

Discutere, Sperimentare Riflettere
Le reazioni chimiche: il tempo e non solo
Rimini, 15-17 Settembre 2025

Percorsi laboratoriali multidisciplinari sulla cinetica chimica



Prof. Sandro Jurinovich

IT «C. Cattaneo» San Miniato (PI)

sandro.jurinovich@scuola.istruzione.it

- **Problemi didattici nell'insegnamento della cinetica**
- **Proposte per il laboratorio della scuola «Del Re»**
- **Percorso multidisciplinare sulla cinetica chimica**
- **Attività laboratoriali significative**
 1. Cinetica chimica e curve epidemiologiche
 2. Studio cinetico di una reazione SN_2 per via conduttimetrica
 3. La cinetica enzimatica

Problemi didattici sulla cinetica chimica

ASTRATTEZZA E RAPPRESENTAZIONI MULTIPLE

Difficoltà nel passare da un livello di rappresentazione ad un altro

DISCONNESSIONE TRA TEORIA E PRATICA

Esperimenti di cinetica a scuola limitati (non mettono in evidenza tutti gli aspetti significativi)

COMPLESSITA' MATEMATICA

Richiesta di competenze matematiche non sempre consolidate

PROBLEMI DIDATTICI

Possibili soluzioni

- Problem-Based Learning
- Attività di laboratorio (ricerca-azione)
- Esperimenti guidati
- Interpretazione di grafici
- Simulazioni informatiche
- Collegamenti a contesti reali

MISCONCEPTIONS FREQUENTI

Idee sbagliate persistenti

METODI DIDATTICI POCO EFFICACI

La lezione frontale con spiegazione astratta tende a rinforzare la memorizzazione meccanica senza comprensione

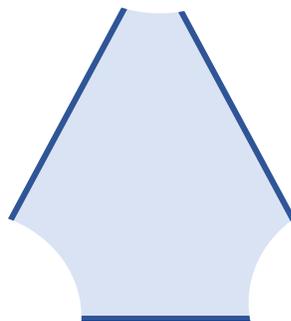
La cinetica coinvolge almeno **tre livelli** di rappresentazione

MACRO

Osservazione diretta dei fenomeni
(cambiamento di colore, formazione di
un gas ecc...)

MICRO

Collisioni molecolari,
energia di attivazione



SIMBOLICO

Equazioni chimiche,
formule matematiche
e grafici

Astrattezza e rappresentazioni multiple

Gli studenti spesso restano sul livello macroscopico (“la reazione è veloce/lenta”) senza collegarlo al livello sub-microscopico, oppure vedono i grafici solo come “linee da memorizzare” senza capirne il significato molecolare.

Possibili soluzioni

- Usare modelli animati (PhET, ChemCollective ecc...) per far «vedere» le collisioni molecolari.
- Far lavorare gli studenti con schede che richiedono traduzioni fra rappresentazioni diverse (*es. descrivi cosa succede a livello molecolare guardando questo grafico*).

Complessità matematica

Le equazioni cinetiche richiedono **competenze matematiche** non sempre consolidate (funzioni logaritmiche, esponenziali, derivate, integrali ecc...).

Gli studenti spesso sanno risolvere i calcoli, ma non capiscono il significato concettuale della costante di velocità o dell'ordine di reazione.

Alcune possibili soluzioni...

- Introdurre la matematica a piccoli passi
- Usare approcci visuali (sovrapporre grafici sperimentali e teorici, «vedere» come varia la velocità di reazione nel tempo)
- Contestualizzare la matematica in esperimenti semplici in cui il legame tempo-velocità è immediato

Misconceptions

Numerose ricerche hanno evidenziato **misconceptions persistenti** che ostacolano la comprensione del concetto di velocità di reazione e dei suoi fattori.

Tali difficoltà derivano sia da una **visione statica** delle trasformazioni chimiche, sia dall'uso di modelli matematici e simbolici astratti.

Alcune possibili soluzioni...

- Approcci costruttivisti e inquiry-based
- Didattica basata sul conflitto cognitivo
- Costruzione guidata delle leggi cinetiche
- Lavorare con grafici interattivi chiedendo agli studenti di «prevedere la forma» prima di vedere i dati reali.
- Uso di analogie e metafore (nei limiti del possibile)

Misconceptions frequenti

Confusione tra cinetica e termodinamica

Studenti confondono **spontaneità** ($\Delta G < 0$) e **velocità** pensando che “*se una reazione è spontanea deve essere anche veloce*”.

Interpretazione errata del concetto di velocità di reazione

Alcuni studenti vedono la **velocità** come un **valore fisso** e non come una grandezza variabile nel tempo. Spesso confondono la **velocità media** con quella **istantanea**.

Uso improprio della legge cinetica

La **legge di velocità** viene interpretata come derivabile direttamente dall'equazione stechiometrica bilanciata e non si comprende che è un fatto sperimentale, non deducibile dalla stechiometria.

Errata concezione delle collisioni

Alcuni studenti immaginano che tutte le collisioni portino a reazione, senza considerare orientazione ed energia di attivazione.

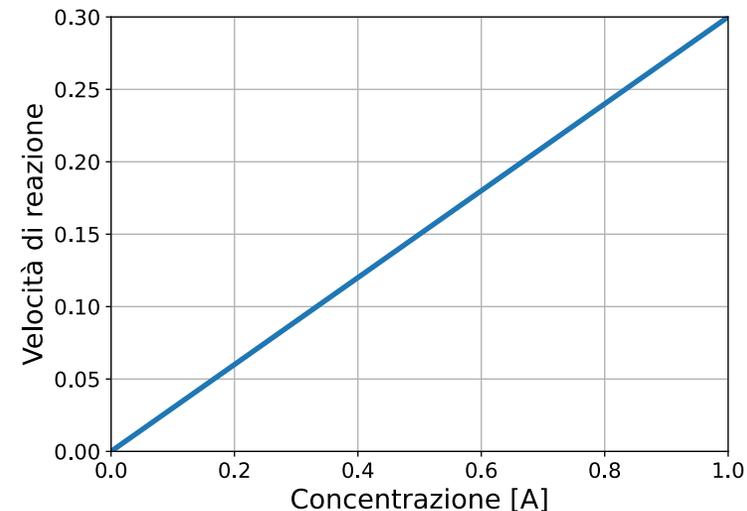
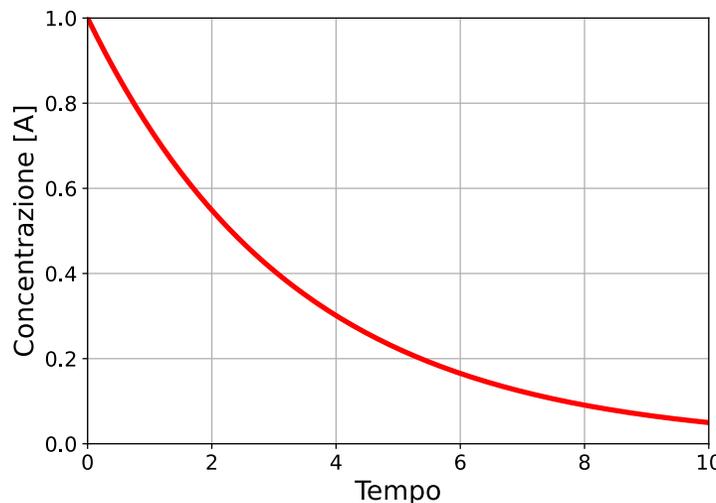
Semplificazioni fuorvianti dei catalizzatori

Convinzione che il catalizzatore “fornisca energia” o “aumenti la resa della reazione”. studenti immaginano il catalizzatore come “un reagente speciale che partecipa al bilancio energetico”.

Difficoltà con i grafici concentrazione-tempo e velocità-tempo

Visione statica dei grafici

- Grafico visto come una «fotografia» e non come una rappresentazione di un processo che evolve nel tempo
- Non si coglie che la **pendenza** della curva rappresenta la **velocità istantanea**



Confusione tra grandezze diverse

Velocità confusa con la **concentrazione** (si pensa alla «quantità che si consuma» invece che al «ritmo di consumo»)

Difficoltà nel collegare i due grafici

Non si percepisce il legame [A] e t, e tra v e t, ciò porta a concepire i due grafici come entità separate, anziché come **rappresentazioni diverse dello stesso fenomeno**.

Le difficoltà matematiche

Gli studenti sanno applicare regole formali a sistemi astratti, ma incontrano ostacoli quando le stesse strutture matematiche vengono calate in un contesto disciplinare diverso

Trasferimento delle competenze matematiche

- In matematica «pura» spesso non ci si sofferma sul **significato concettuale** delle equazioni differenziali che vengono risolte con una sequenza di passi tecnici da applicare meccanicamente.
- Spesso non si riconosce che le stesse regole si applicano anche quando le **variabili sono diverse**
- La conoscenza rimane **compartimentata** tra le diverse discipline

Difficoltà con la notazione ed il significato delle variabili

- In matematica la y è una «funzione generica», mentre in cinetica $[A]$ è una concentrazione con un significato fisico e dimensionale che complica l'analogia con y

Trasferimento

$$-\frac{dy}{dx} = 3y$$

$$-\frac{dy}{y} = 3dx$$

$$\int \frac{dy}{y} = -3 \int dx$$

$$\ln y = -3x + c$$

$$-\frac{d[A]}{dt} = k[A]$$

$$-\frac{d[A]}{[A]} = kdt$$

$$\int \frac{d[A]}{[A]} = -k \int dt$$

$$\ln[A] = -kx + c$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \ln[A] = -kx + c \\ [A]_{t=0} = [A]_0 \end{array} \right.$$



$$\ln[A]_0 = -k \cdot 0 + c$$

$$\ln[A] = -kx + \ln[A]_0$$

$$\ln[A]_0 = c$$

$$[A] = e^{-kx} \cdot [A]_0$$

Gli studenti non vedono che le due equazioni hanno la stessa struttura formale. La difficoltà nasce dal **cambio di contesto, notazione e significato delle variabili** (non per la matematica in sé)

In chimica, quando l'equazione diventa

$$\frac{d[A]}{dt} = -k[A]$$

Serve un'**interpretazione concettuale**:

- Che cosa rappresenta [A]?
- Perché la derivata è negativa?

Matematica vs Cinetica chimica

Aspetto	Matematica (astratta)	Cinetica chimica	Difficoltà tipiche degli studenti	Strategie efficaci
Forma dell'equazione differenziale	$\frac{dy}{dx} = ky$	$\frac{d[A]}{dt} = -k[A]$	Non riconoscono che le due forme sono equivalenti. Significato fisico delle variabili	Esplicitare la corrispondenza: $y \leftrightarrow [A]$, $x \leftrightarrow t$. Fare esercizi paralleli e attività di bridging
Interpretazione della derivata	tasso di variazione istantaneo	velocità di reazione istantanea	Confondono $\Delta[A]/\Delta t$ con $\frac{d[A]}{dt}$; pensano sia solo "variazione nel tempo".	Usare grafici sperimentali $[A](t)$ per mostrare differenza tra Δ e derivata istantanea.
Soluzione integrata	$y = y_0 e^{kx}$	$[A] = [A]_0 e^{-kt}$	Non collegano la soluzione esponenziale al decadimento della concentrazione.	Laboratori con dati reali da cinetica e fit esponenziale / linearizzazione.
Significato di k	Costante matematica	Costante di velocità (dipende da T, catalizzatori, ecc...)	Non distinguono tra "costante numerica" e "parametro fisico".	Discutere unità di misura di k e dipendenza da condizioni sperimentali.
Vincoli	y può essere qualsiasi funzione	$[A]$, $0 \leq$ grandezze fisiche limitate	Confusione quando le soluzioni matematiche sembrano "superare" limiti fisici.	Far ragionare su vincoli fisici: cosa significa concentrazione negativa?

Metodi didattici poco efficaci

Lezioni frontali ed esercizi meccanici

Spiegazione teorica, esercizi standard che favoriscono la memorizzazione di formule e procedure senza una vera comprensione concettuale

Approccio trasmissivo e poco interattivo

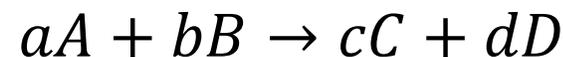
Si trasmettono concetti già pronti e gli studenti rimangono passivi. Non emergono idee preesistenti o misconcezioni che persistono

Scarsa connessione con fenomeni reali

Spesso si usano esempi astratti $A \rightarrow B$ e poco legame con esperimenti osservabili.

Mancata attenzione alle rapp. multiple

Uso prevalente della formula simbolica senza passaggi espliciti fra i livelli macro-micro-simbolico



$$v = -\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{b} \frac{d[B]}{dt} = \frac{1}{c} \frac{d[C]}{dt} = \frac{1}{d} \frac{d[D]}{dt}$$

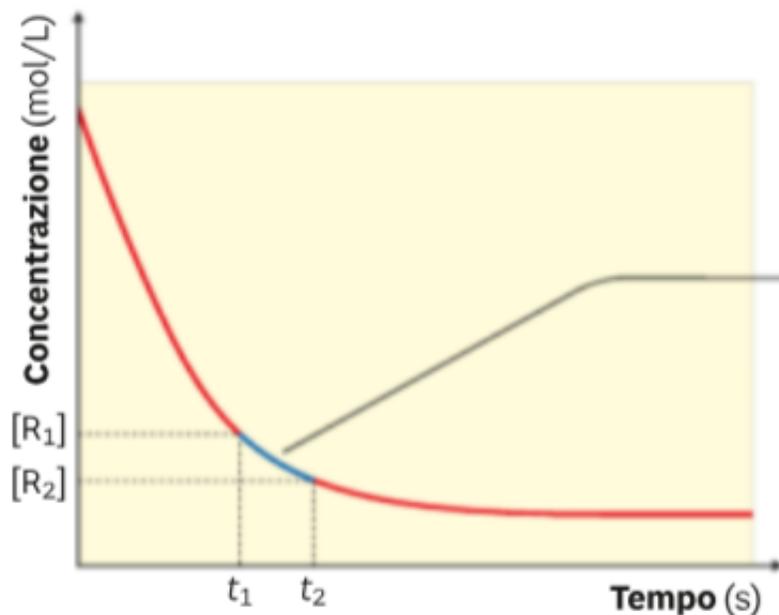
$$v = k \cdot [A]^n \cdot [B]^m$$

- Natura dei reagenti
- Temperatura
- Catalizzatore

Metodi didattici poco efficaci

La velocità di reazione, in quanto riferita a un determinato intervallo di tempo Δt , è una **velocità media** (**Figura 4**) che in un diagramma *concentrazione reagenti-tempo* si calcola con la relazione:

$$v = - \frac{[R_2] - [R_1]}{t_2 - t_1}$$



$[R_1]$ = concentrazione iniziale
 $[R_2]$ = concentrazione finale
 t_1 = tempo iniziale
 t_2 = tempo finale

Disconnessione tra teoria e pratica

Esperimenti ridotti a «spettacoli»

Si mostrano reazioni ad effetto ma gli studenti non sono guidati a collegare dati quantitativi ed equazioni cinetiche

Difficoltà nella lettura dei dati sperimentali

Gli studenti raccolgono dati (tempo, colore, volume di gas), ma non sanno trasformarli in grafici interpretabili.

Valore didattico del laboratorio poco sfruttato

Il laboratorio viene usato in modo verificativo (“misura k e confronto col valore atteso”), non investigativo.

Mancato uso delle rappresentazioni intermedie

Si passa direttamente dai fenomeni visibili (effervescenza, variazione di colore) alle formule matematiche.



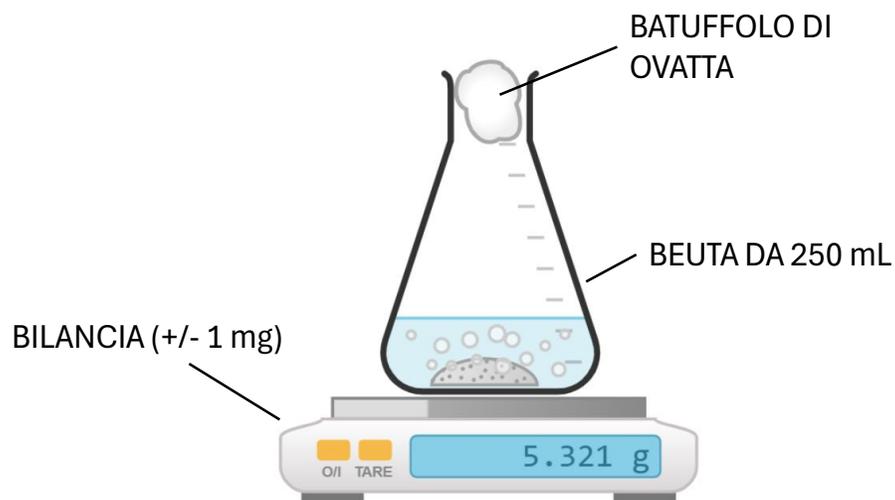
Conseguenze per l'apprendimento

- Persistenza di misconcezioni (velocità = tempo, catalizzatore = aumenta resa).
- Visione della chimica come insieme di formule “da imparare a memoria” disconnesse dal mondo reale.
- Difficoltà nel trasferire concetti a contesti applicativi (reazioni organiche, processi industriali ...).

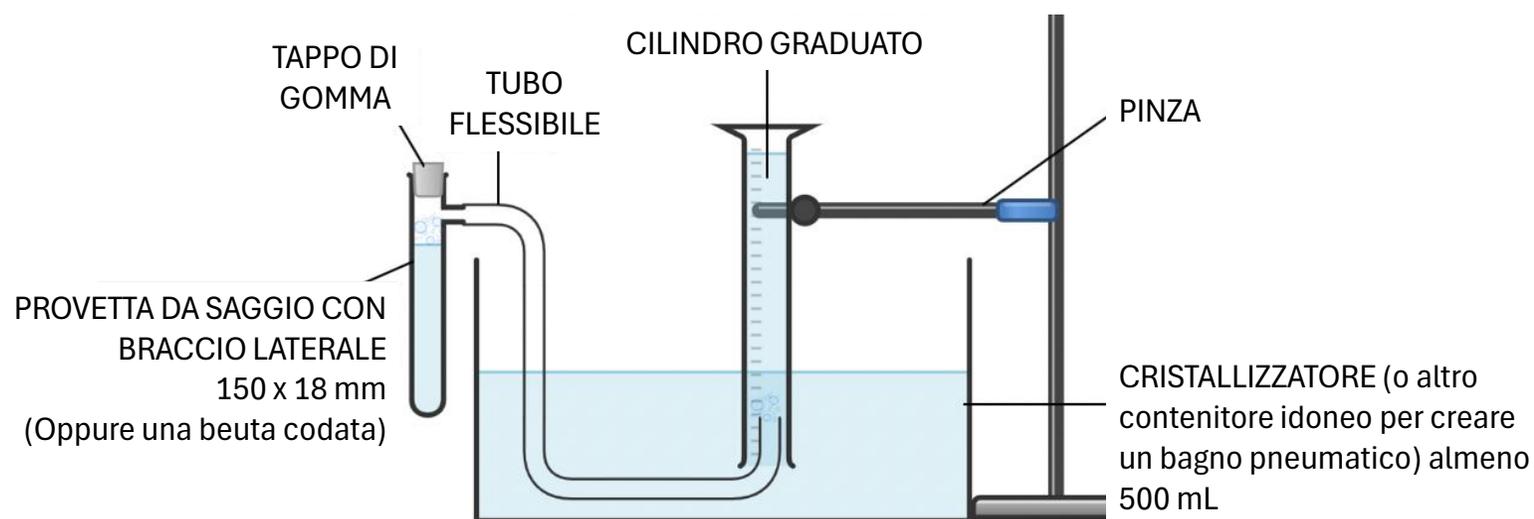
Studio cinetico della reazione tra acido cloridrico e carbonato di calcio

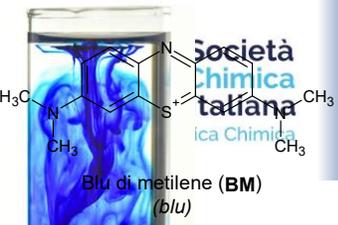


Misura della diminuzione di massa del sistema dovuta alla CO_2 che si libera



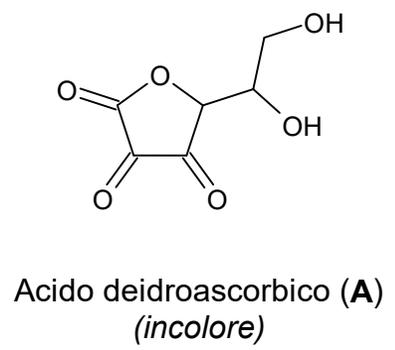
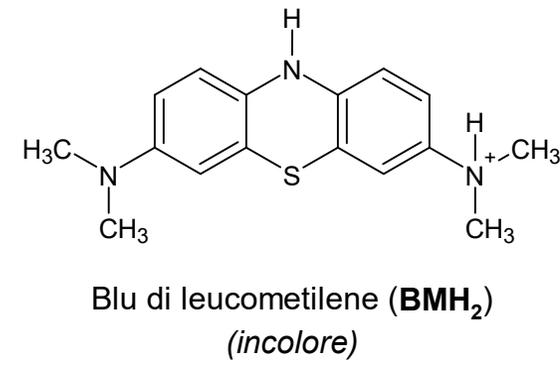
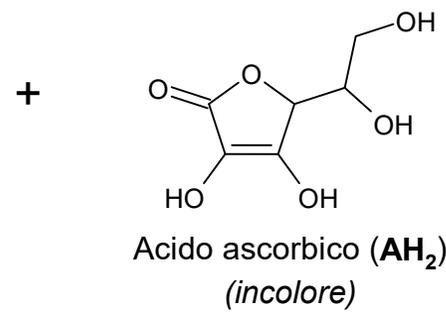
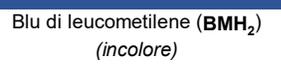
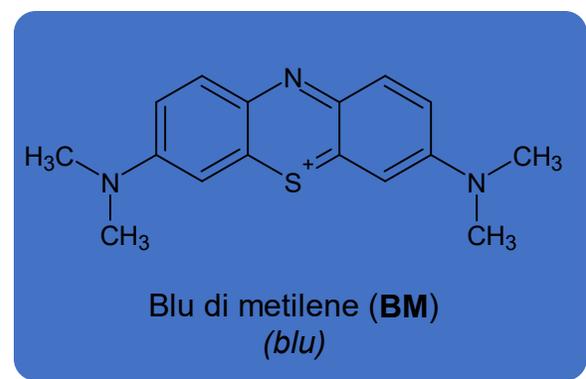
Misura del volume di CO_2 che si libera mediante raccolta con bagno pneumatico



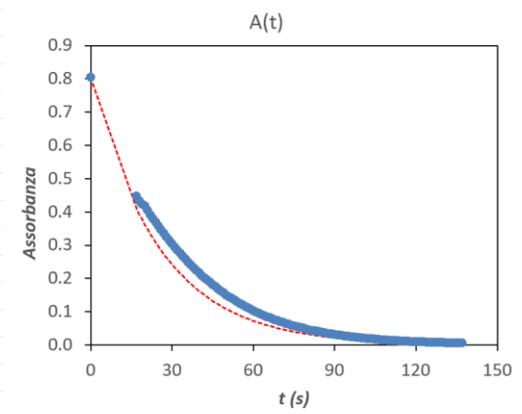


Blu di metilene e acido ascorbico

Studio cinetico della reazione tra blu di metilene e acido ascorbico



A	B	C	E	F	G	H	I	J	K
1	5AC - Esperienza del 21/01/22								
2	Cinetica del blu di metilene con acido ascorbico								
3				$A(t) = A(0) \cdot e^{-k't}$					
4			k'						
5			0.04						
6	t (s)	$A(t)$ exp	$A(t)$ calc						
7	0	0.804	0.804						
8	17	0.448	0.407						
9	18	0.433	0.391						
10	19	0.424	0.376						
11	20	0.418	0.361						
12	21	0.405	0.347						
13	22	0.390	0.333						
14	23	0.379	0.320						
15	24	0.369	0.308						
16	25	0.358	0.296						
17	26	0.346	0.284						
18	27	0.336	0.273						
19	28	0.325	0.262						
20	29	0.315	0.252						
21	30	0.304	0.242						



Analisi matematica per determinare la costante cinetica

Cosa ci dicono le linee guida del triennio dei tecnici?

CHIMICA ANALITICA

Secondo biennio

- Applicazione della termodinamica e delle funzioni di stato agli equilibri fisici e chimici
- Cinetica chimica e modelli interpretativi

CHIMICA ORGANICA

Secondo biennio

- Meccanismo delle reazioni organiche e intermedi di reazione.

Quinto anno

- Nomenclatura, class.ne e meccanismo di azione degli enzimi.
- Cinetica enzimatica.

TECN. CHIM. IND.

Secondo biennio

- Modelli cinetici di base dei reattori, cinetica chimica

Quinto anno

- Cinetica enzimatica, crescita microbica
- Reattoristica e studio dei fermentatori

MATEMATICA

Secondo biennio

- Derivate parziali e differenziale totale.
- Integrazione di funzioni d'interesse per la chimica.
- Equazioni differenziali d'interesse per la chimica.

Percorso multidisciplinare

Contesto: Istituto Tecnico – Chimica, materiali, biotecnologie, classe **quinta**

CHIMICA ANALITICA

Metodi per misurare la concentrazione nel tempo

CHIMICA ORGANICA

La cinetica enzimatica (biochimica)



CHIMICA FISICA

Cinetica chimica
modelli interpretativi

MATEMATICA

Strumenti matematici (equazioni differenziali)

TECN. CHIM. IND.

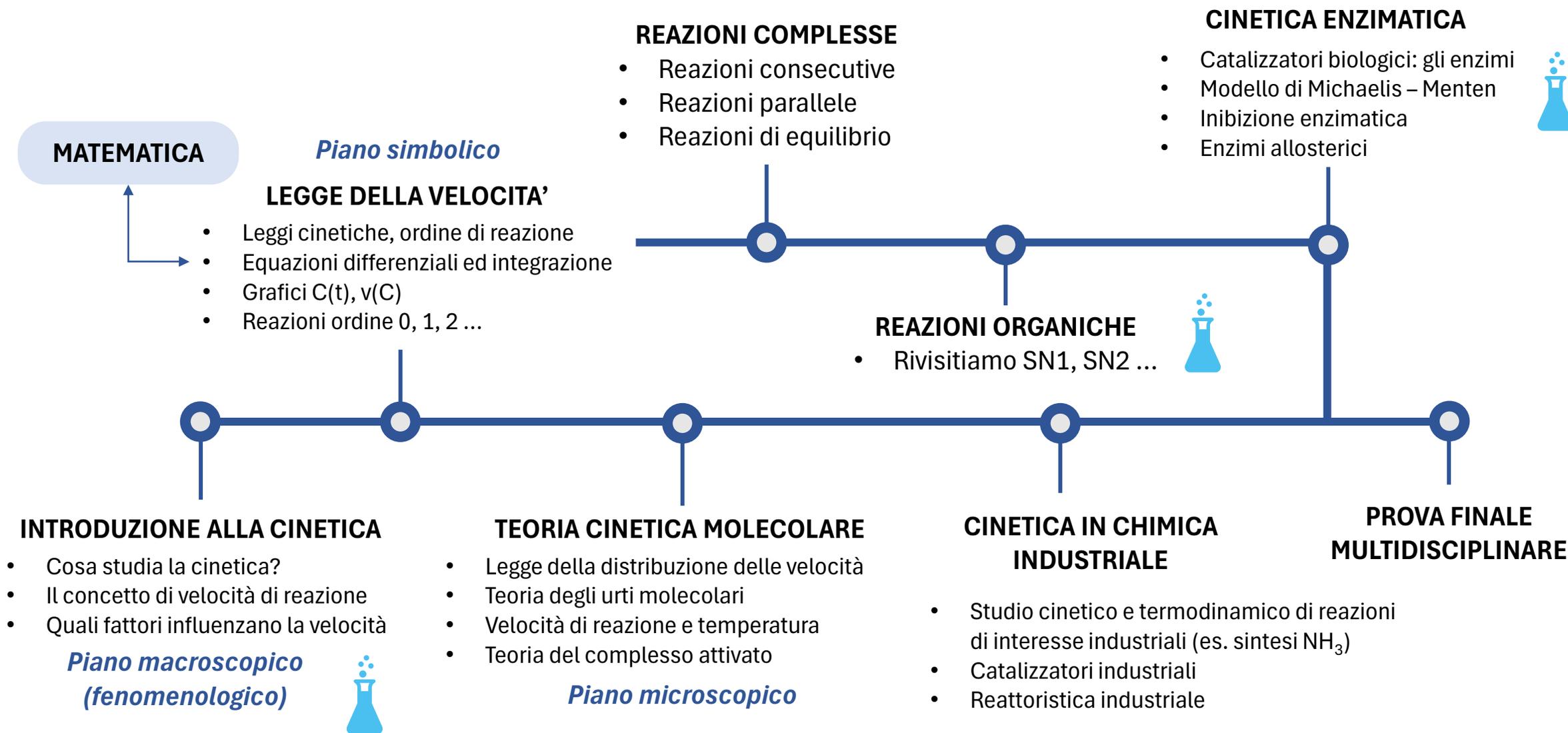
Catalisi industriale. Cinetiche di reazioni di interesse industriale

Elementi chiave per il successo dell'attività

- Necessità di un docente che coordini il gruppo di lavoro.
- Allineamento delle programmazioni delle diverse discipline.
- Disponibilità alla collaborazione e al dialogo tra colleghi.

**EVENTUALE ATTIVITA'
IN COMPRESENZA**

Una proposta di percorso didattico



PERCORSI LABORATORIALI

Martina Pistolesi e Sandro Jurinovich

I.T. "C. Cattaneo", Via Catena 3, San Miniato, Pisa

✉ sandro.jurinovich@posta.istruzione.it

Cinetica di reazione e modello SIR

*Un percorso trasversale di educazione civica
tra chimica, matematica ed epidemiologia*

Jurinovich, Pistolesi, *Chimica nella Scuola*, 3, 2021

- Percorso **trasversale** tra **educazione civica** e **chimica** proposto al rientro dalla pandemia COVID-19
- L'attualità dell'argomento viene sfruttata per la costruzione di un percorso didattico che aiuti gli studenti a comprendere ed interpretare con spirito critico l'andamento dell'epidemia ed il senso e l'importanza delle misure di prevenzione del contagio
- A partire dallo studio cinetico di **reazioni chimiche consecutive** e dalla **risoluzione matematica** delle relative equazioni, si introduce un semplice modello epidemiologico per la descrizione dell'epidemia di COVID-19, sfruttando le analogie e differenze dei due modelli matematici e rafforzando diverse competenze di base di chimica e matematica, in un'ottica multidisciplinare.

JOURNAL OF
CHEMICAL EDUCATION

pubs.acs.org/jchemeduc

Article

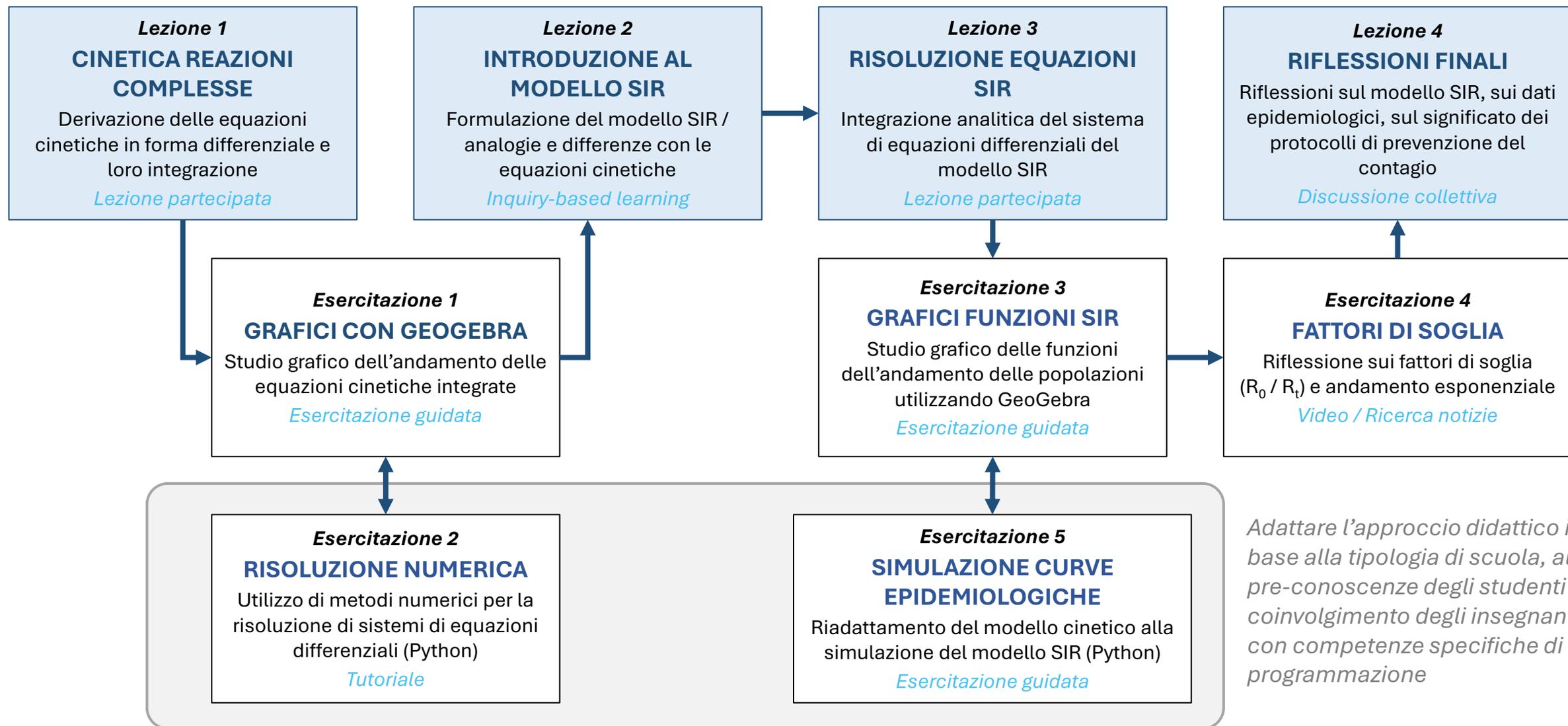
SIR (Susceptible–Infectious–Removed) Model of Epidemiology as an Extended Example for Chemical Kinetics Students

George C. McBane*

Cite This: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00195>

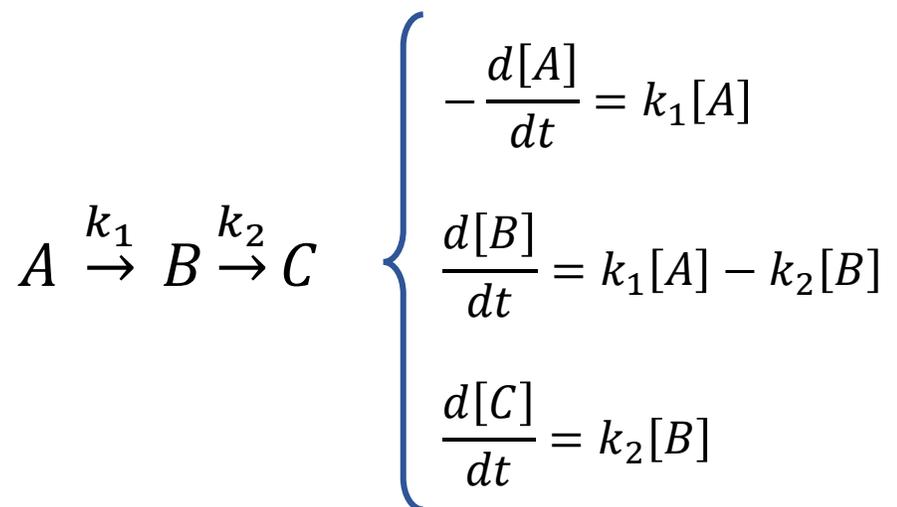
Read Online

Struttura del percorso



Cinetica di reazioni consecutive

Imparare ad impostare le equazioni cinetiche dato uno schema di reazione (anche complesso) ci aiuterà anche in futuro per il trattamento della cinetica enzimatica



A diminuisce nel tempo perché si trasforma in **B** con una velocità direttamente proporzionale alla sua concentrazione.

B si forma da **A** con la stessa velocità con cui **A** scompare, ma contemporaneamente reagisce per formare **C** con una velocità che è proporzionale alla concentrazione di **B**.

C si forma unicamente da **B** con una velocità che è proporzionale alla concentrazione di **B**.

Come risolviamo il problema?

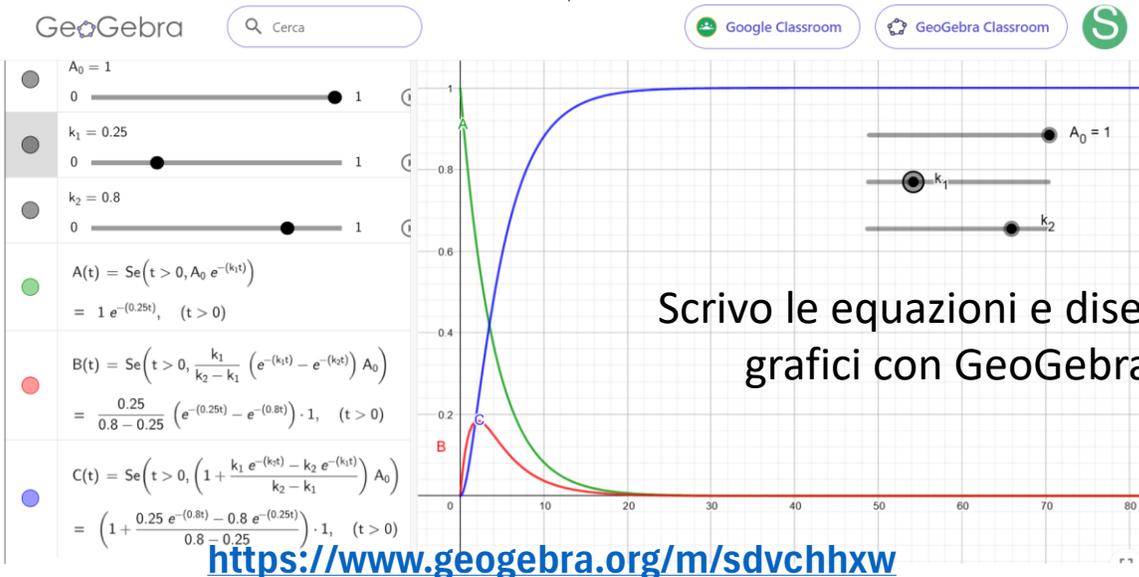
Qual è la funzione che descrive l'andamento delle concentrazioni di A, B e C nel tempo?

Cinetica di reazioni consecutive

RISOLUZIONE DEL PROBLEMA MATEMATICO

Il sistema è risolubile analiticamente e con l'aiuto dell'insegnante di matematica gli studenti ottengono le equazioni integrate che descrivono $[A](t)$, $[B](t)$, $[C](t)$

Utilizzo un metodo di integrazione numerica (es. in Python) per la risoluzione del sistema di equazioni



Scrivo le equazioni e disegno i grafici con GeoGebra

Vettore contenente i valori di A, B e C al tempo t $y = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ A & B & C \end{bmatrix}$

def cin_deriv(y, t, k1, k2):

Parametri del modello

Assegno i valori delle funzioni dal vettore y in input $\{ A, B, C = y$ Vettore dei tempi

Calcolo le derivate

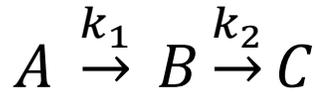
$dA = -k_1 \cdot A$ $\frac{d[A]}{dt} = -k_1 [A]$
 $dB = k_1 \cdot A - k_2 \cdot B$ $\frac{d[B]}{dt} = k_1 [A] - k_2 [B]$
 $dC = k_2 \cdot B$ $\frac{d[C]}{dt} = k_2 [B]$

return [dA, dB, dC]

Vettore delle derivate

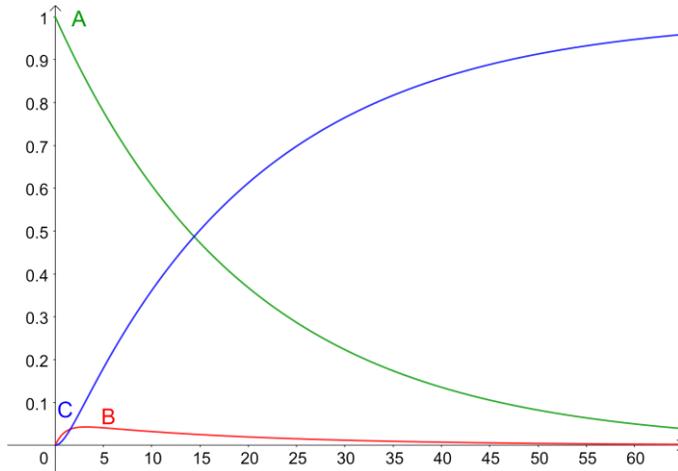
Cinetica di reazioni consecutive

Analizziamo i grafici di due casi limite



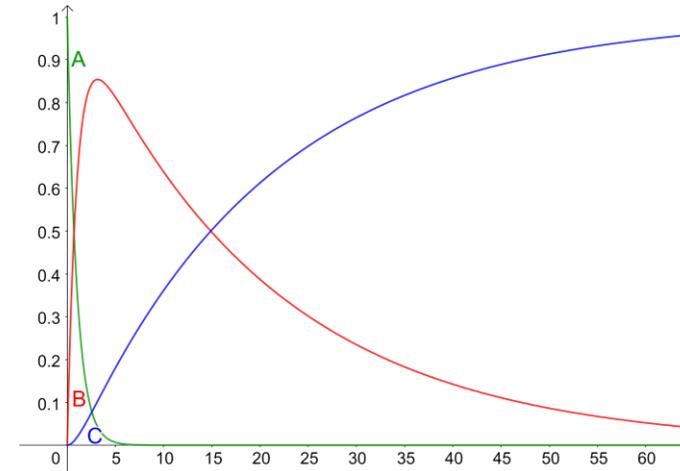
$$k_1 \ll k_2$$

$$k_1 = 0.05 \quad k_2 = 1$$



$$k_1 \gg k_2$$

$$k_1 = 1 \quad k_2 = 0.05$$



$$\frac{d[B]}{dt} \cong 0$$

IOTESI DELLO STATO STAZIONARIO
Questo concetto ci sarà utile per la cinetica enzimatica

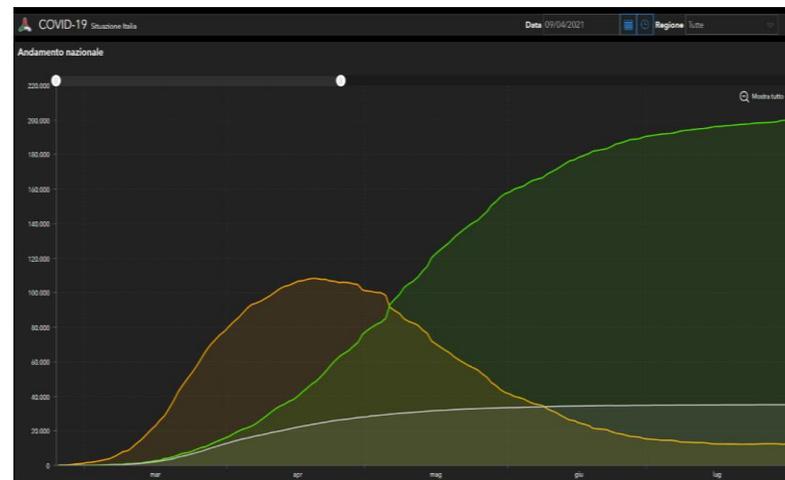
A che cosa assomiglia l'andamento della curva rossa?

L'analogia con la curva del modello SIR

Gli studenti riconoscono che l'andamento è simile alle curve epidemiologiche che mostrano il numero di infetti diffuse dalla protezione civile durante la pandemia di COVID-19.

Ci sono delle analogie tra le reazioni consecutive e le epidemie?

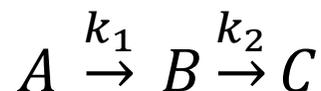
$$N(t) = S(t) + I(t) + R(t) = N_0$$



- S** sani che possono contrarre la malattia
- I** malati che possono trasmettere la malattia
- R** guariti che non possono riammalarsi

$$\begin{cases} -\frac{dS}{dt} = k_1 SI \\ \frac{dI}{dt} = k_1 SI - k_2 I \\ \frac{dR}{dt} = k_2 I \end{cases}$$

Il modello differisce leggermente da quello delle reazioni consecutive perché nelle prime due equazioni deve essere introdotta una dipendenza dal numero di soggetti infetti



Padlet

Sandro Jurinovich • 3a

Cinetica chimica e modello SIR

Cinetica di reazione e modello SIR: un percorso trasversale di educazione civica tra chimica, matematica ed epidemiologia

<https://padlet.com/sandrojurinovich/dpjlk2kom7419gp>

Materiali di supporto

Appendice

Cinetica di reazione e modello SIR: un percorso trasversale di educazione civica tra chimica, matematica ed epidemiologia

APPENDICE

PDF

Appendice

Passaggi matematici per la risoluzione delle principali equazioni e note a supporto del testo principale.

Guida didattica alle esercitazioni

Cinetica di reazione e modello SIR: un percorso trasversale di educazione civica tra chimica, matematica ed epidemiologia

GUIDA DIDATTICA ALLE ESERCITAZIONI

PDF

Guida didattica alle esercitazioni

La guida descrive le esercitazioni sottolineando i collegamenti con le lezioni e proponendo domande-stimolo per gli studenti. Il materiale per ciascuna

Esercitazione 1

Scheda di lavoro

Grafici con GeoGebra dell'andamento della concentrazione dei componenti A, B, C per reazioni chimiche consecutive elementari

PDF

Esercitazione 1

Grafici con GeoGebra dell'andamento della concentrazione dei tre componenti A, B e C per reazioni chimiche consecutive elementari

Risorse digitali

geogebra.org

GeoGebra Classic - GeoGebra

File GeoGebra relativo allo studio delle funzioni cinetiche integrate per le reazioni consecutive

Esercitazione 2

Risorse digitali

trinket.io

Put Python Anywhere on the Web

Codice sorgente programma Python per l'integrazione numerica delle equazioni cinetiche per reazioni consecutive elementari

Esercitazione 3

Scheda di lavoro

Studio grafico dell'andamento della funzione I(S) con GeoGebra

PDF

Esercitazione 3

Studio grafico dell'andamento della funzione I(S) con GeoGebra

Risorse digitali

geogebra.org

GeoGebra Classic - GeoGebra

File GeoGebra relativo allo studio della funzione I(S).

Esercitazione 4

Risorse digitali

Selezione di articoli reperibili online sulla definizione degli indici R_0/R_t

- Corriere della Sera (17/05/2020)
Rt Covid: cos'è l'indice di trasmissione del contagio, e come viene calcolato
- SkyTG24 (22/05/2020)
Indice Rt: cos'è, come si calcola e qual è la differenza con l'RO
- AGI (16/10/2020)
Qual è la differenza tra Rt e RO e cosa ci dicono sul contagio da Covid
- Open.online (3/12/2020)
Rt, cos'è e come si calcola l'indice di contagio del Coronavirus
- Il Sole 24 Ore (5/11/2020)
Cosa misura l'indice Rt? Gli indicatori italiani del Covid-19 spiegati bene

Esercitazione 5

Risorse digitali

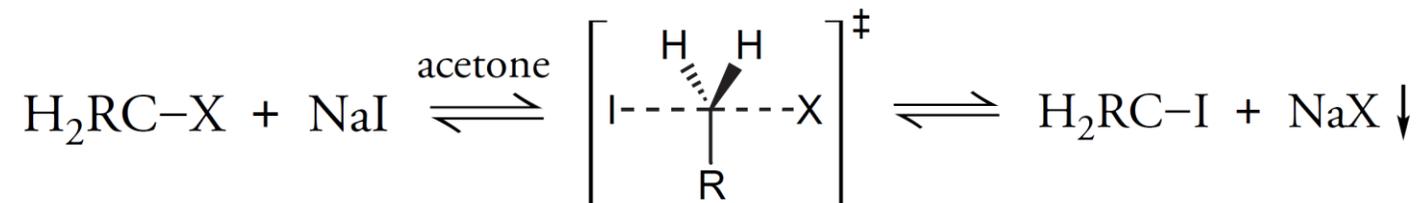
trinket.io

Put Python Anywhere on the Web

Codice sorgente programma Python per l'integrazione numerica delle equazioni del modello SIR

Studio cinetico di una reazione S_N2

La reazione di Finkelstein è una **sostituzione nucleofila S_N2** in cui uno ione ioduro reagisce con un alogenuro alchilico in acetone



Gli obiettivi principali dello studio cinetico sono:

- 1) dimostrare che la reazione segue una **cinetica del secondo ordine**;
- 2) determinare la **costante cinetica** di velocità;
- 3) determinare l'**energia di attivazione** della reazione.

In the Laboratory

The Finkelstein Reaction: Quantitative Reaction Kinetics of an S_N2 Reaction Using Nonaqueous Conductivity

R. David Pace* and Yagya Regmi

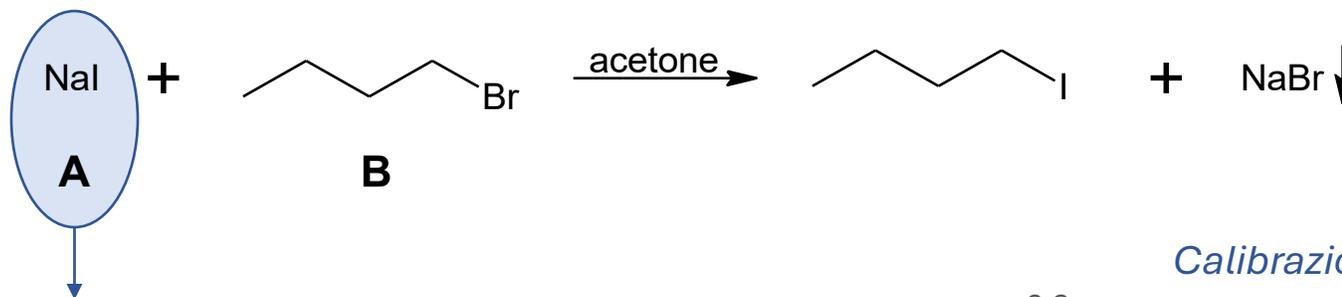
Department of Science and Mathematics, Lyon College, Batesville, AR 72503; *dpac@lyon.edu

Pace, Regmi, *J. Chem. Edu.* 83, 9, 2006

Punti di forza

- Collegamento con matematica (tecniche di integrazione)
- Raccolta, analisi ed elaborazione dei dati (foglio elettronico)
- Uso diverso della conduttimetria come tecnica analitica
- Possibilità di studiare l'effetto della temperatura

Studio cinetico di una reazione S_N2



Unica sostanza che in acetone si comporta da **elettrolita forte**

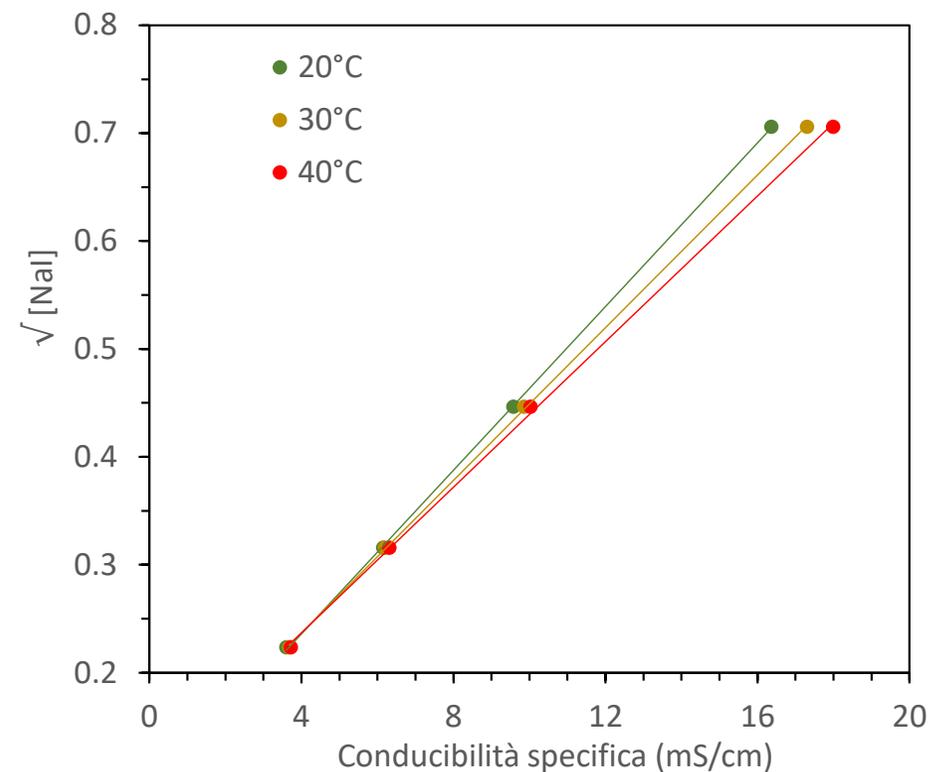


E' possibile seguire la cinetica attraverso la misura della **conducibilità** della soluzione che dipende dalla concentrazione di **NaI**

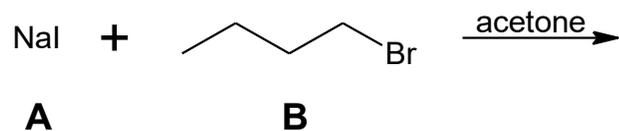
$$\chi \propto \sqrt{c}$$



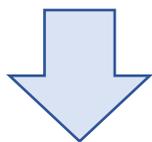
Calibrazione del conduttimetro



Studio cinetico di una reazione S_N2

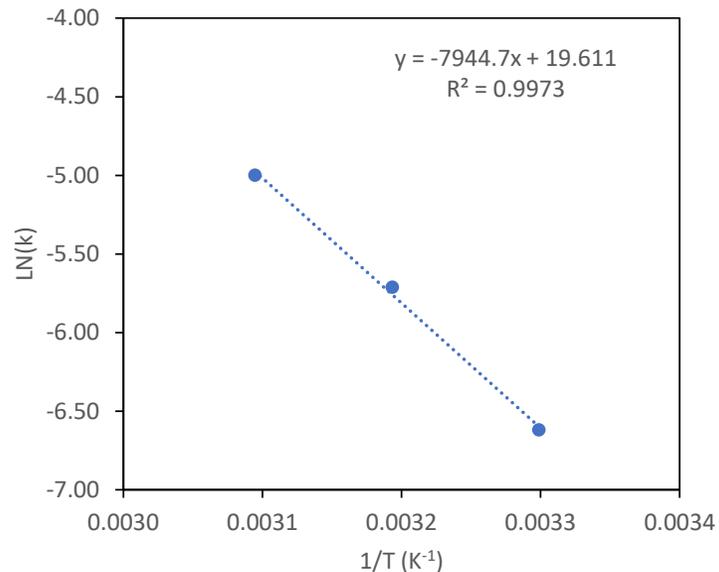
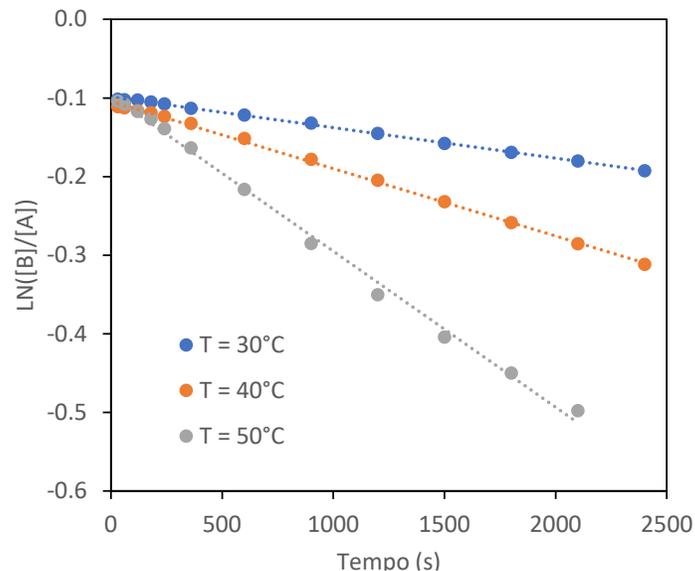


$$v = -\frac{d[A]}{dt} = k[A][B]$$

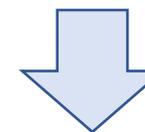


$$\ln \frac{[B]}{[A]} = k([B]_0 - [A]_0)t + \ln \frac{[B]_0}{[A]_0}$$

$$y = m \cdot x + q$$



Dalla pendenza delle rette si ricava la **costante cinetica** (ad una certa temperatura)



Utilizzando l'equazione di Arrhenius si può stimare l'energia di attivazione della reazione

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T}$$

La sequenza didattica

Ricerca preliminare (aula)

Lettura e traduzione di alcune parti dell'articolo originale (inglese)

Lezione 1 (aula)

Discussione del principio del metodo e pianificazione attività di laboratorio

LAB 1

Costruzione rette di calibrazione cond. vs conc.

LAB 2

Misure cinetiche di reazione a diverse temperature

**DATI SPERIMENTALI
RACCOLTI IN FOGLIO EXCEL
CONDIVISO CON LA CLASSE**

Lezione 2 (Lab Inf.)

Elaborazione dei dati guidata dal docente

MATEMATICA
Soluzione equazioni differenziali

Lavoro per casa 1

Relazione di laboratorio (con domande guida)

Lezione 3 (classe)

Correzione e discussione della relazione

Lezione 4 (classe)

Restituzione finale

Lavoro per casa 2

Esercizio di autovalutazione

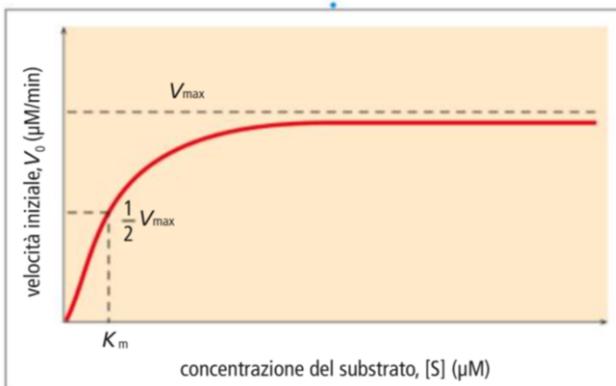
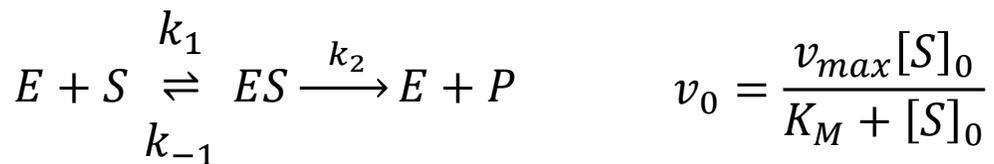
MODULO GOOGLE

CORRETORE

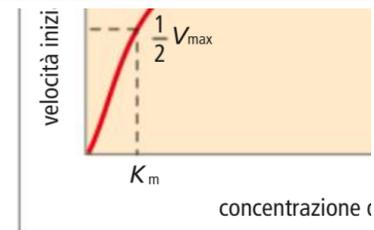
La cinetica enzimatica

Le reazioni catalizzate da enzimi hanno di solito una **dipendenza non lineare** della velocità di reazione dalla concentrazione del substrato. Il caso più semplice di reazione enzimatica è quella fra un **enzima (E)** e un singolo **substrato (S)** che viene convertito nei **prodotti (P)**.

Modello di Michaelis-Menten



In questo campo è ormai noto che per molti enzimi la **velocità iniziale** di catalisi (V_0) cambia con la **concentrazione del substrato** ($[S]$), che varia durante il corso di una reazione, secondo il modello mostrato in **figura 1.8**:



1. quando $[S]$ è bassa, la V_0 aumenta in modo quasi lineare con l'aumento di $[S]$;
2. quando $[S]$ è più elevata, V_0 aumenta in misura sempre minore con l'aumento di $[S]$, avvicinandosi alla **velocità massima** (V_{max}), valore al quale il substrato è talmente concentrato da saturare i siti attivi di ogni molecola di enzima presente.

La relazione tra velocità di reazione e concentrazione del substrato fu descritta all'inizio del secolo scorso dal biochimico tedesco **Leonor Michaelis** (1875-1949) e la fisiologa canadese **Maud Menten** (1897-1960), attraverso una funzione iperbolica nota come **equazione di Michaelis-Menten**:

$$V_0 = \frac{V_{max}[S]}{K_m + [S]}$$

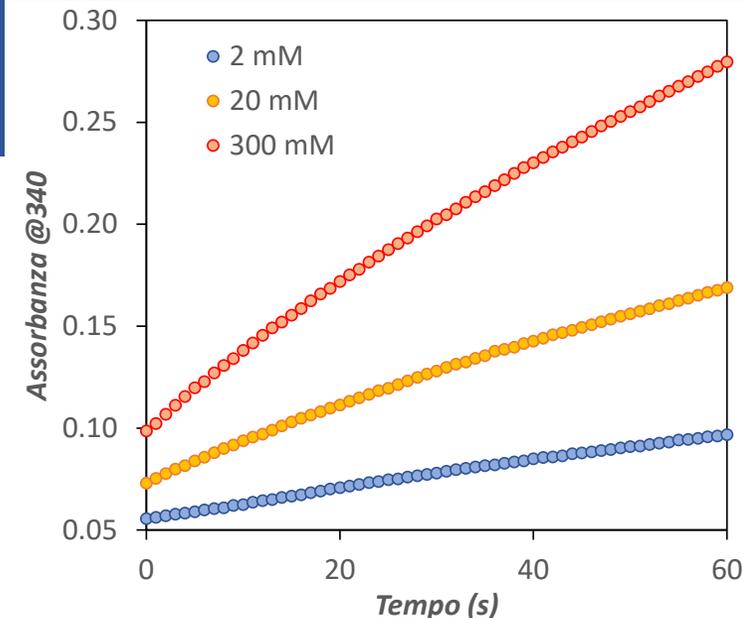
Quando enzima (E) e substrato (S) si incontrano, danno origine a un intermedio (ES) che successivamente si trasforma in enzima e prodotto (P) come mostrato nella schematizzazione in **figura 1.9**. Le fasi di ogni reazione sono caratterizzate da varie costanti di velocità (k_1 , k_2 e k_3), che nell'equazione di Michaelis-Menten sono complessivamente rappresentate dalla **costante di Michaelis** (K_m), un valore caratteristico per ogni enzima (**tabella 1.3**) che ne esprime l'**affinità** per il substrato e cioè la forza attrattiva fra E e S. Il valore della K_m non è legato alla concentrazione dell'enzima, ma dipende dal tipo di substrato e dalle condizioni ambientali, come il pH, la temperatura o la forza ionica dei composti. Numericamente la K_m corrisponde alla concentrazione di substrato che satura la metà dei siti attivi dell'enzima presente, determinando una velocità di reazione pari a metà della V_{max} . Se il valore di K_m è molto grande significa che il legame fra E e S è debole e quindi c'è una bassa affinità; al contrario se la K_m è molto piccola l'affinità fra E e S è assai elevata.

Quali problematiche?

ASPETTI CONCETTUALI

- Difficoltà di collegare il modello con i processi molecolari
- Comprendere le semplificazioni del modello
- Utilizzo della velocità iniziale (v_0)
- Tutte le reazioni enzimatiche seguono M-M
- Confusione tra velocità massima V_{max} e affinità K_M

*Dati sperimentali
Alcol deidrogenasi
Etanolo + NAD⁺*



ASPETTI COGNITIVI

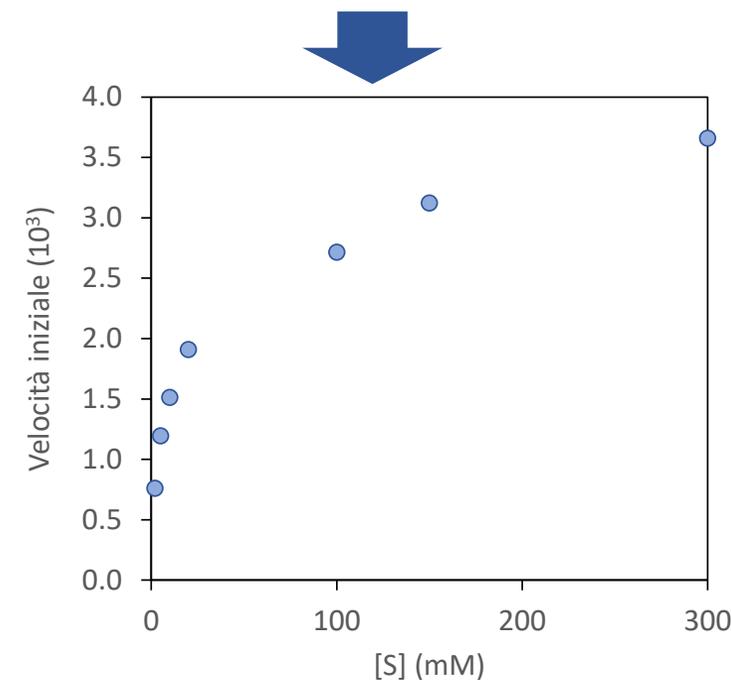
- Sovraccarico cognitivo
- Misconceptions persistenti
- Scarsa connessione con esempi reali

ASPETTI MATEMATICI

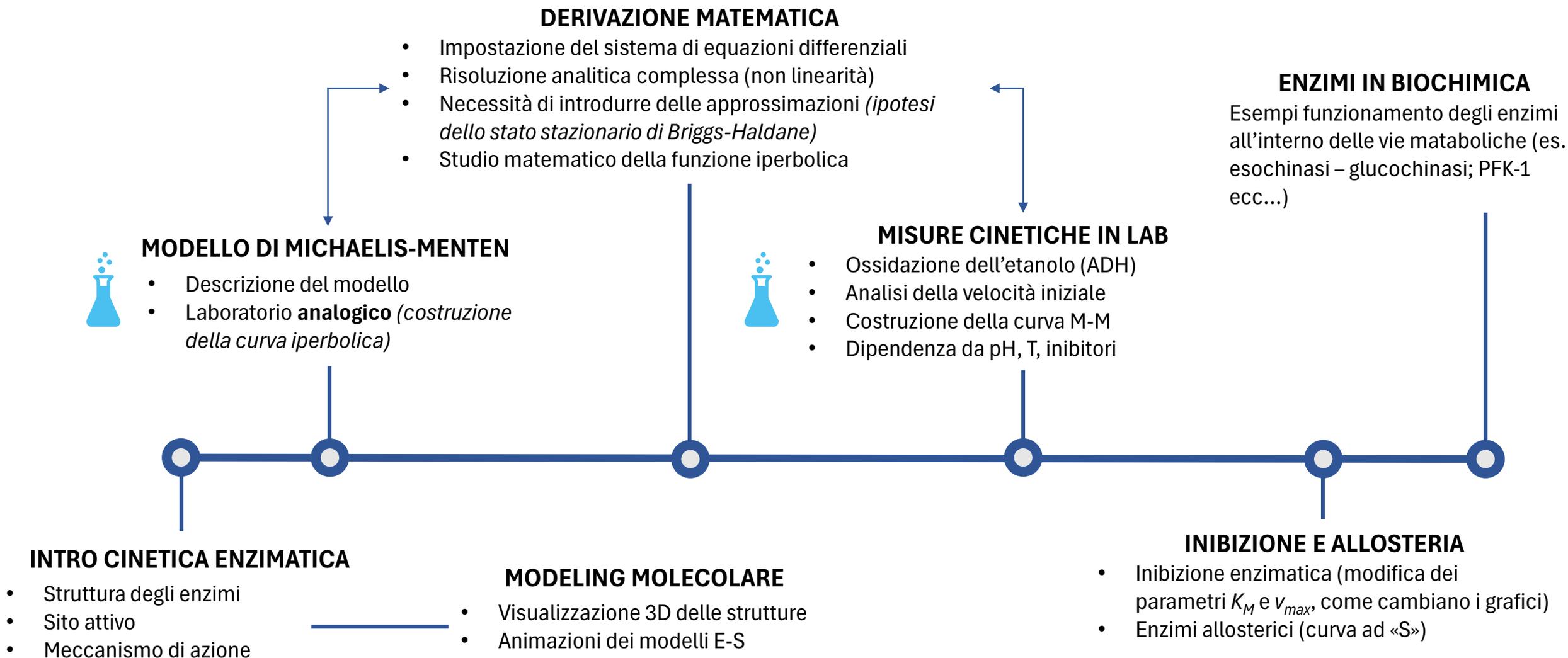
- Comprensione delle curve iperboliche
- Uso delle trasformazioni lineari
- Estrazione grafica della velocità iniziale

ASPETTI SPERIMENTALI

- Misura della velocità iniziale di reazione. Perché? Come?
- Limiti del laboratorio scolastico (difficoltà nel riprodurre condizioni controllate), spesso si utilizzando modelli semplificati (es. catecolasi dalla patata) che possono introdurre deviazioni dai modelli ideali.

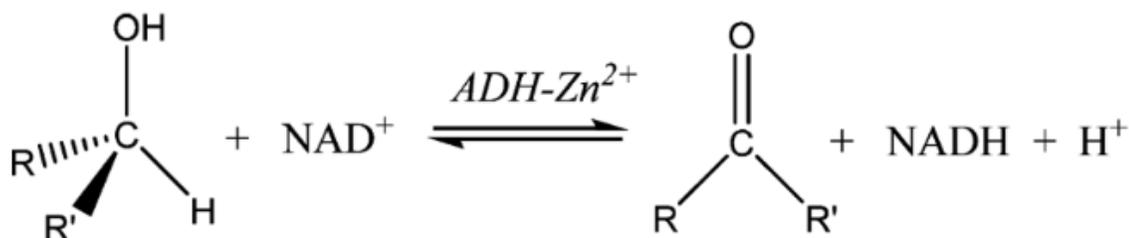


Un percorso sulla cinetica enzimatica



Quale reazione studiare in laboratorio?

L'**alcol deidrogenasi** catalizza l'**ossidazione** degli **alcoli** a chetoni o aldeidi. La reazione può essere studiata per via **spettrofotometrica** grazie all'assorbimento del NADH nella regione del vicino UV ($\epsilon_{340} = 6220 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$)



Condizioni sperimentali

- Substrato: ETANOLO (2 – 300 mM)
- Cofattore: NAD⁺ (0,25M)
- Enzima: ADH (7 nM)
- Tampone: TRIS 20 mM (pH 8,3)

JOURNAL OF
CHEMICAL EDUCATION

Laboratory Experiment

pubs.acs.org/jchemeduc

The Alcohol Dehydrogenase Kinetics Laboratory: Enhanced Data Analysis and Student-Designed Mini-Projects

Todd P. Silverstein*

Department of Chemistry, Willamette University, Salem, Oregon 97301, United States

[Supporting Information](#)

Silverstain, *J. Chem. Edu.*, 5, 93, 2016



A7011 ▶ Sigma-Aldrich.

[Condividi](#)

Alcohol Dehydrogenase from *Saccharomyces cerevisiae*



≥ 300 units/mg protein, lyophilized powder (contains buffer salts), M_w

141-151 kDa

Grazie per l'attenzione!