



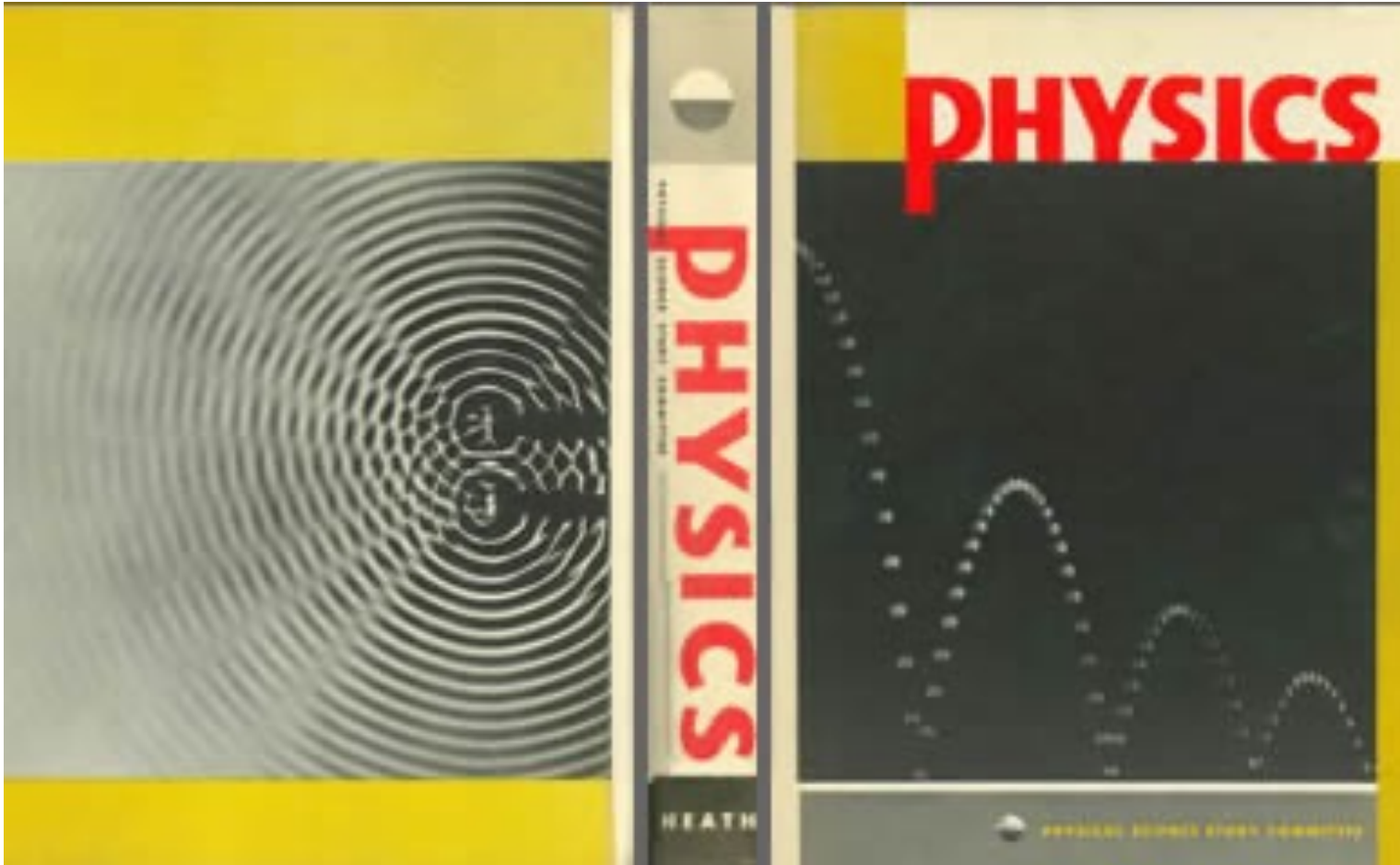
ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Modelli e teorie sull'apprendimento dei concetti in fisica

**Seminari di formazione in ricerca in didattica dell'Astronomia
Napoli, 05/12/2023**

Olivia Levrini

Dipartimento di Fisica e Astronomia «A. Righi»



Ipotesi di lavoro (fino agli anni '70- '80...)

Un curriculum ben strutturato sul piano disciplinare deve portare alla costruzione di atteggiamenti e conoscenza di complessità crescente indipendentemente dal modo con cui lo studente costruisce la propria conoscenza

Condizione necessaria ma non sufficiente!

Necessità di:

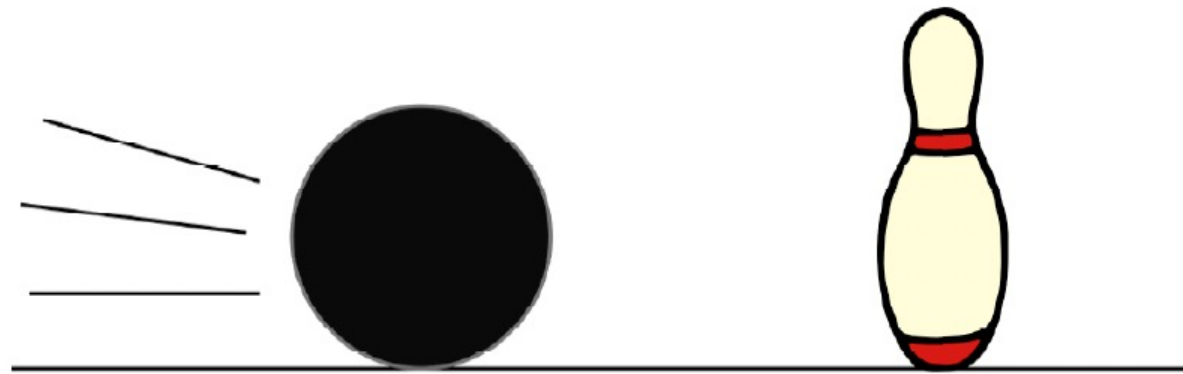
*Riflessione sui **processi di apprendimento***

*Riflessione sui **processi di insegnamento***



Dal Force Concept Inventory



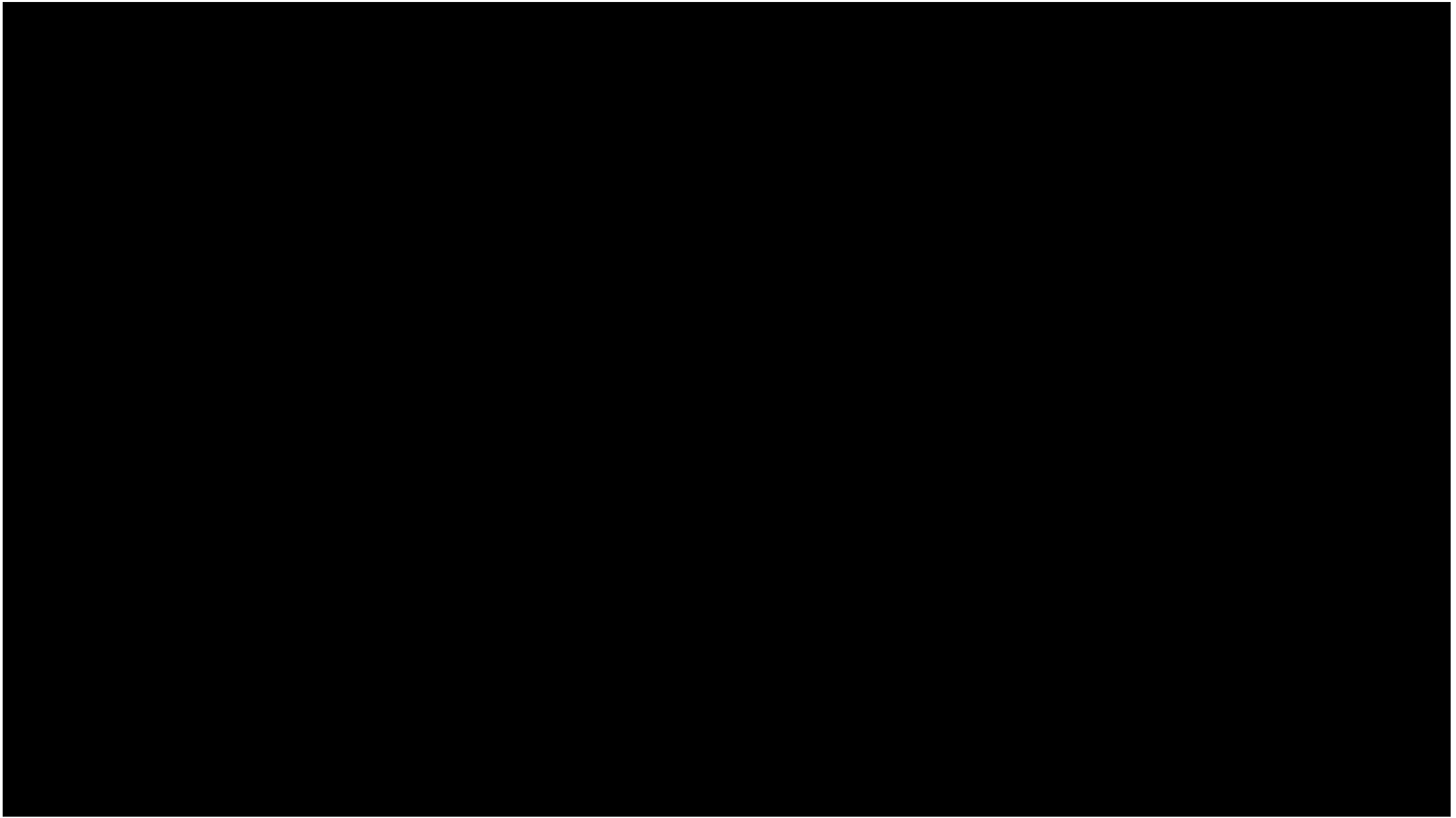


“so che dovrebbero avere la stessa forza ma a me sembra di no!! Gli altri ragazzi sono intervenuti per aiutarlo, e Fabrizio gli diceva: sembra che non sia così ma perché si vedono solo gli effetti di queste forze e non proprio le forze...”
(Pugnalin, 2006, Tesi di Specializzazione).

Premessa #1:

“Come dovrei rispondere a queste domande?” “A che gioco stiamo giocando?”



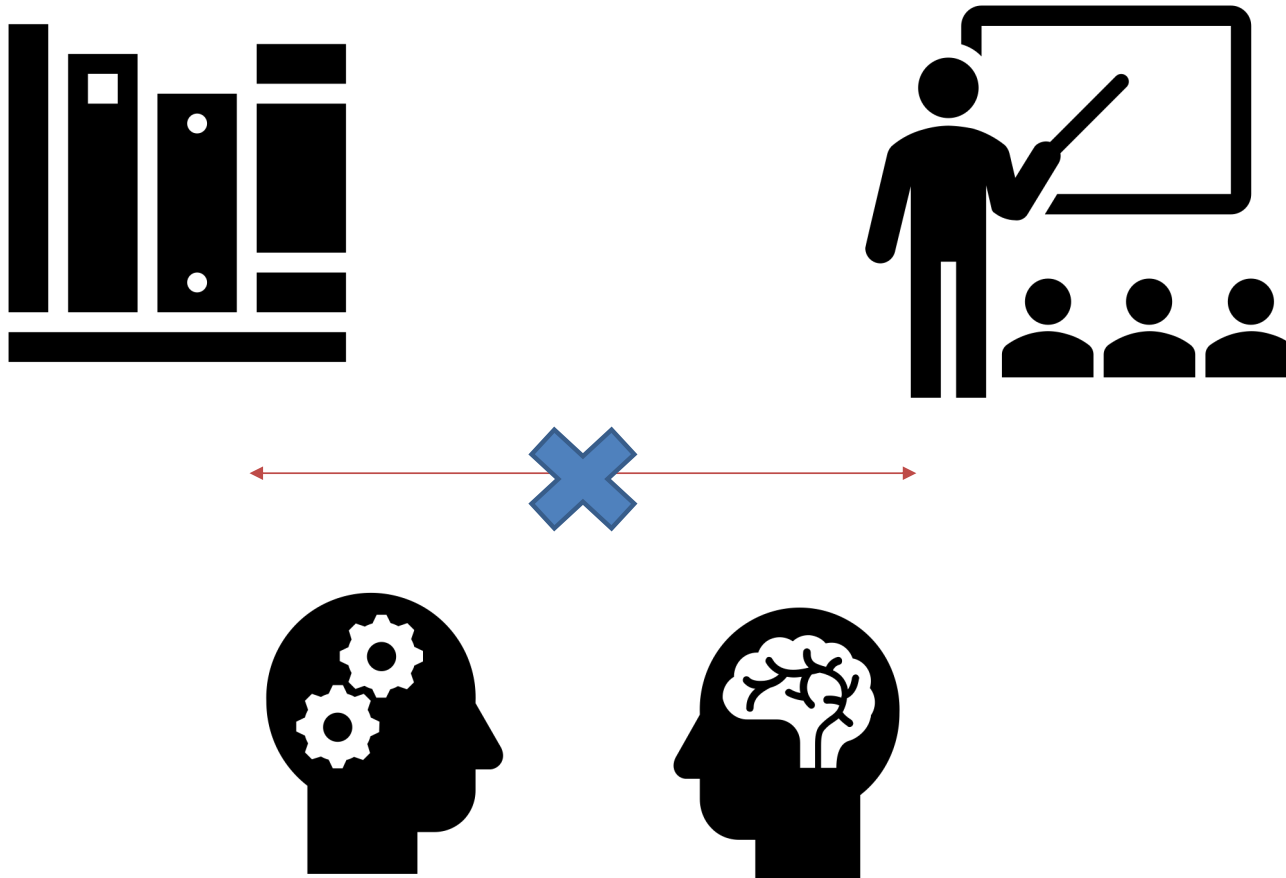


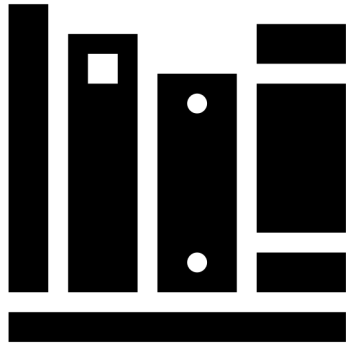
Premessa #1:

“Come dovrei rispondere a queste domande?” "A che gioco stiamo giocando?"

Le diverse fonti/forme di conoscenza
«Framing»







Premessa #2: «Practice-oriented” vs. “cognitive modeling” tradition

Practice-oriented tradition:

- i concetti sono caratterizzati facendo riferimento a come sono rappresentati nei libri di testo o negli obiettivi dei documenti curricolari;
- ci si concentra essenzialmente sull’impatto sull’insegnamento e sull’istruzione, molto più che sulla ricerca teorica volta a costruire modelli cognitivi delle concettualizzazioni degli studenti o a indagare come avviene l’apprendimento.
- i «concetti degli studenti» sono caratterizzati come “idee sbagliate” – comprensione qualitativa dei fenomeni fisici che spesso emergono dall’esperienza che portano a previsioni e spiegazioni che sono in contrasto con i concetti scientifici canonici.

Produzione di moltissime risorse didattiche: indagini su diversi concetti (ad esempio, forza, energia, quantità di moto, movimento, grafici in cinematica), programmi di studio; documenti di riforma curricolare. **ESPLICITAMENTE A-TEORICO** (dal punto di vista cognitivo)



Premessa #2: «Practice-oriented” vs. “cognitive modeling” tradition

“Cognitive modeling” tradition: in generale, qualsiasi tentativo di decostruire la conoscenza concettuale e l’apprendimento dei concetti degli studenti e degli scienziati in termini di strutture di conoscenza, processi di attivazione di queste strutture e meccanismi che spiegano come le strutture di conoscenza vengono riorganizzate, ovvero come avviene il processo di CAMBIAMENTO CONCETTUALE.

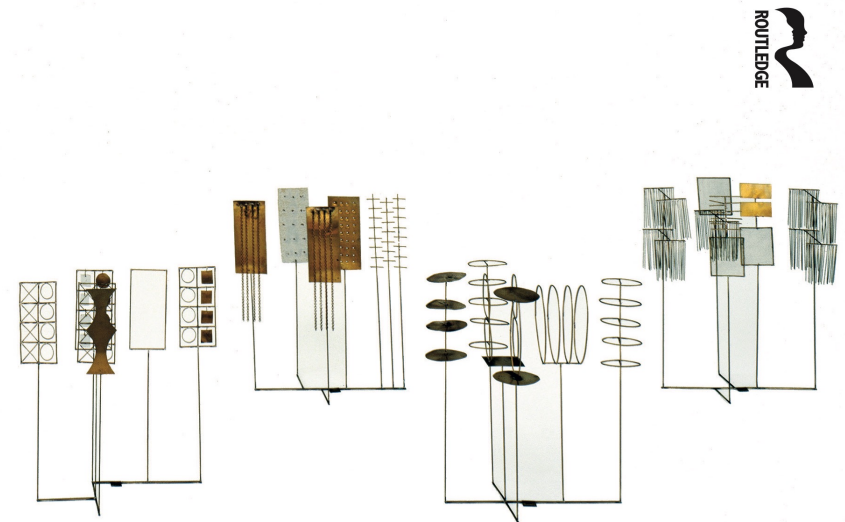
**La difficoltà di comunicare tra diverse tradizioni della
ricerca come
«ONTOLOGICAL SLIPPAGE» (Sherin, 2018)**



Tentativi di organizzare la ricerca sul cambiamento concettuale (“Cognitive modeling tradition”)

(Collaborazione con Tamer Amin, American University of Beirut, Libano):

- Co-chairs of the 9th conference of the Special Interest Group on Conceptual Change of the European Association for Research on Learning and Instruction (EARLI), Bologna, 26-29 August 2014;
- Co-editors of the volume T.G. Amin & O. Levrini (Eds) (2018). *Converging Perspectives on Conceptual Change. Mapping an Emerging Paradigm in the Learning Sciences*, London and New York: Routledge.



EDITED BY TAMER G. AMIN AND OLIVIA LEVRINI

CONVERGING PERSPECTIVES
ON CONCEPTUAL CHANGE

Mapping an Emerging Paradigm
in the Learning Sciences

Structure of the book

Part I: The Nature of Concepts and Conceptual Change

Editor: Bruce Sherin

Part II: Representation, Language and Discourse in Conceptual Change

Editor: Tamer G. Amin

Part III: Modeling, Explanation and Argumentation in Conceptual Change

Editor: Clark A. Chinn

Part IV: Metacognition and Epistemology in Conceptual Change

Editors: Carol Smith and Marianne Wiser

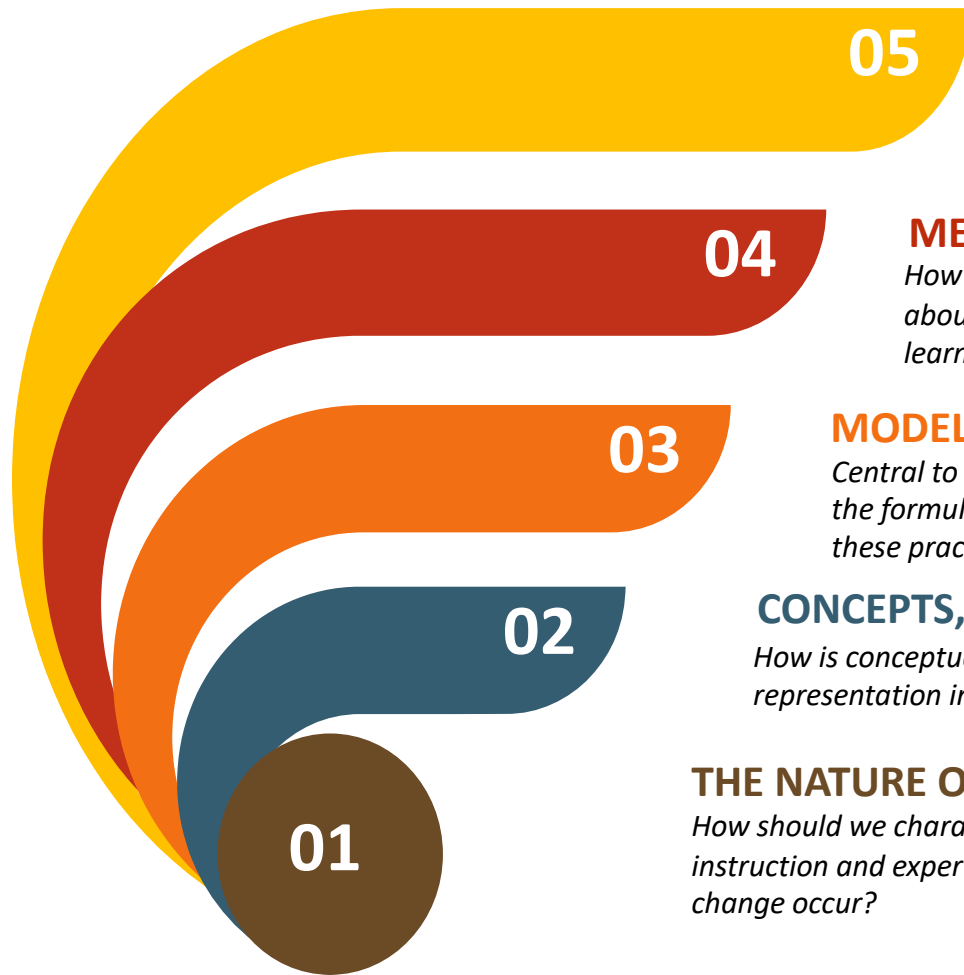
Part V: Identity and Conceptual Chang

Editors: Mariana Levin and Olivia Levrini

Overall Synthesis: Facing the Challenge of Programmatic Research on Conceptual Change

Tamer G. Amin and Olivia Levrini





IDENTITY

What is the role of the learner's sense of who they are - their identity - in conceptual change? And conversely, how does conceptual change contribute to the development of a learner's identity?

METACOGNITION AND STUDENTS' EPISTEMOLOGIES

How important is a learner's metacognitive awareness of their own learning about scientific knowledge to conceptual change? What is the relevance of the learner's implicit views of knowledge and knowing?

MODELING, EXPLAINING, ARGUING

Central to scientific knowledge construction are epistemic practices like the formulation of explanations, modeling and argumentation. How are these practices related to conceptual change?

CONCEPTS, REPRESENTATIONS AND CONCEPTUAL CHANGE

How is conceptual knowledge represented and how are different forms of representation involved in the process of conceptual change?

THE NATURE OF CONCEPTS AND CONCEPTUAL CHANGE

How should we characterize both the nature of intuitive knowledge prior to instruction and expert scientific conceptual knowledge? How does conceptual change occur?

Ricerca teorica di base sul cambiamento concettuale nella scienza

01

THE NATURE OF CONCEPTS AND CONCEPTUAL CHANGE

Sherin, B. (2019). Where are we? Syntheses and Synergies in Science Education Research and Practice. Plenary lecture, ESERA 2019 Conference, Bologna, August 26-30, 2019



Knowledge in pieces

Framework theory

Ontological view

CONVERGING PERSPECTIVES
ON CONCEPTUAL CHANGE

Mapping an Emerging Paradigm
in the Learning Sciences

Part I: The Nature of Concepts and Conceptual Change

Editor: Bruce Sherin

Orientation

- Ch. 1: Knowledge in Pieces: An Evolving Framework for Understanding Knowing and Learning **Andrea A. diSessa**
- Ch. 2: Initial and Scientific Understandings and the Problem of Conceptual Change **Stella Vosniadou**
- Ch.3: Addressing Robust Misconceptions through the Ontological Distinction between Sequential and Emergent Processes *J. Bryan Henderson, Elon Langbeheim and **Micheline T. H. Chi***
- Ch. 4: Conceptual Change and the Complexity of Learning *Cecilia Lundholm*
- Ch. 5: Conceptual Change, Relationships, and Cultural Epistemologies *Ananda Marin, Douglas Medin, and bethany ojalehto*
- Ch. 6: Conceptual Change: A Cultural-Historical and Cognitive-Developmental Framework *Geoffrey B. Saxe*
- Part I Synthesis: Elements, Ensembles, and Dynamic Constructions**
Bruce Sherin

What is conceptual change?

«Conceptual change is not simple learning, but learning when this is particularly dramatic or difficult” (Sherin, 2019)

Nell’educazione scientifica:

- Gli studenti acquisiscono la conoscenza del mondo attraverso l’interazione quotidiana
- L'apprendimento riguarda processi di cambiamento concettuale da questa conoscenza alla conoscenza scientifica disciplinare condivisa.

Sherin, B. (2019). Where are we? Syntheses and Synergies in Science Education Research and Practice. Plenary lecture, ESERA 2019 Conference, Bologna, August 26-30, 2019



Il primo modello di cambiamento concettuale

Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. and Gertzog, W.A. (1982)
Accommodation of a Scientific Conception Toward a Theory of Conceptual
Change. *Science Education*, 66, 211-227

- 1) **dissatisfaction** with an existing intuitive (noncanonical) conception;
- 2) **intelligibility** of the new scientific conception;
- 3) **plausibility** of the new conception;
- 4) **fruitfulness** in opening up possibilities for further understanding.



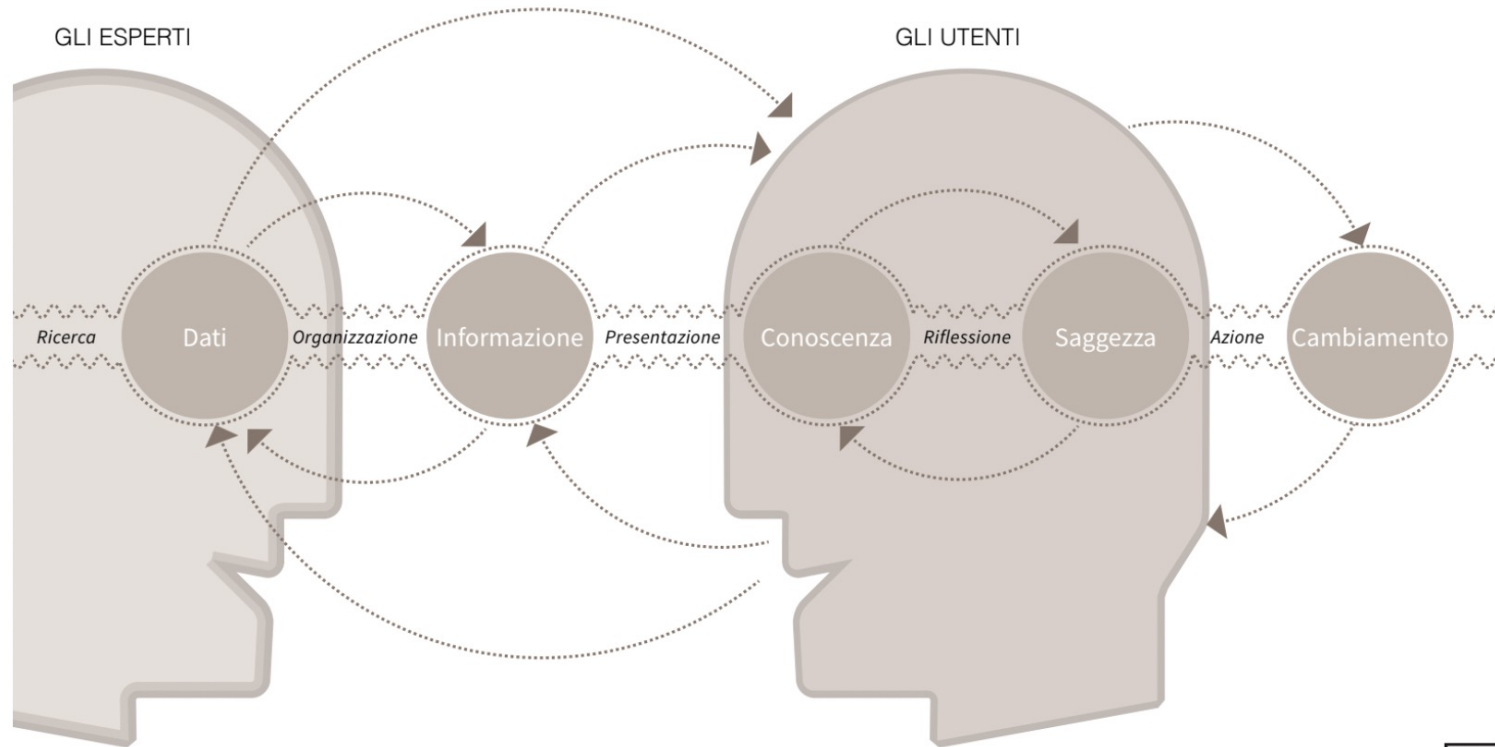
Principali critiche

- Troppa attenzione alla conoscenza dei *contenuti* scientifici e non sufficiente attenzione alla conoscenza dei *processi* di elaborazione della conoscenza dei contenuti scientifici (Duit & Treagust, 2003);
- Troppo “razionale” nel senso che era implicata una visione delle spiegazione ereditata dal positivismo logico – cioè le spiegazioni erano viste come derivate da processi razionali di deduzione e l’induzione (Duit & Treagust, 2003).

Duit, R. & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning, *International Journal of Science Education*, 25:6, 671-688.



Morelli



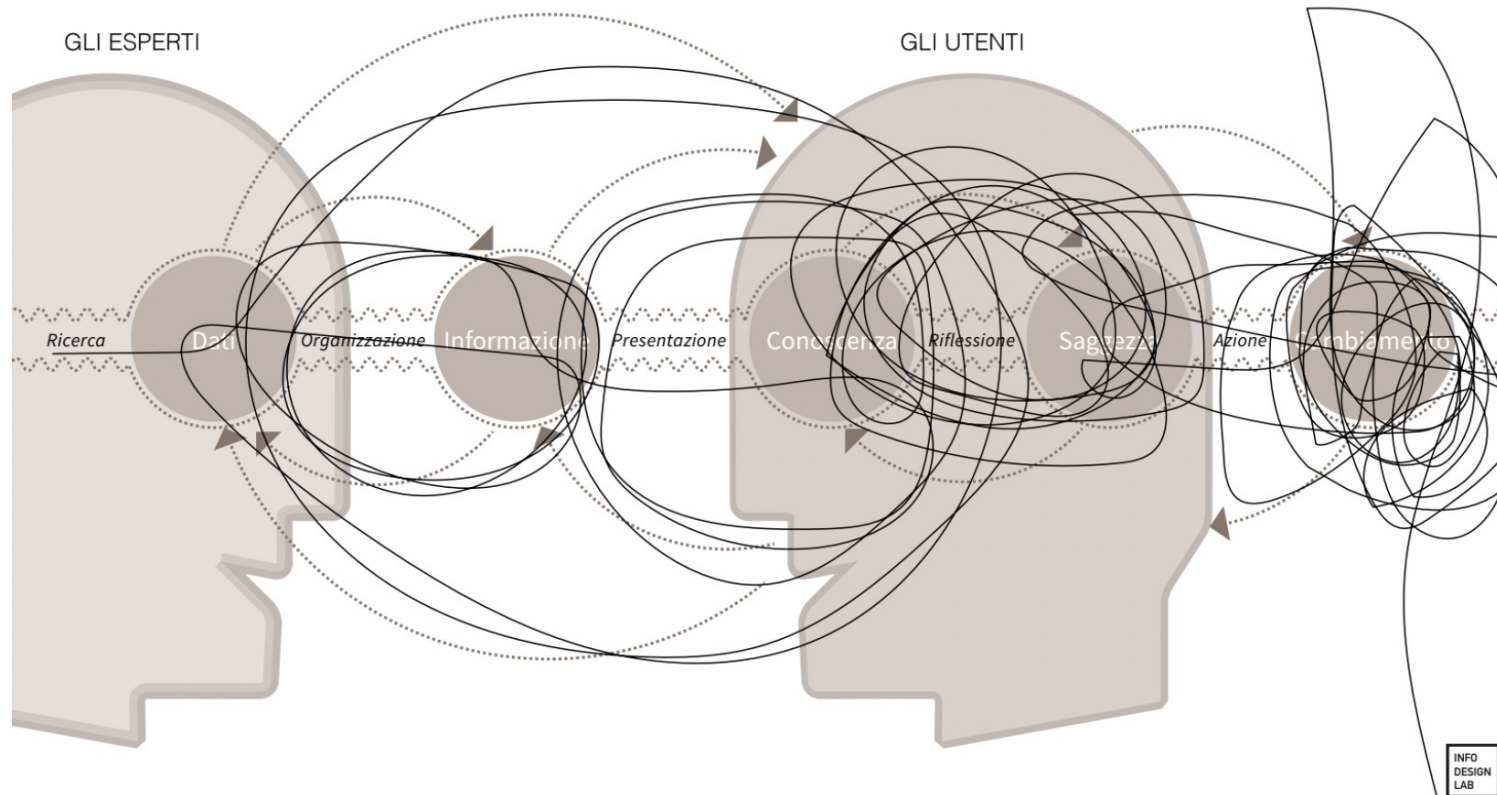
INFO
DESIGN
LAB

INFORMAZIONE E COMUNICAZIONE



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Morelli



La ricerca teorica di base sul cambiamento concettuale nella scienza si occupa fundamentalmente di queste domande:

1. **Come dovremmo caratterizzare la natura della conoscenza intuitiva precedente all'istruzione e come la natura della conoscenza scientifica esperta? Qual è la natura delle cose (mentali) (mental stuff) che stanno cambiando?**
2. **Come avviene il cambiamento concettuale? Che aspetto ha il cambiamento?**
3. **Cosa c'è di difficile in questo cambiamento?**

❖ **Nessun consenso chiaro sulle risposte a queste domande. (Sherin, 2019)**

01

THE NATURE OF CONCEPTS AND CONCEPTUAL CHANGE

Sherin, B. (2019). Where are we? Syntheses and Synergies in Science Education Research and Practice. Plenary lecture, ESERA 2019 Conference, Bologna, August 26-30, 2019



La prospettiva della *Knowledge in piece* di Andrea A. diSessa

Forti presupposti alla base della KiP:

- “L'apprendimento è sostanzialmente una rielaborazione di risorse concettuali ingenuie”;

“Among the elements of intuitive knowledge, *P-prims* [phenomenological primitives, in the sense of self-explanatory and units] constitute people’s “sense of mechanism,” their sense of what happenings are obvious. [...]

Example glosses of p-prims are: (1) increased effort begets greater results (Ohm’s p-prim); (2) closer means stronger; 3) the world is full of competing influences for which the greater “gets its way,” even if accidental or natural “balance” sometimes exists; (3) the shape of the situation determines the shape of action within it (e.g., orbits around a square planet are nearly square).” (diSessa in Amin & Levrini, 2018)



The Knowledge in Pieces perspective

COGNITION AND INSTRUCTION, 1993, 10(2 & 3), 105–225
Copyright © 1993, Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Toward an Epistemology of Physics

Andrea A. diSessa
School of Education
University of California, Berkeley

The aim of this work is twofold: to understand the intuitive sense of mechanism that accounts for commonsense predictions, expectations, explanations, and judgments of plausibility concerning mechanically causal situations and to understand how those intuitive ideas contribute to and develop into school physics. To facilitate this, I provide a framework for describing and correlating characteristics of weakly organized knowledge systems. The framework is aimed at answering, at a coarse level of detail, a set of questions central to a full theory of knowledge: What are the elements of knowledge; how do they arise; what level and kind of systematicity exists; how does the system as a whole evolve; and what can be said about the underlying cognitive mechanisms that are responsible for the normal operation of the system and its evolution?



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

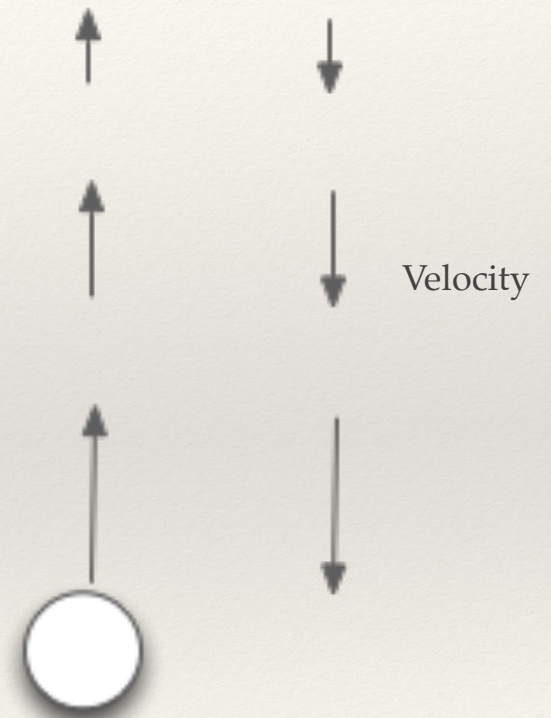
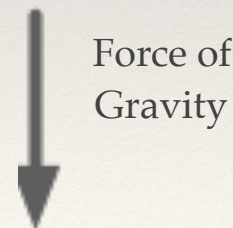
Il caso di “J”

A J viene chiesto di descrivere il movimento di una palla lanciata verticalmente nell'aria...

B. Sherin, ESERA 2019 conference, Bologna 26-30 Agosto, 2019

J. explains the toss

“Not including your hand, like if you just let it go up and come down, **the only force on that is gravity**. And so it starts off with the most speed when it leaves your hand, and **the higher it goes, it slows down to the point where it stops**. And then comes back down. And so, but the whole time, **the only force on that is the force of gravity**, except the force of your hand when you catch it.”



What happens at the peak of the toss?

J: Um, well, air resistance, when you throw the ball up, the air... It's not against air because air is going every way, but the air force gets stronger and stronger to the point where it stops. *The gravity pulling down and the force pulling up are equal*, so it's like in equilibrium for a second, so it's not going anywhere. And then gravity pulls it back down. *But when you throw it, you're giving it a force upward, but the force can only last so long* against air and against gravity – actually probably more against gravity than against air. *But so you give this initial force*, and it's going up just fine, slower and slower because gravity it pulling on it and pulling on it. And it gets to the point to the top, and then it's not getting any more energy to go up. You're not giving any more forces, so the only force it has on it is gravity and it comes right back down (p. 720, emphasis added).



Cosa succede al culmine del lancio?

J: Ehm, beh, la resistenza dell'aria, quando lanci la palla in alto, l'aria... Non è contro l'aria perché l'aria va in ogni direzione, ma la forza dell'aria diventa sempre più forte fino al punto in cui si ferma. La gravità che spinge verso il basso e la forza che spinge verso l'alto sono uguali, quindi è come in equilibrio per un secondo, quindi non andrà da nessuna parte. E poi la gravità lo riporta giù. Ma quando lo lanci, gli stai dando una forza verso l'alto, ma la forza può durare solo un certo tempo contro l'aria e contro la gravità – in realtà probabilmente più contro la gravità che contro l'aria. Ma quindi dai questa forza iniziale, e sale, bene, sempre più lentamente perché la gravità lo attira e lo attira. E arriva al punto in alto, e poi non riceve più energia per salire. Non stai dando altre forze, quindi l'unica forza che ha su di esso è la gravità e torna indietro.



Cosa succede al culmine del lancio?

J: Ehm, beh, la resistenza dell'aria, quando lanci la palla in alto, l'aria... Non è contro l'aria perché l'aria va in ogni direzione, ma la forza dell'aria diventa sempre più forte fino al punto in cui si ferma. **La gravità che spinge verso il basso e la forza che spinge verso l'alto sono uguali, quindi è come in equilibrio** per un secondo, quindi non andrà da nessuna parte. E poi la gravità lo riporta giù. **Ma quando lo lanci, gli stai dando una forza verso l'alto, ma la forza può durare solo un certo tempo contro l'aria e contro la gravità** – in realtà probabilmente più contro la gravità che contro l'aria. **Ma tu quindi dai questa forza** iniziale, e sale, bene, sempre più lentamente perché la gravità lo attira e lo attira. E arriva al punto in alto, e poi non riceve più energia per salire. Non stai dando altre forze, quindi l'unica forza che ha su di esso è la gravità e torna indietro.



Il caso di “J”

diSessa (1988; 1993) ha messo in discussione le descrizioni degli studenti come portatori di idee sbagliate fondamentali e radicate sui fenomeni scientifici, scoprendo che gli studenti dimostrano una **comprensione altamente contestualizzata**, fornendo **spiegazioni sia normative che non normative** per lo stesso fenomeno in risposta a **spostamenti di attenzione**.

from Mariana Levin, *Knowledge Analysis: An Introduction*



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

What happens at the peak?

"... when you throw the ball up, the air... It's not against air because air is going every way, but the air force gets stronger and stronger to the point where when it stops.

Asking about the peak cues balancing and overcoming

The gravity pulling down and the force pulling up are equal, so it's like in equilibrium for a second, so it's not going anywhere. And then gravity pulls it back down.

She searches for the forces that are going to be in opposition. Is air resistance one?

But when you throw it, you're giving it a force upward, but the force can only last so long against air and against gravity—actually probably more against gravity than against air. But so you give this initial force, and it's going up just fine, slower and slower because gravity is pulling on it and pulling on it. And it gets to the point to the top, and then it's not getting any more energy to go up. You're not giving any more forces, so the only force it has on it is gravity and it comes right back down."

Introduces a force from the hand as an upward force

B. Sherin,
ESERA 2019
conference,
Bologna 26-
30 Agosto,
2019



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

diSessa's view

Constructed in the moment out of smaller pieces he calls phenomenological primitives" (p-prims)

| | |
|-----------------------|----------------------------|
| Balance & Equilibrium | Balancing, overcoming |
| Force & Agency | Force as mover, dying away |
| Constraint Phenomena | Blocking, guiding |

B. Sherin, ESERA 2019
conference, Bologna
26-30 Agosto, 2019



What happens at the peak?

“ ... when you throw it, **you're giving it a force upward, but the force can only last so long against air and against gravity** ... But so you give this initial force, and it's going up just fine, slower and slower because gravity is pulling on it and pulling on it. And it gets to the point to the top, and then it's not getting any more energy to go up. You're not giving any more forces, so the only force it has on it is gravity and it comes right back down. ...”

The Impetus Theory (e.g., McCloskey 1984):

- ❖ Motion requires a causal explanation
- ❖ Forces can be stored up in objects. These stored forces are the “impetus.”
- ❖ The motion of an object depends, in some manner, on a combination of the internal and external forces.
- ❖ Sometimes the stored force just dies away on its own. Sometimes an external force can cause the stored force to die away.

B. Sherin, ESERA 2019
conference, Bologna 26-
30 Agosto, 2019



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

La prospettiva della *Knowledge in piece* di Andrea A. diSessa

Forti presupposti alla base della KiP:

- “L'apprendimento è sostanzialmente una rielaborazione di risorse concettuali ingenuie”;

Che aspetto ha il cambiamento?

Cambiamento concettuale significa imparare a usare i p-prim giusti al momento giusto

- ❖ I P-prim sono adattati ad altri usi nell'ambito della fisica formale

Cosa c'è di difficile in questo cambiamento?

- ❖ Ci sono moltissimi cambiamenti piccoli ma coordinati da apportare

Sherin, B. (2019). Where are we? Syntheses and Synergies in Science Education Research and Practice. Plenary lecture, ESERA 2019 Conference, Bologna, August 26-30, 2019



La prospettiva della *Knowledge in piece* di Andrea A. diSessa

Forti presupposti alla base della KiP:

- “L'apprendimento è sostanzialmente una rielaborazione di risorse concettuali ingenua”;
- L'apprendimento può essere indagato in modo rigoroso, cioè attraverso un approccio caratterizzato da: (1) esplicitazione teorica (2) chiarezza analitica e (3) trattabilità empirica.



(1) theoretical explicitness

Knowledge that people have (*knowledge base*) and the concomitant processes of knowledge activation (*inferential backdrop*) can and must be brought explicitly into view.

(2) analytical clarity

Clear distinctions of *knowledge characterizations* – as for *the role and the nature* – are possible, *needed and crucial*.

(3) empirical tractability.

Specific qualitative micro-genetic methods can/must be used to inspire, test, check and revise theoretical claims.

La prospettiva della *framework theory* di Stella Vosniadou

Al centro dell'approccio teorico: le spiegazioni iniziali del mondo fisico nella fisica ingenua non sono osservazioni frammentate ma formano un insieme coerente, una teoria quadro" che le persone sviluppano in risposta all'esperienza fenomenica e culturale (Vosniadou, 2013)

"A 'framework theory' is not a well formed, explicit and socially shared scientific theory. Rather, it is a skeletal conceptual structure that grounds our deepest ontological commitments and causal devices in terms of which we understand a domain." (Vosniadou, in Amin & Levrini, 2018)

L'apprendimento nella scienza implica un cambiamento concettuale poiché: "Many science concepts are difficult to learn because they are embedded within scientific theories that violate fundamental principles of the naïve, framework theory of physics within which everyday physics concepts are subsumed. [...]"



Un esempio di framework theory: La teoria dei bambini circa la Terra (costruita nella scuola dell'infanzia)

“the earth is a flat, stable, stationary, and supported physical object. Objects located on the earth obey the laws of an up/down gravity, and space is organised in terms of the dimensions of up and down. The sky and solar objects are located above the top of this flat earth which is thought to occupy a geocentric Universe”. (Vosniadou, 2013)



| | |
|-----------|---|
| Questions | |
| Q1 | What is the shape of the earth? |
| Q2 | Which way do we look to see the earth? |
| Q6 | Can you draw a picture of the earth? |
| Q7 | Now on this drawing, show me where the moon and stars go. Now draw the sky. |
| Q8 | Show me where the people live. |

| | |
|-----|---|
| Q9 | (a) Here is a picture of a house. This house is on the earth, isn't it? (b) How come here the earth is flat but before you made it round? (c) Can you explain this a little more? |
| Q10 | If you walked for many days in a straight line, where would you end up? |
| Q11 | (a) Would you ever reach the end/edge of the earth? (b) Is there an end or an edge to the earth? |
| Q12 | Can you fall off that end/edge? |
| Q13 | Where would you fall? |
| Q14 | (a) Now, I want you to show me where Champaign is. (b) Where is China? |
| Q15 | Now tell me what is down here below the earth. (Experimenter points to the area below the circle in the child's drawing) |

Vosniadou, S., & Brewer, W. E. (1992). **Mental models** of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24(4), 535–585.

Modelli mentali e strutture concettuali sottostanti (ipotesi ontologica)

«Assumiamo che un modello mentale sia una struttura dinamica creata on the spot allo scopo di rispondere a domande, risolvere problemi o affrontare altre situazioni. I modelli mentali sono generati e vincolati da **strutture concettuali sottostanti**. Quindi, se a qualcuno viene detto che ‘L’albero è a destra della casa e il vombato è a destra dell’albero’, si può formare un modello mentale delle loro relazioni in modo tale da rappresentare la casa alla sinistra del vombato. Tuttavia, la costruzione di questo particolare modello è **vincolata da una struttura concettuale sottostante** legata alle proprietà dello spazio euclideo.

Vosniadou, S., & Brewer, W. E. (1992). **Mental models** of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24(4), 535–585.



La prospettiva della *framework theory* di Stella Vosniadou

Al centro dell'approccio teorico: le spiegazioni iniziali del mondo fisico nella fisica ingenua non sono osservazioni frammentate ma formano un insieme coerente, una teoria quadro" che le persone sviluppano in risposta all'esperienza fenomenica e culturale (Vosniadou, 2013)

"A 'framework theory' is not a well formed, explicit and socially shared scientific theory. Rather, it is a skeletal conceptual structure that grounds our deepest ontological commitments and causal devices in terms of which we understand a domain." (Vosniadou, in Amin & Levrini, 2018)

L'apprendimento nella scienza implica un cambiamento concettuale poiché: "Many science concepts are difficult to learn because they are embedded within scientific theories that violate fundamental principles of the naïve, framework theory of physics within which everyday physics concepts are subsumed. [...]"



La prospettiva della *framework theory* di Stella Vosniadou

Che aspetto ha il cambiamento?

Il cambiamento avviene a livello delle teorie quadro e avviene nella categorizzazione, nella rappresentazione, nell'epistemologia e nella creazione di nuovi concetti e nuovi processi di ragionamento. Lungo il percorso si vedranno concezioni sintetiche e ibride.

Cosa c'è di difficile in questo cambiamento?

“The change of the framework theory is difficult because it forms a coherent explanatory system, it is based on everyday experience, and it is constantly re-confirmed by our everyday experiences in the context of lay culture”. (Vosniadou, 2013)

Sherin, B. (2019). Where are we? Syntheses and Synergies in Science Education Research and Practice. Plenary lecture, ESERA 2019 Conference, Bologna, August 26-30, 2019

| The three questions | <i>Knowledge in piece</i> | <i>Framework theories</i> |
|--|--|--|
| <i>What is the nature of the stuff that is changing?</i> | A system of cognitive elements called p-prims (and other unnamed elements of the system). | Framework theories |
| <i>What changes in the process of change?</i> | The system gets tuned up so we use the right p-prims at the right time P-prims are adapted to other uses within formal physics | Changes in categorization, in representation, and in epistemology and the creation of new concepts and new reasoning processes. Along the way will see synthetic conceptions . |
| <i>What's hard about this change</i> | There are many, many small but coordinated changes to make | Because of the conceptualization of initial understandings as a framework theory |

Complexity of the naïve state

Productivity of intuitive knowledge

Grain size and structure

Learning on a short time scale

Knowledge in pieces



Microgenetic learning analysis

Moment-by-moment analysis of the process

Coherence (order) of the naïve state

Unproductivity of intuitive knowledge

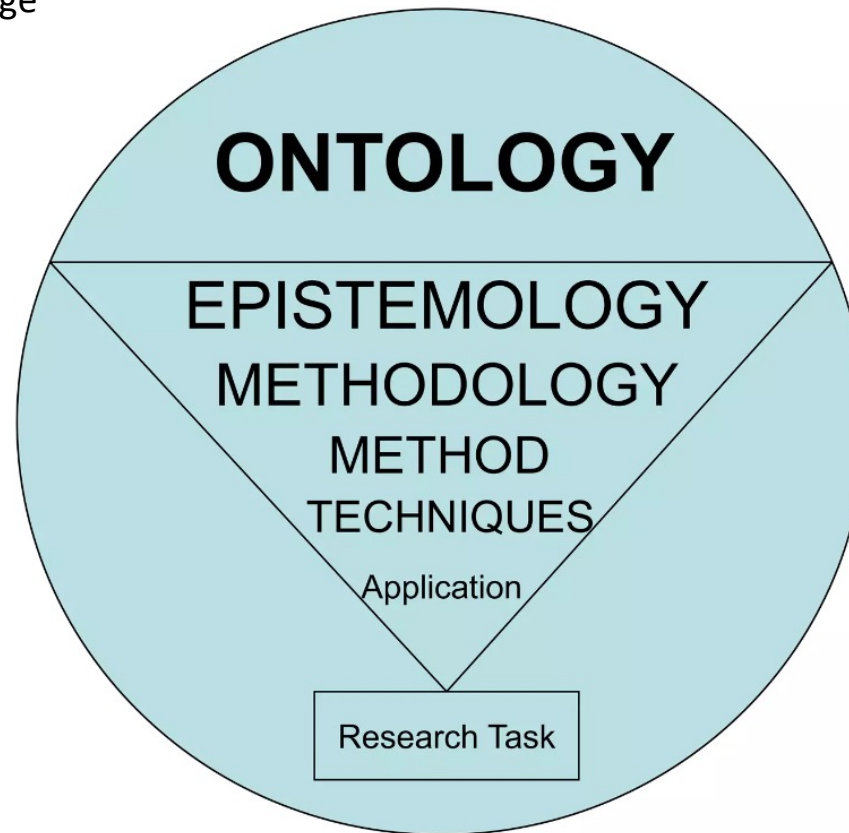
Medium-big size and structure

Learning on a medium-long time scale

Framework theory



Pre-post questionnaire (with an important coding scheme)



Implications for teaching



- Chi, M.T.H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R. Giere (Ed.), *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science* (pp. 129–186). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- diSessa, A. A. (2018a). A friendly introduction to “Knowledge in Pieces”: Modeling types of knowledge and their roles in learning. In *Invited lectures from the 13th international congress on mathematical education* (pp. 65-84). Springer, Cham.
- Duit, R. & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning, *International Journal of Science Education*, 25:6, 671-688.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211–227.
- Sherin, B. (2018). Elements, Ensembles, and Dynamic Constructions. In Amin, T. G. & Levrini O. (Eds) (2018). *Converging Perspectives on Conceptual Change. Mapping an Emerging Paradigm in the Learning Sciences*, London and New York: Routledge, pp.351.
- Vosniadou, S. (2013). Conceptual change in learning and instruction: The framework theory approach. In *International Handbook of Research on Conceptual Change* (2nd ed., pp. 11-30). Routledge.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. E. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24(4), 535–585.





ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Olivia Levrini

Dipartimento di Fisica e Astronomia «A. Righi»

olivia.levrini2@unibo.it

www.unibo.it