

- a. Un estratto dal libro A concernente l’aspetto “Empirico” a cui è stato attribuito il punteggio massimo (+3):

È bene sottolineare che, a livello microscopico, le nostre osservazioni sono sempre indirette, mediate cioè da procedure sperimentali appositamente progettate per indagare particolari fenomeni. La “realtà” del mondo microscopico sta, in definitiva, nelle interazioni che possiamo stabilire con esso, cioè nei risultati dei nostri esperimenti.

Questi esperimenti ci rivelano che il modello di onda e il modello di particella (costruzioni concettuali che ci siamo formati osservando il mondo macroscopico) sono complementari. Il primo è adeguato per descrivere determinati risultati, il secondo per descriverne altri. (Libro A, p. 464).

- b. Un estratto dal libro C riguardante ancora l’aspetto “Empirico”, relativo allo stesso argomento (dualismo onda-corpuscolo) a cui è stato attribuito il punteggio +1:

Ma la luce è fatta di onde o di particelle? Sulla base dei fatti osservati, dobbiamo ammettere che a questa domanda non si può dare una risposta univoca: l’oggetto fisico «luce» si presenta come onda o come particella a seconda delle condizioni sperimentali.

Il libro B si rivela essere quello col punteggio migliore, favorito anche dal fatto di trattare il maggior numero di aspetti.

Discorso a parte meritano gli ultimi due libri, essendo il D l’edizione successiva del C.

Col passaggio alla nuova versione vi è stata una riduzione del numero di rappresentazioni (vedi Tabella 8), che è stata però compensata da un miglioramento dell’approccio alle stesse.

La fisica quantistica offre, pertanto, la possibilità di rappresentare efficacemente almeno sette dei dieci aspetti della Natura della Scienza inseriti nella “visione condivisa” di Lederman e Abd-El-Khalick.

In particolare, essa si rivela essere un argomento idoneo per trattare la Provvisorietà, la Creatività e la Soggettività della conoscenza scientifica, che sono tre dei cinque aspetti considerati nello studio di Stadermann e Goedhart (cfr. pp 20-22).

CONCLUSIONI

La Natura della Scienza, nel corso degli anni, ha acquisito sempre più rilievo all'interno dei programmi di formazione scientifica. In molti casi, però, è ancora tanto il lavoro da fare per rendere esplicito questo obiettivo educativo. Oltre ad una corretta formazione degli insegnanti, sarebbe necessario supportarli adeguatamente fornendo loro strumenti che possano indirizzarli verso una corretta presentazione dei contenuti scientifici ai loro allievi.

In tal senso, uno dei ruoli chiave è quello dei libri di testo, che rappresentano un punto di riferimento fondamentale per docenti ed allievi.

È dunque indispensabile che, anche al loro interno, sia fornita una descrizione della Natura della Scienza quanto più completa ed esplicita possibile.

Le ricerche presentate nel secondo capitolo hanno evidenziato, nel corso degli anni anche più recenti, una situazione non ottimale in molti Paesi.

In Italia, nonostante ci sia la necessità di apportare miglioramenti nel programma del liceo scientifico, i nostri risultati mostrano che i libri di fisica in uso presso le scuole superiori presentano una trattazione mediamente esplicita della Natura della Scienza, sebbene non del tutto informata. Inoltre, alcuni aspetti sono del tutto trascurati, come ad esempio la costruzione delle teorie e delle leggi scientifiche, la dimensione sociale della Scienza e la sua collocazione sociale e culturale, che sono indubbiamente quelli più difficili da trattare ma risultano assolutamente necessari per una comprensione esaustiva delle materie scientifiche. La scarsa attenzione a questi aspetti è tanto più grave in quanto si sono analizzati capitoli dedicati alla meccanica quantistica, che è una delle teorie fondamentali nella Science moderna. Pertanto, i nostri risultati possono essere utili per la progettazione di materiali integrativi sulla Natura della Scienza che possono essere di supporto alla didattica tradizionale basata sui libri di testo.

BIBLIOGRAFIA

AAAS (1989), *Science for all Americans*, American Association for the Advancement of Science.

ABD-EL-KHALICK F. (2001), *Embedding nature of science instruction in preservice elementary science courses: Abandoning scientism, but ...*, in “Journal of Science Teacher Education”, 12(3), pp. 215-233.

ABD-EL-KHALICK F. & LEDERMAN N. G. (2000), *The influence of history of science courses on students' views of nature of science*, in “Journal of Research in Science Teaching”, 37(10), pp. 1057-1095.

ABD-EL-KHALICK F., BELL R. L. & LEDERMAN N. G. (1998), *The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural*, in “Science Education”, 82(4), pp. 417-437.

ABD-EL-KHALICK F., MYERS J. Y., SUMMERS R., BRUNNER J., WAIGHT N., WAHBEH N. & BELARMINO J. (2017), *A longitudinal analysis of the extent and manner of representations of nature of science in US high school biology and physics textbooks*, in “Journal of Research in Science Teaching”, 54(1), pp. 82-120, URL: <https://doi.org/10.1002/tea.21339>.

ABD-EL-KHALICK F., WATERS M. & LE A. (2008), *Representations of nature of science in high school chemistry textbooks over the past four decades*, in “Journal of Research in Science Teaching”, 45(7), pp. 835-855, URL: <https://doi.org/10.1002/tea.20226>.

ABELL S., MARTINI M. & GEORGE M. (2001), *“That’s what scientist have to do”*: Preservice elementary teachers’ conceptions of the nature of science during a moon investigation, in “International Journal of Science Education”, 23(11), pp. 1095-1109.

ANDERSON K. E. (1950), *The teachers of science in a representative sampling of Minnesota schools*, in “Science Education”, 34(1), pp. 57-66.

AYDIN S., & TORTUMLU S. (2015), *The analysis of the changes in integration of nature of science into Turkish high school chemistry textbooks: Is there any development?* in “Chemistry Education Research and Practice”, 16(4), pp. 786-796, URL: <https://doi.org/10.1039/C5RP00073D>.

BADY R. A. (1979), *Students’ understanding of the logic of hypothesis testing*, in “Journal of Research in Science Teaching”, 16(1), pp. 61-65.

BELL R. L., LEDERMAN N. G. & ABD-EL-KHALICK F. (2000), *Developing and acting upon one’s conception of the nature of science: A follow-up study*, in “Journal of Research in Science Teaching”, 37(6), pp. 563-581.

BESSION U. (2015), *Didattica della fisica*, Carocci editore, Roma, ISBN: 9788843077359.

BLEICHROTH W. (1991), *Elementarisierung, das Kernstück der Unterrichtsvorbereitung [Elementarization, the key of instructional planning]*, in “Naturwissenschaften im Unterricht – Physik”, March 1991, pp. 4-11.

BRICKHOUSE N. W. & BODNER G. M. (1992), *The beginning science teachers: Classroom narratives of conviction and constraints*, in “Journal of Research in Science Teaching”, 29, pp. 471-485.

CARAMASCHI M., CULLINANE A., LEVRINI O. & ERDURAN S. (2021), *Mapping the nature of science in the Italian physics curriculum: from missing links to opportunities for reform*, in “International Journal of Science Education”, URL: <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.2017061>.

CAREY R. L. & STAUSS N. G. (1968), *An analysis of the understanding of the nature of science by prospective secondary science teachers*, in “Science Education”, 52(4), pp. 358-363.

CAREY R. L. & STAUSS N. G. (1970), *An analysis of the relationship between prospective science teachers' understanding of the nature of science and certain academic variables*, in “Georgia Academy of Science”, pp. 148-158.

CENTRAL ASSOCIATION OF SCIENCE AND MATHEMATICS TEACHERS (1907), *A consideration of the principles that should determine the courses in biology in the secondary schools*, in “School Science and Mathematics”, 7(3), pp. 241-242. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1907.tb01009.x>.

CHAI SRI A. & THATHONG K. (2014), *The nature of science represented in Thai biology textbooks under the topic of evolution*, in “Procedia-Social and Behavioral Sciences”, 116, pp. 621-626, URL: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.268>.

CHEVALLARD Y. (1991), *La transposition didactique*, La Pensée Sauvage, Grenoble.

CHIAPPETTA E. L. & FILLMAN D. A. (2007), *Analysis of five high school biology textbooks used in the United States for inclusion of the nature of science*, in “International Journal of Science Education”, 29(15), pp. 1847-1868, URL: <https://doi.org/10.1080/09500690601159407>.

CHIAPPETTA E. L., FILLMAN D. A. & SETHNA G. H. (1991), *A method to quantify major themes of scientific literacy in science textbooks*, in “Journal of Research in Science Teaching”, 28(8), pp. 713-725, URL: <https://doi.org/10.1002/tea.3660280808>.

CLOUGH M. P., OLSON J.K. (2008), *Teaching and Assessing the Nature of Science: An Introduction*, in “Science & Education”, 17, 2-3, pp. 143-5.

CURRICULUM DEVELOPMENT COUNCIL (1998), *Science syllabus for secondary 1-3*, Hong Kong: CDC.

DRIVER R. & EASLEY J. A. (1978), *Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students*, in “Studies in Science Education”, 5, pp. 61-84.

DRIVER R., LEACH J., MILLAR R. & SCOTT P. (1996), *Young people's images of science*, Buckingham, UK: Open University Press.

DUIT R., GROPEGIEßER H., KATTMANN U., KOMOREK M. & PARCHMANN I. (2012), *The model of educational reconstruction - A framework for improving teaching and learning science*, in "D. Jorde & J. Dillon (Eds.), *Science Education Research and Practice in Europe: Retrospective and Prospective*", pp. 13-37, Sense Publishers.

DUIT R. & HÄUßLER P. (1994), *Learning and teaching energy*, in "P. Fensham, R. Gunstone & R. White (Eds.), *The content of science*", pp. 185-200, London: The Falmer Press.

DUIT R. & TREAGUST D. (2003), *Conceptual change - A powerful framework for improving science teaching and learning*, in "International Journal of Science Education", 25, pp. 671-688.

DURKEE P. (1974), *An analysis of the appropriateness and utilization of TOUS with special reference to high-ability students studying physics*, in "Science Education", 58(3), pp. 343-356.

DUSCHL R. A. & WRIGHT E. (1989), *A case study of high school teachers' decision making models for planning and teaching science*, in "Journal of Research in Science Teaching", 26(6), pp. 467-501.

ERDURAN S. & DAGHER Z. R. (2014a), *Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education: Scientific Knowledge, Practices and Other Family Categories*, Springer.

ERDURAN S. & DAGHER Z. R. (2014b), *Regaining focus in Irish junior cycle science: Potential new directions for curriculum and assessment on nature of science*, in "Irish Educational Studies", 33(4), pp. 335-350, URL: <https://doi.org/10.1080/03323315.2014.984386>.

HODSON D. & WONG S. L. (2017), *Going beyond the consensus view: Broadening and enriching the scope of NOS-oriented curricula*, in "Canadian journal of science, Mathematics and Technology Education", 17(1), pp. 3-17.

IRZIK G. & NOLA R. (2011a), *A family resemblance approach to the nature of science for science education*, in "Science & Education", 20(7-8), pp. 591-607, URL: <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9293-4>.

IRZIK G. & NOLA R. (2011b), *A family resemblance approach. Plenary presentation session with N. Lederman titled: Current philosophical and educational issues in nature of science (NOS) research, and possible future directions*, presented at the International History, Philosophy and Science Teaching Conference, Thessaloniki, Greece.

IRZIK G. & NOLA R. (2014), *New directions for nature of science research*, in M. Matthews (Ed.), "International handbook of research in history, philosophy and science teaching", pp. 999-1021, Dordrecht, The Netherlands: Springer.

JUNGWIRTH E. (1970), *An evaluation of the attained development of the intellectual skills needed for 'understanding of the nature of scientific enquiry' by BSCS pupils in Israel*, in "Journal of Research in Science Teaching", 7(2), pp. 141-151.

KANG S., SCHARMANN L. & NOH T. (2004), *Examining students' views on the nature of science: Results from Korean 6th, 8th, and 10th graders*, in "Science Education", 89(2), pp. 314-334.

KATTMANN U., DUIT R., GROPENIEBER H. & KOMOREK M. (1995), *A model of educational reconstruction*, Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching (NARST), San Francisco, CA.

KAYA E., ERDURAN S., AKSOZ B. & AKGUN S. (2019), *Reconceptualised family resemblance approach to nature of science in pre-service science teacher education*, in "International Journal of Science Education", 41(1), pp. 21-47, URL: <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1529447>.

KHISHFE R. & ABD-EL-KHALICK F. (2002), *Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science*, in "Journal of Research in Science Teaching", 39(7), pp. 551-578, URL: <https://doi.org/10.1002/tea.10036>.

KIMBALL M. (1968), *Understanding the nature of science: A comparison of scientists and science teachers*, in "Journal of Research in Science Teaching", 5, pp. 110-120.

KING B. B. (1991), *Beginning teachers' knowledge of and attitudes toward history and philosophy of science*, in "Science Education", 75(1), pp. 135-141.

KLOPFER L. (1969), *The teaching of science and the history of science*, in "Journal of Research in Science Teaching", 6, pp. 87-95.

KLOPFER L. & COOLEY W. (1963), *The history of science cases for high schools in the development of student understanding of science and scientists*, in "Journal of Research in Science Teaching", 1(1), pp. 33-47.

LANTZ O. & KASS H. (1987), *Chemistry teachers' functional paradigms*, in "Science Education", 71, pp. 117-134.

LEDERMAN N. G. (1992), *Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research*, in "Journal of Research in Science Teaching", 29(4), pp. 331-359. URL: <https://doi.org/10.1002/tea.3660290404>.

LEDERMAN N. G. (1995), *Teachers' conceptions of the nature of science: Factors that mediate translation into classroom practice*, Paper presented at the annual meeting of the Association for the Education of Teacher in Science, Charleston, WV.

LEDERMAN N.G. (1999), *Teachers understanding of the nature of science and classroom practice: Factors that facilitate or impede the relationship*, in "Journal of Research in Science Teaching", 36(8), pp. 916-929.

LEDERMAN N. G. (2007), *Nature of Science: Past, present, future* in “S. Abell & N. Lederman (Eds), Handbook of research on science education”, pp. 831-879, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

LEDERMAN N. G., ABD-EL-KHALICK F., BELL R. & SCHWARTZ R. (2002), *Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science*, in “Journal of Research in Science Teaching”, 39(6), pp. 497-521, URL: <https://doi.org/10.1002/tea.10034>.

LEDERMAN N. G. & LEDERMAN J. (2014), *Research on teaching and learning of nature of science*, in “N. G. Lederman & S. Abell (Eds), Handbook of research on science education”, vol. 2, pp. 600-620, Lawrence Erlbaum.

LEDERMAN N. G. & NIESS M. L. (1997), *The nature of science: Naturally?* in “School Science and Mathematics”, 97(1), pp. 1-2.

LEVRINI O., BERTOZZI E., GAGLIARDI M., GRIMELLINI-TOMASINI N., PECORI B., TASQUIER G. & GALILI I. (2014), *Meeting the discipline-culture framework of physics knowledge: A teaching experience in Italian secondary school*, in “Science & Education”, 23(9), pp. 1701-1731, URL: <https://doi.org/10.1007/s11191-014-9692-z>.

LIN H. S. & CHEN C. C. (2002), *Promoting preservice teachers' understanding about the nature of science through history*, in “Journal of Research in Science Teaching”, 39(9), pp. 773-792.

LI X., TAN Z., SHEN J., HU W., CHEN Y., & WANG J. (2020), *Analysis of five junior high school physics textbooks used in China for representations of nature of science*, in “Research in Science Education”, 50, pp. 833-844, URL: <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9713-z>.

LUMPE A. T. & BECK J. (1996), *A profile of high school biology textbooks using scientific literacy recommendations*, in “American Biology Teacher”, 58(3), pp. 147-153, URL: <https://doi.org/10.2307/4450103>.

MACKAY L. D. (1971), *Development of understanding about the nature of science*, in “Journal of Research in Science Teaching”, 8(1), pp. 57-66.

MATTHEWS M. R. (1994), *Science teaching: The role of history and philosophy in science*, Routledge.

MATTHEWS M. R. (2012), *Changing the focus: From nature of science (NOS) to features of science (FOS)*, in “M. Khine (Ed.), Advances in nature of science research”, pp. 3-26, Springer.

McCOMAS W.F. (2003), *A textbook case of the nature of science: Laws and theories in the science of biology*, in “International Journal Science Math Education”, 1, pp. 141-155.

MEAD M. & METRAUX R. (1957), *Image of the scientist among high school students*, in “Science”, 126, pp. 384-390.

MERTON R. K. (1973), *The Normative Structure of Science*, in “The sociology of Science”, Chicago, University of Chicago Press, pp. 267-278.

MIUR: UFFICIO GESTIONE PATRIMONIO INFORMATIVO E STATISTICA (2019), *Le iscrizioni al primo anno dei percorsi di istruzione e formazione*, Giugno 2020.

MIUR (2010a), *Piano degli studi del Liceo scientifico*, in Gazzetta Ufficiale - Decreto del Presidente della Repubblica 15 Marzo 2010, n. 89, Allegato F, URL: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2010/06/15/010G0111/sg>

MIUR (2010b), *Indicazioni nazionali riguardanti gli obiettivi specifici di apprendimento in relazione alle attività e agli insegnamenti compresi nei piani degli studi previsti per il liceo scientifico e la sua opzione delle "scienze applicate"*, in Gazzetta Ufficiale - Decreto 7 Ottobre 2010 n. 211, Allegato F, URL: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2010/12/14/010G0232/sg>

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996), *National science education standard*, National Academies Press.

NATIONAL SCIENCE TEACHERS ASSOCIATION (1982), *Science-technology-society: Science education for the 1980s (An NSTA position statement)*, Washington, DC: Author.

NIAZ M. & MAZA A. (2011), *Nature of science in general chemistry textbooks*, Springer.

PHILLIPS D. C. (2000), *Constructivism in education: Opinions and second opinions on controversial issues*, Chicago IL: The University of Chicago Press.

PHILLIPS M. C., VOWELL J. E., LEE Y. H. & PLANKIS, B. J. (2015), *How do elementary science textbooks present the nature of science?* in “The Educational Forum”, 79(2), pp. 148-162, URL: <https://doi.org/10.1080/00131725.2015.1004210>.

RAMNARAIN U. D. & CHANETSA T. (2016), *An analysis of South African Grade 9 natural sciences textbooks for their representation of nature of science*, in “International Journal of Science Education”, 38(6), pp. 922-933, URL: <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1167985>.

RESNIK D. (2007), *The price of truth*, Oxford, UK: New York.

RUBBA P. A. (1976), *Nature of scientific knowledge scale*, School of Education, Indiana University, Bloomington, IN.

RUBBA P. A. (1977), *The development, field testing and validation of an instrument to assess secondary school students' understanding of the nature of scientific knowledge*, Dissertations Abstracts International, 38, 5378A (University Microfilms No. 78-00, 998).

RUBBA P. A. & ANDERSEN H. (1978), *Development of an instrument to assess secondary school students' understanding of the nature of scientific knowledge*, in "Science Education", 62(4), pp. 449-458.

RUBBA P., HORNER J. & SMITH J. M. (1981), *A study of two misconceptions about the nature of science among junior high school students*, in "School Science and Mathematics", 81, pp. 221-226.

RYDER J., LEACH J. & DRIVER R. (1999), *Undergraduate science students' images of science*, in "Journal of Research in Science Teaching", 36(2), pp. 201-220.

SHOWALTER, V. M. (1974), *What is united science education? Program, objectives and scientific literacy*, in "Prism", II, 2.

STADERMANN H. K. E. & GOEDHART M. J. (2020), *Secondary school students' views of nature of science in quantum physics*, in "International Journal of Science Education", 42(6), pp. 997-1016, URL: <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2020.1745926>.

SUTHERLAND D. & DENNICK R. (2002), *Exploring culture, language and perception of the nature of science*, in "International Journal of Science Education", 24(1), pp. 25-36.

TREAGUST D. F. & DUIT R. (2008), *Conceptual change: a discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education*, in "Cultural Studies in Science Education", 3, pp. 297-328.

TRENT J. (1965), *The attainment of the concept "understanding science" using contrasting physics courses*, in "Journal of Research in Science Teaching", 3(3), pp. 224-229.

UPAHI J. E., RAMNARAIN U. & ISHOLA I. S. (2020), *The nature of science as represented in chemistry textbooks used in Nigeria*, in "Research in Science Education", 50, pp. 1321-1339, URL: <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9734-7>.

WILSON L. (1954), *A study of opinions related to the nature of science and its purpose in society*, in "Science Education", 38(2), pp. 159-164.

YAGER R. E. & WICK J. W. (1966), *Three emphases in teaching biology: A statistical comparison of the results*, in "Journal of Research in Science Teaching", 4(1), pp. 16-20.

YEH Y., ERDURAN S. & HSU Y. S. (2019), *Investigating coherence on nature of science in the science curriculum documents: Taiwan as a case study*, in "Science & Education", 28(3-5), pp. 291-310, URL: <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00053-1>.

ZHUANG H., XIAO Y., LIU Q., YU B., XIONG Y. & BAO L. (2021), *Comparison of nature of science representations in five Chinese high school physics textbooks*, in "International Journal of Science Education", 43(11), pp. 1779-1798, URL: <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1933647>.