



## SCHEDA DESCRITTIVA DELLA PROPOSTA PROGETTUALE DI INNOVAZIONE DIDATTICA

**TITOLO: Innovazione curriculare in fisica per Biotecnologie**

**RESPONSABILE:** Marisa Michelini (SSD. Fis. 08 – Dipartimento DMIF) e Gianluca Tell (coordinatore del ccs in Biotecnologie) con la collaborazione di Daniele Buongiorno (Dottorando di Didattica della Fisica)

**CCS COINVOLTI:** Biotecnologie

Collaborazione con ccs di Area Agraria per il corso di fisica tenuto da Alberto Stefanel

### MOTIVAZIONI E SPECIFICHE ATTIVITÀ PREGRESSE

La fisica è una disciplina di base integrata con la Chimica nel ccs di Biotecnologie a Udine. Essa è stata oggetto di analisi di ricerca ed innovazione negli ultimi due anni in cui si sono introdotte due importanti innovazioni:

a) Tematiche non già trattate e rilevanti per la professionalità del biotecnologo come oscillazioni ed onde, fluidi in equilibrio e fluidodinamica, principali comportamenti dei fluidi reali, fenomeni termici, ottica geometrica e fisica, spettroscopia ottica ed attività seminariali su spettroscopia IR, PET, nanotecnologie, proprietà magnetiche della materia.

b) Laboratorio a gruppi degli studenti su: taratura di strumenti di misura di tempo, forze e temperatura, determinazione della funzione di trasferimento di strumenti, studio delle oscillazioni meccaniche con il computer on-line, riflessione ottica, misura dell'indice di rifrazione di materiali diversi, conduzione del calore nei solidi e misura della conducibilità termometrica, spettroscopia ottica ed analisi di spettri in energia di diverse sorgenti.

La fisica per biotecnologi è oggetto di studio a livello internazionale nella ricerca di strumenti e metodi per migliorare l'insegnamento della fisica nei corsi di studio dell'area bio (Cummings et al 2004; Redish, Hammer 2009; Watkins et al 2012;. Manthey e Brewe 2013; Donovan et al. 2013, Thompson et al. 2013CBE 2013; Meredith Redish 2013; O'Shea et al 2013; Hoskinson et al 2014; Redish et al. 2014).

Tra le diverse aree problematiche, vi sono il ruolo del problem solving e della modellizzazione per attivare un apprendimento integrato di biologia e fisica (Hoskinson et al.2013, 2014), come affrontare temi trasversali come ad esempio l'energia (Cooper e Klymkowsky 2013; Svoboda Gouvea et al.2013;.. Dreyfus et al 2014), di solito proposta in modi molto diversi, per esempio nei corsi di fisica e corsi nel campo della biologia, producendo negli studenti una conoscenza frammentata (Svoboda Gouvea et al 2013) o lo sviluppo di concetti contraddittori e incoerenti ( Dreyfus et al 2014). La sfida è quella di mostrare come la fisica può essere utilizzata per spiegare significativi processi e fenomeni biologici (Bustamante 2004) e come sia possibile dare una descrizione formale a fenomeni biologici (Redish e Cooke 2013), superando la percezione degli studenti per i quali è molto limitato è marginale ruolo di matematica e fisica nell'area biologica (Hall et al. 2011, Watkins, Elby 2013). Da un'altra prospettiva, è importante produrre capacità di integrare le conoscenze e modi di pensare in due o più discipline (Ivanitskaya et al 2002;. Boix Mansilla e Duraisingh, 2007), come pure studiare criteri generali per la valutazione dei nuovi obiettivi di apprendimento, l'integrazione fisica e pensiero biologico (Watkins et al 2012;. Svoboda Gouvea et al 2013, Thompson et al 2013).

Non si tratta soltanto di contestualizzare esercizi, problemi e applicazioni, ma anche considerare problematiche proprie della biotecnologia con strumenti della fisica e ancora di più considerare problematiche che implicano competenze di tipo tecnologico, chimico, fisico e biologico (Svoboda Gouvea et al. 2013).

Il ccs in Biotecnologie dell'Università di Udine, apprezzando e condividendo la necessità di rinnovare in tale prospettiva l'insegnamento della fisica ha deliberato una modifica del piano di studi che prevede di portare da 3 a 4 cfu il corso di fisica.

Il progetto qui presentato mira a:

- Mettere a punto un curriculum organico per i 4 cfu di fisica previsti nel prossimo anno accademici
- Attuare un insegnamento della fisica profondamente integrato con le aree e gli ambiti di interesse del corso di studio in Biotecnologie





- Seguire le proposte validate a livello internazionale di Redish et al, in particolare per quanto riguarda la necessità di cambiare radicalmente approcci, peso dei contenuti trattati, aumentando per esempio la parte di fisica dei fluidi e la fluidodinamica a scapito di un approccio limitato della meccanica del punto materiale (Meredith, Redish 2013; Cummings et al 2004; Redish et al 2015).
- Realizzare un attivo coinvolgimento degli studenti (McDermott et al 2006; Redish, Hammer 2009).
- Proseguire e sviluppare il progetto attuato lo scorso anno accademico, in cui è stato studiato il ruolo della valutazione continua degli studenti e del loro coinvolgimento attivo per un apprendimento efficace dei concetti fondanti della fisica, sia a lezione, sia con supporti di e-learning, sia con attività di laboratorio sperimentale (lavoro apprezzato a livello internazionale nelle pubblicazioni realizzate (Michellini et al 2016 a,b; 2017).
- Migliorare le competenze disciplinari e trasversali sviluppate dagli studenti puntando anche a un incremento del successo formativo, per quanto questo obiettivo sia risultato ben raggiunto negli ultimi 3 anni per quanto concerne il numero di studenti che superano l'esame di fisica (72%) con prove che rappresentano standard a livello internazionale.

#### CONTESTO D'INTERVENTO

Il progetto riguarda gli studenti iscritti al primo anno del corso di Laurea in Biotecnologie. Le innovazioni che saranno messe in campo consolidano l'importante innovazione effettuata negli ultimi tre anni sul piano dei contenuti, delle attività di laboratorio (istituzionalizzato con più di 10 prove), delle esercitazioni con un sistema CAI utilizzato nell'ultimo AA e da completare e le prove d'esame secondo standard internazionali. Il ccs in Biotecnologie ha allo scopo aumentato da 3cfu a 4cfu il peso della fisica ed il successo formativo ottenuto è del 83% degli iscritti.

Le innovazioni introdotte verranno confrontate con quelle analoghe attuate nei corsi di studio Scienze Agrarie; Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e la Natura; Viticoltura e Enologia; Scienze e Tecnologie Alimentari.

Verrà prodotto e messo a disposizione in rete telematica agli studenti diverso materiale didattico di supporto allo studio ed utile anche per studenti non-frequentanti.

#### STRUTTURE COINVOLTE

Il presente progetto coinvolge il Laboratorio di Fisica del Dipartimento di Matematica, Informatica e Fisica, il Progetto IDIFO6 del PLS-Fisica coordinato dalla scrivente e finanziato dal MIUR, il Progetto PLS-Biotecnologie coordinato da Gianluca Tell, l'Unità di Ricerca in Didattica della Fisica (URDF) dell'Università degli Studi di Udine e tutti i relativi materiali didattici e di ricerca.

Potrà inoltre realizzarsi grazie al supporto logistico e di disponibilità di laboratori e materiali della stessa Unità di Ricerca URDF, del CIRD, dei laboratori di ricerca didattica della fisica del DIMA, della disponibilità di attrezzature dell'URDF e dei risponditori automatici (Clicker) concessi in comodato gratuito dalla ditta Promethean per attività di ricerca presso l'URDF.

Potrà valersi inoltre delle collaborazioni di ricerca internazionali sulla didattica universitaria della fisica con il GIREP e il Physics Education Research Group della University of Washington di Seattle (USA) e con i gruppi di ricerca didattica in collaborazione ERASMUS di Iasi, Dresden, Orihuela, San Sebastian.

#### OBIETTIVI

- A) consolidare il nuovo programma di insegnamento di fisica per Biotecnologie focalizzando sui contenuti professionalmente rilevanti per tali studenti
- B) Contestualizzare l'insegnamento in ambiti significativi e interessanti per i corsi di studio e per il tipo di studenti coinvolti
- C) Proporre un insegnamento della fisica basato su strategie di Inquiry Based Learning (McDermott 1991, 2002; Abd-El Khalick, F. et al. (2004) e sulla laboratorialità (Hake 1998; Sokoloff et. al. 2004; Michleini 2010) per un coinvolgimento attivo degli studenti nel loro stesso percorso formativo, e sull'uso del laboratorio esplorativo e sperimentale per realizzare una didattica della fisica basata sulla fenomenologia e focalizzata allo sviluppo di competenza metodologiche
- D) Utilizzare gli strumenti offerti dalle nuove tecnologie dell'informazione e comunicazione, come sensori on-line, sistemi di presentazione e videoproiezione, videoanalisi, per attuare nuove strategie didattiche efficaci per superare i nodi concettuali che costituiscono problema di apprendimento per gli studenti, per



esemplificare metodologie di lavoro tipiche dell'ambito scientifico e fisico in particolare e come esse possano essere utilizzate nell'area delle discipline biologiche (Laws 2004; Heron et al. 2004).

E) Progettare modalità di integrazione di attività in presenza e in e-learning

F) Monitorare il progresso formativo degli studenti con test ingresso, prove parziali strutturate in itinere (valutate e registrate su ESSE3), questionari informali, costruiti sulla base degli standard di monitoraggio internazionale (Sokoloff et al. 204; Halloun, Hestenes 1985, 1995; McDermott, Shaffer 1992), come ad esempio i questionari FCI (Hestenes et al. 1992), MBT (Hestenes, Wells 1992), CSEM (Maloney et al 2001), di cui vengono proposti durante le lezioni specifici quesiti, come sistemi di autovalutazione degli studenti con modalità diverse: problem solving di diversa tipologia e natura (Maloney 1993) durante le esercitazioni integrate con le lezioni; questionari carta-penna; questionari proposti con i clicker o risponditori automatici personalizzati; sessione di quesiti (Challapalli et al 2012; Michleini, Stefanel 2016).

G) Favorire il raggiungimento degli obiettivi del corso da parte degli studenti, migliorare il loro rendimento medio negli esami di fisica, ridurre i tempi medi con cui gli studenti affrontano e superano l'esame di fisica, contribuire a ridurre i casi di abbandono da parte degli studenti iscritti ai corsi di studio interessati.

### STRUMENTI E METODI

Il progetto nella sua fase progettuale si basa su strumenti e metodi tipici della progettazione didattica basata sulla ricerca (McDermott 1991; 1992; 2002; Collins et al. 2004), con particolare riferimento al quadro teorico della Model of Educational Reconstruction di Duit (Duit et al. 2005) e della Learning Progression (Corby Soto 2013).

Mira a sviluppare attività basate sulle metodologie del problem solving (Maloney 1993), dell'Inquiry Based Learning (McDermott 1991, 2002; Abd-El Khalick, F. et al. 2004; Nichleini 2010) con l'impiego di:

- a) Strumenti e apparati per attività sperimentali di diversa natura e realizzazione che utilizzano sia materiali ordinari, sia apparati di laboratorio specifici, sia sensori collegati in linea con l'elaboratore
- b) Strumenti multimediali per realizzare una didattica attiva in presenza, come clicker (Challapalli et al. 2012; Michleini, Stefanel 2016b) e sensori on-line, presentazioni ppt abbinata all'uso di strumenti di presentazione tradizionali; simulazioni basate su modelli fisici, e strumenti di e-learning sviluppati nell'ambiente e-learning dell'Università di Udine (appunti della lezione, questionari di autovalutazione in rete, forum di discussione in rete)
- c) Questionari internazionali o rielaborati da questionari validati dalla ricerca (Hestenes et al 1992a, b, 1995; Maloney 1993; 2001; Boix Mansilla, Duraiongh 2007).
- d) Monitoraggio continuo degli apprendimenti degli studenti.

### STRATEGIE DIDATTICHE

Gli approcci didattici contestualizzeranno la trattazione delle diverse tematiche, tenendo conto delle tipiche difficoltà degli studenti note in letteratura (Duit 2009; McDermott; Redish 1999). Verranno utilizzate strategie tipiche del problem solving (Maloney 1993), dell'Inquiry Based Learning (McDermott 1991; McDermott, Shaffer 2012; Abd-El Khalick et al. 2004; Sokoloff et al 2004; Michleini 2010; Hake 1998) con l'impiego di:

- e) Strumenti e apparati per attività sperimentali di diversa natura e realizzazione che utilizzano sia materiali ordinari, sia apparati di laboratorio specifici, sia sensori collegati in linea con l'elaboratore
- f) Strumenti multimediali per realizzare una didattica attiva (clicker (Challapalli et al 2012; Michleini, Stefanel 2016 b)); Presentazioni ppt abbinata all'uso di strumenti di presentazione tradizionali; simulazioni basate su modelli fisici)
- g) Questionari internazionali o rielaborati da questionari validati dalla ricerca (Hestenes et al. 1992, 1995, Maloney et al. 2001; Maloney 1993; Loverude et al. 2010).
- h) Monitoraggio continuo degli apprendimenti degli studenti.

Integrerà diverse tipologie di attività e strumenti didattici anche nell'ambito di una stessa lezione (tra parentesi una stima della percentuale di tempo per la specifica modalità)

- Lezioni con l'utilizzo alternativo o integrato della lavagna tradizionale e le slide in ppt, mirando alla migliore efficacia espositiva e a seguire il ritmo di apprendimento degli studenti anche in base al loro feedback (32%)
- lezioni dialogate, mirate a stimolare il coinvolgimento degli studenti in merito a (9 %):

- ✓ recupero delle conoscenze fenomenologiche
- ✓ utilizzo dei concetti per analizzare sul piano qualitativo contesti quotidiani e/o tipici dei corsi di studio (modelli qualitativi)
- ✓ utilizzo dei costrutti formali introdotti per costruire semplici modelli formali in grado di rendere conto di fenomeni quotidiani e/o tipici dei corsi di studio (stime di ordini di grandezza)
- ✓ spiegazione di fenomeni quotidiani basate su stime semi-quantitative (modelli formali)
- ✓ strategie da adottare nella risoluzione di semplici applicazioni, problemi, esercizi con l'utilizzo dei costrutti formali via via introdotti nel corso;
  - lezioni basate su esperimenti dimostrativi (interactive lecture demonstration) sia con uso di semplici apparati realizzati con materiali quotidiani (anche videoproiettati), sia in modalità RTL con sensori collegati in linea con l'elaboratore e videoproiezione del grafico acquisito in tempo reale (anche con l'uso di tutorial e attivazione di strategia PEC (Sokoloff et al.2004) (6%)
  - Esercitazioni mirate ad integrare sul piano operativo: l'analisi e modellizzazione di situazioni sia della quotidianità, sia degli ambiti di interesse per in corsi di studio; la risoluzione di problemi, curando il processo di modellizzazione in essi implicito e la individuazione di strategie risolutive generali; la risoluzione di semplici esercizi come occasione per applicare le leggi studiate, ma soprattutto comprendere il ruolo e l'ambito di impiego (16%).
  - Questionari di valutazione (3 intermedi) e autovalutazione costruiti a partire da letteratura di ricerca proposti sia su cartaceo (2), sia on-line (3 sui fluidi e 3 sui fenomeni elettromagnetici), sia con clickers (1 seduta per clickers meccanica; una fluidi; una termodinamica; 1 elettromagnetismo). (11 %)
  - Esperimenti effettuati a gruppi dagli studenti in laboratorio (11%)

#### ASPETTI INNOVATIVI E RESEARCH QUESTIONS

Il presente progetto prevede aspetti innovativi su diversi piani:

- a) Contenuti. La scelta dei contenuti trattati, dei contesti ed esempi in cui discutere i temi trattati e gli esercizi proposti, il taglio dato alla trattazione si sono basati su una preliminare analisi dei contesti in cui la fisica entra nei diversi corsi e dei modi con cui entra nei diversi ambiti (fonti: articoli di ricerca in bibliografia; testi di insegnamento della fisica per l'area biologica; interviste con i colleghi dei corsi di studio coinvolti).
- b) Organizzazione dei contenuti. Il corso verrà studiato come una successione coerente di contenuti, piuttosto che come una semplice giustapposizione di temi. Propone approcci in grado di affrontare le tipiche difficoltà degli studenti in merito ai nodi concettuali delle tematiche trattate (Duit 2009; McDermott; Redish 1999).
- c) Metodologie e strategie didattiche utilizzate, descritte nella sezione precedente, con:
  - Sessioni di laboratorio sperimentale a gruppi (minimo 4 sessioni di 2h)
  - Esperimenti esplorativi e condotti con sensori –on-line in aula dalla cattedra, in particolare per lo studio dei grafici delle grandezze cinematiche che descrivono i processi sia per il moto, sia per i fenomeni termici
  - Questionari implementati con la modalità carta-penna durante le esercitazioni
  - Questionari e singoli quesiti proposti con la modalità interattiva dei clickers
  - Supporto alle esercitazioni anche oltre alle normali ore di lezione e in e-learning.
- d) Valutazione (formativa) continua degli apprendimenti, effettuando:
  - Monitoraggio della situazione iniziale con test ingresso
  - Analisi delle idee iniziali degli studenti sui diversi temi effettuata con una indagine iniziale effettuata con: A) test ingresso standard a risposta multipla; B) per ciascuna tematica una prova iniziale in forma di questionario carta/penna, questionario clicker, questionari a risposta multipla sottoposti a lezione utilizzando la lavagna tradizionale
  - Schede laboratoriali che oltre a guidare gli studenti nelle attività, costituiscono anche strumento di (auto-) valutazione accanto alle relazioni sul laboratorio che gli studenti in forma libera possono produrre
  - Valutazioni in itinere informali con questionari carta-penna, sessioni clickers, domande a scelta multipla con risposta ad alzata di mano, questionari interattivi in rete (proposti in ambiente e-Aspetti caratterizzanti del presente progetto sono:

Le principali research question a cui il progetto si propone di dare risposta sono le seguenti:



RQ1) Quale ruolo ha la contestualizzazione in ambito biologico/naturalistico dei contenuti di fisica per un apprendimento efficace dei concetti fondanti della fisica? Tale research question verrà studiata in particolare per l'ambito dell'ottica fisica e della spettroscopia ottica, della fisica dei fluidi e ancor più in dettaglio per lo studio dei fluidi in movimento nei sistemi biologici.

RQ2) Quali strategie didattiche sono efficaci per l'apprendimento degli studenti?

Si vuole in particolare indagare il ruolo degli strumenti come i clickers da un lato e degli strumenti di e-learning, anche in questo caso con particolare attenzione alla fisica dei fluidi.

RQ3) Quali materiali didattici sono più efficaci per supportare la formazione degli studenti e in particolare quelli non frequentanti?

RQ4) Quali aspetti del corso favoriscono il miglioramento del successo formativo?

#### FASI & ATTIVITA'

Il progetto prevede una fase iniziale di messa a punto di materiali e proposte didattiche sulla base di:

A) Colloqui/intervista con i colleghi afferenti ai Corsi di Studio per individuare i contenuti di fisica più importanti, contesti ed esempi più significativi da proporre agli studenti in cui far riconoscere la fisica e il suo ruolo negli contesti di studio, problematiche interessanti da proporre

B) Analisi della letteratura sulla didattica della fisica a livello universitario degli ambiti disciplinari coinvolti nei corsi di studio coinvolti e dei testi disponibili sia in ambito nazionale sia internazionale

C) Progettazione di nuovi percorsi formativi per la fisica

D) Individuazione di ambiti interessanti, motivanti per gli studenti frequentanti.

E) Messa a punto di strumenti di valutazione formativa sulla base degli standard internazionali, tipicamente coperti da password, a cui si è potuto accedere come Unità di Ricerca in Didattica della Fisica, grazie alle ricerche condotte in oltre 20 anni.

F) Messa a punto di metodologie di didattica attiva, sia in aula a grande gruppo, sia nel laboratorio sperimentale coinvolgendo gruppi di 5-6 studenti, con l'utilizzo di strumenti low-cost (come la tradizionale, ma sempre utile lavagna di ardesia, le presentazioni in ppt, gli strumenti di laboratorio tradizionale) e di strumenti di alta tecnologia che integrano la multimedialità, misure effettuate con sensori on-line, simulazioni, video-analisi di fenomeni reali, modellizzazione.

Una seconda fase di attuazione in aula nel I semestre di insegnamento. Questa seconda fase prevede tre periodi, uno per ciascun modulo in cui è suddiviso il corso. Contestualmente allo svolgimento di ciascun modulo sono previste prove di autovalutazione con le diverse modalità descritte (test carta e penna; test clicker; esercitazioni; questionari in rete). Al termine del corso è prevista una prova intermedia con valutazione ufficiale registrata in esse3.

La terza fase del progetto prevede la valutazione degli apprendimenti, con un'analisi qualitativa dei processi di apprendimento sulla base dei dati raccolti con i diversi strumenti di valutazione utilizzati.

#### MATERIALI MESSI A DISPOSIZIONE

Il progetto si avvarrà dei materiali messi a punto per il progetto dello scorso a.a. proponendone una versione rivista nel presente a.a. in cui in particolare si prevede:

A) Una più intensa e sistematica integrazione della fisica nella trattazione di tematiche di ambito biotecnologico

B) La strutturazione in modo organico del corso di fisica

C) Un sistematico uso di questionari di autovalutazione in rete telematica

D) Utilizzo di questionari e tutorial carta e penna nell'ambito delle lezioni

#### RISORSE

Oltre al docente dei corsi, il progetto si varrà per la sua realizzazione della collaborazione dell'unità di Ricerca in Didattica della Fisica dell'Università degli Studi di Udine, del dottor Daniele Buongiorno (dottorando di Fisica), del tecnico di laboratorio di Biotecnologie, di un tutor didattico per le attività di laboratorio e tutoriali. Per poter essere realizzato nella sua interezza richiede inoltre:

- la disponibilità del laboratorio sperimentale di fisica della sezione di fisica del DIMA e ai suoi materiali

- la disponibilità di una minima attrezzatura acquistata grazie ai fondi del Progetto PLS-Fisica IDIFO6

Il progetto per una piena realizzazione e migliore efficacia necessita delle seguenti risorse integrative:





- a) tutor didattici (richiesti quest'anno ma non ottenuti perché il bando è stato emesso in ritardo)
- b) attività di tutorials con esercitazioni e problem solving
- c) integrazione materiali di laboratorio, soprattutto di consumo
- d) seminari: 3 specifici

#### IMPEGNO ORARIO STRAORDINARIO DEL DOCENTE E DEGLI STUDENTI

L'attuazione del progetto prevede un impegno orario aggiuntivo per il docente di circa 6 ore settimanali per tutta la durata dell'insegnamento (da ottobre 2018 a fine gennaio del 2019).

Non prevede invece un carico aggiuntivo per gli studenti, in quanto le attività innovative sono incluse nelle regolari ore di lezione ovvero costituiscono attività da svolgere nel previsto carico del lavoro autonomo da parte degli studenti. Il progetto impatta piuttosto sul migliore e più efficiente utilizzo del monte ore previsto per il corso da parte degli studenti.

#### CRITERI DI VALUTAZIONE (proposti) IN TERMINI DI EFFICACIA DELL'APPRENDIMENTO

La valutazione degli apprendimenti verrà effettuata utilizzando i seguenti diversi strumenti:

- A) Questionari intermedi
- B) Questionari informali proposti a lezione sia con modalità carta e penna, sia con modalità del questionario interattivo in rete
- C) Schede laboratoriali che oltre a guidare gli studenti nelle attività, costituiscono anche strumento di valutazione accanto alle relazioni sul laboratorio che gli studenti in forma libera possono produrre
- D) Analisi statistica degli esiti degli esami e confronto con gli esiti negli esami degli anni precedenti

Ciascun questionario (sia quelli ufficiali, sia quelli di autovalutazione) verrà valutato:

- in termini quantitativi assegnando un punteggio a ciascuno studente e analizzando l'andamento medio per valutare l'impatto sull'intero campione e considerando il punteggio assegnato a ciascun quesito per individuare aree di forza e aspetti di debolezza o di criticità.

- In termini qualitativi, per analizzare le principali difficoltà e modificare l'intervento, per individuare le principali difficoltà incontrate dagli studenti, avere un feedback sull'impatto del corso e su come modificarlo (Nersessian 2002)

#### BIBLIOGRAFIA

- AAAS- American Academy for the Advancement of Science (2004). *Invention and Impact: Building Excellence in Undergraduate Science, Technology, Engineering and Mathematics Education*, Washington DC: AAAS.
- AAAS-American Academy for the Advancement of Science (2011). *Vision and Change in Undergraduate Biology Education*, Washington, DC: AAAS.
- Abd-El Khalick, F. et al. (2004). *Inquiry in science education: international perspectives*. *International Journal of Science Education*, 88(3), 397-419.
- Boix Mansilla, V, Duraisingh, E. D. (2007). *Targeted assessment of students' interdisciplinary work: an empirically grounded framework*. *The Journal of Higher Education*, 78 (2) 215–237.
- Brewe, E., Pelaez, N. J., & Cooke, T. J. (2013). *From Vision to Change: Educational Initiatives and Research at the Intersection of Physics and Biology*. *CBE—Life Sciences Education*, 12, 117–119.
- Bustamante, C. (2004). *Of torques, forces, and protein machines*. *Protein Science*, 13, 3061–3065.
- CBE (2013). *CBE—Life Sciences Education (LSE): describing teaching and learning at the intersection of biology and physics*. *CBE—Life Sciences Education*, 12.
- Challapalli S R C P, G.Fera, M. Michelini, A. Mossenta, E. Pugliese, L. Santi, A.Stefanel, S. Vercellati (2012) *L'uso dei Clicker per il personale coinvolgimento degli studenti di scienze della formazione nell'apprendimento della fisica*, in *Tecnologie Informatiche per la Didattica*, Didamatica 2012, <http://mondodigitale.aicanet.net/2012-2/didamatica/PAPER/FULL/F143.pdf>
- Collins, A, Joseph, D, & Bielaczyc, K. (2004). *Design research: theoretical and methodological issues*. *J. Learn. Sci.*, 13, 15–42.
- Cooper, M. M., & Klymkowsky, M. W. (2013). *The Trouble with Chemical Energy: Why Understanding Bond Energies Requires an Interdisciplinary Systems Approach*. *CBE-Life Sci Educ.*, 12, 306-312.





- Corby Soto A., Taylor M (2013) Learning Progressions: A Proposed Validation Method- White Paper, Pearson (<http://researchnetwork.pearson.com>)
- Cummings, K., Laws, P.W., Redish E.F., Cooney, P.J., & Taylor, E. F. (2004). Understanding physics. Hoboken, NJ: Wiley.
- Donovan, D. A., Atkins, L. J., Salter, L. Y., Gallagher, D. J., Kratz R. F., Rousseau, J. V., & Nelson, G. D. (2013). Advantages and Challenges of Using Physics Curricula as a Model for reforming an Undergraduate Biology Course. *CBE-Life Sciences Education*, 12, 215-229.
- Dreyfus, B. W., Gouvea, J., Geller, B. D., Sawtelle, V., Turpen, C., & Redish, E. F. (2014). Chemical energy in an introductory physics course for life science students. *American Journal of Physics*, 82(5), 403–411.
- Duit, R., Gropengießer, H., & Kattmann, U. (2005). Towards science education research that is relevant for improving practice: The model of educational reconstruction. In H.E. Fischer, Ed., *Developing standards in research on science education* (pp. 1-9). London: Taylor & Francis.
- Hake, R. (1998). Interactive-engagement vs. traditional methods: A six thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *Am. J. Phys.* **66**, 64-74.
- Hall, K. L., Watkins, J. E., Coffey, J. E., Cooke, T.J., & Redish, E.F. (2011). Examining the impact of student expectations on undergraduate biology education reform. Paper presented at the American Educational Research Association National Meeting, held April 2011 in New Orleans, LA.
- Halloun, I. and Hestenes, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. *Am. J. Phys.* **53**, 1043-1055.
- Halloun, I., and Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion, *Am. J. Phys.* **53**, 1056-1065.
- Heron, P.R. L., Shaffer, P. S., & McDermott, L. C. (2004). Research as a Guide to Improving Student Learning: An Example from Introductory Physics. In *Invention and Impact: Building Excellence in Undergraduate Science, Technology, Engineering and Mathematics Education*, Washington AAAS, pp. 33-38
- Hestenes, D., Wells, M., and Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory, *The Physics Teacher* **30**, 141-151
- Hoskinson, A.M., Couch, B.A., Zwickl, B. M., Hinko, K., Caballero M.D. (2014). Bridging Physics and Biology Teaching through Modeling. *American Journal of Physics*, 82(5), 434-441.
- Hestenes, D. and Halloun, I. (1995). Interpreting the Force Concept Inventory, *The Physics Teacher* **33**, 502-506.
- Hestenes D. and Wells, M. (1992). A Mechanics Baseline Test, *The Physics Teacher* **30**, 159-166.
- Hoskinson, A. M., Caballero, M. D., & Knight, J. K. (2013). How Can We Improve Problem Solving in Undergraduate Biology? Applying Lessons from 30 Years of Physics Education Research. *CBE—Life Sciences Education*, 12, 153–161.
- Ivanitskaya, L., Clark, D., Montgomery, G., Primeau, R. (2002). Interdisciplinary learning: Process and outcomes. *Innovative Higher Education*, 27 (2) 95–111.
- Laws, P. W. (2004). Promoting the Diffusion of Undergraduate Science Curriculum Reform: The Activity-Based Physics Suite as an Example. In *Invention and Impact: Building Excellence in Undergraduate Science, Technology, Engineering and Mathematics Education*, Washington AAAS, pp. 247-252. [https://www.aaas.org/sites/default/files/08\\_Cre\\_App\\_Laws.pdf](https://www.aaas.org/sites/default/files/08_Cre_App_Laws.pdf)
- Maloney D. (1993) Research on Problem Solving: Physics, in D. Gabel ed., *Handbook of research in science teaching and learning*, Pages 327-356.
- Maloney D P, O’Kuma T L, Hieggelke C J, an Heuvelen A V (2001) Surveyings students’ conceptual kwnowledge of electricity and magnetism , *Phys. Educ. Res., Am. J. Phys. Suppl.* 69 (7), pp S12-S23
- Manthey, S., & Brewes, E. (2013). Toward University Modeling Instruction—Biology: Adapting Curricular Frameworks from Physics to Biology, *CBE-Life Sciences Education*, 12, 206-214.
- McDermott L.C. (1991) Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned—Closing the gap *Am. J. Phys.* 59, 301.
- McDermott, L. C., Shaffer, P. S. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. *American Journal of Physics*, 60 (11), 994-1003.
- McDermott, L.C., Shaffer, P.S. and the Physics Education Group at the University of Washington, *Tutorials in Introductory Physics*, 1st ed. (Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 2002). 2nd ed. (Pearson, Upper Saddle River, NJ, 2012)
- McDermott, L. C., Heron, P. R. L., Shaffer, P. S., & Stetzer M. R. (2006). Improving the preparation of K-12 teachers through physics education research, *Am. J. Phys.* 74 (9) 763-767.
- Meredith, D.C., Redish, E.F. (2013). Reinventing physics for life-science majors. *Physics Today*, 66 (7) 38-43.





- Michelini M (2010) Building bridges between common sense ideas and a physics description of phenomena to develop formal thinking, in *New Trends in Science and Technology Education. Selected Papers*, vol. 1, Menabue L and Santoro G eds., CLUEB, Bologna [ISBN 978-88-491-3392-9], pp.257-274
- Michelini, M., & Stefanel, A. (2016a) Teaching/Learning physics to non-physicist: physics for Agricultural, Biotech and Environmental. Contribution to GIREP Congress 2015, Wochlaw, July 6-10, 2015, in *Proceedings of the GIREP Congress 2015*.
- Michelini M. Stefanel A. (2016b) Clicker per l'apprendimento attivo della Fisica degli studenti dell'area Bio, *Proceedings on-line, Didamatica 2016*, [http://didamatica2016.uniud.it/proceedings/dati/articoli/paper\\_106.pdf](http://didamatica2016.uniud.it/proceedings/dati/articoli/paper_106.pdf)
- Michelini, M., & Stefanel, A. (2017) Innovation in physics teaching/learning for the formative success in introductory physics for bio-area degrees: the case of fluids; *Proceedings II WCPE, Sao Paulo, 2016*.
- Nersessian, N. J. (2002). The cognitive basis of model-based reasoning. In P Carruthers, S Stich, & M. Siegal (Eds.) *The Cognitive Basis of Science*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 133–153.
- O'Shea, B., Terry, L., & Benenson, W. (2013). From  $F=ma$  to Flying Squirrels: Curricular Change in an Introductory Physics Course. *CBE-Life Science Education*, 12, 230-238.
- Redish, E. F., Cooke, T. J. (2013). Learning each other's ropes: negotiating interdisciplinary authenticity. *CBE-Life Sciences Education*, 12, 175–186.
- Redish, E. F., Hammer, D. (2009). Reinventing college physics for biologists: explicating an epistemological curriculum. *Am. J. Phys.* 77, 629-642.
- Redish, E.F., Bauer, C., Carleton, K.L., Cooke, T.J., Cooper, M.M., Crouch, C.H., Dreyfus, B.W., Geller, B., Giannini, J., Svoboda Gouvea, J., Klymkowsky, M.W., Losert, W., Moore, K., Presson, J., Sawtelle, V., Thompson, K. V., Turpen, C., Zia, R.K.P. (2014). NEXUS/Physics: An interdisciplinary repurposing of physics for biologists. *Am. J. Phys.* 82, (5) 368-377.
- Sokoloff, D.R., Lawson, P.W., Thornton, R.K.: *Real Time Physics* (Wiley, NY, 2004).
- Svoboda Gouvea, J., Sawtelle, V., Geller, B. D., and Turpen, C. (2013). A Framework for Analyzing Interdisciplinary Tasks: Implications for Student Learning and Curricular Design. *CBE—Life Sciences Education*, 12, 187-206.
- Thompson, K. V., Chmielewski, J., Gaines, M. S., Hrycyna, C.A., & LaCourse, W. R. (2013). Competency-Based Reforms of the Undergraduate Biology Curriculum: Integrating the Physical and Biological Sciences. *CBE—Life Sciences Education*, 12, 162–169.
- Watkins, J., Coffey, J. E., Redish, E.F., Cooke, T.J. (2012). Disciplinary authenticity: enriching the reforms of introductory physics courses for life-science students. *Phys. Rev. ST, Phys. Educ. Res.*, 8, 010112.
- Watkins, J., & Elby, A. (2013). Context Dependence of Students' Views about the Role of Equations in Understanding Biology. *CBE-Life Sciences Education*, 12, 274-286

