Gli enzimi: catalizzatori biologici

Il modo più semplice per velocizzare una reazione chimica è quello di aumentare la temperatura a cui avviene la reazione. La temperatura di un ambiente cellulare è, per gli standard di una reazione chimica, piuttosto bassa: basti pensare che la normale temperatura corporea nell'uomo e negli altri mammiferi è di circa 37 °C. Nonostante questo le reazioni cellulari possono essere molto veloci. Per quale motivo le reazioni metaboliche avvengono a velocità elevate? Le reazioni dei sistemi biologici vengono accelerate dall'azione di particolari sostanze, gli enzimi.

Gli **enzimi** *sono catalizzatori biologici, molecole proteiche che svolgono un'azione catalitica sui sistemi biologici.*

I catalizzatori sono sostanze che abbassano l'energia di attivazione di una reazione chimica accelerandola (figura 1).

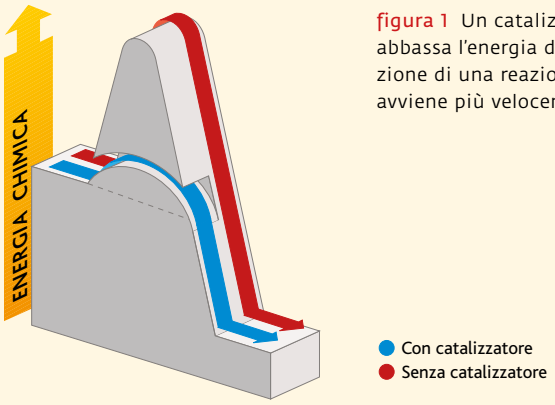

figura 1 Un catalizzatore abbassa l'energia di attivazione di una reazione, che avviene più velocemente.

Una molecola proteica, per poter agire da catalizzatore ed essere considerata un enzima, deve possedere le seguenti caratteristiche:

- non si deve consumare durante la reazione. I catalizzatori non sono reagenti, per cui non devono modificare la loro struttura a seguito della reazione per poter svolgere la loro attività catalitica nei confronti di un *substrato*. Il substrato è la molecola su cui agisce un enzima;
- deve essere efficace anche in piccole quantità;
- deve avere azione specifica nei confronti di un substrato. In questo modo vengono accelerate solo determinate reazioni chimiche. La maggior parte degli enzimi agiscono su un unico substrato, altri invece possono agire su un numero limitato di composti chimicamente molto simili. Nel primo caso si parla di *specificità assoluta* dell'enzima, mentre nel secondo caso si ha una *specificità relativa*.

Gli enzimi abbassano l'energia di attivazione di una reazione in quanto ne variano il meccanismo. Consideriamo la reazione in cui il substrato S si trasforma nel prodotto della reazione P:

$$S \rightleftarrows P$$

La stessa reazione in presenza di un catalizzatore E diventa:

$$E + S \rightleftarrows ES \rightleftarrows EP \rightleftarrows E + P$$

L'enzima E reagisce con una molecola di substrato S per formare un *complesso enzima-substrato* ES. Successivamente la molecola di substrato viene convertita in una molecola di prodotto P rigenerando l'enzima, che può continuare la sua azione catalitica reagendo con altre molecole di substrato. Ciascuno dei singoli passaggi della reazione catalizzata ha una propria energia di attivazione, che è inferiore rispetto alla reazione non catalizzata (figura 2).

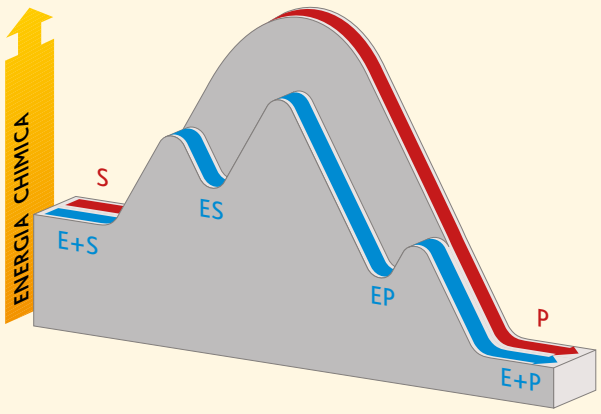

figura 2 Una reazione catalizzata (in blu) avviene seguendo un'altra via rispetto alla reazione non catalizzata (in rosso). Ciascuna delle singole reazioni che avvengono in presenza dell'enzima hanno energia di attivazione inferiore rispetto alla reazione non catalizzata.

Solo una piccola parte della molecola enzimatica interagisce con il substrato tramite la formazione di legami deboli.

La parte dell'enzima che si lega con il substrato è il **sito attivo.**

Il meccanismo d'azione degli enzimi può essere spiegato attraverso un modello chiamato a *chiave-serratura*. Secondo questo modello l'enzima può essere paragonato a una serratura nella quale può entrare solo una specifica chiave, il substrato (figura 3). L'enzima e il substrato devono avere forme che si adattino perfettamente l'una all'altra. Il modello chiave-serratura è stato proposto alla fine dell'Ottocento dal chimico tedesco Hermann Emil Fischer (1852-1919).

Nel 1958 il biochimico statunitense Daniel Koshland (1920-2007) propose un modello più complesso, ma più aderente alla realtà, per spiegare l'attività enzimatica. Gli enzimi sono infatti strutture flessibili e non rigide, per cui possono modificare la loro forma dopo che il substrato si è legato al sito attivo. Questo modello è chiamato *modello dell'adattamento indotto* (figura 4).

In ogni singola cellula vi sono più di 1000 enzimi. La mancanza anche di uno solo di questi può provocare alterazioni del metabolismo. Per esempio la mancanza di un particolare enzima, la tirosinasi, provoca l'*albinismo*, una condizione genetica di scarsa pigmentazione della pelle e dei capelli (figura 5). La tirosinasi catalizza una serie di reazioni che portano alla formazione del pigmento *melanina*, responsabile del colore scuro della pelle. Quando la tirosinasi è assente, la melanina non viene prodotta e i capelli e la pelle risultano molto chiari.

figura 3 Il modello chiave-serratura, sebbene semplifichi molto il meccanismo di azione degli enzimi, mostra chiaramente come sia necessaria una affinità strutturale tra il sito attivo dell'enzima e il substrato, proprio come si verifica tra una serratura e la sua chiave.

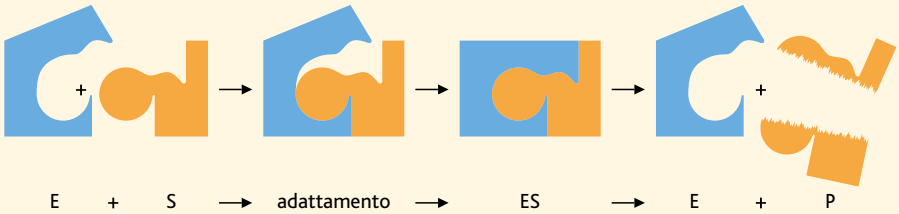

figura 4 Secondo il modello dell'adattamento indotto, l'enzima modifica la sua forma, adattandola al substrato, solo dopo che questo si è legato al sito attivo.

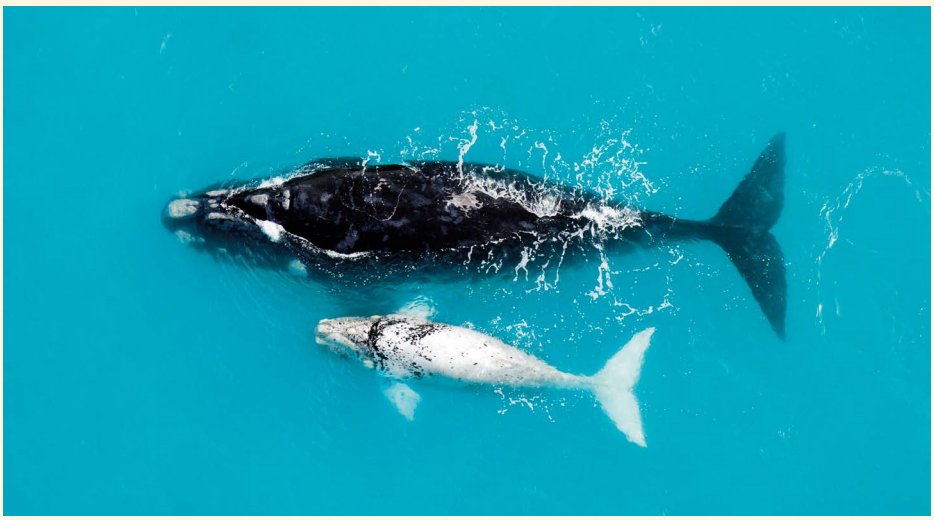

figura 5 L'albinismo è dovuto all'assenza di un meccanismo che controlla la sintesi del pigmento melanina e influenza anche altri caratteri. L'albinismo riguarda l'uomo e molte altre specie.