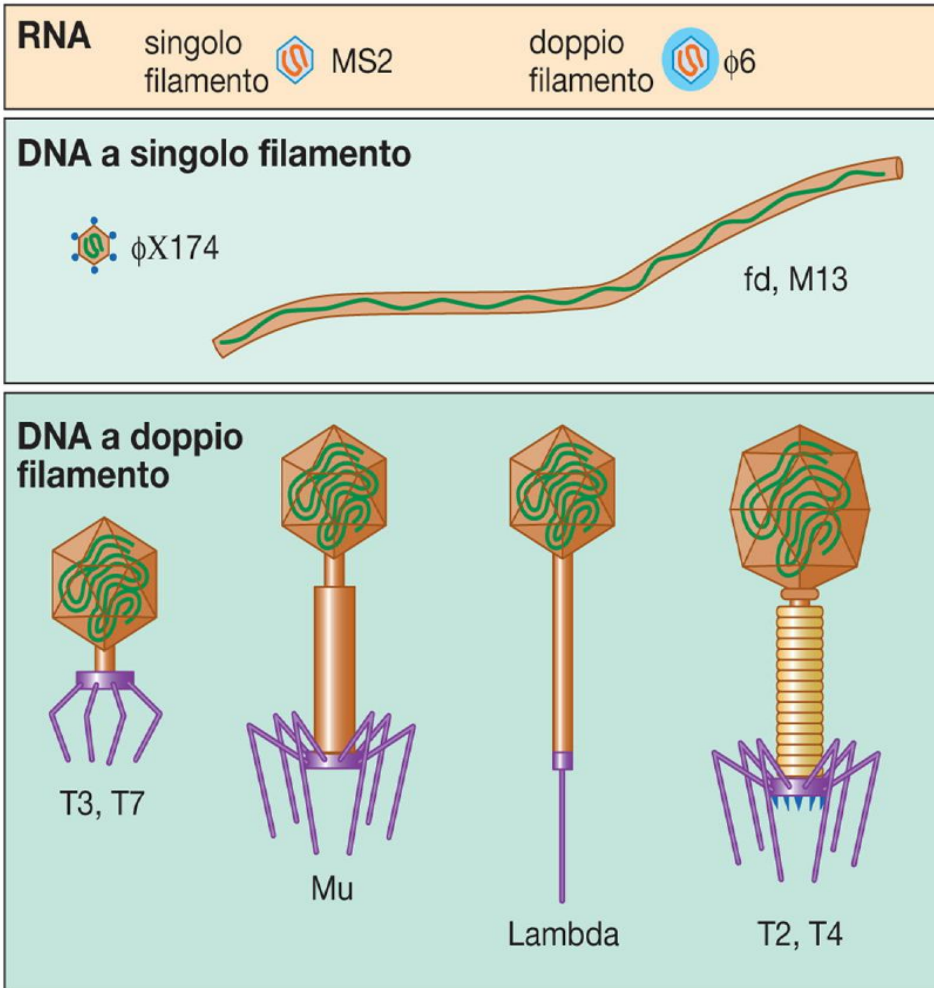


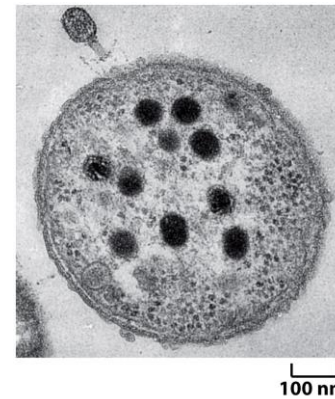
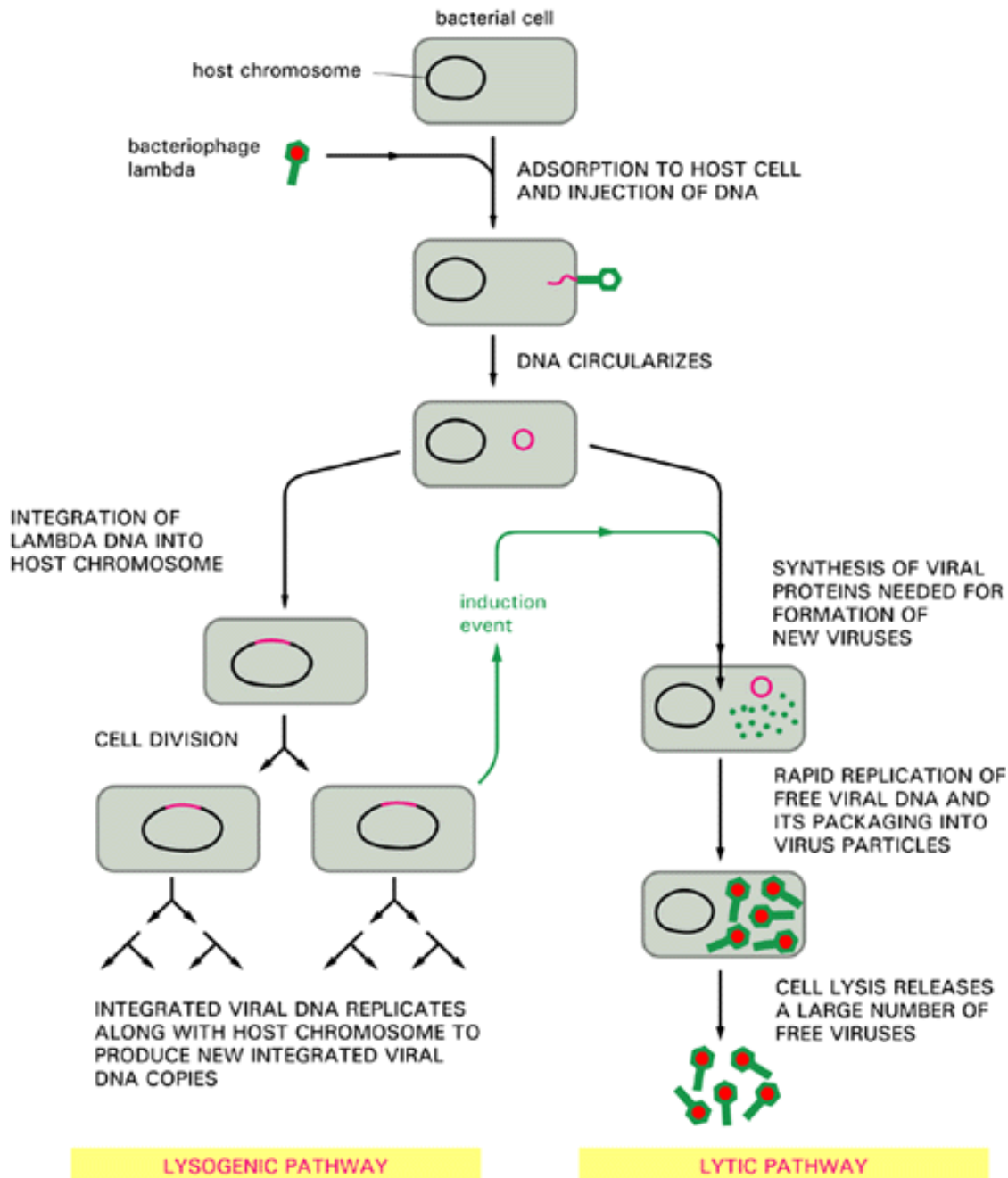
# Limiti del clonaggio in vettori plasmidici

- Bassa efficienza di trasformazione e bassa densità a cui si possono crescere le colonie
- Limitata capacità di contenuto (10 Kbp)

\*\*\*\*\*

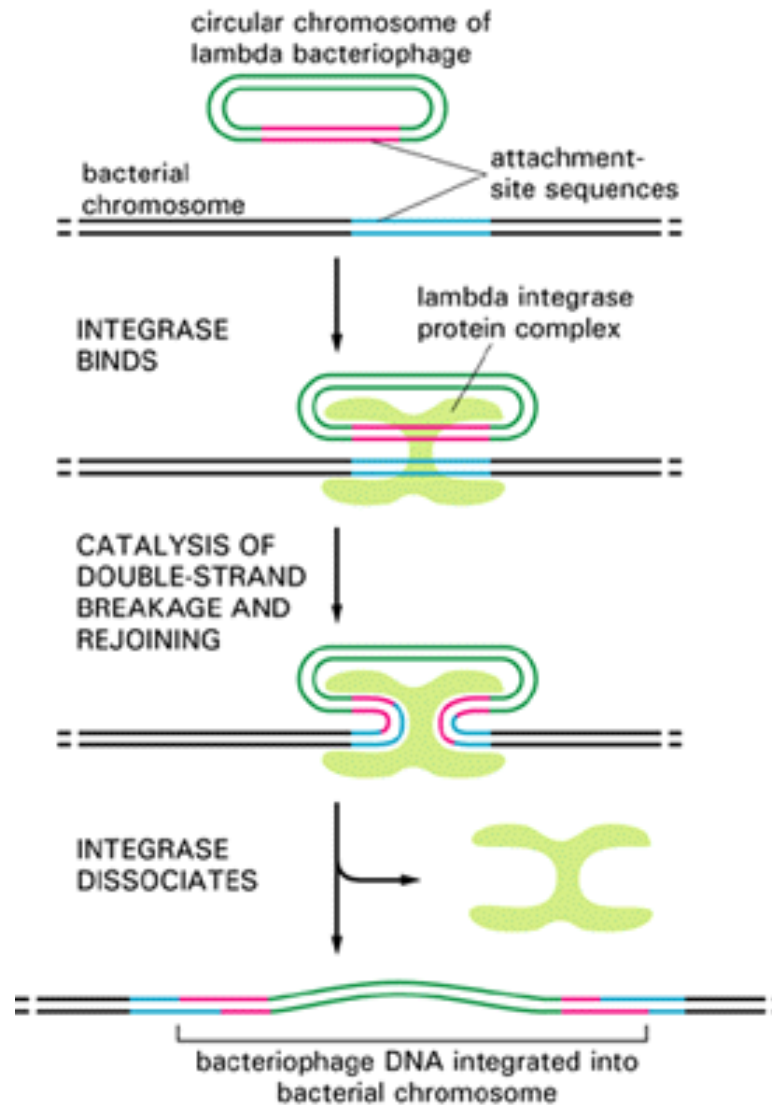
- uso di vettori derivati dal batteriofago  $\lambda$ , particolarmente per l'analisi di librerie genomiche o di cDNA

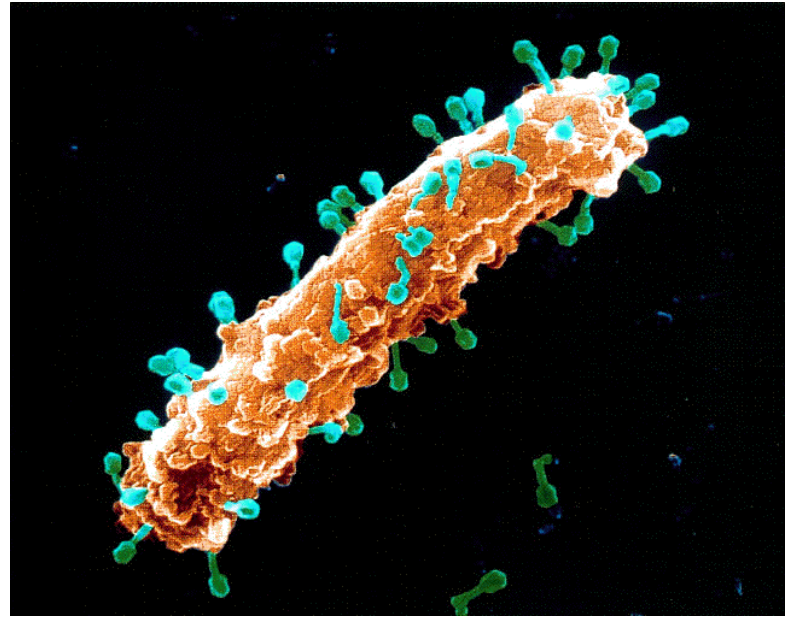
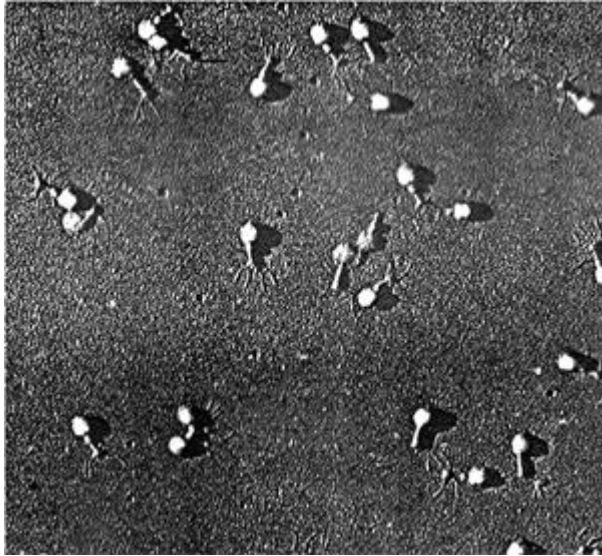




# Il ciclo vitale del fago lambda

# Lisogenia





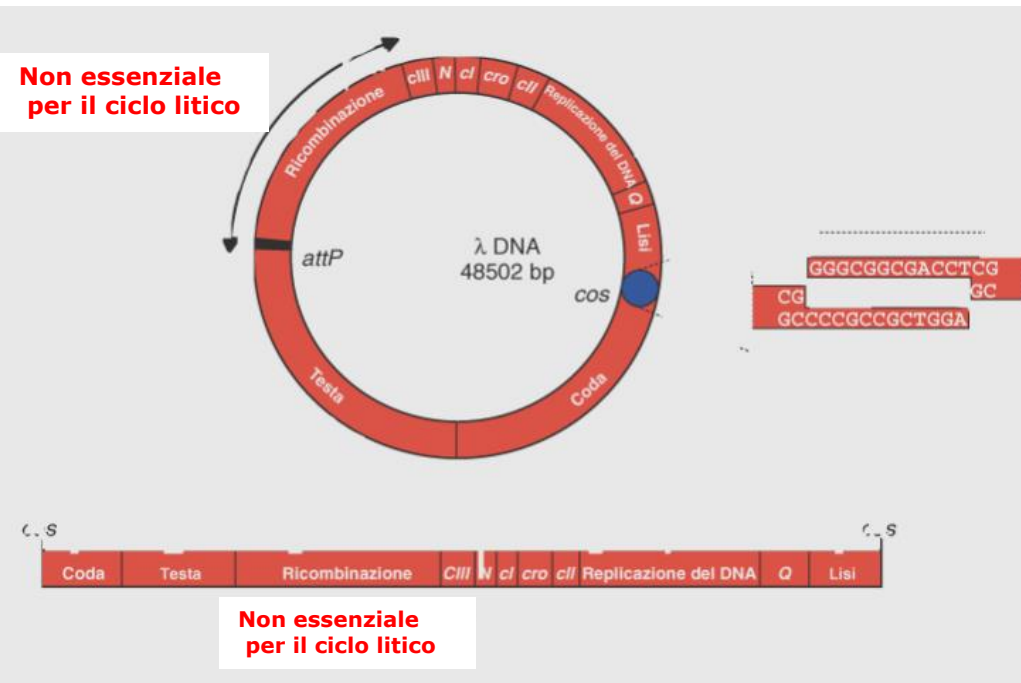
**Il numero di particelle fagiche prodotte per ogni particella infettante ("burst size") è caratteristico di ciascun batteriofago. Esso può giungere a 10.000.**



# Fago lambda

- Il genoma di lambda è una molecola lineare a doppio filamento di 48 kbp.
- Le estremità 5' e 3' presentano 12 nt a singolo filamento chiamate estremità *cos*, che sono complementari tra loro e permettono la circularizzazione del DNA di lambda dopo l'infezione della cellula ospite.

# Fago lambda



**La mappa genetica del fago  $\lambda$  comprende circa 40 geni che possono essere suddivisi in tre gruppi funzionali:**

**-a sinistra, comprende i geni che codificano per proteine strutturali della testa e della coda;**

**-al centro, contiene geni responsabili per la lisogenia, cioè il processo che porta all'integrazione del DNA virale ed altri processi ricombinativi.**

**Gran parte di questa regione non é essenziale per la crescita litica e può essere eliminata per la costruzione di vettori.**

**-a destra contiene i geni coinvolti nella replicazione del DNA e nel ciclo litico.**

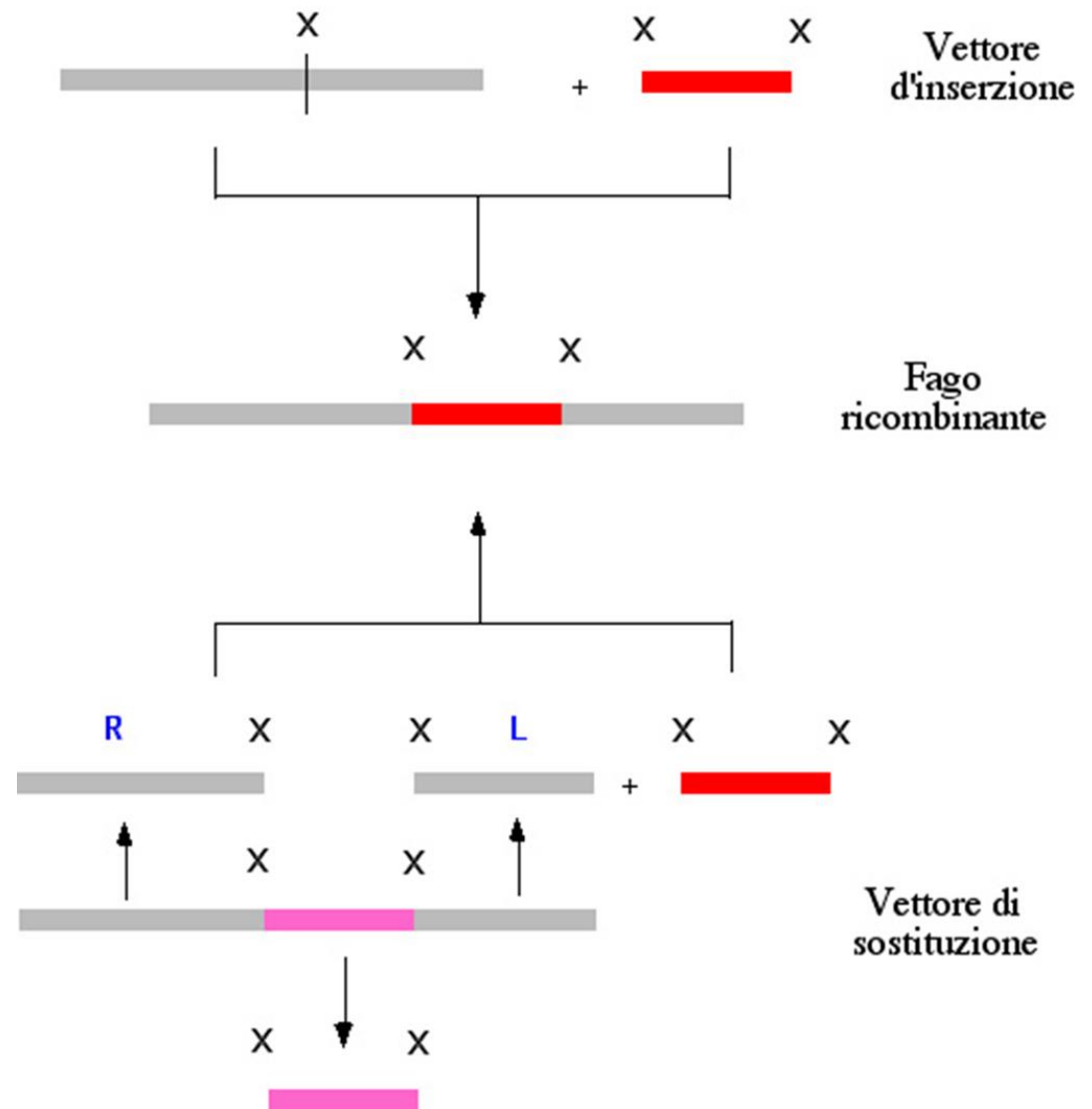
Lo sviluppo di vettori di clonaggio di tipo  $\lambda$  è stato possibile perché:

1. La regione centrale non è essenziale e può essere rimossa dal genoma senza alterare il ciclo litico e la formazione delle placche di lisi; **14,5 kbp** di DNA estraneo ricostituirebbero la lunghezza originale del genoma di  $\lambda$ .
2. Nei bracci di  $\lambda$  ci sono altre regioni non essenziali che possono essere rimosse, aumentando di **22 Kbp** la quantità di DNA estraneo inseribile.
3. Per il packaging esiste un limite inferiore, pari al **78%** del genoma di  $\lambda$  (circa 37 Kbp, al di sotto di questa grandezza il DNA non viene impaccato e il fago non è vitale) e un limite superiore, pari al **105%** della lunghezza del suo DNA (circa 51Kbp)

# Fago lambda come vettore di clonaggio

Sono stati sviluppati due tipi di vettori:

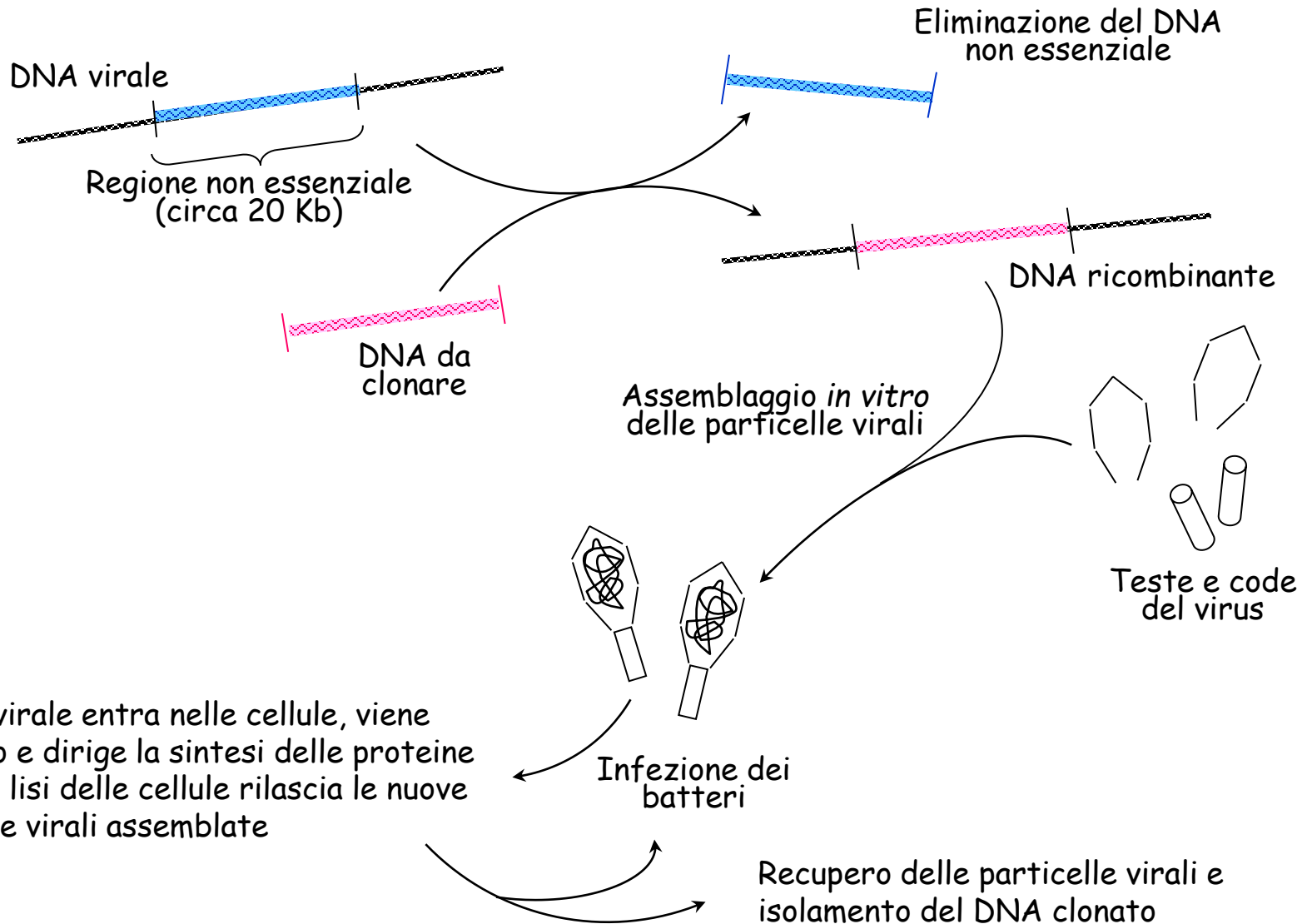
- - **vettori d'inserzione**, in cui il DNA esogeno è inserito in un sito unico di restrizione;
- - **vettori di sostituzione**, in cui il DNA esogeno sostituisce un pezzo di DNA del vettore (stuffer).





# DNA VIRALE come VETTORE DI CLONAGGIO

Un vettore comunemente utilizzato è il **batteriofago  $\lambda$** , lungo 49 Kb.



(a) La forma lineare della molecola di DNA di  $\lambda$

Estremità coesiva sinistra

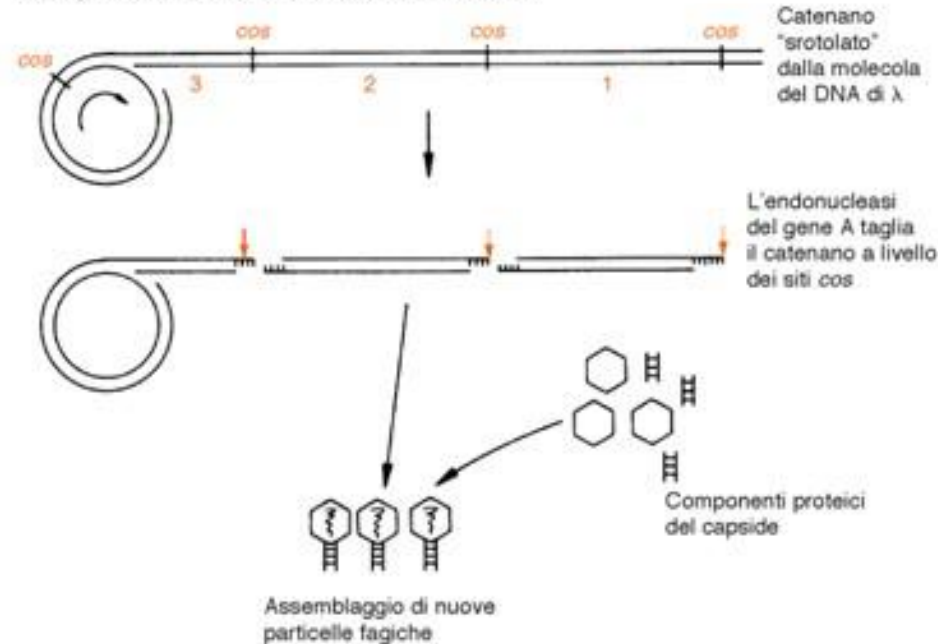
Estremità coesiva destra



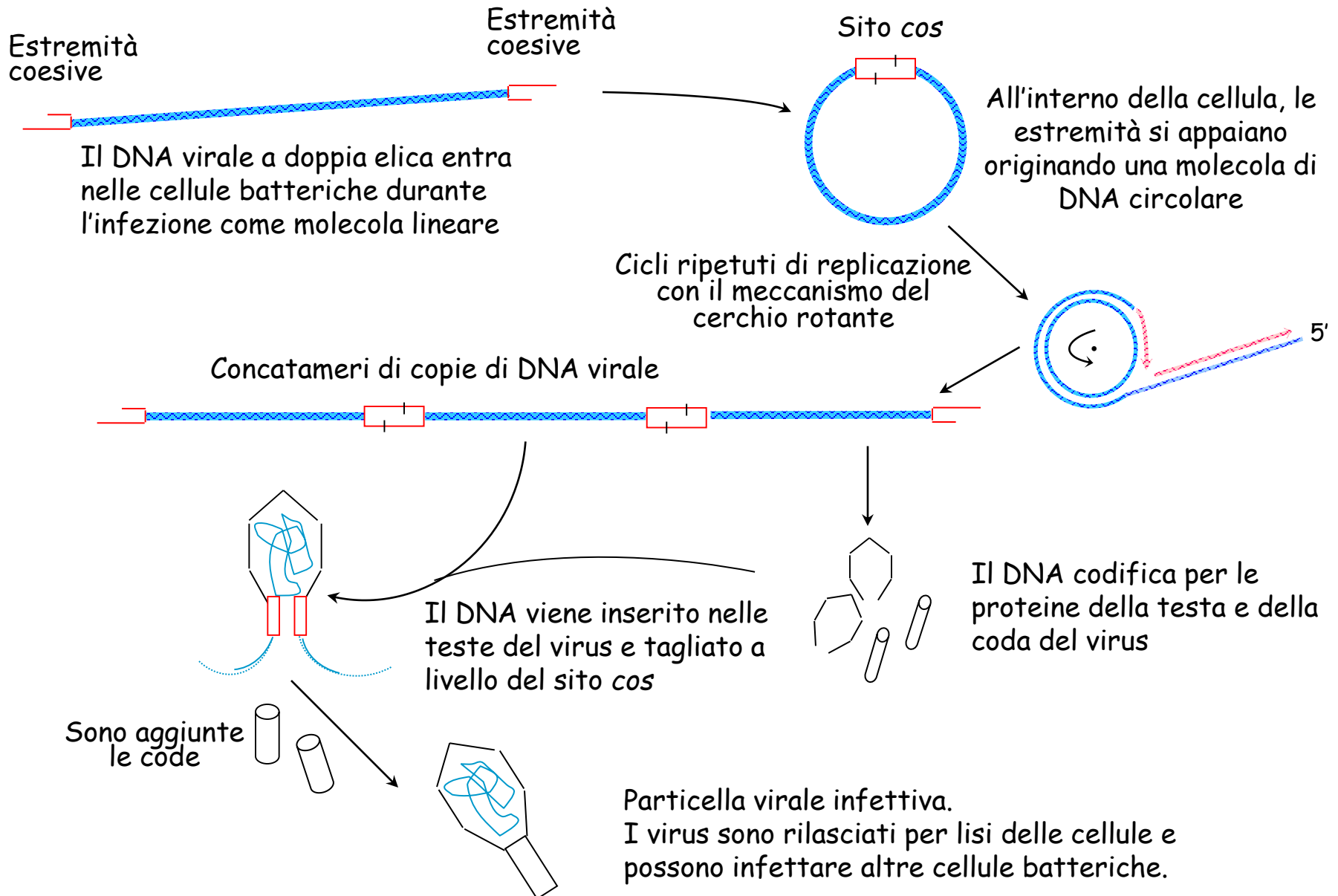
(b) La forma circolare della molecola di DNA di  $\lambda$

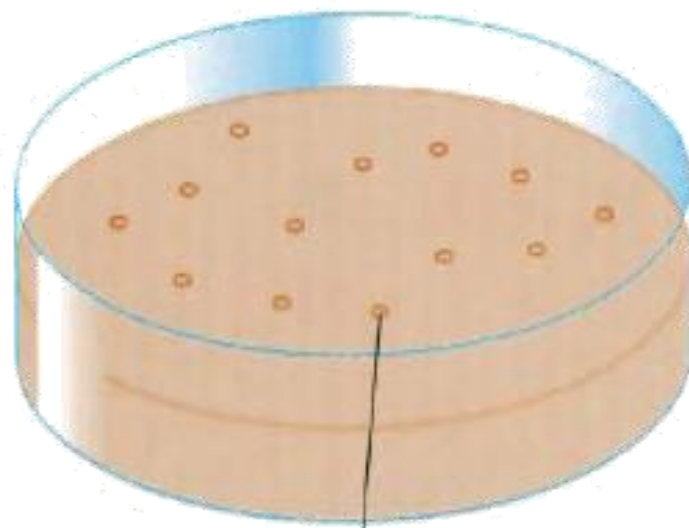


(c) Replicazione e impacchettamento di DNA di  $\lambda$

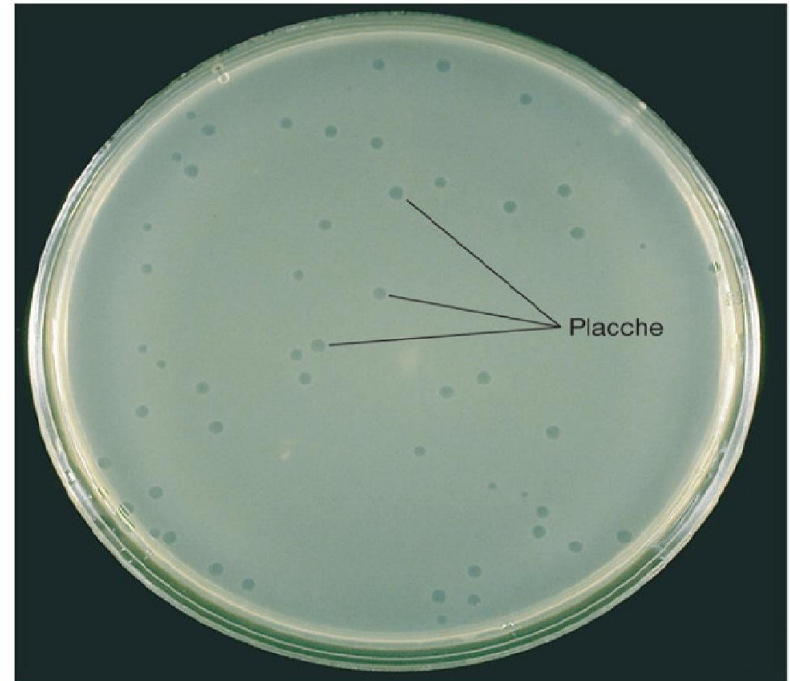


# IMPACCHETTAMENTO del DNA VIRALE



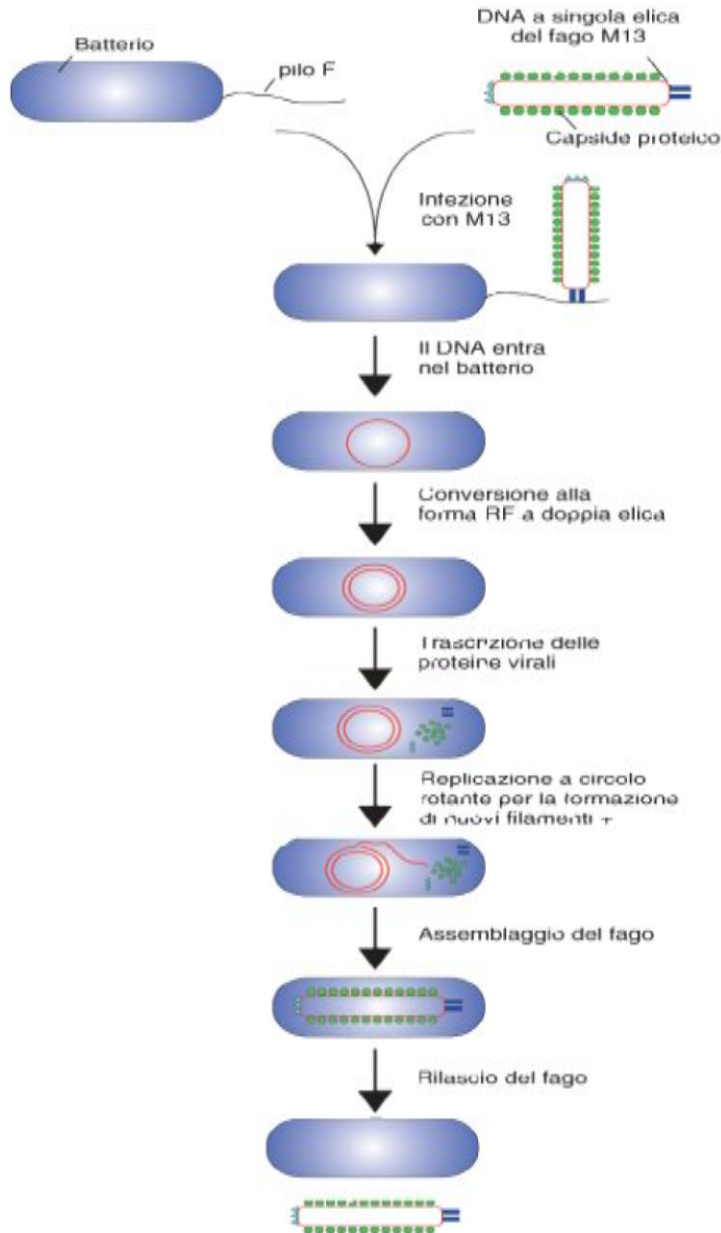


L'infezione è visualizzata  
come una placca, una zona  
pulita su uno strato  
di batteri



Jack Parker

**Figura 4.23** L'infezione da parte del batteriofago è visualizzata come una placca su uno strato di batteri.



## La biologia del fago M13: il ciclo vitale

- Il genoma del fago M13 è costituito da una molecola di DNA circolare a singola elica, lunga 6407 nt.
- M13 infetta solo ceppi F<sup>+</sup> poiché entra nella cellula batterica attraverso il pilo codificato dal fattore F.
- Il DNA viene convertito nella forma replicativa intermedia a doppio filamento (RF). Vengono sintetizzate circa 100 copie della forma RF.
- Inizia la replicazione a cerchio rotante di un'unica elica del genoma virale. Vengono sintetizzate circa 1000 copie.
- Il genoma viene assemblato alle proteine per costituire le nuove particelle virali che fuoriescono dalla cellula batterica senza causarne la lisi.

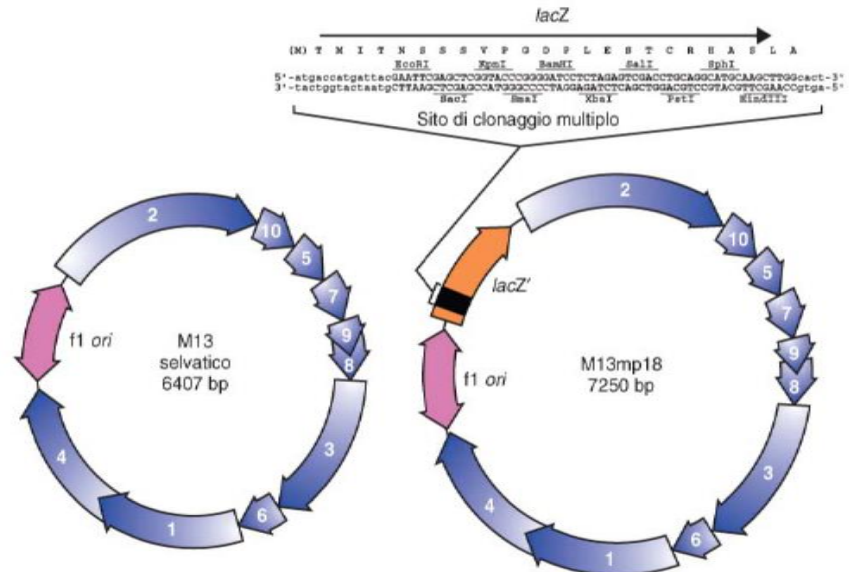
# Il batteriofago M13 come vettore per il clonaggio di DNA a singolo filamento

## Perché si clona DNA a singolo filamento?

- Per sequenziare l'inserto clonato
- Per mutare l'inserto con le tecniche di mutagenesi sito-specifica

## Vantaggi del vettore M13

- La forma replicativa RF a doppio filamento può essere manipolata come un normale plasmide

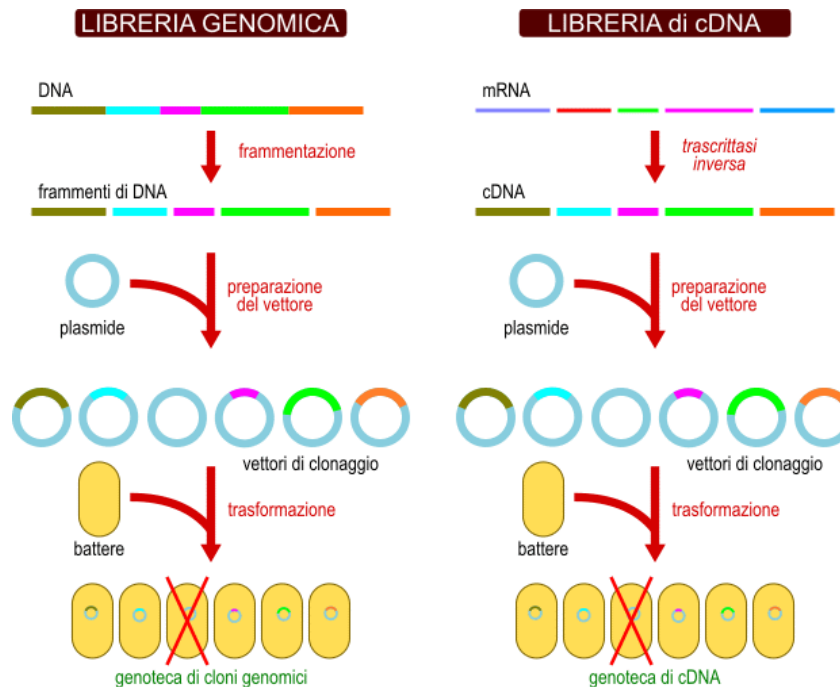


Il genoma del fago M13, nella sua forma replicativa intermedia RF, viene utilizzato come vettore di clonaggio.

# Le genoteche o librerie di DNA:

• **Libreria genomica**: collezione di cloni che include tutto il DNA genomico di una certa specie (es. il genoma umano aploide contiene circa  $3 \times 10^9$  coppie di basi, che possono essere contenute in circa  $1.5 \times 10^5$  cloni di 20 kb ciascuno)

• **Libreria di cDNA**: collezione di cloni che include tutte le specie di mRNA (copiate in cDNA) espresse in un dato tessuto, incluso quelle più rare

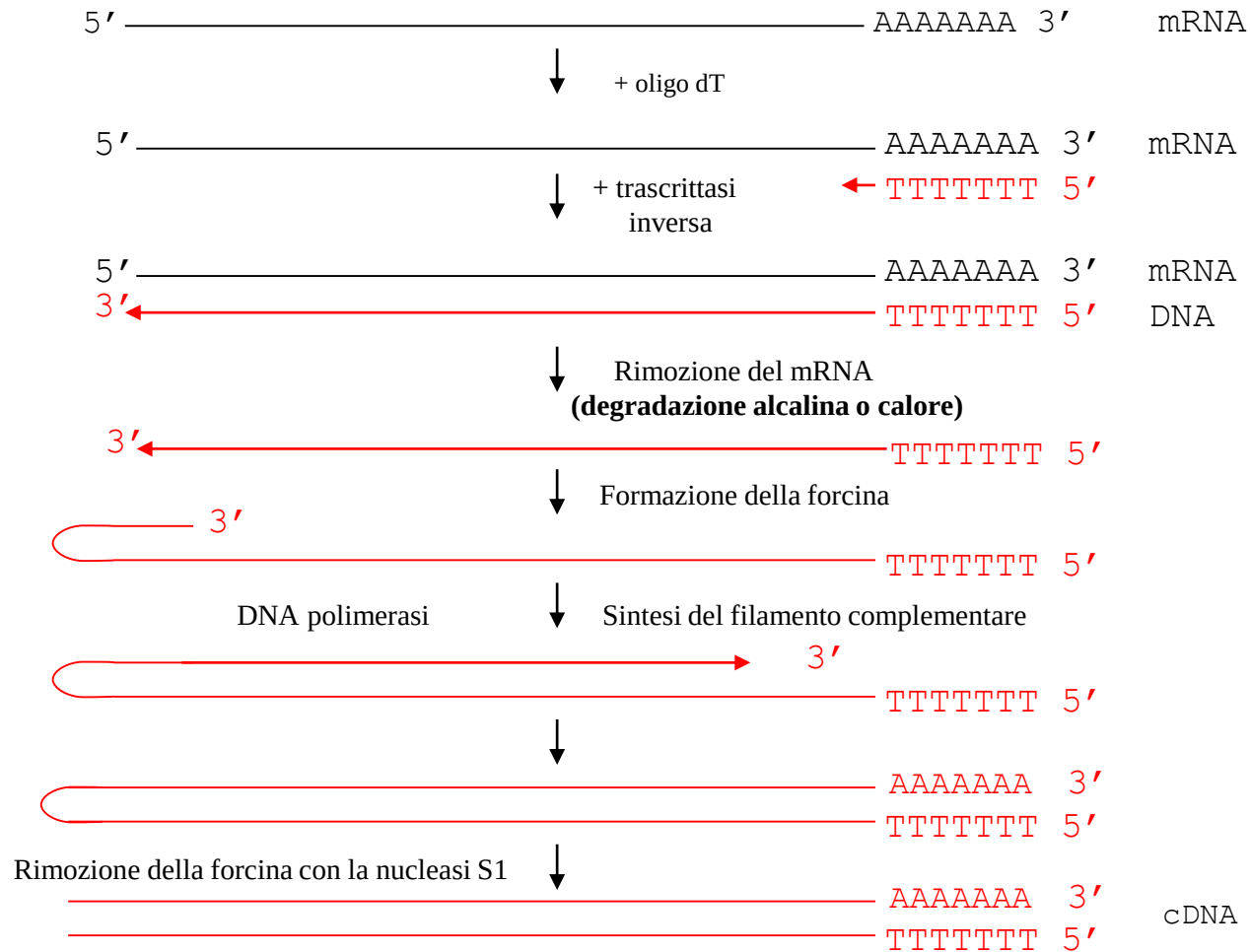


# Vantaggi delle librerie di cDNA

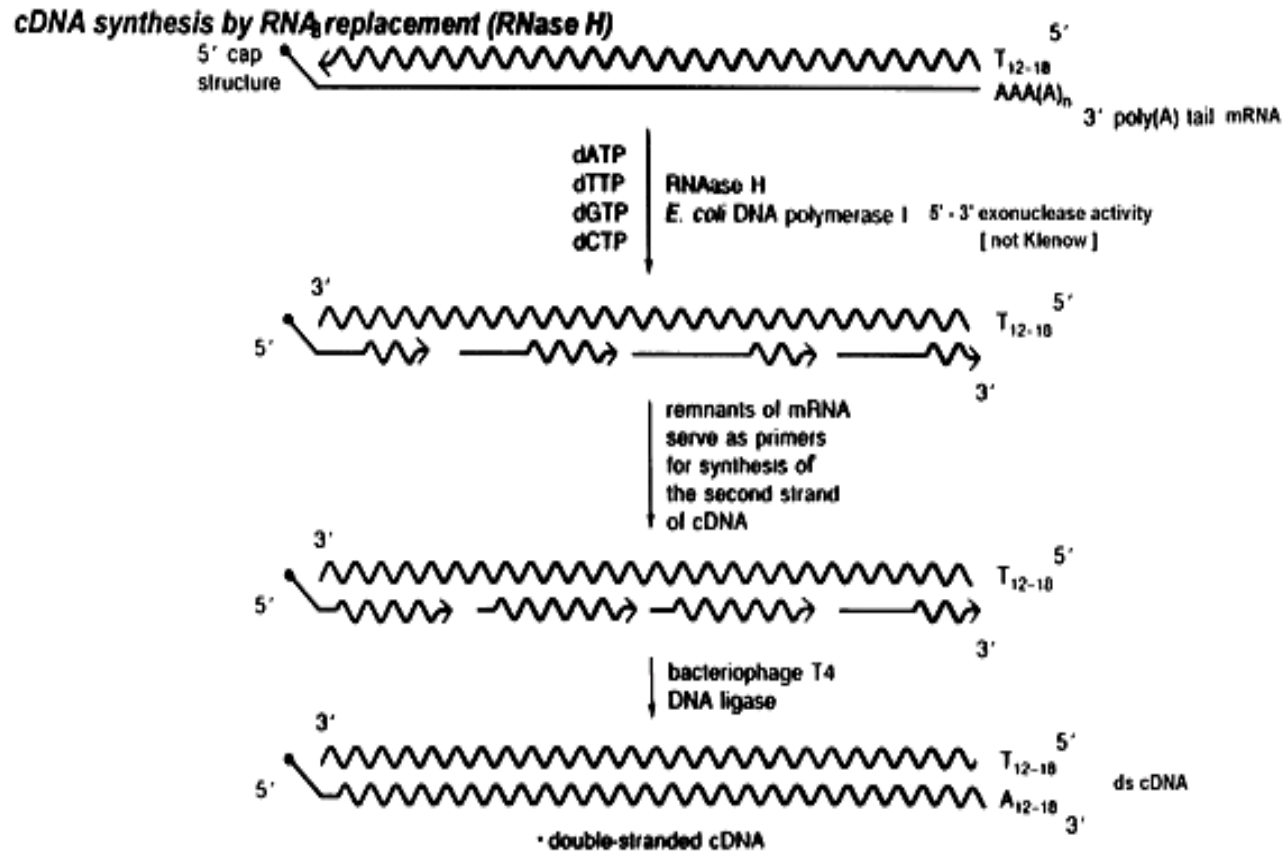
- Dalla sequenza dei cloni si può derivare direttamente la sequenza della proteina codificata
- Ogni libreria contiene solo quelle specie di mRNA (trascritte in cDNA) che sono espresse in un dato tessuto e in una data condizione



## Sintesi del cDNA (1° metodo)



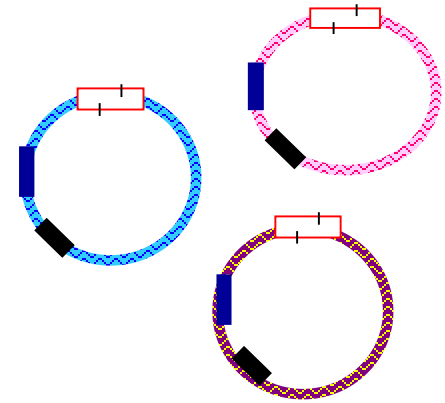
## Sintesi del cDNA (2° metodo)



Replacement synthesis of double-stranded cDNA.

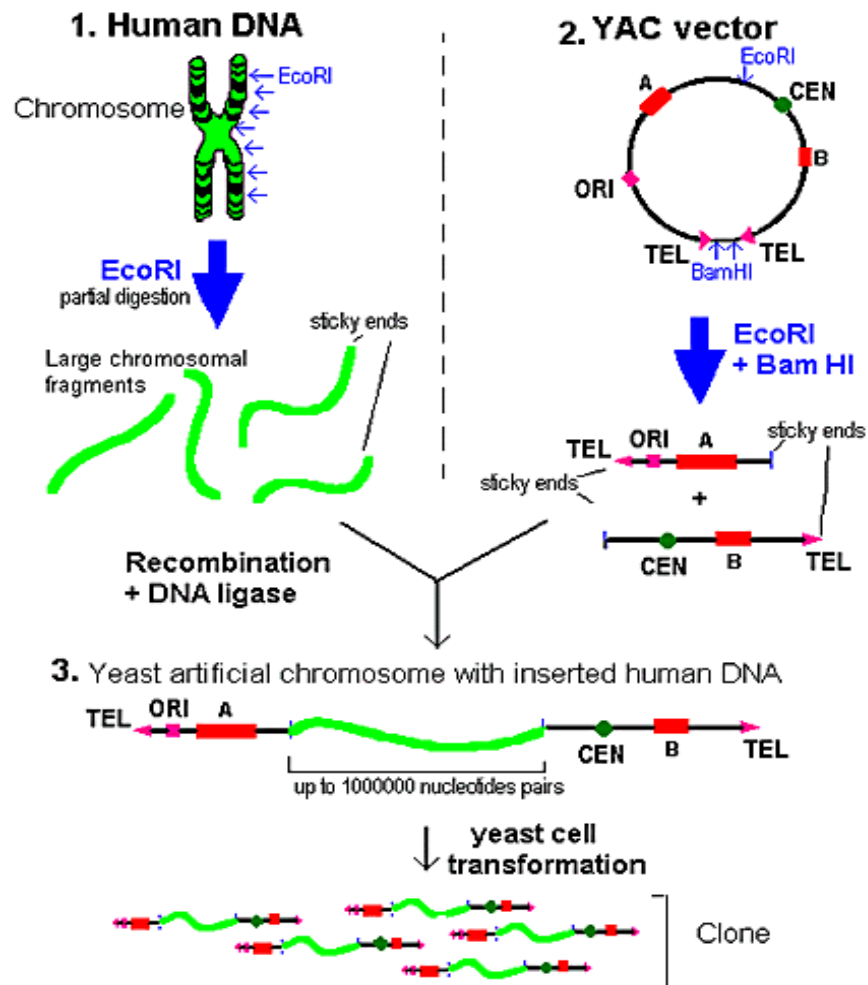
# COSMIDI

Sono PLASMIDI,  
ma contengono, oltre alle caratteristiche  
essenziali di un plasmide, anche un  
**SITO COS**



La presenza di questo elemento è determinante per consentire l'inserimento della molecola di DNA ricombinante nella testa del virus che, a sua volta, la inietta in una cellula batterica per infezione.

Infatti utilizzano la capacità del batteriofago lambda di impacchettare lunghi frammenti di DNA lineare all'interno del capsido, di aderire alla superficie delle cellule batteriche e di iniettare il loro contenuto all'interno del batterio.



**Cloning into a Yeast Artificial Chromosome (YAC)**

| Vettore        | Dimensioni inserto | Propagazione                                       | Introduzione nei batteri            |
|----------------|--------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Plasmidi       | 5-10 kb            | Replicazione del plasmide                          | Trasformazione                      |
| Fago $\lambda$ | 5-23 kb            | Riproduzione del fago                              | Infezione fagica                    |
| Cosmidi        | 35-45 kb           | Replicazione del plasmide                          | Infezione fagica                    |
| Fago P1        | 85-100 kb          | Replicazione del plasmide<br>Riproduzione del fago | Infezione fagica                    |
| BAC            | $\leq 300$ kb      | Replicazione del Fattore F                         | Trasformazione/<br>Elettroporazione |

### I vettori di clonaggio: differenze nelle dimensioni degli inserti

| Vettore        | Ospite naturale      | Dimensioni inserto |
|----------------|----------------------|--------------------|
| Plasmidi       | <i>E. coli</i>       | 5-10 kb            |
| Fago $\lambda$ | <i>E. coli</i>       | 5-25 kb            |
| Cosmidi        | <i>E. coli</i>       | 35-45 kb           |
| Fago P1        | <i>E. coli</i>       | 70-100 kb          |
| PAC            | <i>E. coli</i>       | 100-300 kb         |
| BAC            | <i>E. Coli</i>       | $\leq 300$ kb      |
| YAC            | <i>S. cerevisiae</i> | 200-2000 kb        |

## Vettori a confronto

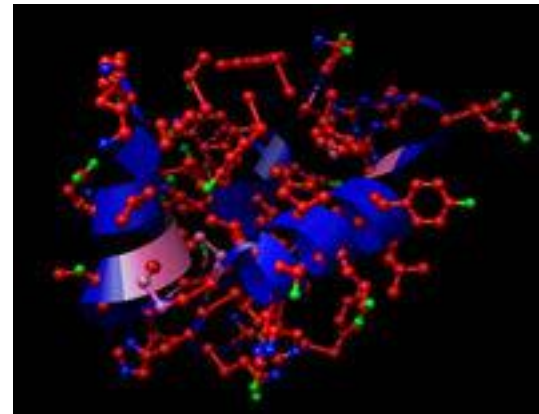
# A cosa possono servire le proteine ricombinanti?

- -PROTEINE DI INTERESSE TERAPEUTICO.
- -PROTEINE DI INTERESSE COMMERCIALE (ENZIMI).
- -PROTEINE DA UTILIZZARE COME ANTIGENI PER LA PRODUZIONE DI ANTICORPI POLICLONALI E MONOCLONALI.
- -REAGENTI PER LA RICERCA DI BASE E APPLICATA.



# Farmaci biotecnologici

- Il primo farmaco ottenuto ingegnerizzando un sistema vivente (batterico) è stato l'insulina, approvato dalla FDA nel 1982.
- Anche l'ormone della crescita umano, precedentemente estratto dai cadaveri, fu rapidamente ingegnerizzato.
- Nel 1986 la FDA approvò il primo vaccino umano, contro l'epatite B.



La struttura dell'Insulina  
rosso:carbonio, verde:ossigeno;  
blu:azoto; rosa:zolfo

**La produzione industriale di farmaci utilizzando i sistemi viventi come bioreattori si è da allora largamente diffusa, diventando attualmente la via preferita di sintesi di numerosi farmaci, in particolare per il costo di produzione relativamente basso.**

**DNA ricombinante**



**proteine virali  
antigenicamente valide  
altamente purificate**

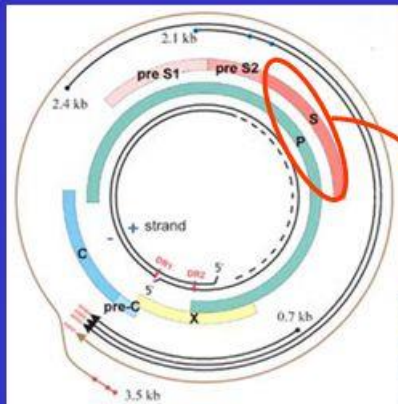


**VACCINI**

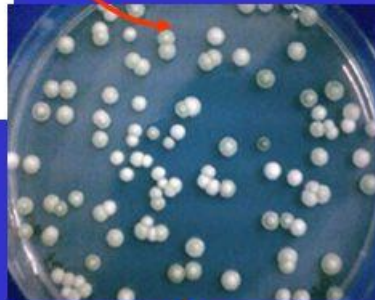


# Vaccini a subunità prodotti con la tecnica del DNA ricombinante

Il vaccino contro l'epatite B è il primo vaccino a DNA ricombinante autorizzato

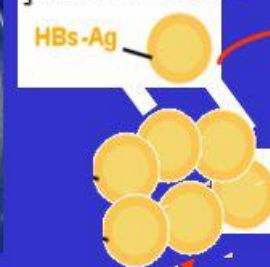


Genoma HBV



*Saccaromyces cerevisiae*

Antigene purificato

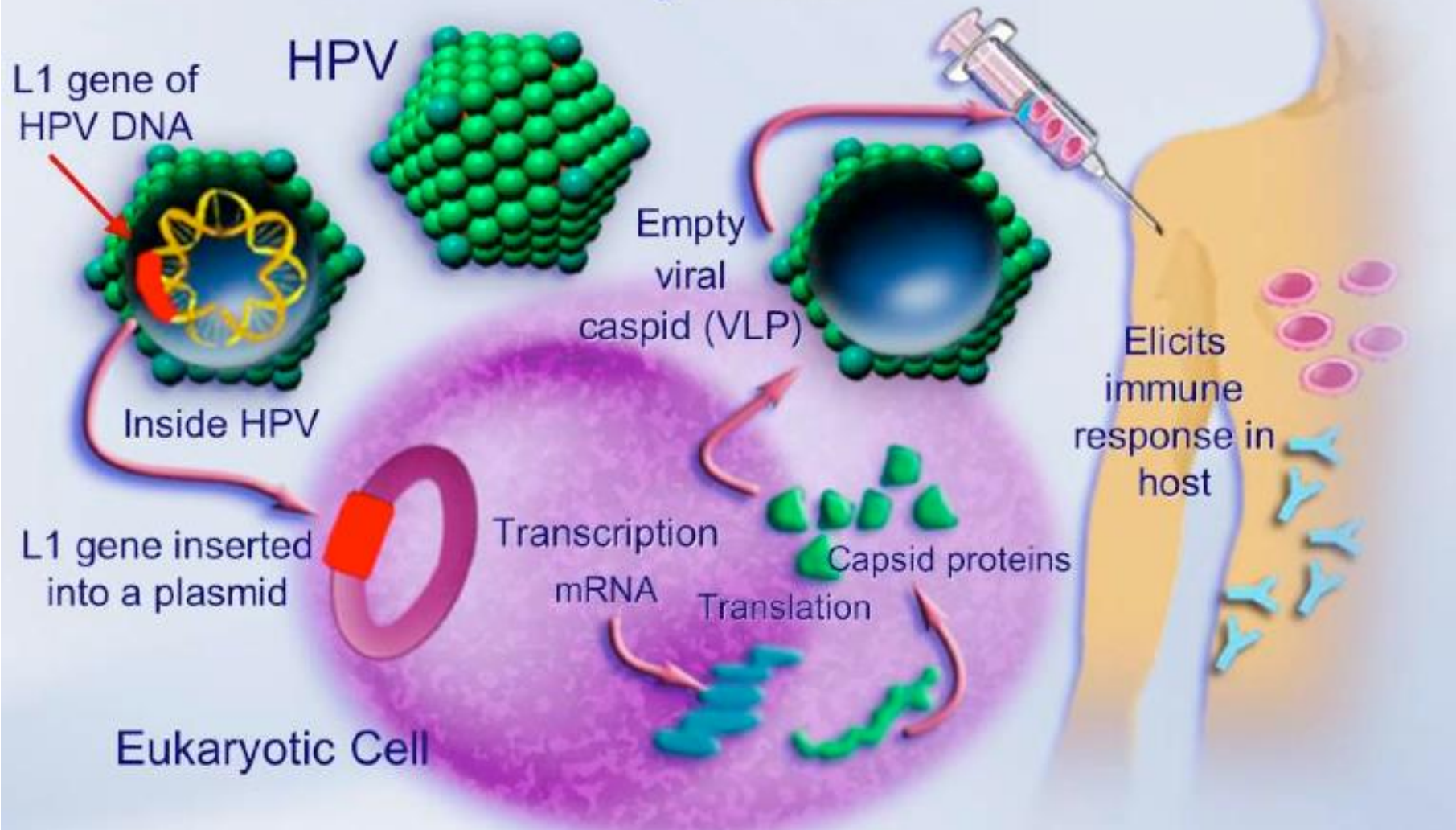


HBsAg rappresenta la molecola di scelta per allestire il vaccino.



Vaccino anti-HBV

# HPV L1 Virus-Like-Particle (VLP) Vaccine Synthesis



# Altre categorie di farmaci prodotti mediante la tecnologia del DNA ricombinante

## Ormoni Polipeptidici

Peptidi o piccole proteine che svolgono funzioni essenziali nel controllo del metabolismo nei mammiferi.

Alcuni sono farmaci salvavita



Ormone della crescita:  
**Humatrope®**

Eritropoietina: regola la produzione di globuli rossi da parte del midollo osseo **Epocim®**



# Altre categorie di farmaci prodotti mediante la tecnologia del DNA ricombinante

## Immunomodulatori e Antitumorali

I più noti sono gli interferoni che a seconda del tipo possono esplicare attività antivirale ( $\alpha$  e  $\beta$ ), immunomodulatrice ( $\gamma$ ) o antitumorale ( $\alpha$ ).



Interferone  $\beta$ : usato nel trattamento della SM, agisce sui linfociti T inibendone la migrazione e riduce la produzione di citochine. **Avonex<sup>®</sup>**, **Betaferon<sup>®</sup>**, **Rebif<sup>®</sup>**



Interferone  $\alpha$ : usato nel trattamento di cancro al rene, melanoma, alcune forme di linfoma e leucemie.

**IntronA<sup>®</sup>**, **Infergen<sup>®</sup>**, **Alfaferone<sup>®</sup>**, **Roferon-A<sup>®</sup>**



Interferone  $\gamma$  : usato per ridurre l'incidenza di infezioni in pazienti con ridotte difese immunitarie. **Imukin<sup>®</sup>**



## PRINCIPALI FARMACI PRODOTTI CON LA TECNICA DEL DNA RICOMBINANTE

| Categorie di prodotti                              | Applicazione                                          |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| <b><i>PROTEINE DEL SANGUE</i></b>                  |                                                       |
| <b>Attivatore tissutale del plasminogeno (TPA)</b> | <b>Dissoluzione di trombi e coaguli</b>               |
| <b>Fattori della coagulazione VII,VIII,IX</b>      | <b>Terapia sostitutiva dell'emofilia</b>              |
| <b>Eritropoietina</b>                              | <b>Terapia dell'anemia (rigenerazione eritrociti)</b> |

## **PRINCIPALI FARMACI PRODOTTI CON LA TECNICA DEL DNA RICOMBINANTE**

| <b>Categorie di prodotti</b>               | <b>Applicazione</b>                           |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b><i>ORMONI E FATTORI DI CRESCITA</i></b> |                                               |
| <b>Insulina</b>                            | <b>Terapia del diabete<br/>ins.dipendente</b> |
| <b>Ormone della crescita</b>               | <b>Terapia del nanismo</b>                    |
| <b>Epidermal Growth<br/>Factor (EGF)</b>   | <b>Cicatrizzazione di ferite</b>              |
| <b>Fibroblasth Growth<br/>Factor (FGF)</b> | <b>Trattamento delle ulcere</b>               |
| <b><math>\beta</math>-endorfine</b>        | <b>Terapia del dolore</b>                     |

## PRINCIPALI FARMACI PRODOTTI CON LA TECNICA DEL DNA RICOMBINANTE

| Categorie di prodotti                     | Applicazione                                     |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <b><i>ENZIMI</i></b>                      |                                                  |
| <b><math>\alpha_1</math>-antitripsina</b> | <b>Terapia dell'enfisema</b>                     |
| <b>Urochinasi</b>                         | <b>Coagulazione<br/>del sangue</b>               |
| <b>Proteasi</b>                           | <b>Terapia di edemi e<br/>stati infiammatori</b> |
| <b>Idrolasi</b>                           | <b>Terapia di edemi e<br/>stati infiammatori</b> |

## PRINCIPALI FARMACI PRODOTTI CON LA TECNICA DEL DNA RICOMBINANTE

| Categorie di prodotti                                                             | Applicazione                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b><i>IMMUNOMODULATORI</i></b>                                                    |                                                                                                   |
| <b>Interferoni (<math>\alpha</math>, <math>\beta</math>, <math>\gamma</math>)</b> | <b>Farmaci antivirali e<br/>antitumorali<br/>Terapia del sarcoma<br/>di Kaposi (HIV-positivi)</b> |
| <b>Interleuchine (IL-2)</b>                                                       | <b>Terapia antitumorale e<br/>dei disordini immunitari</b>                                        |
| <b><i>Tumor Necrosys factor</i></b>                                               | <b>Farmaco antitumorale</b>                                                                       |
| <b><i>Granulocyte-Colony Stimulating<br/>factor (G-CSF)</i></b>                   | <b>Terapia infezioni<br/>(post-chemio)</b>                                                        |
| <b><i>Granulocyte/Macrophage CSF<br/>(GM-CSF)</i></b>                             | <b>Trapianto midollo osseo,<br/>antitumorale</b>                                                  |



# **ESPRESSIONE GENICA IN SISTEMI ETEROLOGHI**

## **QUALI SISTEMI ETEROLOGHI UTILIZZARE PER L'ESPRESSIONE DEI GENI ?**

E' virtualmente possibile esprimere geni in sistemi di ogni tipo utilizzando vettori d'espressione appropriati, in funzione di esigenze specifiche.

I più diffusi:

- Escherichia coli,
- Bacillus subtilis,
- lieviti,
- cellule d'insetto/sistemi virali
- cellule vegetali
- cellule di mammifero in coltura.

L'espressione in E.coli è di gran lunga la più semplice e, forse, per questo la più utilizzata come prototipo di espressione genica in sistemi eterologhi.

Le conoscenze correnti permettono di sfruttare le potenzialità dell'espressione genica in organismi complessi che, sempre più spesso vengono utilizzati come bioreattori

# **Molte proteine ricombinanti di interesse medico sono espresse in microorganismi**

---

|                                                                            |                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Insulina umana                                                             | Diabete                                          |
| Ormone della crescita umano                                                | Nanismo ipofisario                               |
| Vaccino per l'epatite B                                                    | Prevenzione dell'epatite B                       |
| Interferone $\alpha$                                                       | Tricoleucemia                                    |
| Attivatore del plasminogeno tissutale                                      | Infarto miocardico acuto                         |
| Eritropoietina                                                             | Anemia associata ad insufficienza renale cronica |
| Interferone $\gamma$                                                       | Granulomatosi cronica                            |
| Fattore stimolante la crescita delle<br>colonie di macrofagi e granulociti | Trapianto di midollo osseo                       |
| Fattore stimolante la crescita<br>di colonie di granulociti                | Neutropenia causata da chemioterapia             |
| Interleuchina-2 umana                                                      | Carcinoma del rene                               |
| Fattore VIII                                                               | Emofilia A                                       |
| DNasi umana                                                                | Fibrosa cistica                                  |
| Glucocerebrosidasi                                                         | Morbo di Gaucher                                 |
| Interferone $\beta$                                                        | Sclerosi multipla                                |
| Fattore IX                                                                 | Emofilia B                                       |
| Interferone consenso                                                       | Infezione cronica da HCV                         |
| PGF                                                                        | Trombocitopenia indotta da chemioterapia         |
| PDGF- $\beta$                                                              | Ulcerazione arti inferiori da diabete            |
| Recettore FNT                                                              | Artrite reumatoide                               |
| Glucagone                                                                  | Ipoglicemia                                      |

# **VETTORI D'ESPRESSIONE**

## **considerazioni generali**

**I segnali che assicurano l'espressione genica nei procarioti sono molto diversi e se un gene eucariotico viene semplicemente trasferito in una cellula batterica ha poche probabilità di essere espresso.**

**Costruire un vettore d'espressione significa essenzialmente costruire un vettore di replicazione contenente tutti quei segnali capaci di ottimizzare la corretta trascrizione e traduzione dei geni eterologhi nell'ospite in cui avviene l'espressione.**

**Per aumentare le rese, infine, in genere si cerca di ottimizzare la stabilità dei prodotti di espressione, sia a livello trascrizionale che traduzionale.**

## ***Espressione in sistemi PROCARIOTICI***

### **Vantaggi:**

- *Semplicità delle cellule batteriche*
- *Breve tempo di replicazione*
- *Ottenimento di grandi quantità di prodotto a basso costo*
- *Talvolta la proteina ricombinante è secreta nel mezzo di coltura*

### ***Svantaggi:***

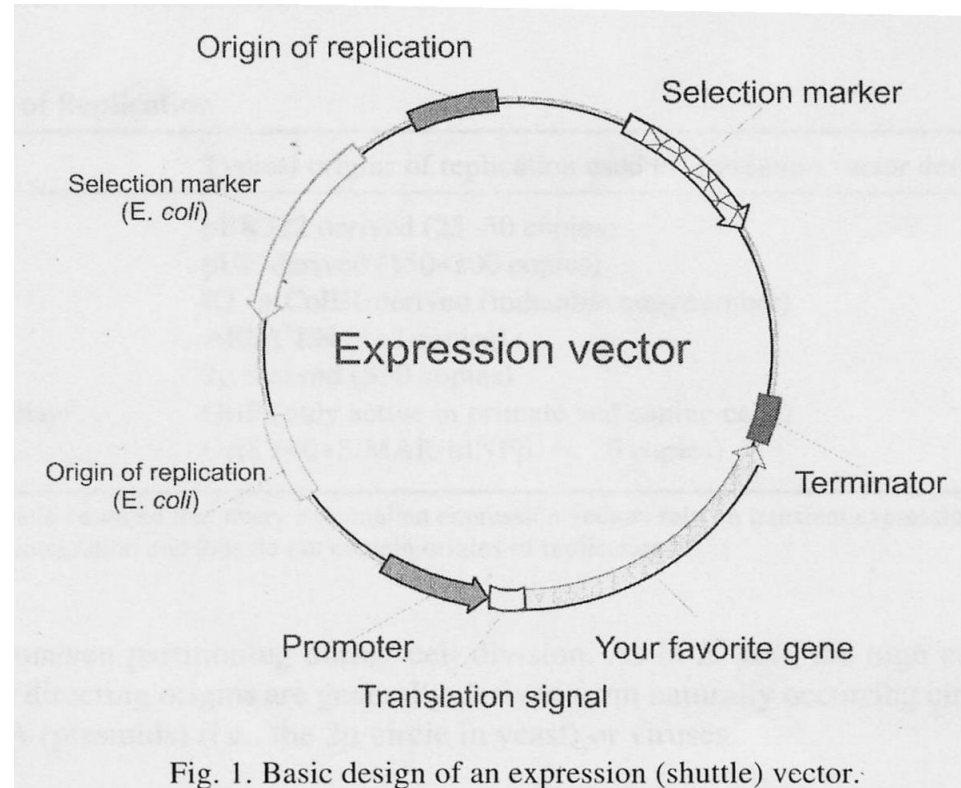
- *Formazione di corpi inclusi insolubili (proteine inattive biologicamente)*
- *Tossicità di alcune proteine esogene per i batteri che le producono*
- *Mancanza degli enzimi responsabili delle modifiche post-traduzionali necessarie per ottenere proteine ricombinanti biologicamente attive (maturazione proteolitica, metilazione, fosforilazione, glicosilazione, etc.)*

# VETTORI D'ESPRESSIONE

## caratteristiche generali

Un vettore per l'espressione eterologa dovrà contenere i seguenti elementi:

- **Origine di replicazione**
- **Marker di selezione**
- **Promotore**
- **Terminatori di trascrizione**
- **Segnali per ottimizzare mRNA**
- **Codoni di terminazione della traduzione**
- **Elementi genetici specifici per diverse applicazioni:**
  - Sequenze segnale per secrezione
  - Molecole di fusione
  - Peptidi per purificazione
  - Ecc.



# **PROMOTORI**

**IL LIVELLO DI ESPRESSIONE DI UN GENE DIPENDE IN LARGA MISURA DALLA FORZA DEL PROMOTORE CHE LO CONTROLLA DETERMINANDO LA FREQUENZA CON LA QUALE LA RNA POLIMERASI INIZIA LA TRASCRIZIONE.**

**LA SCELTA DEL PROMOTORE DIPENDE DAL TIPO DI PROTEINA E DAGLI SCOPI DELL'ESPRESSIONE**

**SONO STATI ISOLATI ED OTTIMIZZATI UN CERTO NUMERO DI PROMOTORI FORTI DI *E.coli* CHE SONO PRESENTI NELLA MAGGIOR PARTE DEI VETTORI D'ESPRESSIONE ATTUALI.**

**IL LIVELLO DI CONOSCENZA DEI PROMOTORI PROCARIOTICI E' MOLTO AVANZATO, SONO STATI ELABORATI ANCHE PROMOTORI IN PARTE O TOTALMENTE SINTETICI SULLA BASE DELLE SEQUENZE CONSENSUS OTTIMALI.**

**UN PROMOTORE PROCARIOTICO TIPICO E' COSTITUITO DA CIRCA 60 bp CONTENENTI DUE SEQUENZE CONSENSO A -35 (ttcaga) e -10 (tataat). LA SPAZIATURA IDEALE TRA -35 e -10 VARIA TRA 16 a 17 bp . QUELLA TRA -10 E ATG E' DI 9 bp.**

## **Perchè i vettori d'espressione sono (quasi) sempre regolati**

- **L'espressione di una proteina eterologa tende ad essere identificata come “estranea” e degradata dalla cellula che attiva specifiche proteasi.**

**La possibilità di indurre l'espressione della proteina permette di minimizzare le degradazioni proteolitiche aumentando le rese.**

- **Alcune proteine possono essere tossiche o, comunque, interferire con la crescita dell'ospite di espressione. In alcuni casi fino al 50% delle proteine totali sono costituite dalla proteina ricombinante, a discapito delle proteine che assicurano il normale metabolismo di E.coli.**

**La possibilità di limitare l'espressione della proteina alla sola fase di induzione permette il normale sviluppo della cellula.**

- **La possibilità di indurre sperimentalmente l'espressione della proteina rappresenta un primo strumento di verifica dei livelli di espressione; comparando un estratto proteico indotto con uno non indotto si riesce facilmente ad evidenziare la presenza della proteina eterologa putativa (di cui conosciamo il peso molecolare)**

# **TERMINATORI DELLA TRASCRIZIONE**

**Una volta che L'RNA polimerasi ha iniziato la trascrizione, continua a incorporare ribonucleotidi fino a quando non incontra un segnale di stop.**

**I terminatori della trascrizione assicurano un'appropriata terminazione del gene inserito per:**

- aumentare la stabilità del gene trascritto;**
- impedire la formazione di trascritti troppo lunghi con sequenze non codificanti**

**I migliori terminatori di trascrizione derivano spesso da geni altamente espressi nella cellula ospite**

**Questi segnali sono molto diversi tra eucarioti e procarioti**



# SEGNALI PER MIGLIORARE LA TRADUZIONE

**Per un'ottimale assemblamento, partenza e terminazione della macchina ribosomale sono necessari segnali di traduzione che riguardano mRNA trascritto. Si ottengono comunque una buona traduzione e buona resa anche in assenza di segnali ottimizzati per l'ospite di espressione**

**In generale diversi organismi hanno differenti livelli di diversi tRNA e quindi per ottenere i migliori livelli di espressione è vantaggioso evitare assemblamenti di codoni che richiedono **tRNA rari** nella cellula ospite**

## SEGNALI PER MIGLIORARE LA TRADUZIONE

L'inizio della traduzione in *E.coli*, richiede la presenza, sulla porzione non tradotta al 5' del mRNA, di una regione di legame al ribosoma (RBS). Nei batteri è costituita da una sequenza, chiamata **SHINE-DALGARNO** (SD), complementare al 3' del rRNA 16S presente nella subunità ribosomale piccola 30S. La sua sequenza consenso è: 5'-UAAGGAGG-3'

Subito dopo la sequenza di Shine-Dalgarno deve essere presente un codone di inizio, quasi Sempre **AUG**. In una piccola percentuale di casi può essere presente il codone GUG.

Anche la composizione della tripletta immediatamente precedente l'AUG è rilevante: Per alcuni geni, come ad esempio la  $\beta$ -galattosidasi sono stati sistematicamente cambiate le basi vicine all'AUG rivelando variazioni di stabilità fino al 20%.

La spaziatura ottimale tra SD e AUG è di 8 bp

E' importante che la sequenza nucleotidica tra la SD e il codone d'inizio non sia disturbata da strutture secondarie ( es. hairpin loops ) che possono interferire drasticamente con il legame al ribosoma e la conseguente traduzione.

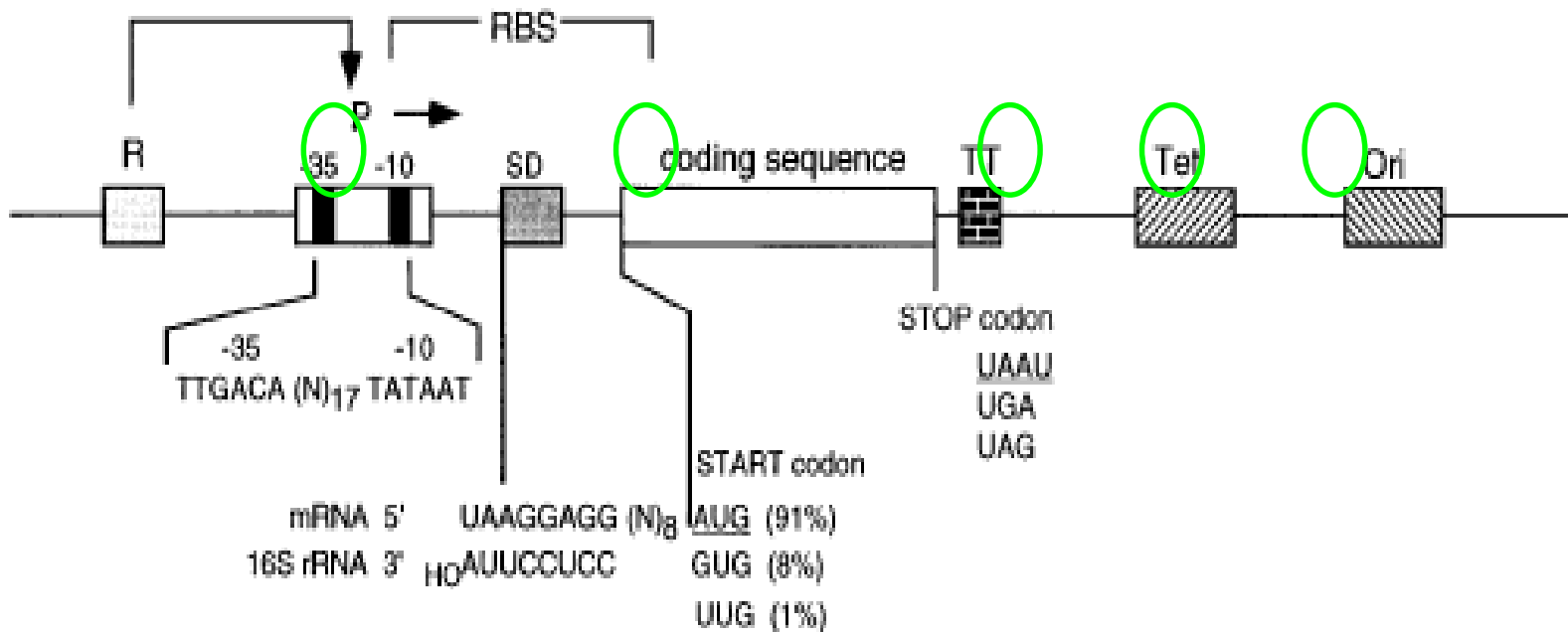
# **MANIPOLAZIONE DELL'ESPRESSIONE GENICA NEI PROCARIOTI**

Fattori da considerare

- PROMOTORE
- SEQUENZE LEGANTI I RIBOSOMI (6-8 nt seq. di Shine Dalgarno)
- NUMERO COPIE DEL GENE CLONATO
- LOCALIZZAZIONE FINALE PROTEINA
- STABILITA' PROTEINA IN CELLULA OSPITE

# ☺ Scelta del vettore

Configurazione di un'efficiente vettore di espressione nei procarioti



- P** Promotore
- R** Gene regolatore
- SD** Regione Shine-Dalgarno
- TT** Terminatore della trascrizione
- Tet** 1 o più geni che conferiscono resistenza ad antibiotici
- Ori** origine della replicazione

# Clonaggio di espressione nei batteri

- Maggior parte di proteine espresse in E. coli sono intracellulari
- Produzione fino al **25%** del totale delle proteine del batterio
- Impiego di ceppi carenti di proteasi: E. coli possiede almeno 25 proteasi, molte delle quali indispensabili per la vitalità delle cellula.
- La produzione della proteina eterologa può dar luogo alla formazione di corpi di inclusione (body inclusion) dovuti all'aggregazione e precipitazione della proteina eterologa espressa

# Body inclusion:

## Cosa sono?

- **Aggregati insolubili che si formano in seguito ad overespressione di proteina in E. coli.**
- **Opache al microscopio**
- **Diametro 1µm**
- **Composte per lo più di proteina eterologa**

## Cause probabili

- **Precipitazioni non specifiche dovute ad un contenuto elevato di proteina**
- **Presenza insufficiente di chaperons/foldig enzymes con conseguente aggregazione di intermedi parzialmente ripiegati**
- **Mancanza di modificazioni post-trasduzionali (proteine eucariote) portano a prodotti meno stabili**

## **GENI IN PROCARIOTI POSSONO AVERE**

- ESPRESSIONE COSTITUTIVA**
- ESPRESSIONE REGOLATA (es. lac operon)**

**NELLA PRODUZIONE DI PROTEINE ETEROLOGHE IN  
BATTERI VENGONO UTILIZZATI SPESSO PROMOTORI  
FORTI E REGOLABILI**

## **UNA PRODUZIONE CONTINUA PROVOCA:**

- INIBIZIONE FUNZIONI CELLULA**
- PERDITA ENERGIA**
- PERDITA PLASMIDE**

# Proteine native

Quando si vuole studiare l'attività biologica di una proteina si preferisce utilizzare un vettore d'espressione nativo.

La maggior parte dei vettori d'espressione per proteine native hanno un sito di restrizione unico per *NcoI* posizionato a valle del promotore.

# Proteine di fusione

Un vettore d'espressione può essere usato per produrre una proteina chimerica.



# Vantaggi della tag:

**Semplificazione nei processi di purificazione:**

- *Cromatografia di affinità*

**Semplificazione nei processi di rivelazione:**

- *Western Blotting*

**Studio d'interazione proteina-proteina:**

- *Cromatografia di pseudoaffinità*
- *Immunoprecipitazione*

**Solubilizzazione e localizzazione cellulare**

# **TAG per affinità**

## **TAG**

---

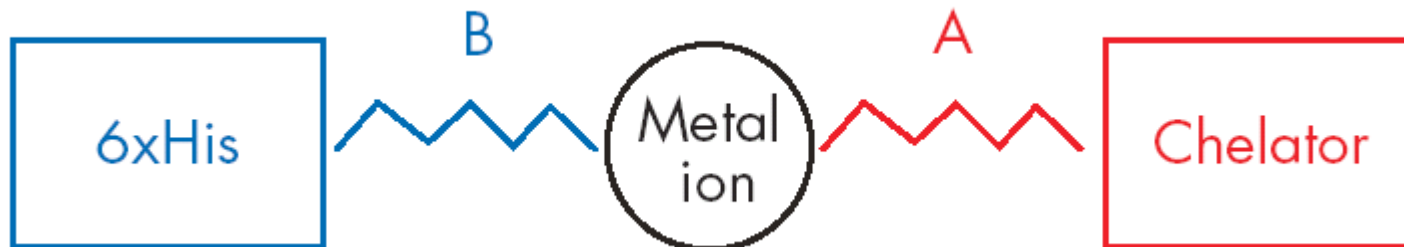
- **Calmodulin binding peptide (CBP)**
- **6xHis**
- **Proteina A (IgG binding domain)**
- **Chitin binding domain (CBD)**
- **Glutathione S-transferasi (GST)**
- **MBP (Maltose binding protein)**
- **Strep tag (Streptavidin binding tag)**

## Semplificazione nei processi di purificazione

### His Tag

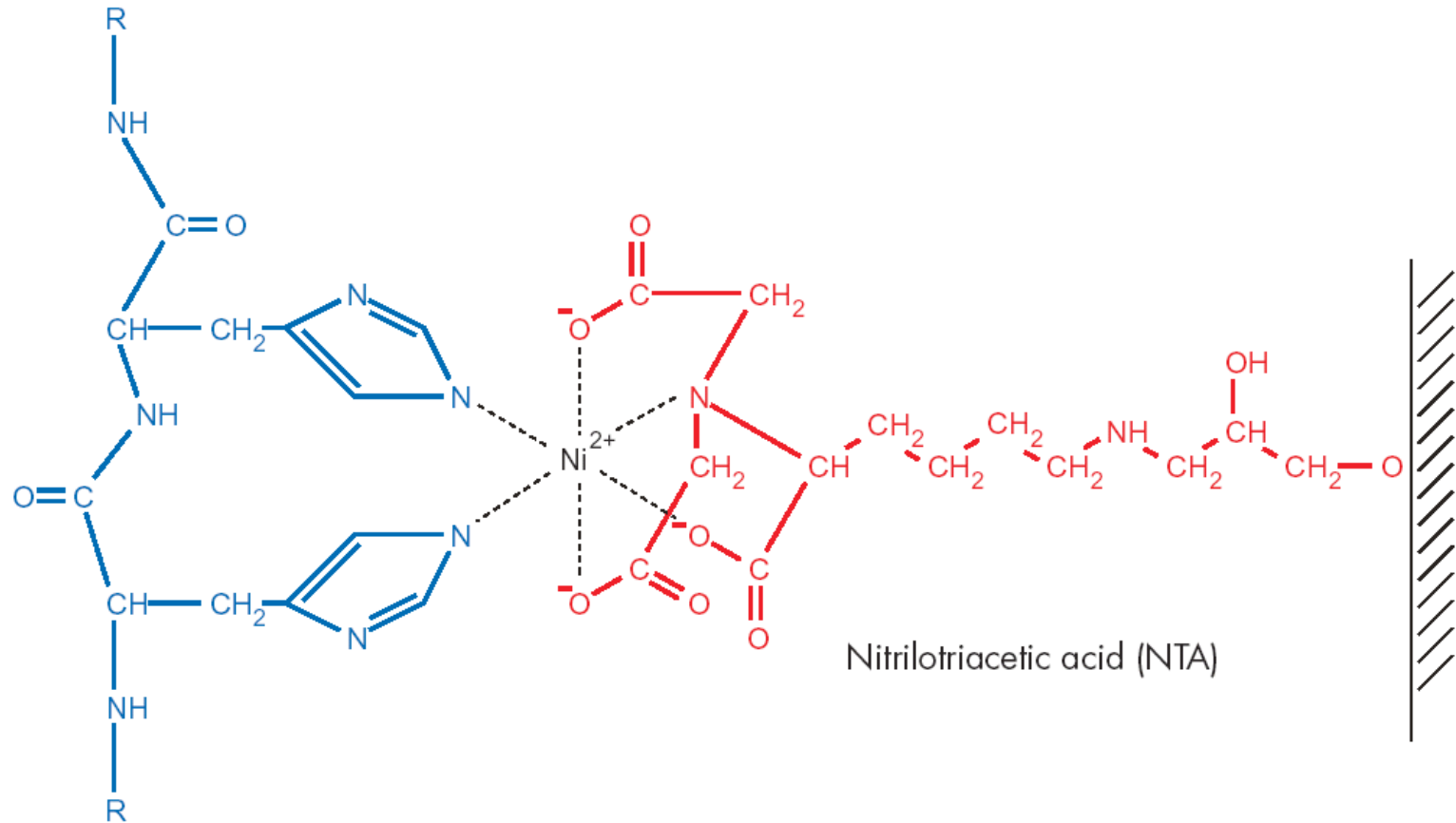


## Cromatografia di affinità mediante chelazione di metalli



## Matrice di Agarosio

### Sfere magnetiche rivestire di agarosio



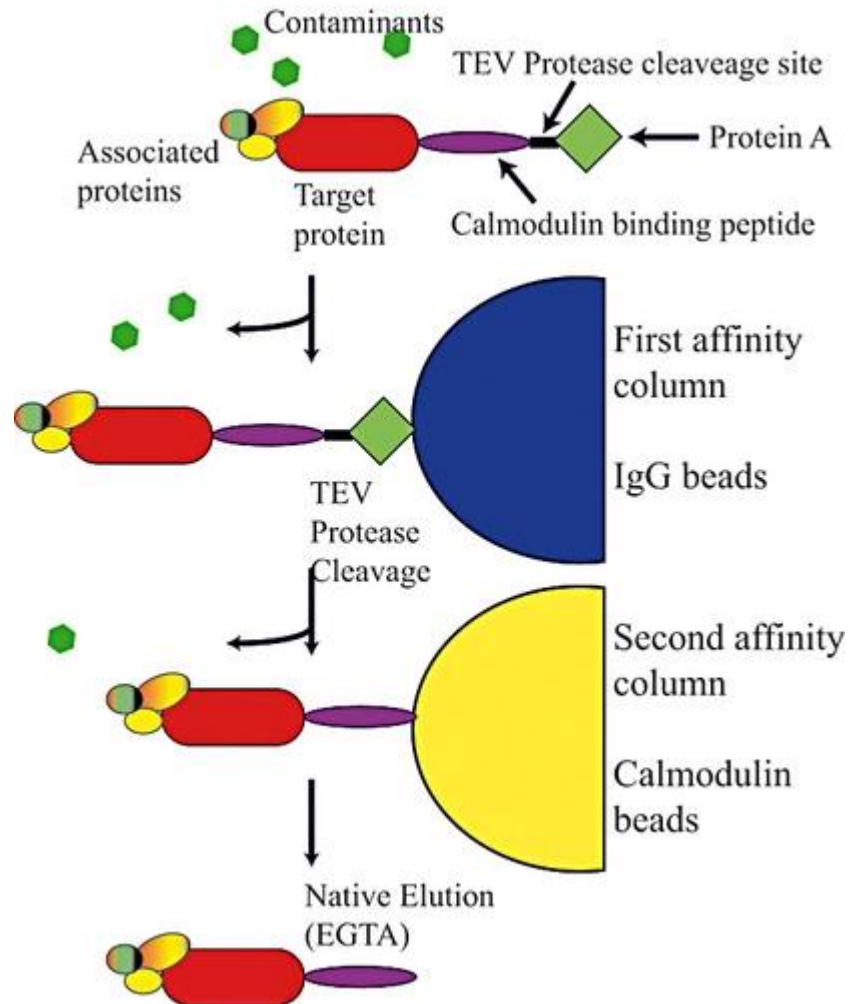
**Eluizione**

**Diminuzione di PH a 5**

**Tampone imidazolo**

**Guanidina**

## Purificazione con doppia tag e cromatografia di affinità



# **PROTEINE DI INTERESSE TERAPEUTICO IN PROCARIOTI:**

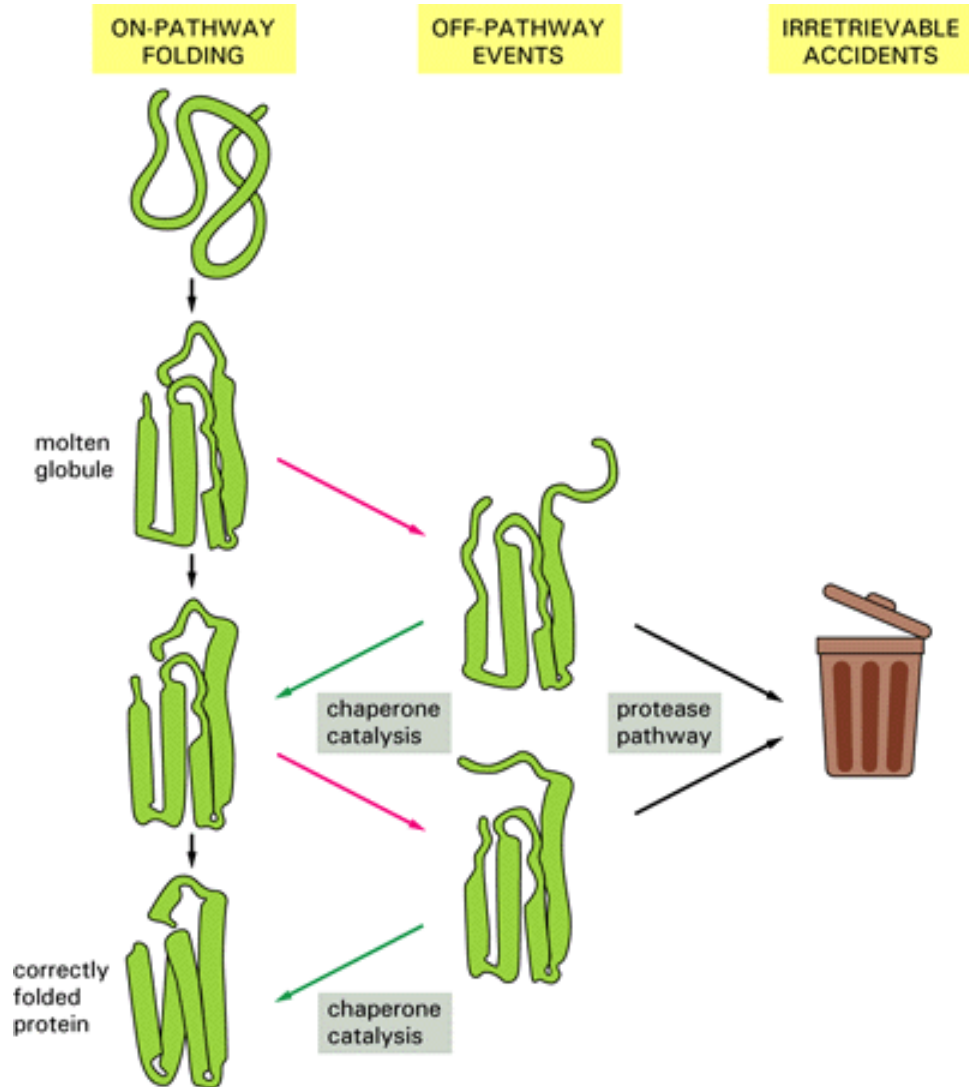
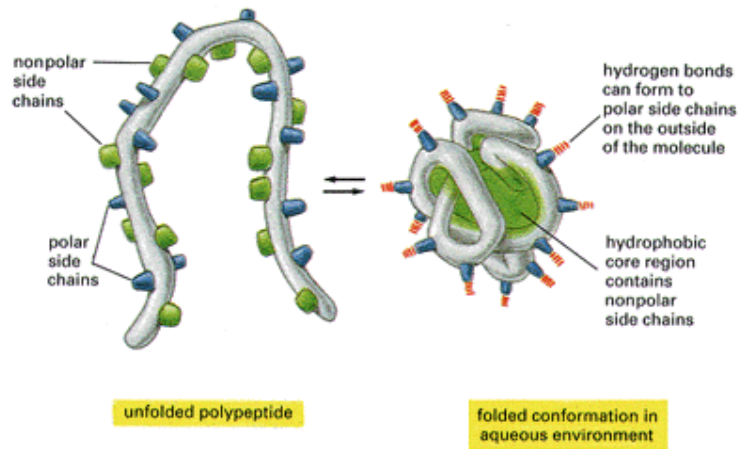
## **Vantaggi**

- SISTEMI DI ESPRESSIONE MOLTO SEMPLICI DA MANIPOLARE**
- PRODUZIONE DI PROTEINE IN GRANDI QUANTITA' E A BASSO COSTO**
- RISCHIO CONTAMINAZIONE VIRALE NULLO**
- RISCHIO ALLERGIE RIDOTTO RISPETTO ALLA PURIFICAZIONE DI PROTEINE ETEROLOGHE (vengono prodotte proteine umane)**

## **Problemi**

- E' DIFFICILE OTTENERE PROTEINE CHE MANTENGONO LA CONFORMAZIONE NATIVA DELLE PROTEINE UMANE (i sistemi di folding dei batteri sono molto meno sofisticati che negli eucarioti)**
- I BATTERI NON MANCANO DI ADEGUATI SISTEMI DI MODIFICAZIONE POST-TRADUZIONALE (glicosilazione, clivaggi proteolitici, fosforilazione, aggiunta di lipidi). IMPORTANTI CONSEGUENZE SULLA ATTIVITA' BIOLOGICA E SULLA ANTIGENICITA'**

# Il problema del 'folding'



# Batteri

(*E. coli*)

## Vantaggi:

- Vasta scelta di vettori di clonaggio
- Vasta scelta di linee cellulari
- Controllo relativamente semplice dell' espressione a livello genetico
- Buona resa della proteina ricombinante (25% del totale delle proteine)
- La proteina ricombinante può essere espressa come proteina di fusione
- La proteina ricombinante può essere disegnata per essere secreta nel terreno di crescita
- Economico

## Svantaggi

- La proteina ricombinante mancherà di modificazioni post-trasduzionali
- L' attività biologica del ricombinante può essere diverso dalla proteina naturale
- Carico metabolico molto pesante con overespressione di proteine che a volte porta alla formazione di inclusion bodies, aggregati che rendono difficoltosa la purificazione del prodotto e possono ridurre la sua attività biologica



# **MANIPOLAZIONE DELL'ESPRESSIONE GENICA IN CELLULE EUCARIOTICHE**

Vantaggi rispetto a sistemi procariotici

**-FORMAZIONE CORRETTA DI PONTI DISOLFURO**

**-FOLDING CORRETTO**

**-TAGLIO PROTEOLITICO DA PRECURSORE**

**-GLICOSILAZIONE**

**-MODIFICAZIONE DI aa (FOSFORILAZIONE, ACETILAZIONE, MIRISTILAZIONE, ecc.)**

# ***Espressione in sistemi EUCARIOTICI***

## **Vantaggi:**

**Presenza degli enzimi responsabili delle modifiche post-traduzionali necessarie per ottenere proteine ricombinanti biologicamente attive (maturazione proteolitica, metilazione, fosforilazione, glicosilazione, etc.)**

## **Svantaggi:**

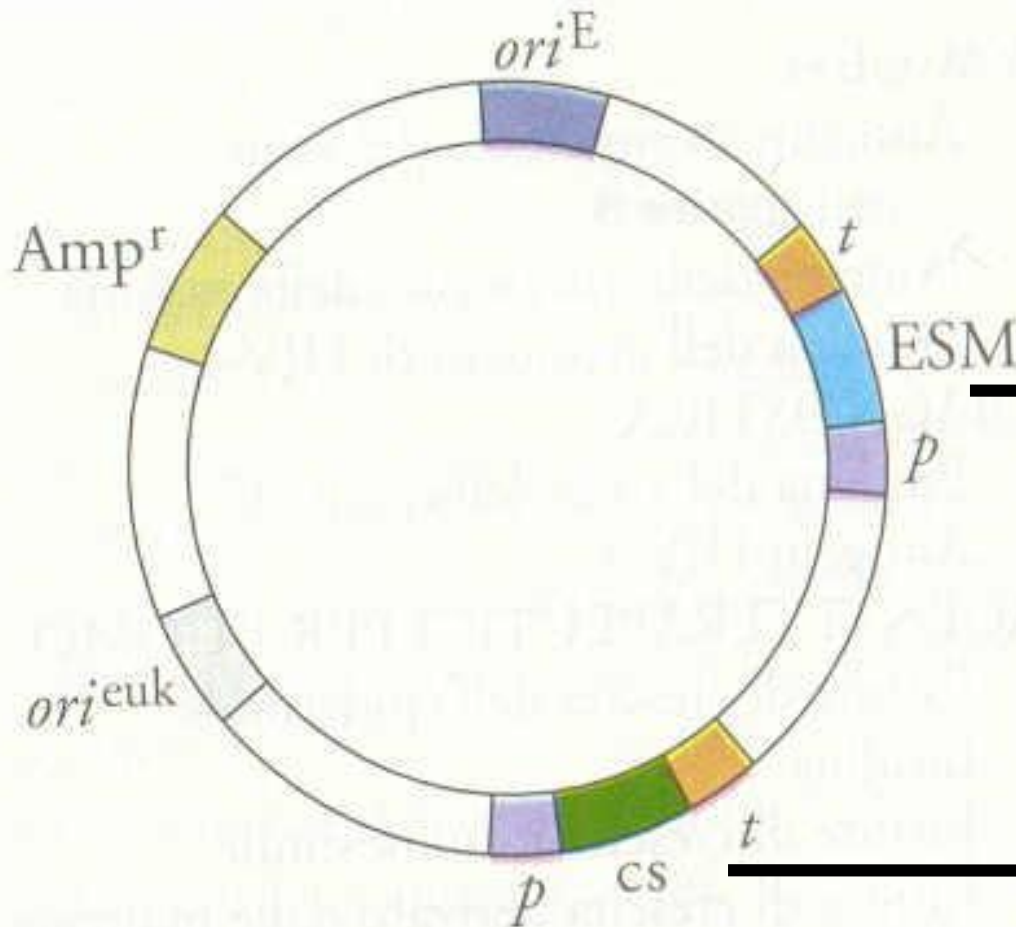
**Elevata complessità cellulare**

**Elevato tempo di replicazione**

**Maggiori costi**

# GENERICO VETTORE DI ESPRESSIONE EUCARIOTICO:

## CARATTERISTICHE PRINCIPALI



**MARCATORE  
SELEZIONABILE  
EUCARIOTICA**

**UNITA' DI TRASCRIZIONE  
EUCARIOTICA**

# Introduzione di DNA nelle cellule di lievito

- ▶ **Produzione di sferoplasti e trattamento con polietilenglicole**
- ▶ **Elettroporazione**
- ▶ **Coniugazione batterio lievito**

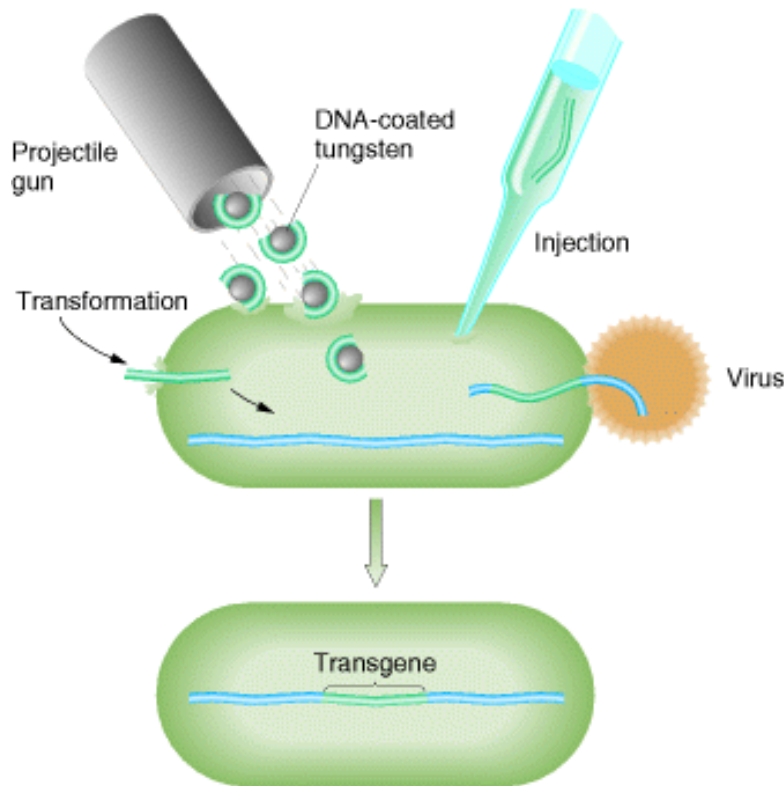
## Marcatori genici di selezione

Geni implicati nella biosintesi di uno specifico nutriente, in genere un amminoacido. I marcatori più utilizzati sono: **Ura3, His3, Leu2, Trp1, Lys2.**

Il ceppo di lievito utilizzato nella trasfezione deve essere difettivo per la via biosintetica in questione.

I ceppi che hanno internalizzato il vettore vengono identificati per la loro capacità di complementare il difetto nutrizionale, pertanto vengono fatti crescere su un terreno privo dello specifico nutriente.

# Sistemi di trasferimento genico



- Trasformazione (microorganismi)
- Trasfezione (eucarioti)
- Infezione (se il vettore è un virus)

## Tecniche

- Uso di sostanze permeabilizzanti
- Elettroporazione
- Sistemi liposomici
- Bombardamento con microparticelle
- Microiniezione

# **PRODUZIONE DI VACCINO CONTRO EPATITE B IN LIEVITO**

**-VACCINI ATTENUATI SONO VIRUS ALTERATI IN MODO CHE NON POSSANO PIU' RIPRODURSI NELL'ORGANISMO IN CUI VENGONO INOCULATI**

**-QUESTI VACCINI SONO POTENZIALMENTE PERICOLOSI : POSSONO ESSERE CONTAMINATI CON VIRUS INFETTIVI**

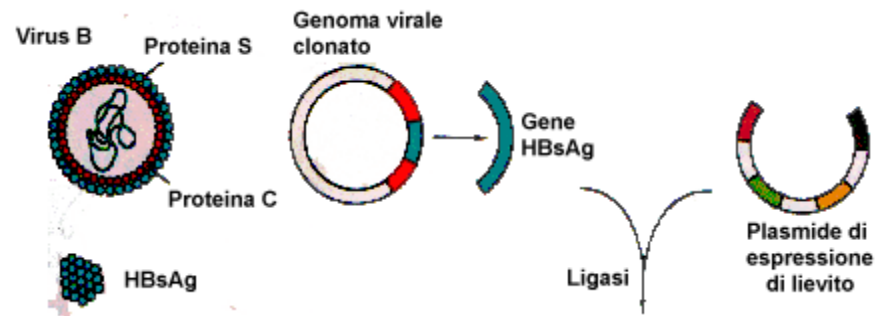
**-TENTATIVI DI PRODURRE ANTIGENE DI SUPERFICIE DI VIRUS EPATITE B (HBsAg) IN E. Coli FALLIRONO**

**-IL GENE CODIFICANTE HBsAg E' STATO CLONATO IN UN VETTORE DI ESPRESSIONE DI LIEVITO.**

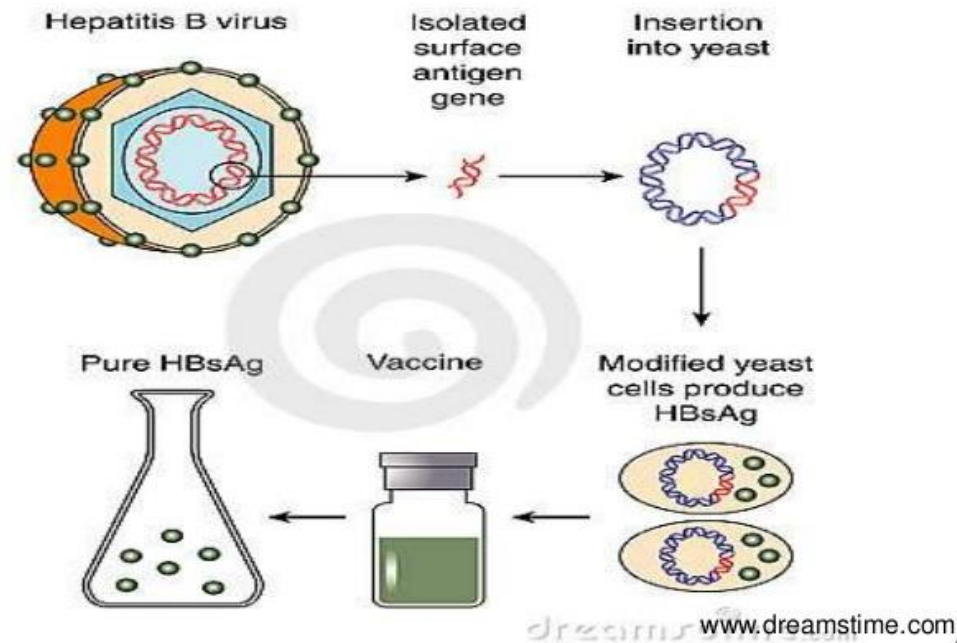
**-LIEVITO TRASFORMATO CON QUESTO VETTORE PRODUCE ELEVATE QUANTITA' DI HBsAg**

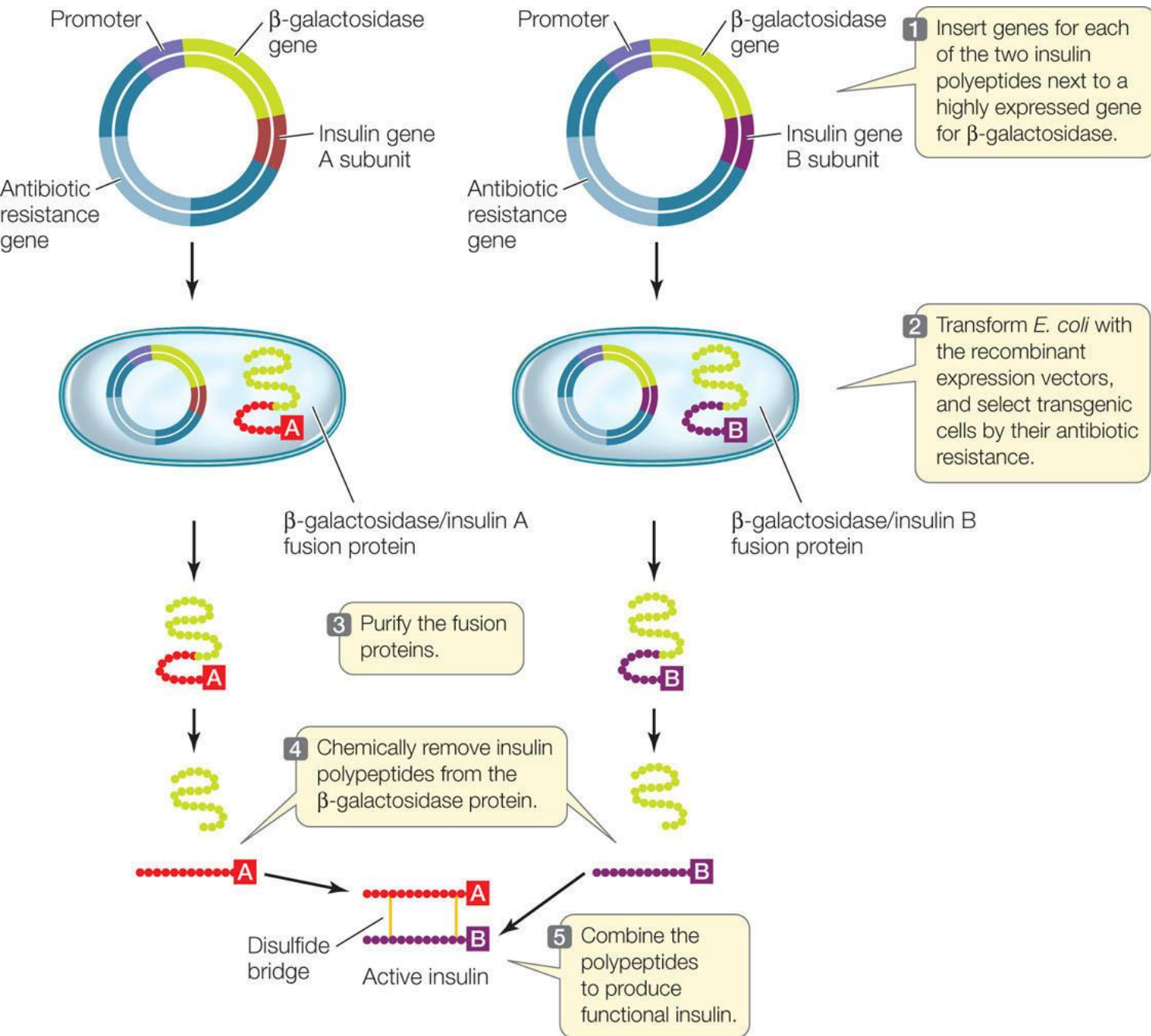
**-UTILIZZANDO FERMENTATORI E' POSSIBILE OTTENERE 50-100 mg DI PROTEINA PER LITRO DI CULTURA**

# Produzione vaccino Ricombinante per Epatite B in lievito



## Production of Vaccine







# PROTEINE RICOMBINANTI PRODOTTE IN *S. cerevisiae*

## VACCINI

Antigene di superficie del virus  
dell'epatite B

Proteina dello sporozoita della malaria

Proteina dell'involucro di HIV-1

## DIAGNOSTICA

Proteina del virus dell'epatite C

Antigeni HIV-1

## AGENTI TERAPEUTICI PER L'UOMO

Fattore di crescita dell'epidermide

Insulina

Fattore di crescita insulinosimile

Fattore di crescita derivato dalle piastrine

Proinsulina

Fattore di crescita dei fibroblasti

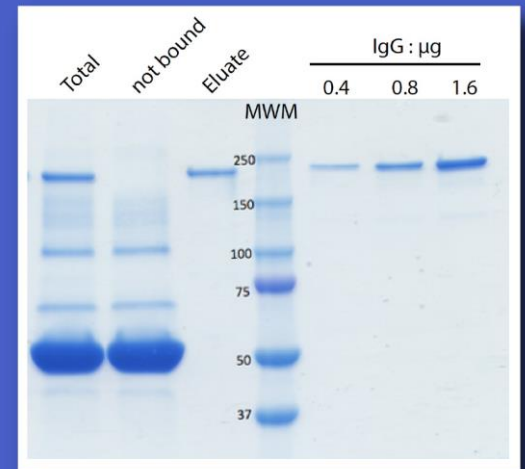
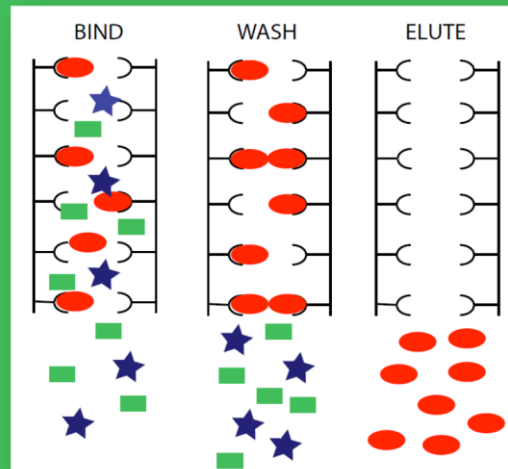
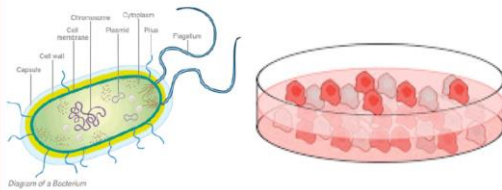
Fattore di stimolazione delle colonie di  
granulociti e macrofagi

Antitripsina  $\alpha_1$

Fattore di coagulazione del sangue XIIIa

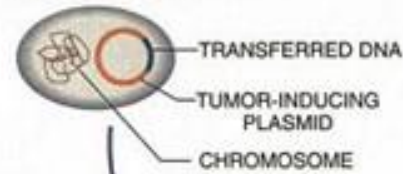
# Comparison of expression systems

| Characteristics                        | <i>E. coli</i>             | Yeast                     | Insect cells           | Mammalian cells     |
|----------------------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------|
| Cell growth                            | rapid (30 min)             | rapid (90 min)            | slow (18-24 h)         | slow (24 h)         |
| Complexity of growth medium            | minimum                    | minimum                   | complex                | complex             |
| Cost of growth medium                  | low                        | low                       | high                   | high                |
| Expression level                       | high                       | low-high                  | low-high               | low-moderate        |
| Extracellular expression               | secretion to periplasm     | secretion to medium       | secretion to medium    | secretion to medium |
| <i>Posttranslational modifications</i> |                            |                           |                        |                     |
| Protein folding                        | refolding usually required | refolding may be required | proper folding         | proper folding      |
| N-linked glycosylation                 | none                       | high mannose              | simple, no sialic acid | complex             |
| O-linked glycosylation                 | no                         | yes                       | yes                    | yes                 |
| Phosphorylation                        | no                         | yes                       | yes                    | yes                 |
| Acetylation                            | no                         | yes                       | yes                    | yes                 |
| Acylation                              | no                         | yes                       | yes                    | yes                 |
| gamma-Carboxylation                    | no                         | no                        | no                     | yes                 |

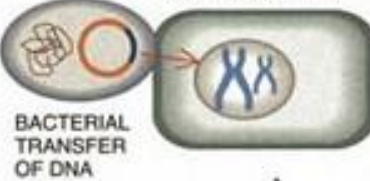


### AGROBACTERIUM METHOD

INTRODUCTION OF DNA INTO AGROBACTERIUM



CELL TRANSFER



BACTERIAL TRANSFER OF DNA

DNA INSERTION



CELL DIVISION



CELLS REGENERATE INTO PLANTLETS



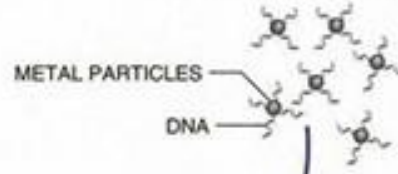
PLANTS WITH NEW TRAITS



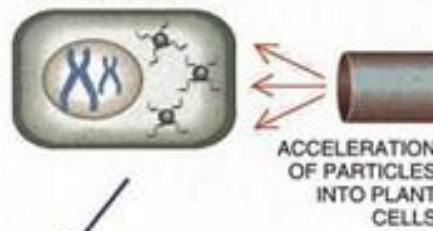
TRANSFER TO SOIL

### DNA PARTICLE GUN METHOD

DNA COATING OF MICROSCOPIC METAL PARTICLES



CELL TRANSFER



ACCELERATION OF PARTICLES INTO PLANT CELLS

DNA INSERTION



CELL DIVISION



CELLS REGENERATE INTO PLANTLETS



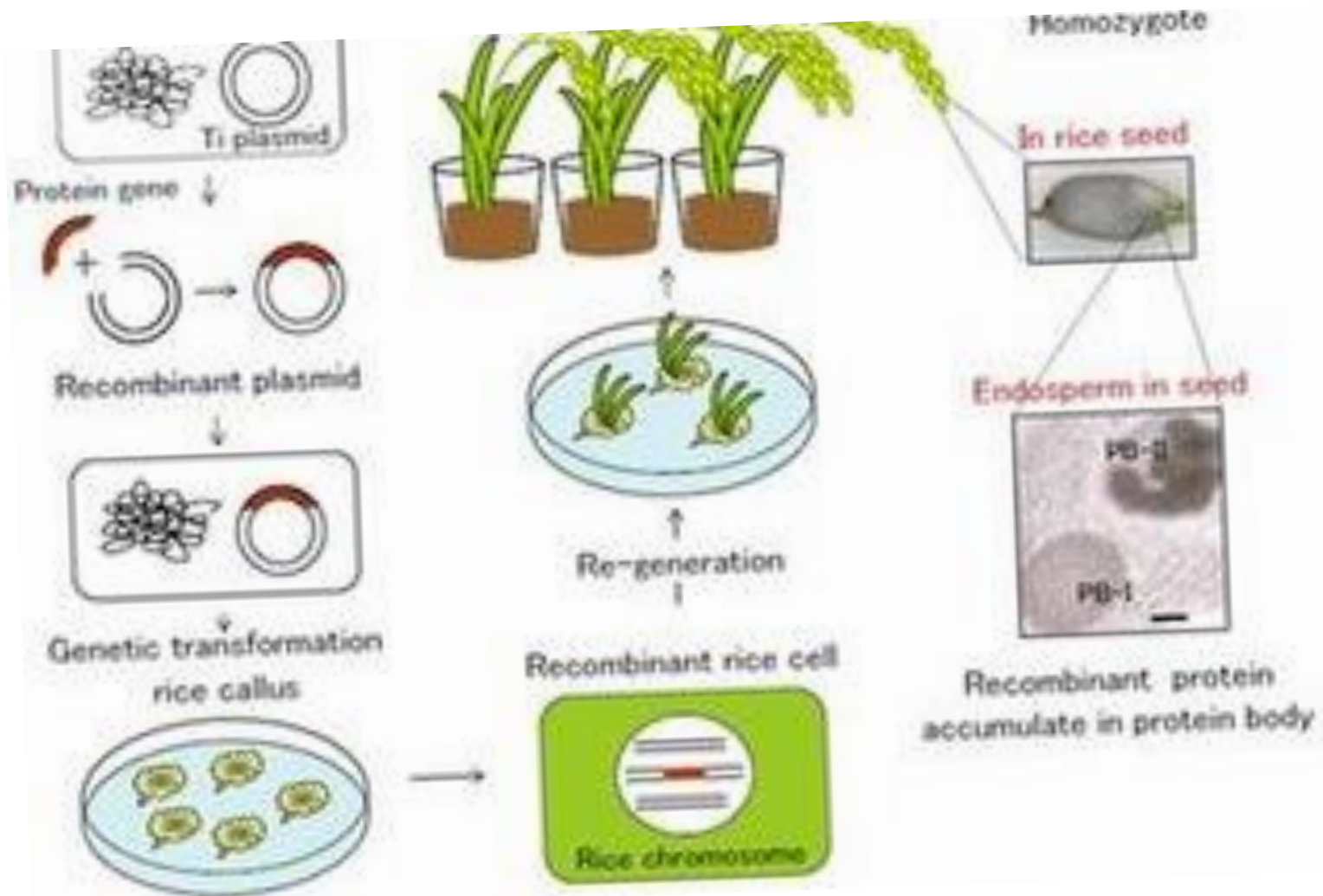
PLANTS WITH NEW TRAITS



TRANSFER TO SOIL



## OryzHiExp expression platform for Recombinant Protein Service



Nel 2012 negli USA e in Israele, e a seguire in Brasile e in Canada (2013 e 2014) è stato approvato per uso umano dalle autorità competenti il primo farmaco ricombinante prodotto in cellule vegetali transgeniche di carota in coltura. E' l'enzima **glucocerebrosidasi** (nome commerciale è Elelyso, prodotto da Protalix Biotherapeutics, Israele) che serve per trattare la malattia di Gaucher di tipo I, una malattia genetica recessiva del metabolismo lipidico.



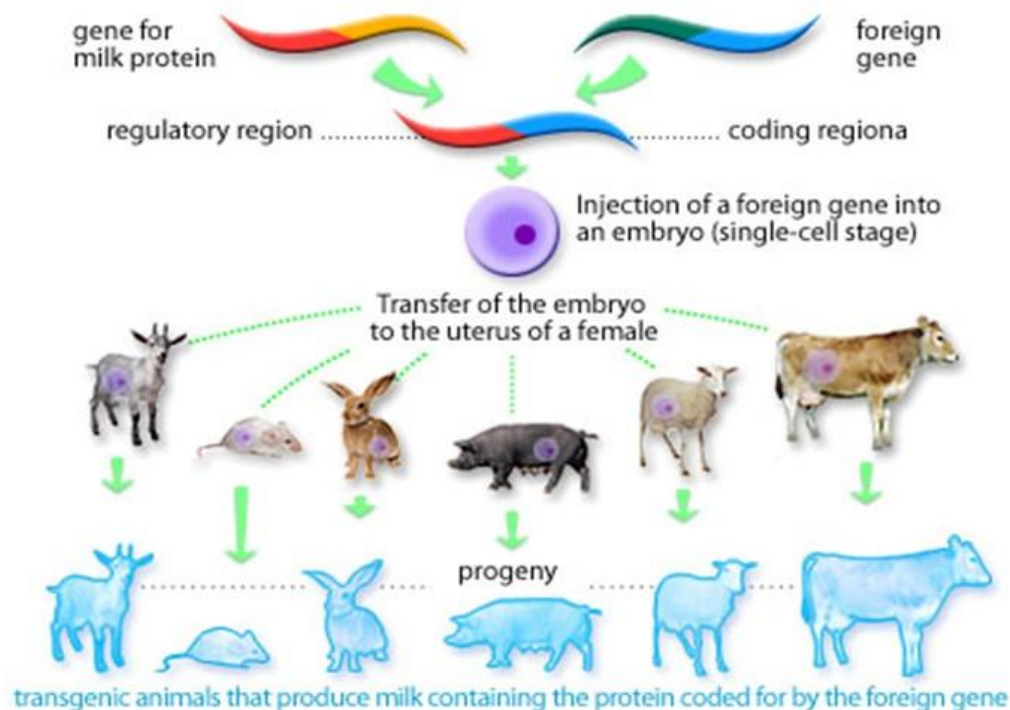
*Bioreattori a cellula di carota*

# Scelta del modello di espressione

- ✓ Batteri
- ✓ Lieviti
- ✓ Funghi
- ✓ Cellule superiori (cellule di mammifero)
- ✓ Sistemi virali (cellule di insetto)
- ✓ Piante ricombinanti
- ✓ Animali ricombinanti

# ANIMALI TRANSGENICI

*Per **animali transgenici** si intendono quegli animali ottenuti attraverso una manipolazione del genoma, inserendo uno o più geni, appartenenti alla stessa specie, o più spesso ad altre specie.*





**Il *primo animale* transgenico è stato un maiale creato nel 1992, per sintetizzare nel latte la proteina umana C. Dopo Genie, così si chiamava la prima scrofa, si è cominciato a pensare di produrre animali donatori per andare incontro alla domanda sempre crescente di organi.**

**A tale scopo i maiali sono considerati i migliori candidati, visto che , geneticamente, sono molto simili a noi.**

**L'obiettivo è di creare dei porcellini transgenici dotati di organi interni praticamente umani, in grado cioè di ingannare il sistema immunitario e impedire il processo di rigetto.**





**Polly è un clone transgenico di pecora Poll Dorset, portatrice del gene per una proteina umana (fattore IX della coagulazione).**

L'interesse degli animali transgenici è indirizzato, inoltre, a produrre linee genetiche controllate di animali che producano alimenti migliori e in maggiori quantità. Ad esempio sono stati prodotti *suini transgenici* che crescono più rapidamente, utilizzando meglio l'alimento e producendo una carne con meno grasso.





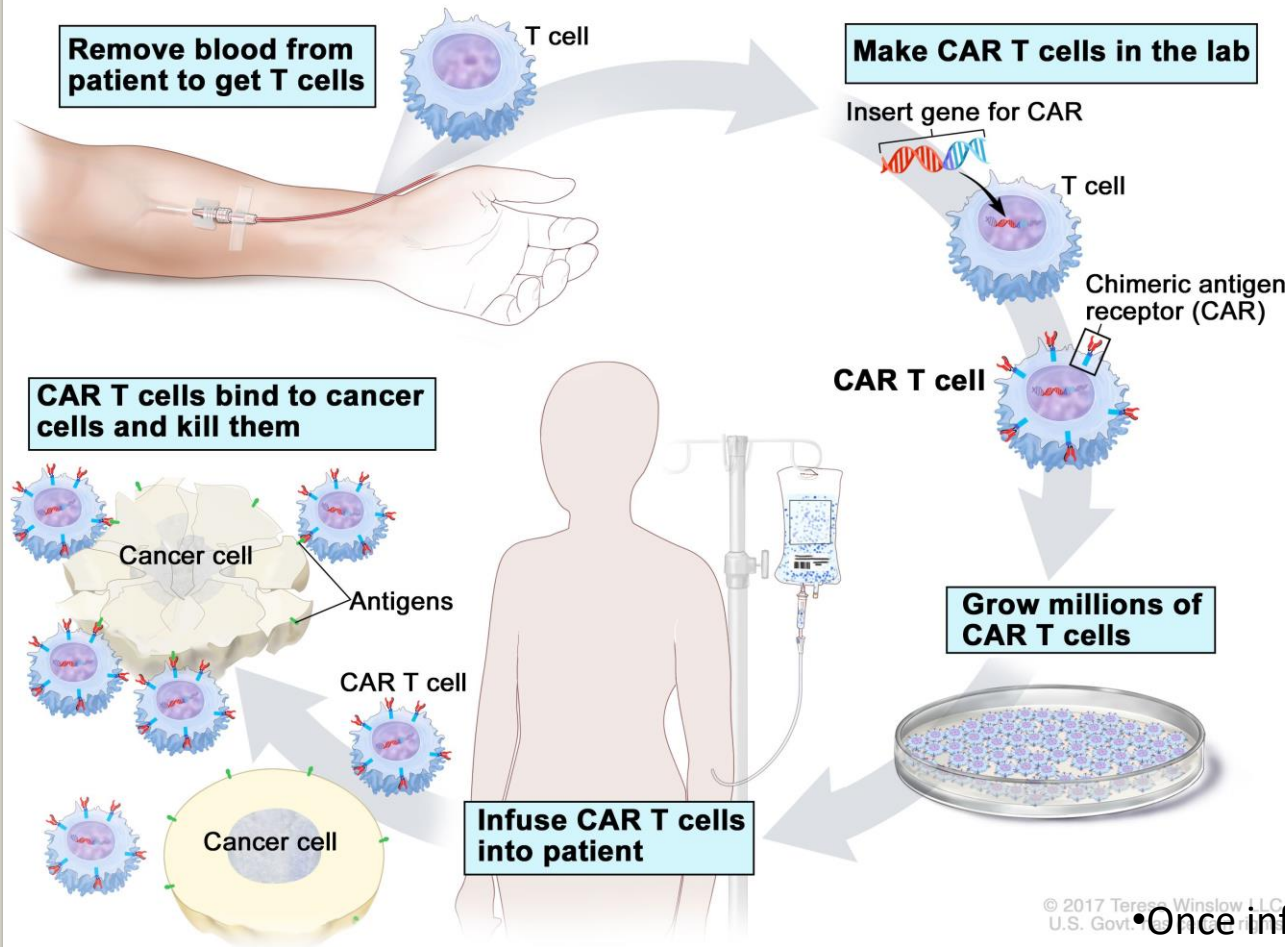


Alba, il coniglio transgenico creato da Eduardo Kac





## CAR T-cell Therapy



- Prior to infusion, the patient undergoes one round of a chemotherapy regimen to reduce the amount of cancer cells as well as other immune cells, which improves the body's acceptance of the CAR T cells. The Lympho-depleting chemotherapy is often Fludarabine + Cyclophosphamide (FluCy) and is used in order to deplete endogenous T-cells (and Tregs), so that they are not going to antagonise/suppress and allow expansion/proliferation of the infused CAR-T cells.

© 2017 Teresa Winslow LLC  
U.S. Govt.

- Once infused, CAR T cells circulate throughout the patient's body, and attach to cancer cells. This binding action stimulates an immune attack and destruction of the cancer cells.



# NOBELPRISET I KEMI 2020 THE NOBEL PRIZE IN CHEMISTRY 2020



KUNGL.  
VETENSKAPS-  
AKADEMIEN

THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES



Photo: Hellewaert/Corbis

**Emmanuelle Charpentier**



Photo: UC Berkeley/Doudna Lab

**Jennifer A. Doudna**

*"för utveckling av en metod för genomeditering"*

*"for the development of a method for genome editing"*

#nobelprize



# Clustered regularly-interspaced short palindromic repeats (CRISPR)

**CRISPR** sono segmenti di DNA contenenti brevi sequenze ripetute. Ogni ripetizione è seguita da brevi frammenti di DNA «distanziatore», generato da una passata esposizione del batterio a virus batteriofagi o plasmidi ed incorporate **nei procarioti**, derivante non solo da DNA virali, ma anche raccattate dall'ambiente esterno, come molecole di DNA degradato.

**CRISPR** sono state scoperte per la prima volta nel **1987** in *E. coli* da Yoshizumi Ishino, ma a quell'epoca la loro funzione non era conosciuta. Nel **2000** furono identificati simili cluster di ripetizioni di sequenza in altri batteri e archeobatteri (SRSR), ma furono chiamati CRISPR solo nel **2002**.

La loro funzione ed importanza è stata compresa dopo la scoperta di un **complesso di geni associati a tali sequenze, denominati Cas** (CRISPR-associated), in grado di codificare per nucleasi ed elicasi, enzimi in grado di tagliare il DNA.

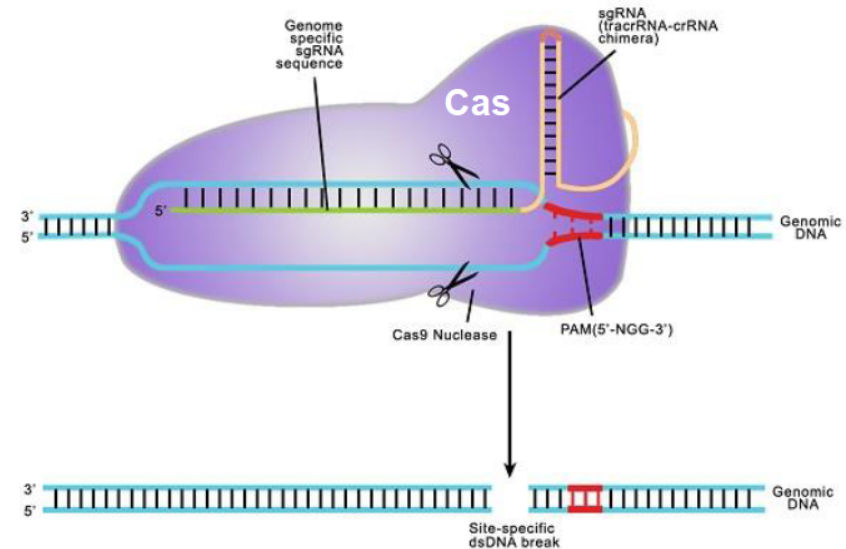


Illustration of CRISPR/Cas9-mediated genome editing  
<http://www.genecopoeia.com/product/crispr-cas9/>

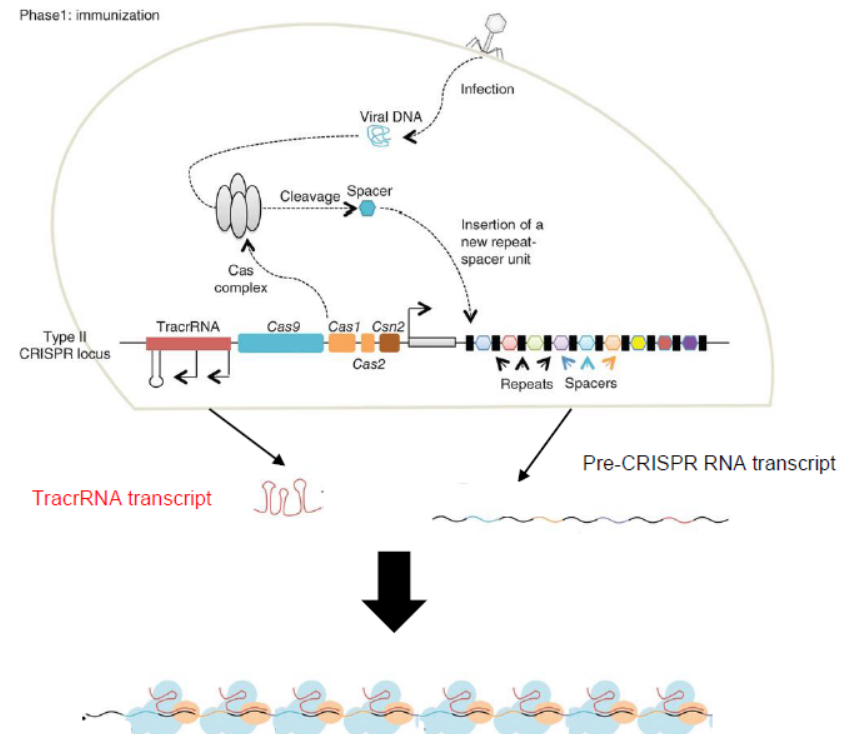


# Clustered regularly-interspaced short palindromic repeats (CRISPR)

Nel **2005**, tre gruppi di ricerca indipendenti dimostrarono che **gli *spacer* (spaziatori) sono frammenti di DNA derivati da virus** che, in precedenza, avevano cercato di infettare la cellula e che venivano inseriti tra sequenza di DNA ripetute, chiamate ***repeats***.

Jennifer Doudna ed Emmanuelle Charpentier hanno scoperto che **il batterio reagisce alle successive infezioni virali trascrivendo questi *spacer* e i repeat di DNA adiacenti in una unica lunga molecola di RNA pre-CRISPR**.

Questa molecola **si associa** ad altri trascritti del cluster ***TracrRNA*** e alla ***cas9*** (sempre codificata dallo stesso cluster genico), **per essere tagliata poi in singole unità** (ciascun contenente un unico *spacer*).



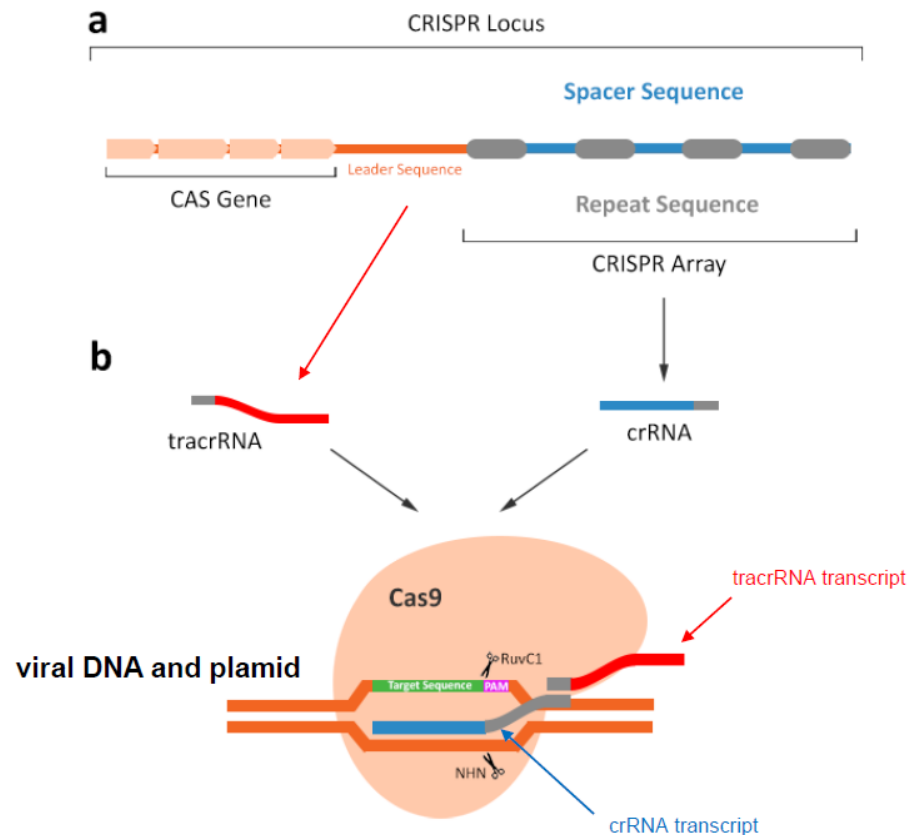
# CRISPR locus

## Il complesso molecolare CRISPR/Cas9:

- Riconosce mediante la sequenza *spacer* (crRNA) le sequenze di un virus infettante complementari, funzionando da «guida» e dirigendo il complesso CRISPR/Cas9 sul DNA target
- poi l'attività nucleasica della Cas9 taglia il DNA bersaglio.

L'associazione CRISPR/Cas costituisce un sistema immunitario procariotico che conferisce resistenza al batterio nei confronti di elementi genetici estranei (plasmidi e fagi).

Koonin e colleghi proposero che funzionassero come il sistema chiamato *RNA interference* usato nelle cellule eucariote per lo spegnimento genico, anche questo è un sistema diretto verso sequenze bersaglio di acidi nucleici.



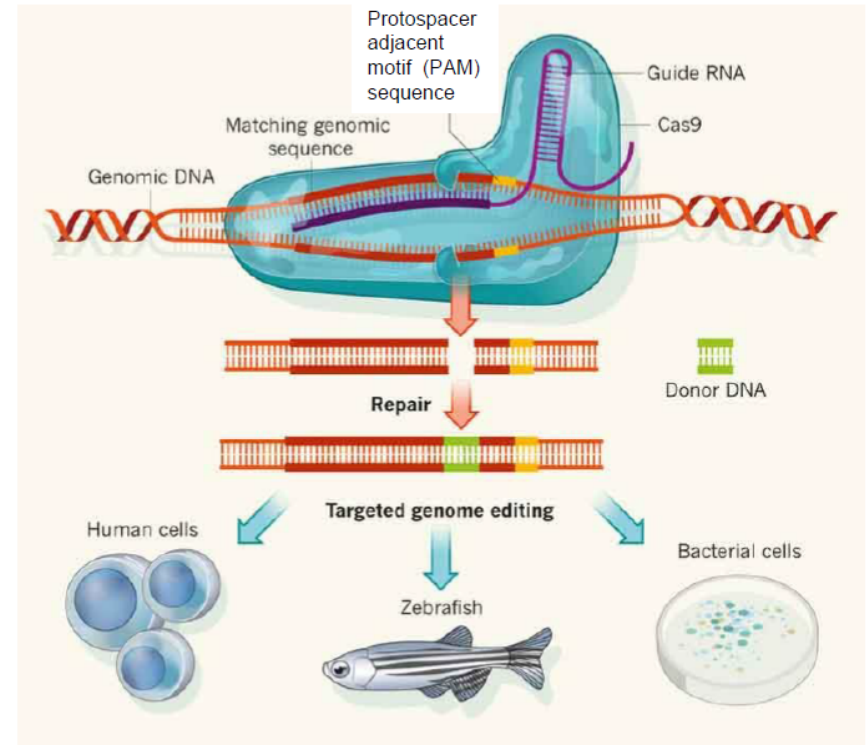
# Clustered regularly-interspaced short palindromic repeats (CRISPR)

Per queste sue caratteristiche, il sistema **CRISPR/Cas** è usato nell'ingegneria genetica (rimuovendo, aggiungendo o modificando la sequenza di geni specifici) in molte specie.

Introducendo la proteina Cas9 e gli appropriati RNA guida (gRNA) nelle cellule, il genoma può essere tagliato in qualsiasi punto in maniera estremamente precisa e con una tecnica semplice.

**CRISPR** apre la strada all'alterazione del codice genetico, con numerose applicazioni nella manipolazione del genoma di piante nell'agricoltura, del bestiame da allevamento, ma anche umano.

**Ovviamente le prospettive potenziali di questo metodo sollevano importanti questioni etiche.**



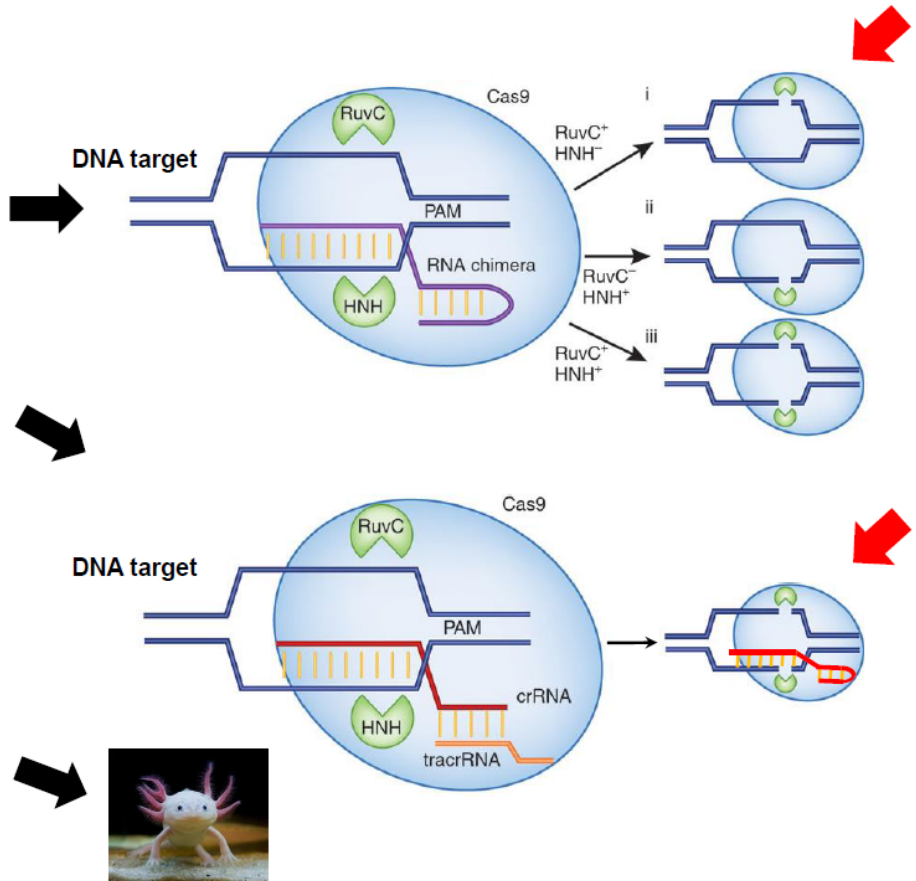
## CRISPR/Cas system e gene editing

**Cas9 è una nucleasi specializzata nel taglio del DNA: ha due siti di taglio attivi (HNH and RuvC), uno per ciascun filamento della doppia elica di DNA.**

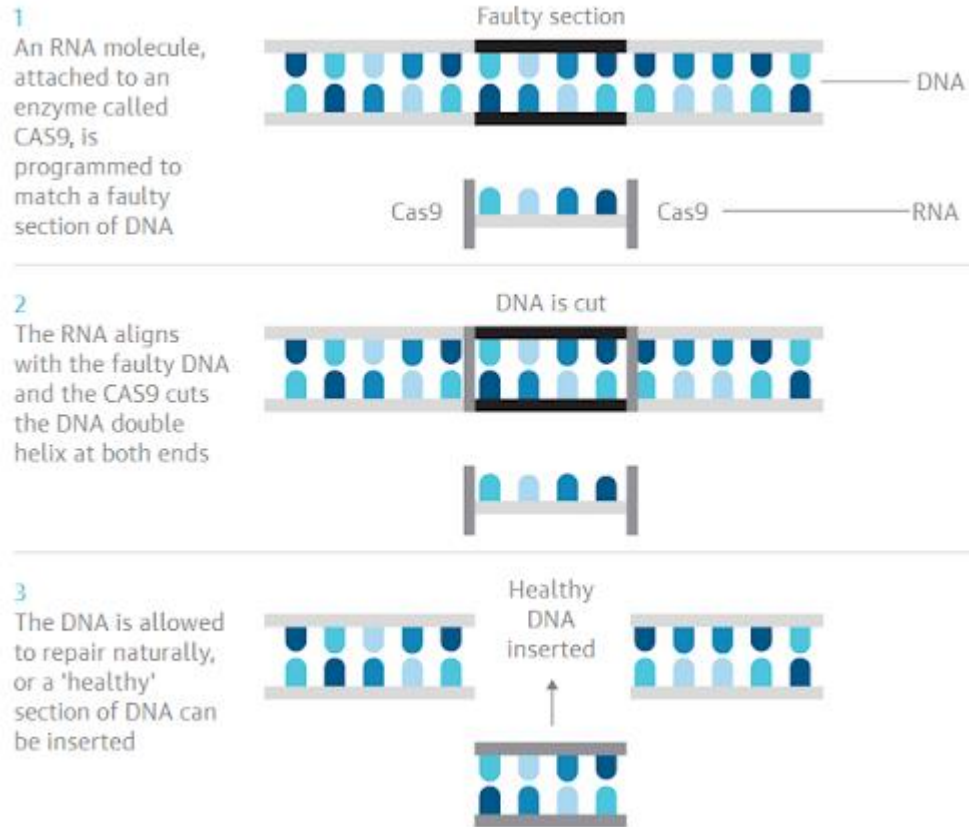
Il team di Doudna e Charpentier ha dimostrato che **è possibile disabilitare uno o entrambi i siti**, preservando la capacità della Cas9 di legare il suo DNA target.

Nel **2012 Jinek M** ha combinato tracrRNA e RNA spaziatore in una singola molecola di "RNA a guida" che, unita a Cas9, riusciva a riconoscere e tagliare i corretti DNA bersaglio. Jinek et al hanno proposto l'uso di questi **RNA guida sintetici per l'editing genetico**.

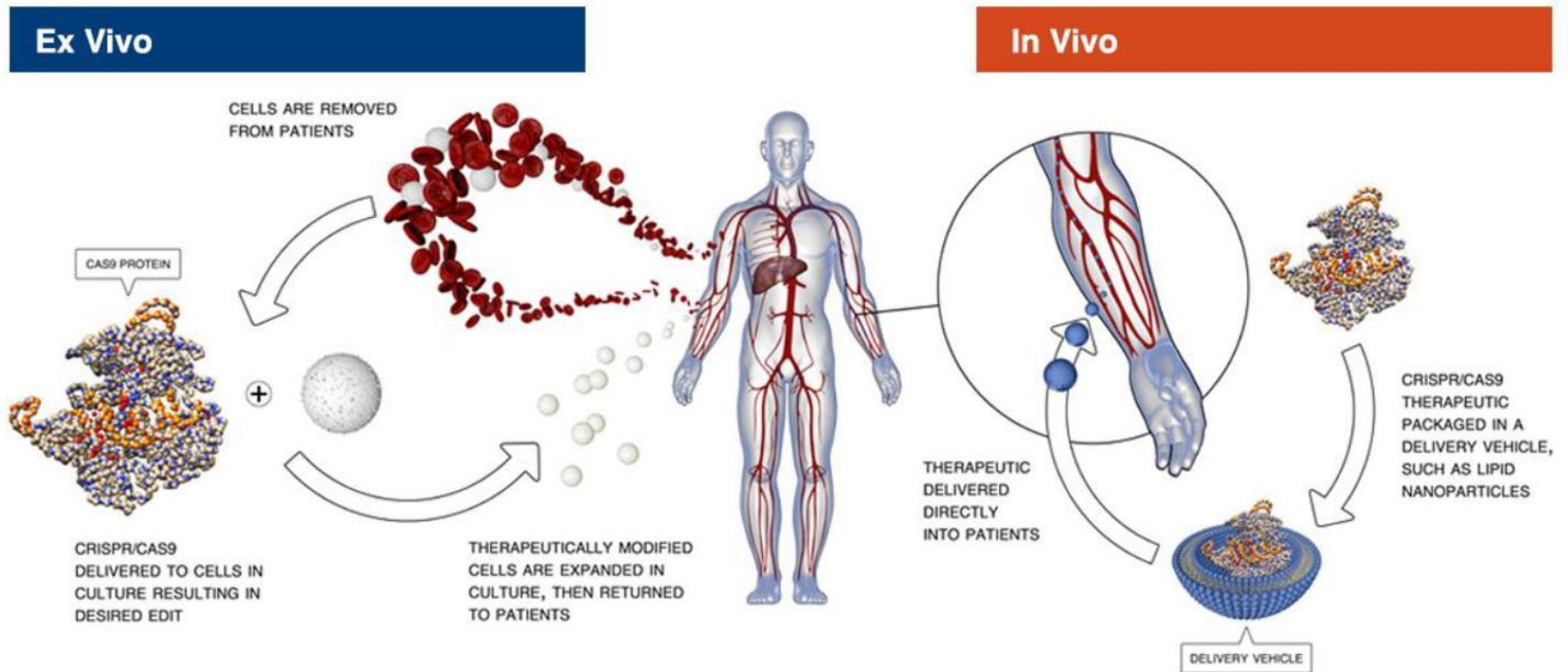
Nel **2015** si è avuta la prima prova che CRISPR potesse essere usato per ingegneria genetica e **l'editing del genoma** in colture cellulari umane. Da allora è stato impiegato in un ampio spettro di organismi tra cui il lievito di birra (*Saccharomyces cerevisiae*), pesce zebra (*Danio rerio*), moscerino della frutta (*Drosophila melanogaster*), axolotl (*A. mexicanum*), nematodi (*Caenorhabditis elegans*), piante, topi scimmie, embrioni umani non vitali, e altri organismi viventi.



# Sintesi del meccanismo CRISP di modifica dei genomi



## *Ex vivo* and *in vivo* opportunities for gene therapy





# Gene editing e CRISPR/Cas9

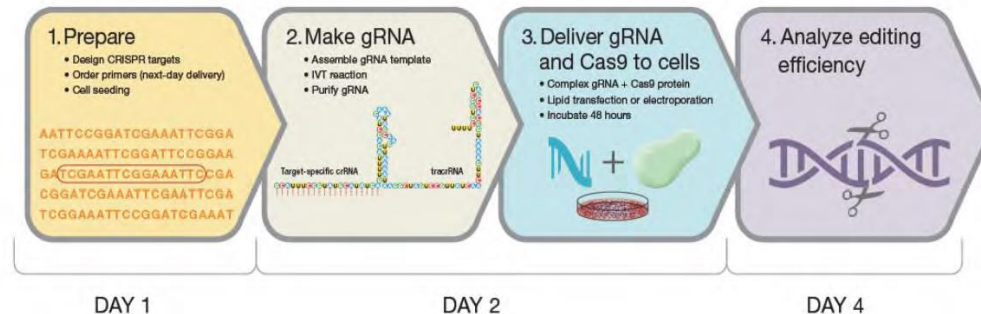
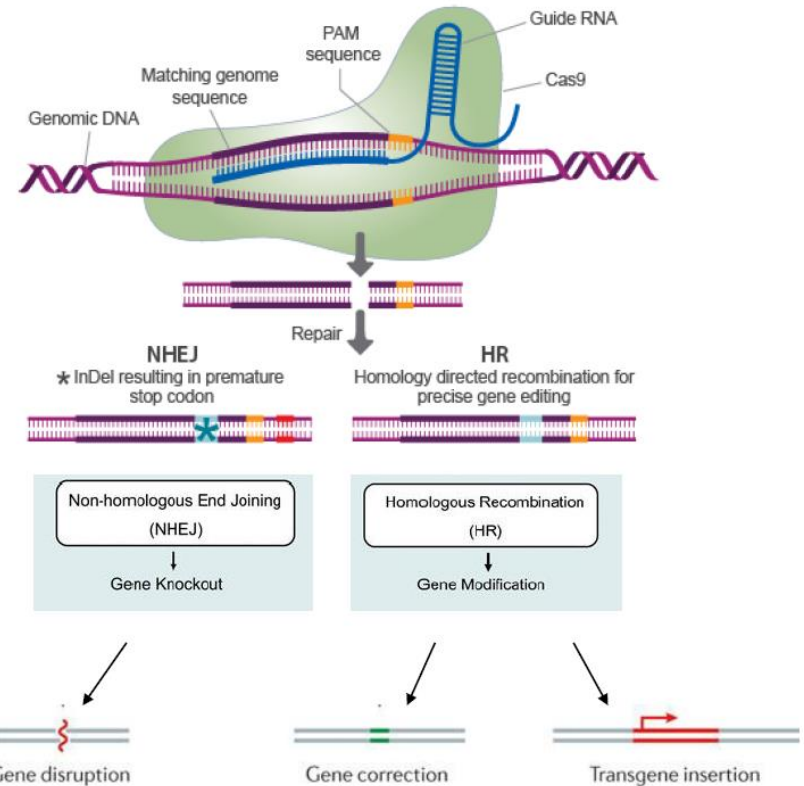
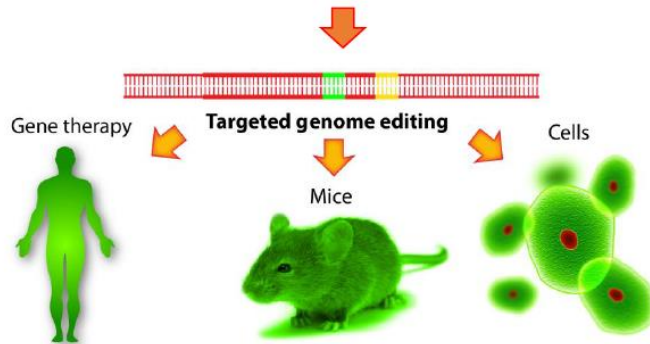
Il **genome editing** è una tecnica che consente di:

- **Introdurre,**
- **Eliminare,**
- **o Alterare sequenze di DNA all'interno del genoma in una posizione specifica.**

Questa tecnica si basa sull'utilizzo di particolari **endonucleasi ingegnerizzate**.

Questi enzimi possono essere costruiti in modo da tagliare sequenze di DNA stabilite dallo sperimentatore.

**Sono disponibili librerie di decine di migliaia di RNA guida.**



## CRISPR/Cas9 Preclinical Trials

| Company                    | Disease                           | Disrupt/Correct | <i>In vivo/Ex vivo</i> |
|----------------------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------|
| CRISPR Therapeutics/Vertex | Beta-thalassemia                  | Disrupt         | <i>Ex vivo</i>         |
| CRISPR Therapeutics/Vertex | Sickle cell disease               | Disrupt         | <i>Ex vivo</i>         |
| Editas                     | Hereditary blindness              | Disrupt         | <i>In vivo</i>         |
| Editas                     | Hereditary deafness and blindness | Disrupt         | <i>In vivo</i>         |
| Editas/Juno                | Engineered T-cells                | Disrupt         | <i>Ex vivo</i>         |
| Intellia/Regeneron         | Transthyretin amyloidosis         | Disrupt         | <i>In vivo</i>         |
| Intellia/Novartis          | Engineered T-cells                | Disrupt/insert  | <i>Ex vivo</i>         |

An international team of researchers has used CRISPR–Cas9 gene editing — a technique that allows scientists to make [precise changes to genomes with relative ease](#) — to correct a disease-causing mutation in dozens of viable human embryos.



## CRISPR per beta-talassemia: trattato il primo paziente italiano



Il giovane paziente è stato trattato al Bambino Gesù di Roma con la terapia sperimentale CTX001. Fa parte di uno studio internazionale i cui primi promettenti risultati sono stati presentati al 62° Congresso ASH

Da una collaborazione nata nel 2015 tra le aziende CRISPR Therapeutics e Vertex è nata **CTX001**: una terapia innovativa basata sul sistema di editing genomico CRISPR che fa parte delle diverse terapie avanzate in via di sviluppo clinico per il trattamento della **beta-talassemia e dell'anemia falciforme grave**. L'obiettivo di CTX001 è indurre la produzione di livelli elevati di **emoglobina fetale (HbF)** in modo da compensare, nelle persone malate, la carenza della forma 'adulta'. Le **cellule staminali**

**emopoietiche** prelevate dai pazienti stessi vengono **modificate con Crispr-Cas9** e, una volta reinfuse nell'organismo, la produzione di emoglobina fetale nei globuli rossi riparte, attenuando i sintomi. Lo scorso 17 novembre 2020, un giovane **paziente italiano affetto da beta-talassemia ha ricevuto la terapia** sperimentale.