

Interazione tra Matematica e Fisica: schemi prevalenti nel PCK dei docenti di Fisica e costruzione di esercizi e problemi

V. Bologna

Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Trieste

M. Peressi

Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Trieste

Riassunto. L'interazione tra Matematica e Fisica è intrinseca in un approccio quantitativo alla Fisica: il "come" essa viene intesa da parte dei docenti emerge potentemente nella spiegazione e razionalizzazione di un concetto e del suo contesto fenomenologico attraverso l'uso di formule ed equazioni e ancora di più nella proposta di esercizi e di problemi. Nello sviluppo della professionalità docente è quindi fondamentale che i docenti diventino consapevoli di quale sia il loro schema prevalente adottato nella costruzione dei percorsi didattici. Tale consapevolezza favorisce lo sviluppo del proprio PCK. Lo studio condotto su un campione di docenti di fisica di diverse scuole secondarie di secondo grado mette in luce che, indipendentemente dalla tipologia della scuola e dalla formazione di base del docente, lo schema prevalente adottato è di tipo applicativo. Si propongono alcune strategie di accompagnamento ai docenti nella loro azione quotidiana come processo permanente di formazione in servizio. Questa forma di accompagnamento favorisce nel docente lo sviluppo nel proprio PCK anche di altri schemi di interazione tra Matematica e Fisica, necessari per l'integrazione tra le due discipline ma anche per una loro distinzione epistemologica.

Abstract. The interaction between mathematics and physics is intrinsic in a quantitative approach to physics: the way in which it is understood powerfully emerges in the explanation and rationalization of a concept and its phenomenological context through the use of formulas and equations and even more in the proposed exercises and problems. In the development of teaching professionalism it is therefore essential that the teachers become aware of what is their prevalent scheme adopted in the construction of educational paths. This awareness improves the development of their own PCK. The study conducted on a sample of physics teachers of different secondary schools highlights that, regardless of the type of school and the teacher curriculum, the prevailing scheme adopted is applicative one. Here there are proposed some strategies to accompany the teachers in the process of their daily action as a permanent process of in-service training. This form of support develops new forms of their own PCK and also promotes other schemes of interaction between mathematics and physics, necessary for the integration between the two disciplines but for their epistemological distinction.

1. Il problema dei problemi

Nel 1962 Eric Rogers pubblicò il libro "Teaching Physics for the Inquiring Mind" [1]; già nelle previsioni dell'epoca sarebbe diventato un vero best-seller per la didattica della Fisica. La sua diffusione nel mondo anglosassone non trovò corrispondente eco nella scuola italiana, dove in pochi conoscono la sua opera e la promuovono anche a distanza di oltre cinquant'anni perché suggerisce un approccio soprattutto *inquiry* nell'affrontare esercizi e problemi.

Nel 1992 Elio Fabri presentò a Pisa al VI Convegno Nazionale "Ettore Orlandini" dell'AIF (Associazione Insegnanti di Fisica) un interessante lavoro di categorizzazione dei problemi in Fisica [2], riportando, tra gli altri, il seguente esempio tratto dal libro di Rogers:

Facendo ragionevoli ipotesi sulle dimensioni ecc., calcola la pressione che c'è nella canna di un fucile mentre parte un proiettile. L'esplosivo della cartuccia produce in brevissimo tempo una grande quantità di gas molto caldo; la pressione del gas spinge il proiettile nella canna.

Fai opportune stime sulle dimensioni della canna e su tutte le altre grandezze che ti occorrono, e calcola la pressione media del gas nel tempo in cui il proiettile sta nel fucile.

Volutamente non ti vengono forniti dati numerici: dovrai inventare tu i valori che ti sembrano ragionevoli, e ricavarne una risposta numerica.

Poiché farai delle ipotesi e delle stime, dovrai esporle chiaramente, prima di usarle. Poiché sono soltanto stime, ci si aspetta solo una risposta grossolana; perciò verrà accettata qualunque risposta ragionevole, purché tu abbia spiegato come ci sei arrivato.

Enuncia in modo chiaro i valori dei dati che assumi e i principi fisici dei quali fai uso; descrivi poi il ragionamento che hai fatto.

Questa tipologia di problema è assolutamente *non tradizionale*, se con *tradizionale* si intendono le tipologie di *problem-solving* basate prevalentemente sulla determinazione della soluzione di un'equazione ad una o più incognite. Richiede peraltro che nella valutazione della correttezza o meno della risoluzione si consideri la capacità di ragionamento e di argomentazione messi in opera dallo studente, ovvero si misuri la sua competenza ad argomentare [3].

1.1. Il problema della maturità

Quando nel 2018 il decreto ministeriale 769 ha introdotto la prova interdisciplinare di matematica e fisica al liceo scientifico, allo sconforto iniziale dei docenti è seguita una vivace attività di formazione e di sviluppo professionale anche grazie al supporto

del PLS di Fisica, sia a livello nazionale sia più localmente in diverse università italiane.

A pensarci bene, questa è stata anche l'occasione per far emergere quale sia la natura dell'interazione tra Matematica e Fisica nell'insegnamento di entrambe le discipline e nello sviluppo dei loro saperi e delle loro proprie epistemologie.

Costruire, infatti, un problema che abbia caratteristiche interdisciplinari, come quelle richieste dal ministero, implica necessariamente che vengano evidenziati tali connotati che si estrinsecano nella mutua relazione di conoscenze e abilità propriamente disciplinari.

Perché i problemi proposti da Roger (come anche quelli "alla Fermi") non sono ancora diffusi e quelli per il nuovo esame di maturità creano tante difficoltà agli insegnanti?

2. La radice dei problemi

Per sviluppare la competenza argomentativa non basta proporre problemi che pongano lo studente nella condizione di "indagare" sul fenomeno e di ragionarci sopra: serve un vero e proprio cambiamento nell'impronta che il docente possiede nel suo insegnamento e in tutti i suoi aspetti, ovvero nel suo proprio PCK (acronimo inglese di Pedagogical Content Knowledge, tradotto in italiano come Conoscenza Pedagogica del Contenuto) [3-5].

In particolare, è necessario rendere consapevole il docente di quale siano le caratteristiche del proprio PCK, in termini di conoscenza disciplinare (curricolare, concettuale e metodologica), epistemologica e valutativa del processo di apprendimento [4].

Il primo passo consiste quindi nel far acquisire al docente la consapevolezza delle caratteristiche della propria impronta. Un possibile punto di partenza è quello di renderlo capace di individuare quali siano nel suo modo di insegnare gli schemi prevalenti di interazione tra Matematica e Fisica.

Questa scelta offre alcuni vantaggi anche dal punto di vista dell'indagine della ricerca didattica.

Una proposta di categorizzazione di questi schemi è stata condotta recentemente da un gruppo di ricercatori tedesco-israeliano che, confrontando esperienze d'insegnamento anche molto diverse tra loro, hanno individuato fondamentalmente quattro tipologie di schemi di interazione tra Matematica e Fisica [6], schematicamente riportati nella Tabella I.

L'analisi da loro sviluppata evidenziava come l'esperienza e la professionalità del docente di Fisica emergesse e fosse caratterizzata da una corrispondente presenza di tutti e quattro gli schemi presenti nel modello [6].

In realtà, conducendo un'indagine osservativa capillare sulle caratteristiche principali dei PCK di un campione di docenti di Fisica nelle scuole secondarie di secondo grado

TABELLA I. – *Schemi prevalenti nell'insegnamento della Fisica che evidenziano l'interazione tra Matematica e Fisica [6]*

TIPO DI SCHEMA	OBIETTIVI DI INSEGNAMENTO	PRATICHE DI INSEGNAMENTO
ESPLORAZIONE	La matematica viene utilizzata per esplorare il comportamento dei sistemi fisici	Individuazione di: <ul style="list-style-type: none"> • confini di validità • confini di approssimazione • casi estremi
COSTRUZIONE	Il modello matematico può essere costruito per sistemi fisici	Costruire un modello matematico da: <ul style="list-style-type: none"> • dati empirici • principi primi
AMPLIAMENTO	La matematica può ampliare l'ambito di un contesto fisico	Impiegare la matematica per cercare: <ul style="list-style-type: none"> • somiglianze • simmetrie • analogie
APPLICAZIONE	La matematica fornisce aiuto nella risoluzione di problemi	Manipolare con rappresentazioni matematiche per arrivare a una risoluzione di un dato problema

di indirizzo diverso in un ambito italiano ⁽¹⁾ è emerso che, indipendentemente dalla tipologia della scuola, dalla formazione universitaria del docente (se proveniente da un percorso di studi in matematica o in fisica) e dalla sua esperienza professionale (in base agli anni di servizio in ruolo), lo schema prevalentemente adottato nel proprio PCK è soprattutto quello di *Applicazione e manipolazione di formule*. Ancora più significativo è forse il dato che emerge analizzando il PCK nella prospettiva di verticalità curricolare: infatti, la prevalenza dello schema applicativo al primo anno di insegnamento della Fisica viene man mano integrato con qualche flessione verso la *Costruzione di modelli* e con poche inferenze nell'*Esplorazione e Ampliamento* se si

⁽¹⁾ Un'analisi dettagliata è stata presentata al GIREP Webinar Conference a novembre 2020: V.Bologna et al., *Monitoring PCK Physics Teachers Strategies for Math and Physics Languages Integration: the teacher footprint*, sottomesso per la pubblicazione

osservano i docenti all'ultimo anno curricolare.

L'inferenza a tali schemi, inoltre, è stata sicuramente aggiornata e integrata con l'introduzione della prova interdisciplinare per la maturità (come è stato chiaramente sottolineato dai docenti intervistati).

Per avvalorare ulteriormente questo risultato è stato somministrato un questionario per l'individuazione del proprio PCK e degli schemi prevalenti di interazione Matematica-Fisica durante un corso di aggiornamento professionale promosso dal PLS-Fisica dell'Università degli Studi di Trieste.

I risultati del questionario somministrato sono riportati nelle seguenti figure 1 e 2:

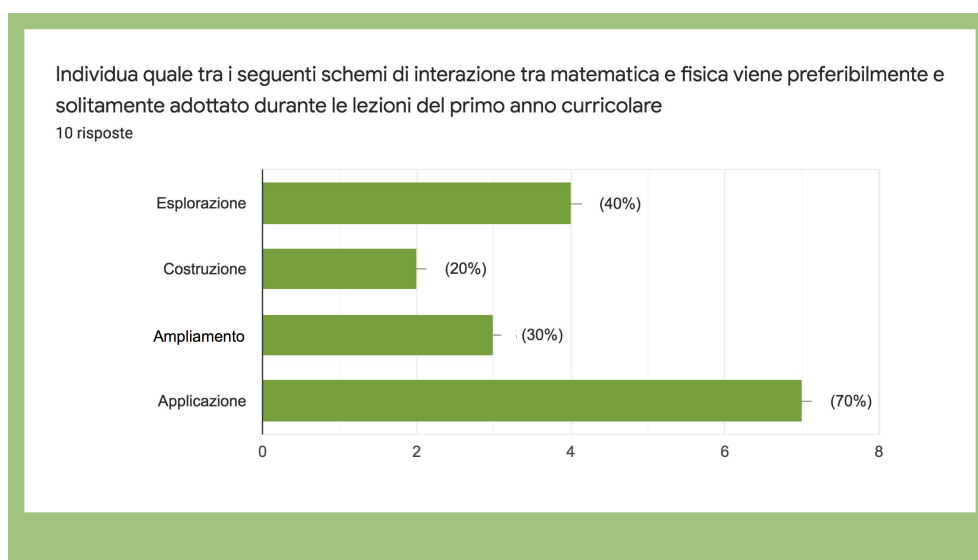


Fig. 1. – Esiti del questionario sulla tipologia di schema di interazione Matematica-Fisica scelto dai docenti per il primo anno di insegnamento curricolare.

Ci sono due conseguenze che offrono spunti di riflessione e che si possono attribuire ad una lettura dei dati d'indagine.

In primo luogo, è evidente che se il docente caratterizza la propria impronta basandola su uno schema di tipo applicativo, necessariamente anche nella fase valutativa degli apprendimenti la sua richiesta sarà della stessa tipologia.

In secondo luogo, anche lo studente, come fruitore di quel dato stile di insegnamento, si crea un'immagine dell'impronta del docente: se tale immagine è quella di tipo applicativo ovviamente la costruzione degli apprendimenti non potrà che avere la stessa struttura.

Si può dedurre che gli studenti imparano la fisica solamente manipolando le formule

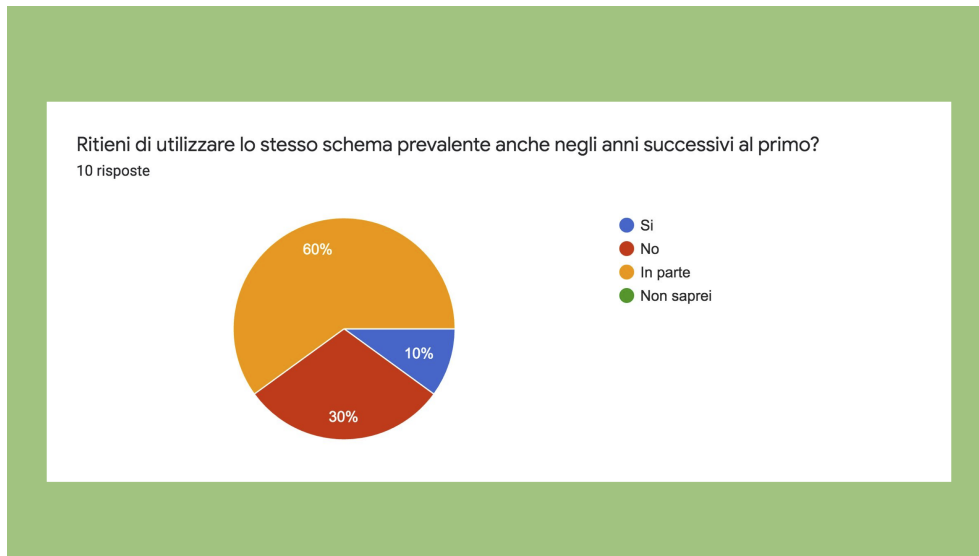


Fig. 2. – Esiti del questionario sulla variazione nella prevalenza degli schemi adottati dal docente tra primo e ultimo anno di insegnamento curricolare.

[7] non necessariamente per mancanza di strutture argomentative, per scarso impegno o dedizione alla disciplina, ma forse perchè rispondono coerentemente allo schema di interazione tra Matematica e Fisica che viene loro proposto.

Quindi, tanto più i docenti vengono resi consapevoli della necessità di sviluppare nel proprio PCK tutti e quattro gli schemi proposti, tanto maggiore sarà l'effetto sullo stile di apprendimento che da meccanico-procedurale diventerà maggiormente esplorativo ed argomentativo.

L'ultimo passaggio da evidenziare, infatti, è proprio questo.

Se il docente sviluppa la conoscenza di un concetto fenomenologico evidenziandone tutti gli aspetti che se ne possono trarre rispetto alla possibilità di esplorare i limiti di validità, la modellizzazione partendo da osservazioni e misure, le analogie e le somiglianze con altri fenomeni ed anche la sua declinazione secondo la relazione funzionale tra le grandezze in gioco, allora lo studente sarà guidato ad una costruzione della conoscenza molto più strutturata [8], che di fatto implica la declinazione di un livello approfondito di argomentazione [3].

A questo punto, per analogia a quanto detto prima, se il docente avrà sviluppato tutti e quattro gli schemi di interazione tra le due discipline proporrà ai suoi studenti

problemi ed esercizi che non saranno più solamente applicativi e che si potrebbero classificare nelle tipologie dei problemi *non tradizionali* e in quelli *da maturità*.

Come fa, quindi, il docente a sviluppare un PCK che riesca a tener conto di tutti gli schemi di interazione tra Matematica e Fisica?

3. I linguaggi dei problemi

L'adozione di qualunque schema di interazione tra le due discipline implica la disponibilità del docente a mettere in discussione il proprio PCK, per scegliere di adoperarsi per uno nuovo.

Si tratta di un processo di revisione che va supportato con i piani di formazione dei docenti in servizio, attraverso un vero e proprio *scaffolding* professionale [9].

Per fare ciò può essere utile presentare ai docenti una strategia di rinnovamento basata da una parte sui modelli che nella didattica della matematica si occupano della costruzione della conoscenza concettuale non soltanto da un punto di vista procedurale, ma anche strutturale e semantico [10,11], dall'altra sull'integrazione nel processo didattico della Fisica delle rappresentazioni multiple [12].

Il livello al quale avviene l'integrazione di approcci didattici afferenti all'insegnamento di discipline diverse è quello che nel PCK interviene nella conoscenza di strategie specifiche per la rappresentazione di un certo argomento (*topic-specific strategies* [9]). Parallelamente il docente convalida nel PCK il suo orientamento nell'insegnamento della Fisica proteso allo sviluppo nello studente di competenze di traduzione e rappresentazione dei linguaggi disciplinari e allo stesso tempo della competenza argomentativa.

Dal momento che vi è una sovrapposizione dei linguaggi disciplinari tra Matematica e Fisica, l'adozione di strategie didattiche come quelle presenti nell'*Early Algebra* [10] e l'ampliamento di significati concettuali dell'uso delle variabili, proprio del modello delle 3UV [11] fornisce una chiave didattica per eplicitare l'interazione tra Matematica e Fisica, coerente con le proposte metodologiche che già in Fisica utilizzano le rappresentazioni multiple [12], e rispondenti all'esigenza di ampliare nel PCK l'adozione di tutti e quattro gli schemi di interazione.

Nella pratica didattica questo si esplica in modo molto efficace attraverso la frammentazione del percorso che conduce lo studente alla risoluzione di una situazione problematica, attraverso la rappresentazione e la traduzione della stessa nei diversi linguaggi disciplinari, con la richiesta continua di giustificazione/argomentazione nell'interpretazione delle rappresentazioni e nell'esplorazione/ampliamento di situazioni problematiche simili riconducibili a fenomenologie che possono essere rappresentate

nello stesso linguaggio matematico ⁽²⁾.

In questo modo il problema perde il suo connotato *tradizionale* di esigere la risoluzione come mero esercizio applicativo di formule. Acquista, invece, in modo predominante la caratteristica di fornire allo studente uno strumento per il consolidamento e la rielaborazione concettuale, fondamentale soprattutto quando si stanno facendo i primi passi nello studio curricolare della Fisica.

Dal punto di vista del docente, infine, la decostruzione di un problema per arricchirlo delle richieste di rappresentazione, traduzione e argomentazione nei diversi linguaggi disciplinari assume il valore propedeutico di sviluppare la necessità di far interagire le discipline non solo nello schema prevalentemente applicativo/manipolativo. Ed è questo forse il passaggio più delicato ma allo stesso tempo maggiormente efficace: uscire dalla logica risolutiva per incontrare nella ricchezza dei linguaggi disciplinari la potenzialità esplicativa che favorisce l'apprendimento e soprattutto la comprensione della Fisica e dei suoi fenomeni.

Bibliografia

- [1] ROGERS E.M., *Teaching Physics for Inquiring Mind* (Princeton University Press, Princeton 1972, New Ed.) 143.
- [2] FABRI E., PENCO U., *La Fisica nella Scuola*, **27/4** (1994) 6.
- [3] WANG J. ET AL, *J Sci Teacher Educ*, **27/5** (2016) 577.
- [4] ETKINA E., *Phys Rev Sp Top - Phys Ed Res*, **6** (2010) 020110-1.
- [5] MAGNUSSON S., ET AL, in *Examining Pedagogical Content Knowledge. Science Technology Education Library* (Springer, Dordrecht, 1999) 65.
- [6] LEHAVI Y. ET AL, in *Key Competences in Physics Teaching and Learning* (Springer, Cham, 2016) 95.
- [7] HAMMER D., *The Physics Teacher*, **27** (1989) 664.
- [8] DISSA A., *Cognition and Instruction*, **10(2/3)** (105) 1993.
- [9] FAZIO C., *Quaderni di Ricerca in Didattica (Scienze)*, **1** (2010) 49.
- [10] NAVARRA G., *Didattica della matematica. Dalla ricerca alle pratiche d'aula*, **5** (2019) 70.
- [11] URSINI S., *QuaderniCIRD*, **2** (2011) 59.
- [12] OPFERMANN M. ET AL, in *Multiple Representations in Physics Education. Models and Modeling in Science Education* (Springer, Cham, 2017) 1-22.

⁽²⁾ Un'esemplificazione didattica di come possa attuarsi questa tipologia di percorso è stata presentata al Convegno PLS-G6 a Febbraio 2021 nel contributo dal titolo "Utilizzo delle rappresentazioni multiple in una situazione fisica problematica: un aiuto ai docenti nella costruzione di percorsi didattici" di S.P. Leban e V. Bologna.