

CLASSIFICAZIONE ENZIMI



nome raccomandato

nome sistematico



reazione catalizzata

Classe di enzima	Reazione catalizzata
1. Ossidoreduttasi	Ossido-riduzione
2. Transferasi	Trasferimento di gruppi funzionali
3. Idrolasi	Idrolisi
4. Liasi	Eliminazione di gruppi (formazione di doppi legami)
5. Isomerasi	Isomerizzazione
6. Ligasi	Formazione di legame accoppiata con rottura di un trifosfato

Enzyme Commission (EC) ha assegnato ad ogni enzima una serie di 4 numeri che hanno il seguente significato

EC (i) . (ii) . (iii) . (iv)

classe principale
indica il tipo di
reazione catalizzata

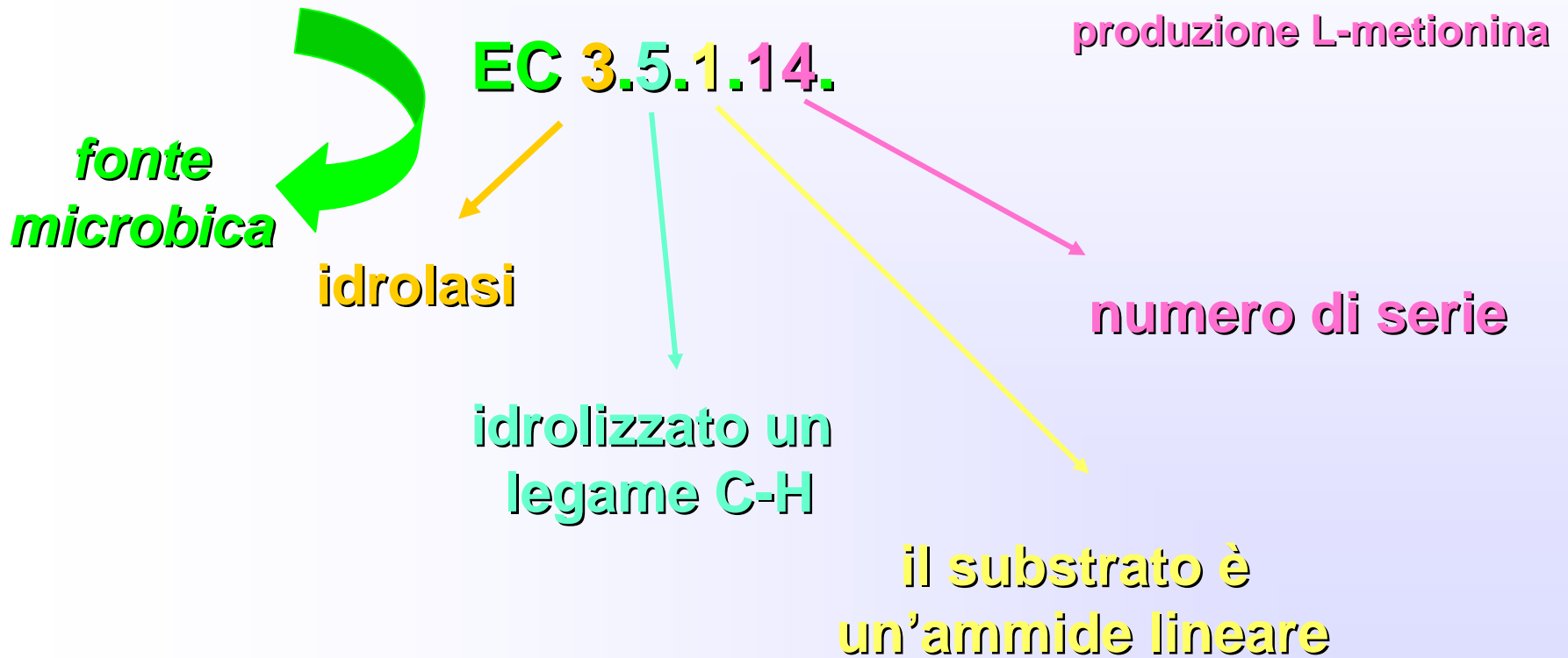
sottoclasse
indica il tipo di substrato,
il tipo di gruppo funzionale trasferito,
o la natura di uno specifico
legame coinvolto nella reazione

sotto-sottoclasse
esprime la natura del substrato
e del cosubstrato

un numero di serie
arbitrario

ESEMPIO

nome sistematico *N*-acil-L-amminoacido amminoidrolasi



EC 1 Ossidoreduttasi

catalizzano le reazioni di ossidoriduzione

tutti questi enzimi agiscono sul substrato trasferendo elettroni

**nella maggior parte dei casi il substrato che viene ossidato
è visto come donatore di idrogeno**

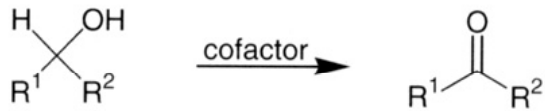
vari cofattori o cosubstrati agiscono come molecole accettori

il nome sistematico è basato sul donatore:accettore ossidoreduttasi

**dove sia possibile si usa il termine deidrogenasi
altrimenti si usa il termine reduttasi**

**se l'accettore è l'ossigeno molecolare O₂,
l'enzima si può chiamare ossidasi**

EC 1.1 *Agisce sui donatori CH-OH*

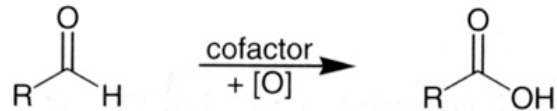


R¹ = hydrogen, organic residue

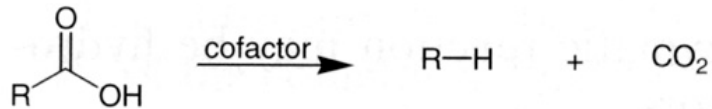
R² = hydrogen, organic residue, alcoxy residue

Le sotto-sottoclassi sono definite dai tipi di cofattori

EC 1.2 *Agisce sui donatori aldeidici e carbossilici*



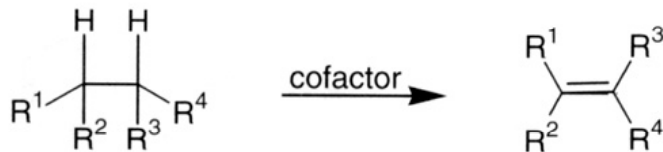
or



R = hydrogen, organic residue

Le sotto-sottoclassi sono definite dai tipi di cofattori

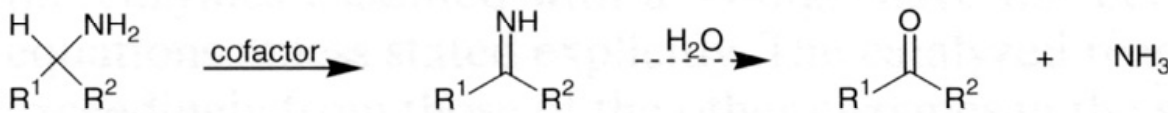
EC 1.3 Agisce sui donatori CH-CH



$\text{R}^{1,2,3,4}$ = hydrogen, organic residue

Le sotto-sottoclassi sono definite dai tipi di cofattori

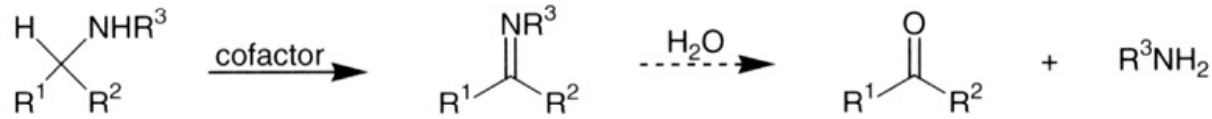
EC 1.4 Agisce sui donatori CH-NH₂



$\text{R}^{1,2}$ = hydrogen, organic residue

Le sotto-sottoclassi sono definite dai tipi di cofattori

EC 1.5 *Agisce sui donatori CH-NH*



$\text{R}^{1,2}$ = hydrogen, organic residue

R^3 = organic residue

**Le sotto-sottoclassi
sono definite
dai tipi di cofattori**

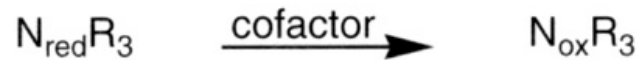
EC 1.6 *Agisce su NAD(P)H*



A = acceptor

**Le sotto-sottoclassi
sono definite
dai tipi di cofattori**

EC 1.7 *Agisce su altri composti azotati come donatori*

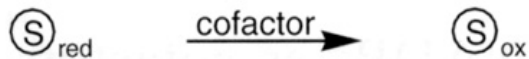


R = hydrogen, organic residue, oxygen

Gli enzimi che catalizzano l'ossidazione di ammoniaca a nitrito e del nitrito a nitrato appartengono a questa sottoclasse

Le sotto-sottoclassi sono definite dai tipi di cofattori

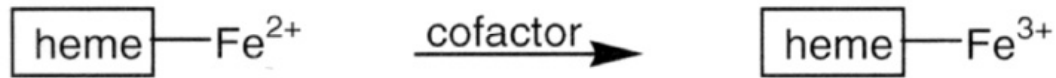
EC 1.8 *Agisce sullo zolfo dei donatori*



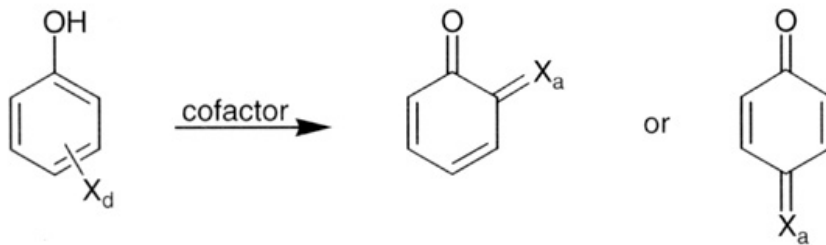
$\textcircled{\text{S}}_{\text{red}}$ = sulfide, sulfite, thiosulfate, thiol, etc.

$\textcircled{\text{S}}_{\text{ox}}$ = sulfite, sulfate, tetrathionate, disulfite, etc.

EC 1.9 Agisce sul gruppo eme dei donatori



EC 1.10 Agisce su difenoli e sostanze correlate come donatori



X_d = OH, NH₂
X_a = O, NH

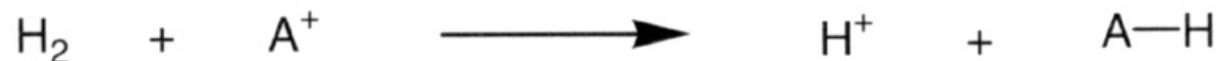
**Le sotto-sottoclassi
sono definite
dai tipi di cofattori**

EC 1.11 Agisce su perossido come accettore

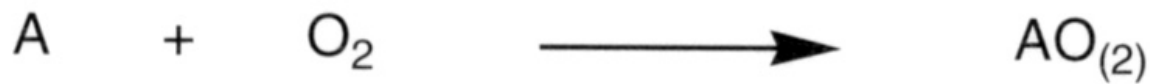


D = donor

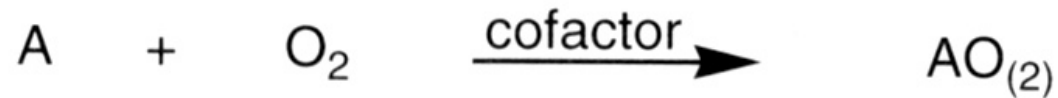
EC 1.12 Agisce su idrogeno come donatore



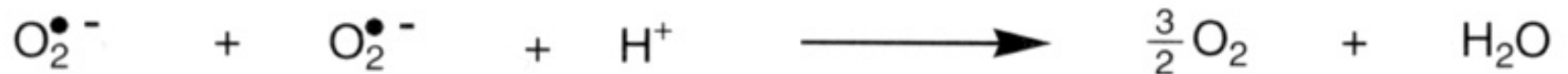
EC 1.13 Agisce su singoli donatori inserendo una molecola di O_2



EC 1.14 *Agisce su donatori accoppiati inserendo una molecola di O₂*



EC 1.15 *Agisce su un superossido radicale come accettore*



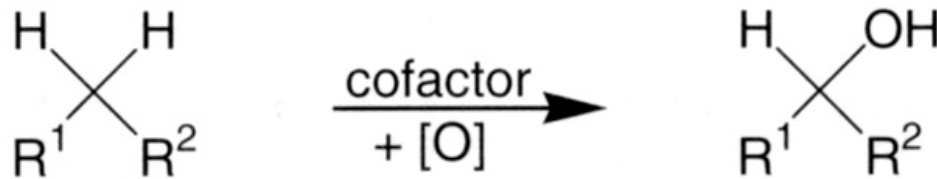
EC 1.16 *Ossida ioni metallici*



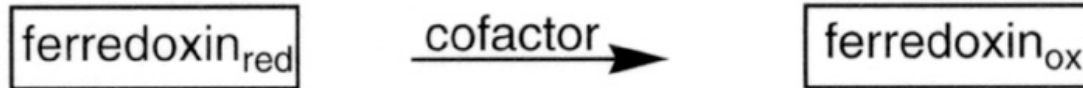
$$m \geq 0$$

$$n > m$$

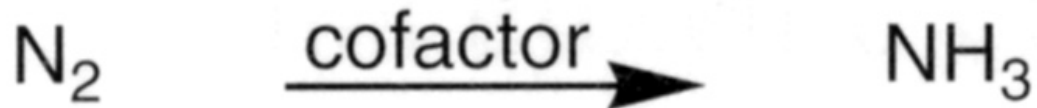
EC 1.17 *Agisce su gruppi CH₂*



EC 1.18 *Agisce su ferredoxina ridotta come donatore*



EC 1.19 *Con azoto come accettore*



EC 2 Tranferasi

trasferiscono un gruppo chimico da un composto (generalmente visto come il donatore) ad un altro (generalmente visto come accettore)

reazione molto comune dal punto di vista biologico

la prima molecola è sempre il donatore
la seconda è sempre l'accettore

il nome sistematico di questi biocatalizzatori si forma secondo lo schema *donatore:accettore gruppo transferasi*

EC 2.1 *Trasferisce un gruppo C1*

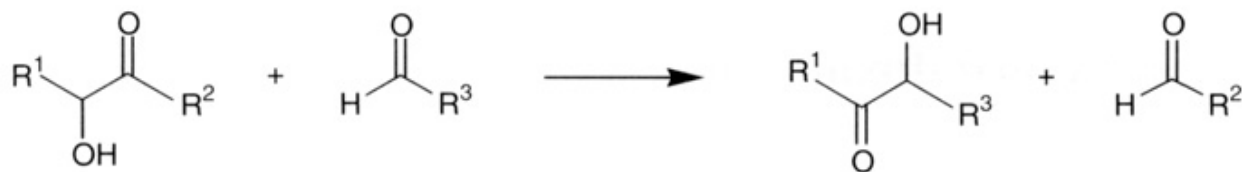


A = acceptor

R = organic residue

Ⓢ = methyl-, hydroxymethyl-, formyl-, carboxyl-, carbamoyl- and amidino-groups

EC 2.2 *Trasferisce un'aldeide o un chetone*



R¹ = hydrogen or methyl residue

R² = methyl residue or polyol chain

R³ = hydrogen or polyol chain

EC 2.3 Aciltrasferasi



$\text{X}^1 = \text{S}, \text{O}, \text{NH}$

$\text{X}^2 = \text{S}, \text{O}, \text{NH}, \text{CH}_2$

$\text{R}^1 = \text{hydrogen, alkyl-, aryl- or monophosphate residue}$

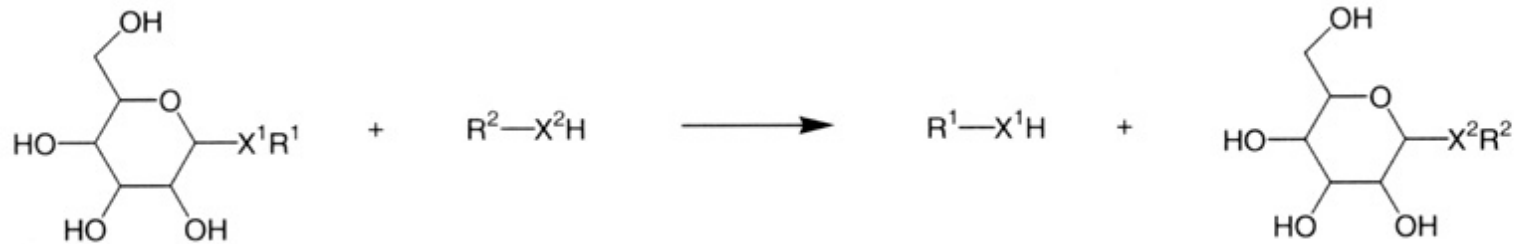
$\text{R}^2 = \text{hydrogen, alkyl- or aryl-residue}$

$\text{R}^3 = \text{alkyl-, aryl-, acyl- or monophosphate residue, aryl-NH}$

tioesteri
esteri
ammidi

tioalcoli
alcoli
ammine
alcani

EC 2.4 Glicosiltrasferasi



$X^1 = O, PO_4^{3-}$

$X^2 = O, NH$

$R^1 = \text{hydrogen, hexosyl, pentosyl, oligosaccharide, monophosphate}$

$R^2 = \text{hexosyl, pentosyl, oligosaccharide, monophosphate, organic residue with OH- or NH}_2\text{-groups}$

$X^1R^1 = \text{nucleoside di- or monophosphates (e.g. UDP, ADP, GDP or CMP), purine}$

EC 2.5 *Trasferisce gruppi alchilici ed arilici diversi dal metile*

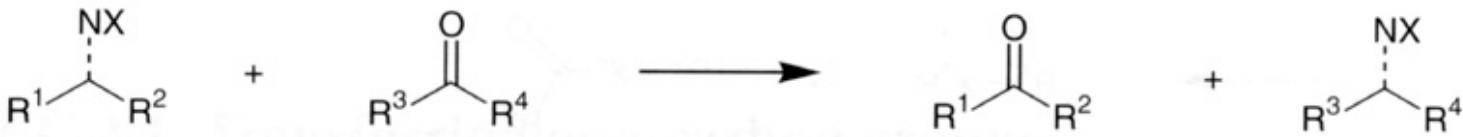


A = acceptor

X = OH, NH, SR, SO₄⁻, mono-, di- or triphosphate

R = organic residue other than a methyl group

EC 2.6 *Trasferisce gruppi azotati*



If $\text{NX} = \text{NH}_2$, then --- is a single bond.

If $\text{NX} = \text{NOH}$, then --- is a double bond.

R^1 = hydrogen, carboxy or methyl residue

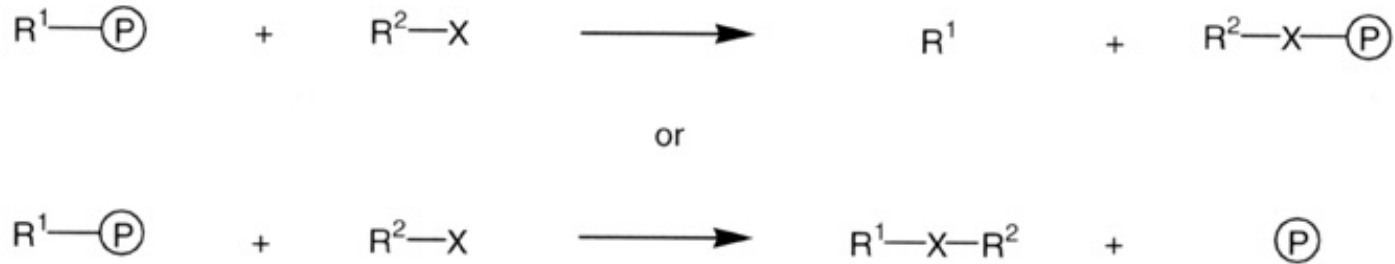
R^2 = organic residue

R^3 = hydrogen, carboxy or hydroxymethyl residue

R^4 = organic residue

Il più frequente cofattore per questi enzimi è il piridossalfosfato.
Per $\text{NX} = \text{NH}_2$ i substrati sono spesso α -amminoacidi e 2-ossoacidi

EC 2.7 *Trasferisce gruppi contenenti fosforo*



X = OH, COOH, NH₂, PO₄²⁻

R¹ = hydrogen, NDP, NMP, adenosine, monosaccharide residue, acyl residue, polyphosphate, histidine, *syn*-glycerol, organic residues carrying more functional groups

R² = hydrogen, monosaccharide residue, nucleosides, nucleotides, organic residues carrying more functional groups, proteins, polyphosphate

Ⓟ = mono- or diphosphates

EC 2.8 *Trasferisce gruppi contenenti zolfo*

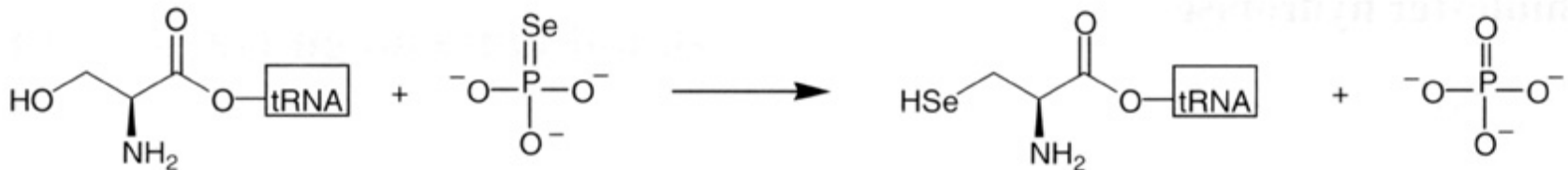


A = acceptor, e.g. cyanide, phenols, alcohols, carboxylic acids, amino acids, amines, saccharides

R = sulfur atom, (phosphorous-) organic residue

Ⓢ = sulfur atom, SO_3^{2-} , SH, CoA

EC 2.9 *Trasferisce gruppi contenenti selenio*



EC 3 Idrolasi

**enzimi più importanti dal punto di vista industriale
(80% degli enzimi industriali sono di questa classe)**

catalizzano la rottura idrolitica dei legami C-O, C-N, C-C, P-O

**usati industrialmente nella degradazione delle proteine,
dei carboidrati e dei lipidi nella formulazione dei detergenti
e nell'industria alimentare**

**potrebbero essere classificati anche come transferasi
in quanto trasferiscono una molecola di acqua,
ma poiché l'acqua è ubiquitaria ed importante nei processi naturali,
vengono chiamati idrolasi**

il nome include il nome del substrato seguito dal suffisso asi

EC 3.1 *Agisce sul legame estereo*

ci sono vari tipi di esteri



EC 3.1.1 *Estere carbossilico idrolasi*



R¹ = hydrogen, organic residue

R² = organic residue

EC 3.1.2 *Tiolester hidrolasi*



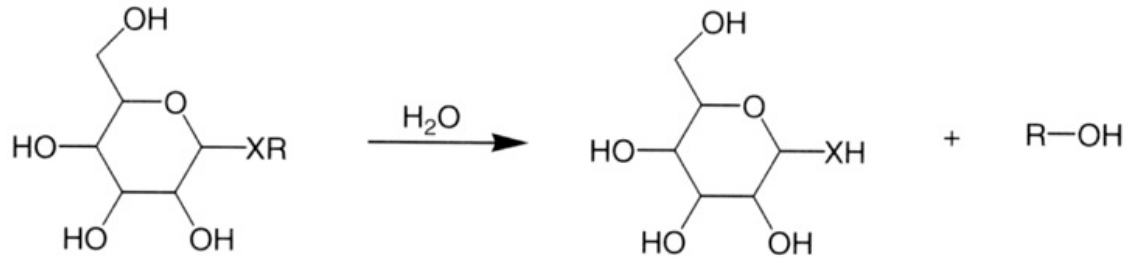
R^1 = hydrogen, organic residue
 R^2 = organic residue

EC 3.1.3 *Fosfohidrolasi (fosfatasi)*



(P) = monophosphate
 R = organic residue

EC 3.2 *Glicosidasi*



X = O, N or S
R = organic residue

EC 3.3 *Agisce sui legami eterici*



X = O or S
R^{1,2} = organic residue

EC 3.4 *Agisce sui legami peptidici*



$\text{R}^{1,2}$ = part of amino acids or proteins

EC 3.5 *Agisce sui legami C-N diversi dai peptidici*



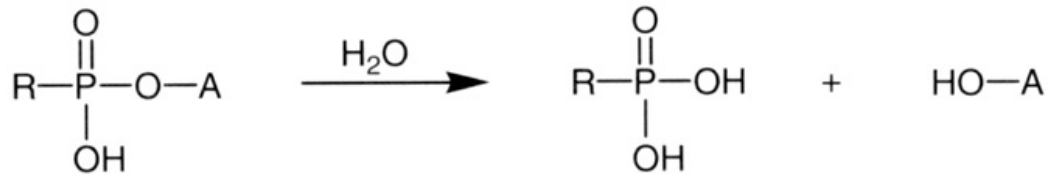
R = organic residue

per alcuni nitrili si ha una reazione simile
gli enzimi coinvolti si chiamano **nitrilasi**



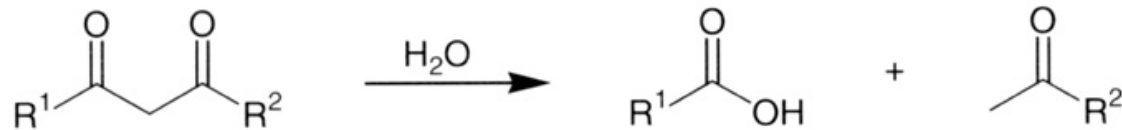
R = aromatic, heterocyclic and certain unsaturated aliphatic residues

EC 3.6 *Agisce su anidridi di acidi*



A = phosphate, organic phosphate, sulfate
R = organic residue, hydroxy group

EC 3.7 *Agisce su legami C-C*



$\text{R}^{1,2}$ = organic residue, hydroxy group

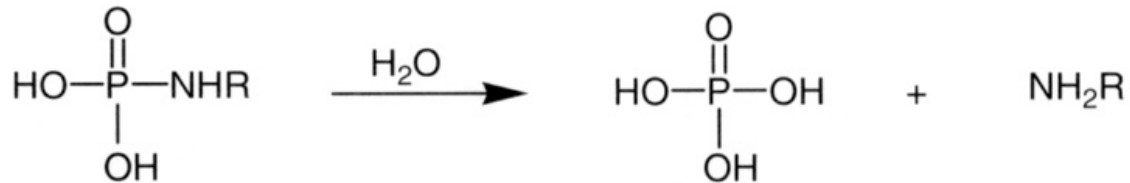
EC 3.8 *Agisce su legami alogeno*



X = halogen

R = hydrogen, organic residue, hydroxy group

EC 3.9 *Agisce su legami P-N*



R = organic residue

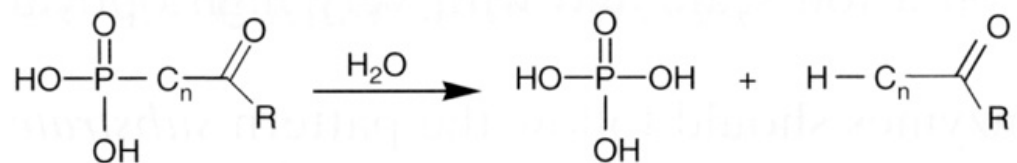
EC 3.10 *Agisce su legami S-N*



$\textcircled{\text{S}}$ = sulfon group

R = organic residue

EC 3.11 *Agisce su legami C-P*



R = CH₃, OH

n = 0, 1

EC 3.12 *Agisce su legami S-S*



$\textcircled{\text{S}}_1$ = sulfate

$\textcircled{\text{S}}_2$ = thiosulfate

EC 4 Liasi

vengono utilizzate in molti processi industriali

le reazioni catalizzate sono la rottura dei legami C-C, C-O e C-N e alcuni altri legami

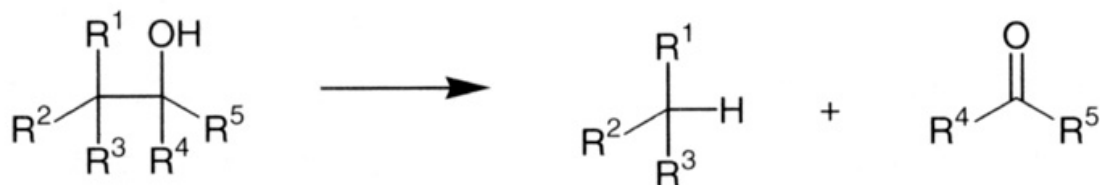
rottura differente dall'idrolisi in quanto vengono lasciati doppi legami che possono dare ulteriori reazioni

nei processi industriali vengono utilizzate nella reazione inversa che è l'addizione ad un doppio legame

le reazioni vengono condotte con alte concentrazioni di substrato che porta ad alte conversioni del prodotto desiderato

la denominazione sistematica di questi enzimi segue lo schema **substrato-gruppo liasi**

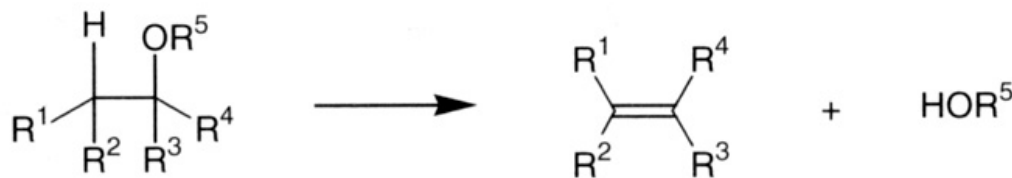
EC 4.1 *Liasi C-C*



$\text{R}^{1,2,3,4,5}$ = hydrogen, organic residue

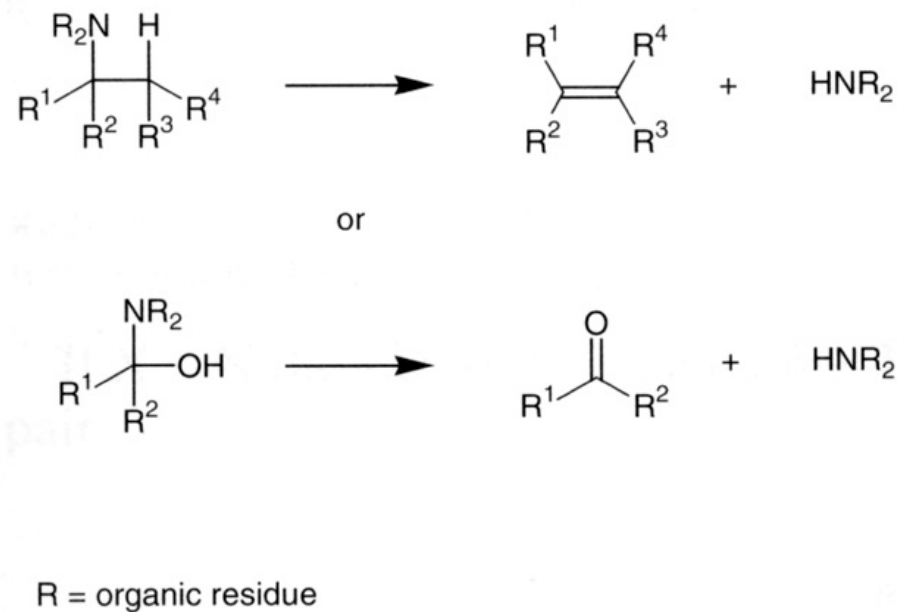
**Se il substrato è un acido
carbossilico, uno dei
prodotti sarà CO_2
se il substrato è un aldeide,
si può produrre CO**

EC 4.2 *Liasi C-O*

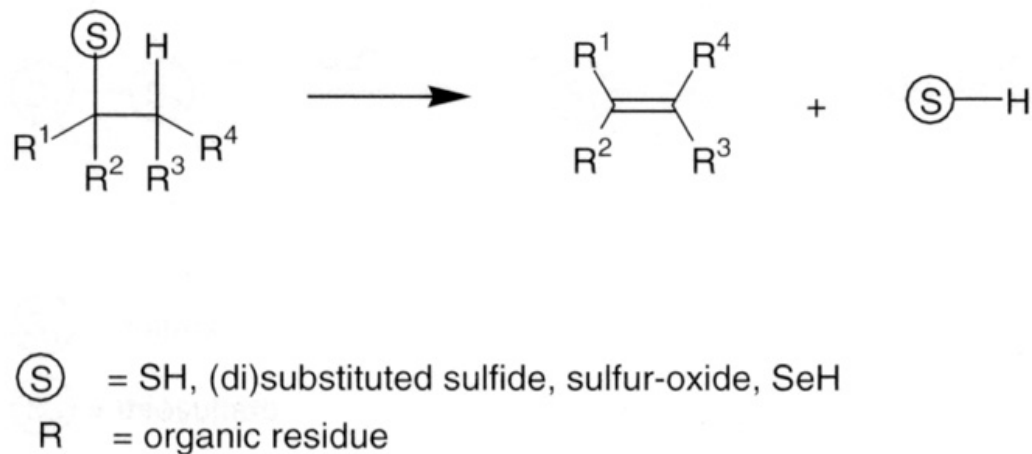


$\text{R}^{1,2,3,4,5}$ = hydrogen, organic residue

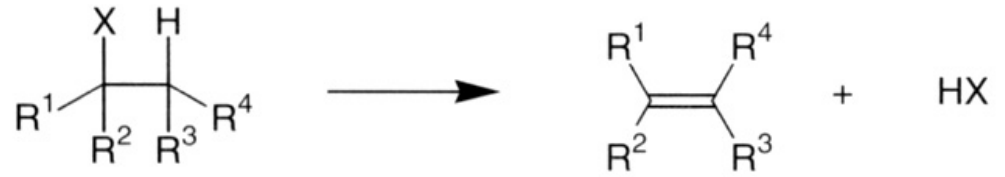
EC 4.3 *Liasi C-N*



EC 4.4 *Liasi C-S*

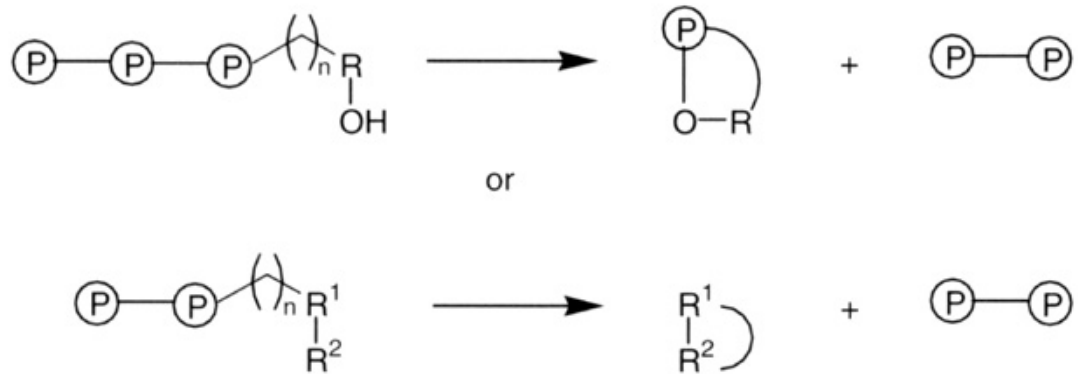


EC 4.5 *Liasi C-alogeno*



X = halogen
R = organic residue

EC 4.6 *Liasi P-O*



Ⓟ = monophosphate
R = organic residue

EC 5 Isomerasi

un numero esiguo di enzimi

uno di essi gioca un ruolo fondamentale nell'industria odierna
la **glucosio isomerasi (EC 5.3.1.5)** che catalizza la conversione
di D-glucosio in D-fruttosio è utilizzata largamente
nell'industria delle bevande e dei dolcificanti naturali

catalizzano cambi geometrici e strutturali all'interno di una molecola

a seconda del tipo di isomeria si possono chiamare
epimerasi, racemasi, cis-trans-isomerasi,
tautomerasi o mutasi

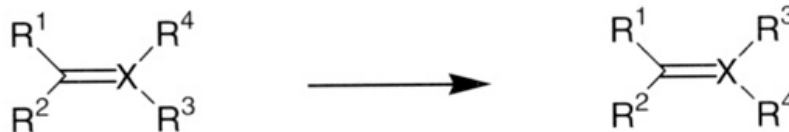
EC 5.1 *Racemasi ed epimerasi*



X = NH₂, NHR, NR₂, OH, CH₃, COOH

R^{1,2} = organic residue

EC 5.2 *cis-trans Isomerasi*



X = C or N

R^{1,2,3,4} = organic residue

EC 5.3 *Ossidoreduttasi intramolecolare*



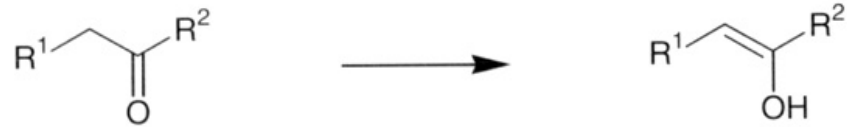
$R^{1,2}$ = organic residue

EC 5.3.1 *interconverte aldosi e chetosi*



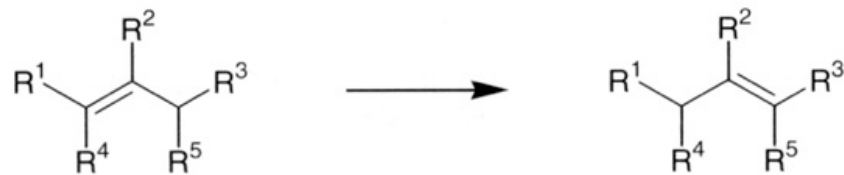
$R^{1,2}$ = hydrogen, organic residue

EC 5.3.2 *Interconverte gruppi cheto-enolici*



R^{1,2} = hydrogen, organic residue

EC 5.3.3 *Traspone doppi legami C-C*



R^{1,2,3,4,5} = organic residue

EC 5.3.4 *Traspone legami S-S*



EC 5.4. *Trasferasi intramolecolare (mutasi)*

le sotto-sottoclassi **1** e **2** trasferiscono un gruppo funzionale da un atomo di ossigeno ad un altro della stessa molecola

la sotto-sottoclasse **3** trasferisce un gruppo amminico da un carbonio a quello vicino della stessa molecola

EC 5.4.1 ○ EC 5.4.2



$\boxed{\text{TG}}$ = transferred groups are acyl or orthophosphate groups
 $R^{1,2}$ = organic residue
 $n = 0$ or 4

EC 5.4.3



$R^{1,2}$ = organic residue

EC 5.5 *Liasi intramolecolare*



X = O, CH₂

R^{1,2} = organic residue

EC 6 Ligasi

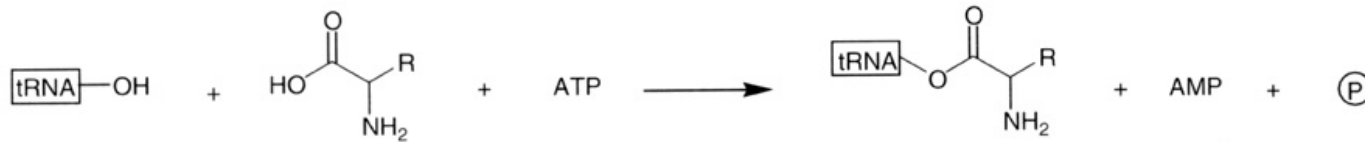
nessuna ligasi è utilizzata industrialmente

**ruolo importante nell'ingegneria genetica in quanto
le DNA ligasi catalizzano la formazione dei legami C-O
nella sintesi del DNA**

**catalizzano la formazione di legami tra due molecole:
i legami che formano sono C-O, C-S e C-N**

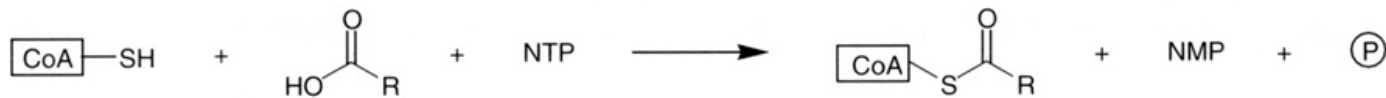
il nome sistematico sarà formato *X:Y ligasi*

EC 6.1 *Forma legami C-O*



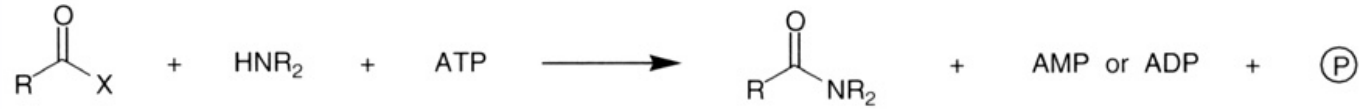
$\textcircled{\text{P}}$ = diphosphate
R = organic residue

EC 6.2 *Forma legami C-S*



$\textcircled{\text{P}}$ = diphosphate
R = organic residue
NTP = **n**ucleotide **t**riphosphate (ATP, GTP)
NMP = **n**ucleotide **m**onophosphate (AMP, GMP)

EC 6.3 *Forma legami C-N*



(P) = monophosphate, diphosphate

X = OH, H, COOH

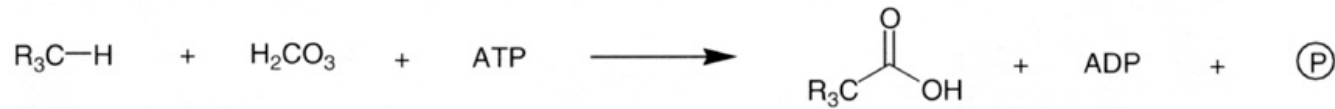
R = hydrogen, organic residue

EC 6.3.4



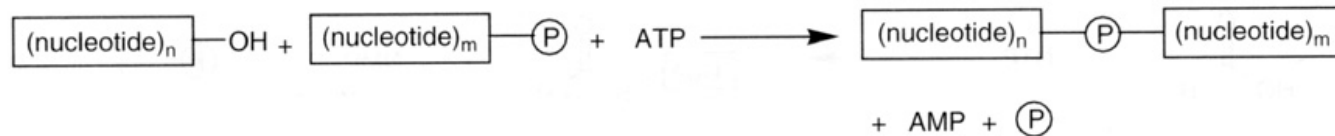
(P) = diphosphate

EC 6.4 *Forma legami C-C*



Ⓟ = monophosphate
R = hydrogen, organic residue

EC 6.5 *Forma legami di esteri fosforici*



Ⓟ = monophosphate
R = hydrogen, organic rest

riparazione DNA