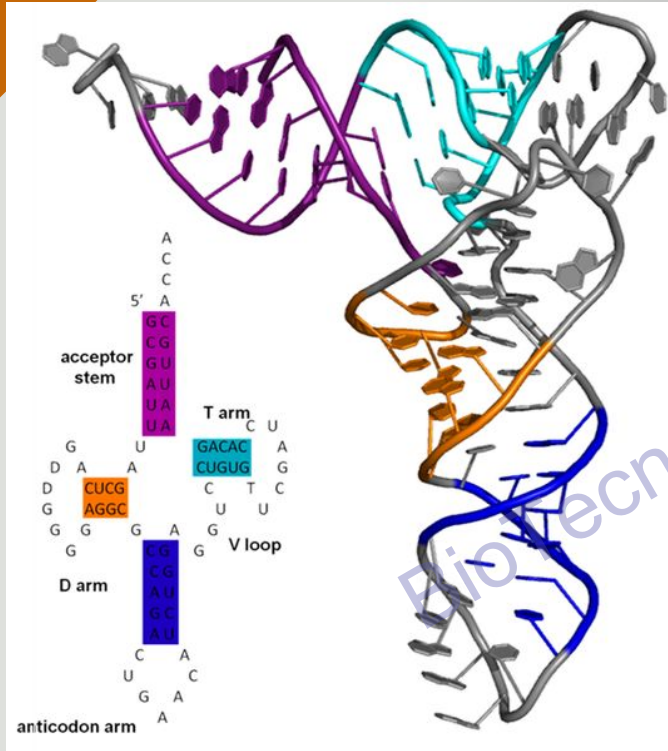


SINTESI PROTEICA



TRASCRIZIONE, mRNA, CITOPLASMA,
RIBOSOMI, tRNA E TRADUZIONE

CELLULA EUCARIOTE: SINTESI PROTEICA

INDICE

In copertina

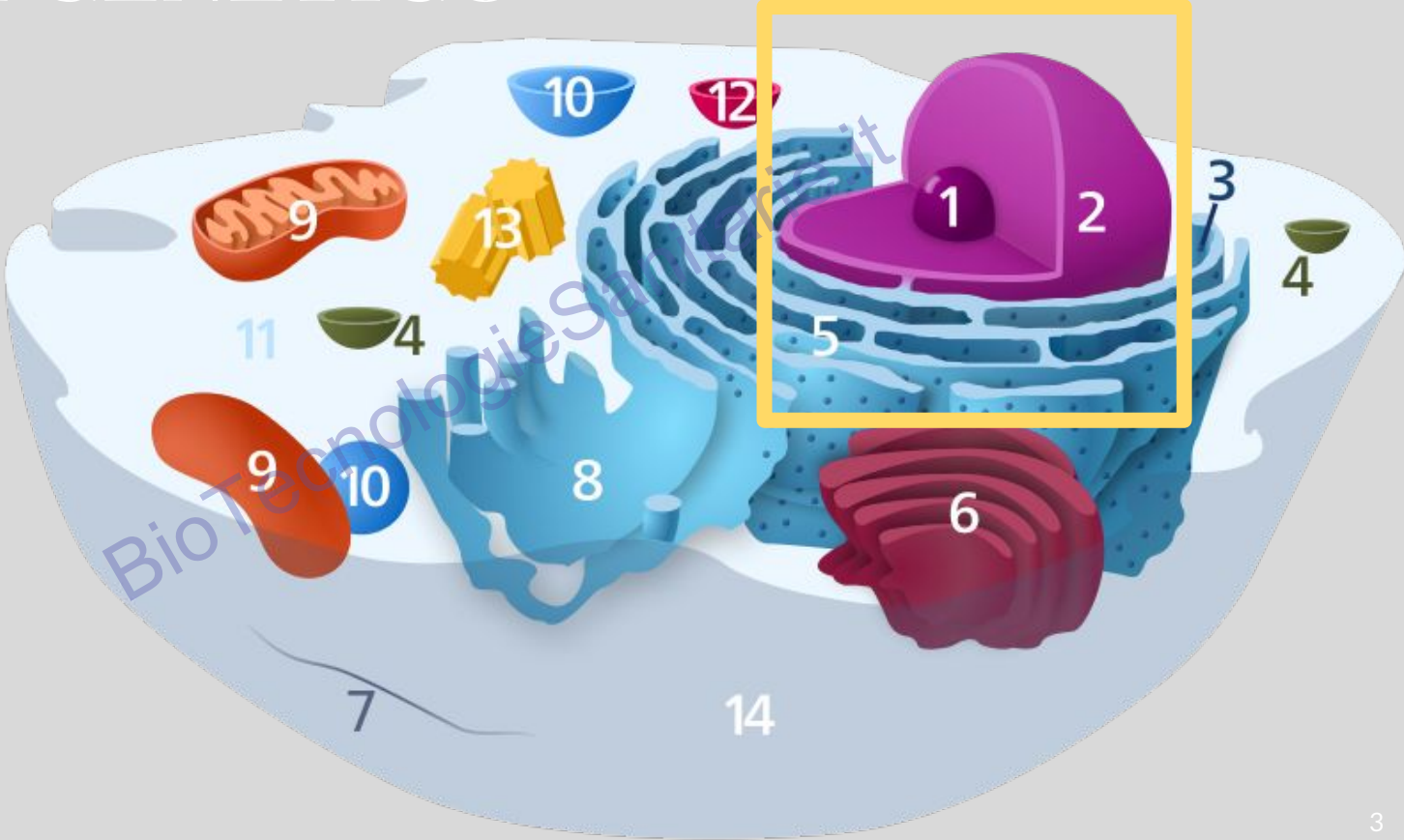
tRNA

By Kyle Schneider (SchneiderKD) (Transferred by BQmUB2010090/Original uploaded by SchneiderKD) (Schneider KD (Original uploaded on en.wikipedia)) [Public domain], via Wikimedia Commons,

https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ATRNA_all2.png

1. [Introduzione](#)
 2. [Codice genetico](#)
 3. [Trascrizione](#)
 4. [Tra trascrizione e traduzione:](#)
[citoplasma, ribosomi, reticolo](#)
[endoplasmatico rugoso](#)
 5. [Traduzione](#)
 6. [Il dogma della biologia](#)
 7. [Photo credits](#)
-

CODICE GENETICO



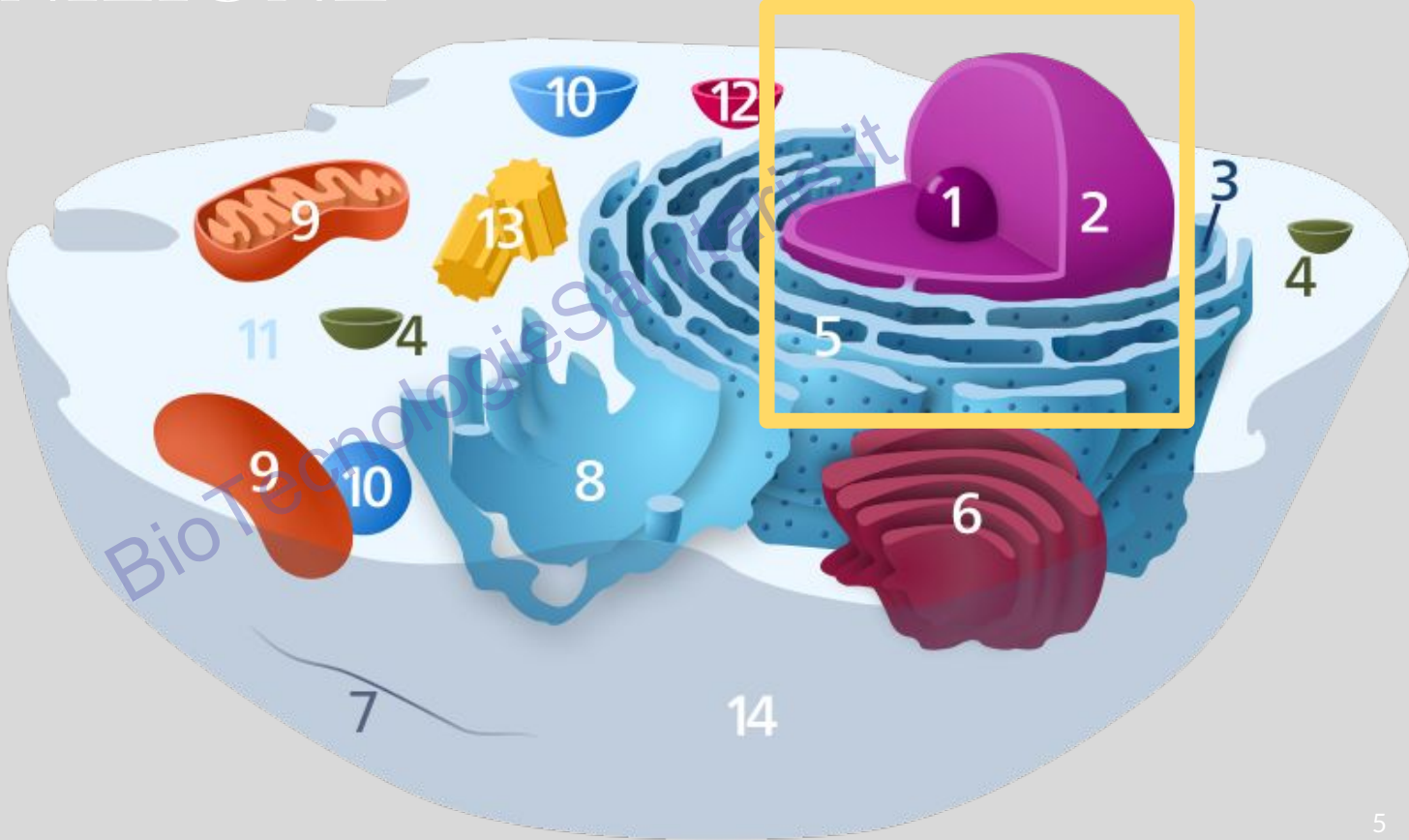
INTRODUZIONE

Questa presentazione ha due scopi:

- ❑ chiarire il meccanismo della sintesi proteica
- ❑ descrivere le sedi in cui avviene e i protagonisti molecolari e strutturali che sono anche organuli cellulari

Si collega ad altre due pagine del sito: [DNA, nucleosomi e cromosomi](#), [cellula eucariote \(nucleo e nucleolo\)](#) In altre parole un metodo diverso per studiare la cellula e le sue funzioni!

DEFINIZIONE



CODICE GENETICO

Intanto cerchiamo di capire in che cosa consiste la sintesi proteica.

Il termine già chiarisce che ci troviamo davanti al processo con cui vengono “costruite” le proteine legando un aminoacido dietro l’altro secondo una sequenza che deve essere precisa.

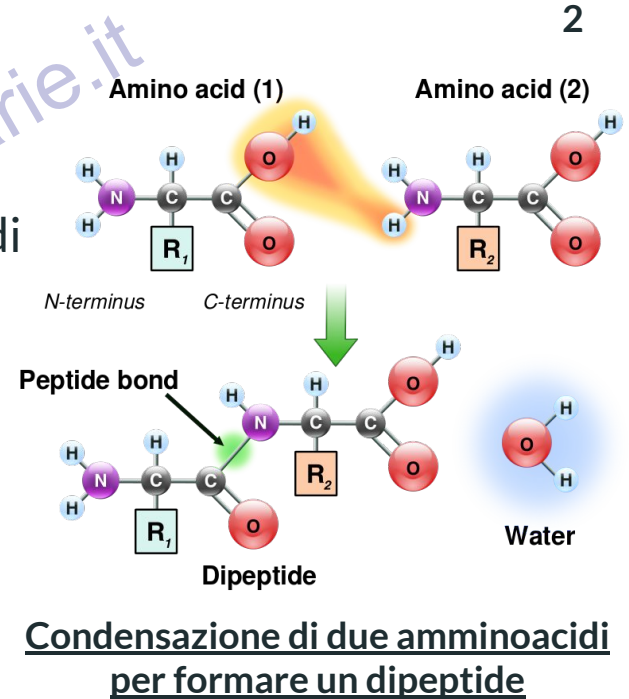
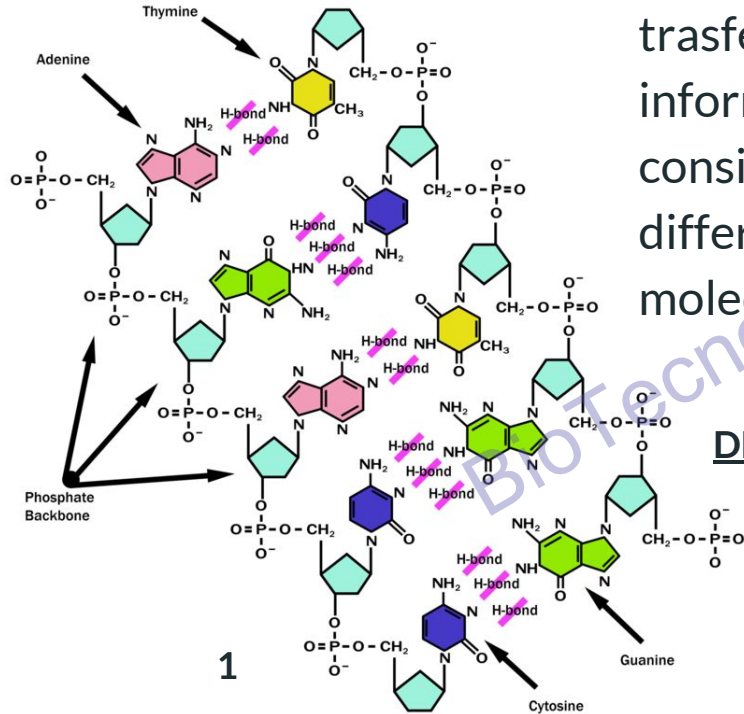
Ma chi ha le informazioni necessarie per la loro sintesi?

Tutte le informazioni sono contenute nel DNA, quindi la risposta giusta è il DNA.

CODICE GENETICO

E poi ... come fanno a trasferirsi queste informazioni considerando le differenze tra i due tipi di molecole?

DNA



CODICE GENETICO

E non è finita qui.

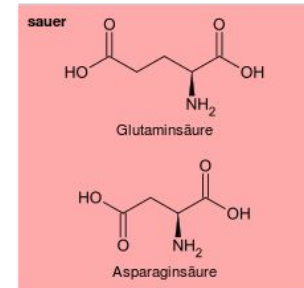
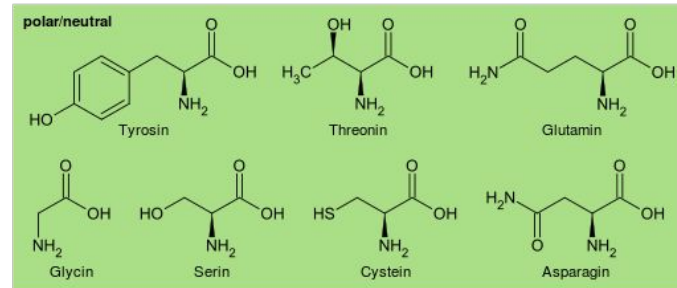
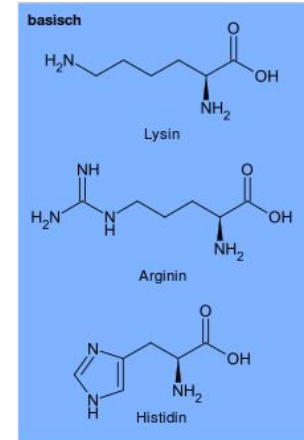
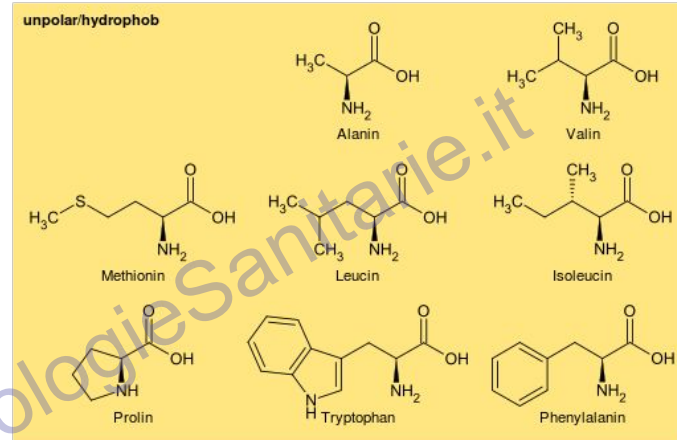
Sappiamo che nella struttura del DNA c'è una parte fissa; si tratta dell'ossatura di ogni filamento che è formata dallo zucchero desossiribosio che si alterna al gruppo fosfato.

La parte variabile è invece la sequenza delle basi azotate che nei due filamenti sono complementari.

Quindi l'informazione deve essere contenuta nella parte variabile, formata solo da **4 basi azotate**.

CODICE GENETICO

Le proteine invece sono formate dalla combinazione di **20 aminoacidi**. In realtà gli aminoacidi proteinogenici sono più di 20 ma in questo contesto prendiamo in considerazione solo quelli che sono in relazione con le basi azotate del DNA.



CODICE GENETICO

Come è possibile che 4 basi azotate abbiano le informazioni per 20 amminoacidi?

Evidentemente devono combinarsi tra di loro.
Non possono semplicemente appaiarsi perché

$$4^2 = 16 \text{ (inferiore a 20)}$$

CODICE GENETICO

La seconda possibilità è che si combinino in **triplette**

$$4^3 = 64$$

Le 64 possibili combinazioni di basi azotate associate ai singoli amminoacidi rappresentano il **codice genetico**

Di queste 64 triplette 3 funzionano come segnali di stop. In altre parole comunicano che la sequenza di amminoacidi è completa e la sintesi deve finire e sono: **UAA, UAG, UGA**.

CODICE GENETICO

DECODER per decodificare le triplette (codoni)

Rimangono 61 triplette che sono ridondanti rispetto alle necessità. Evidentemente per ogni amminoacido esistono più possibilità come si vede nell'immagine (codice genetico).

		seconda lettera						
		U	C	A	G			
U	UUU	] fenilalanina	UCU	] serina	UAU	] cisteina	U
	UUC		UCC		UAC		UGC	C
	UUA	] leucina	UCA	] fine STOP	UAA	] fine STOP	A
	UUG		UCG		UAG		UGG	G
C	CUU	] leucina	CCU	] prolina	CAU	] arginina	U
	CUC		CCC		CAC		CGC	C
	CUA		CCA		CAA		CGA	A
	CUG		CCG		CAG		CGG	G
A	AUU	] isoleucina	ACU	] treonina	AAU	] asparagina	U
	AUC		ACC		AAC		AGC	C
	AUA		ACA		AAA	AGA	A	
	AUG		ACG		AAG	AGG	G	
G	GUU	] valina	GCU	] alanina	GAU	] acido aspartico	U
	GUC		GCC		GAC		GGC	C
	GUA		GCA		GAA	GGA	A	
	GUG		GCG		GAG	GGG	G	

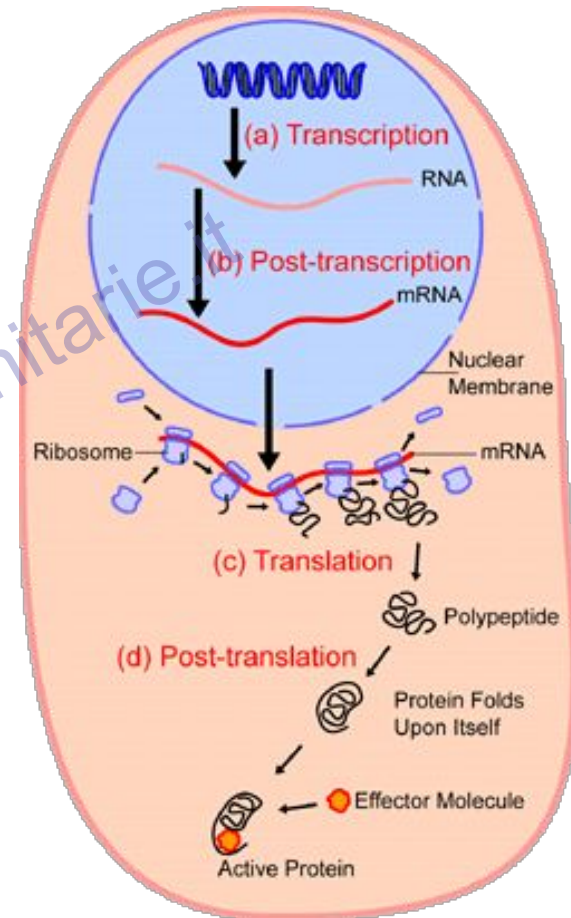
Diagram showing the 4th codon AUGC with a 3rd position AUG, CCC, and UAA. Below is a list of amino acids:

1 - alanina	11 - leucina
2 - arginina	12 - lisina
3 - asparagina	13 - metionina
4 - ac. aspartico	14 - fenilalanina
5 - ac. glutamico	15 - prolina
6 - cisteina	16 - serina
7 - glicina	17 - treonina
8 - glutamina	18 - tirosina
9 - istidina	19 - triptofano
10 - isoleucina	20 - valina

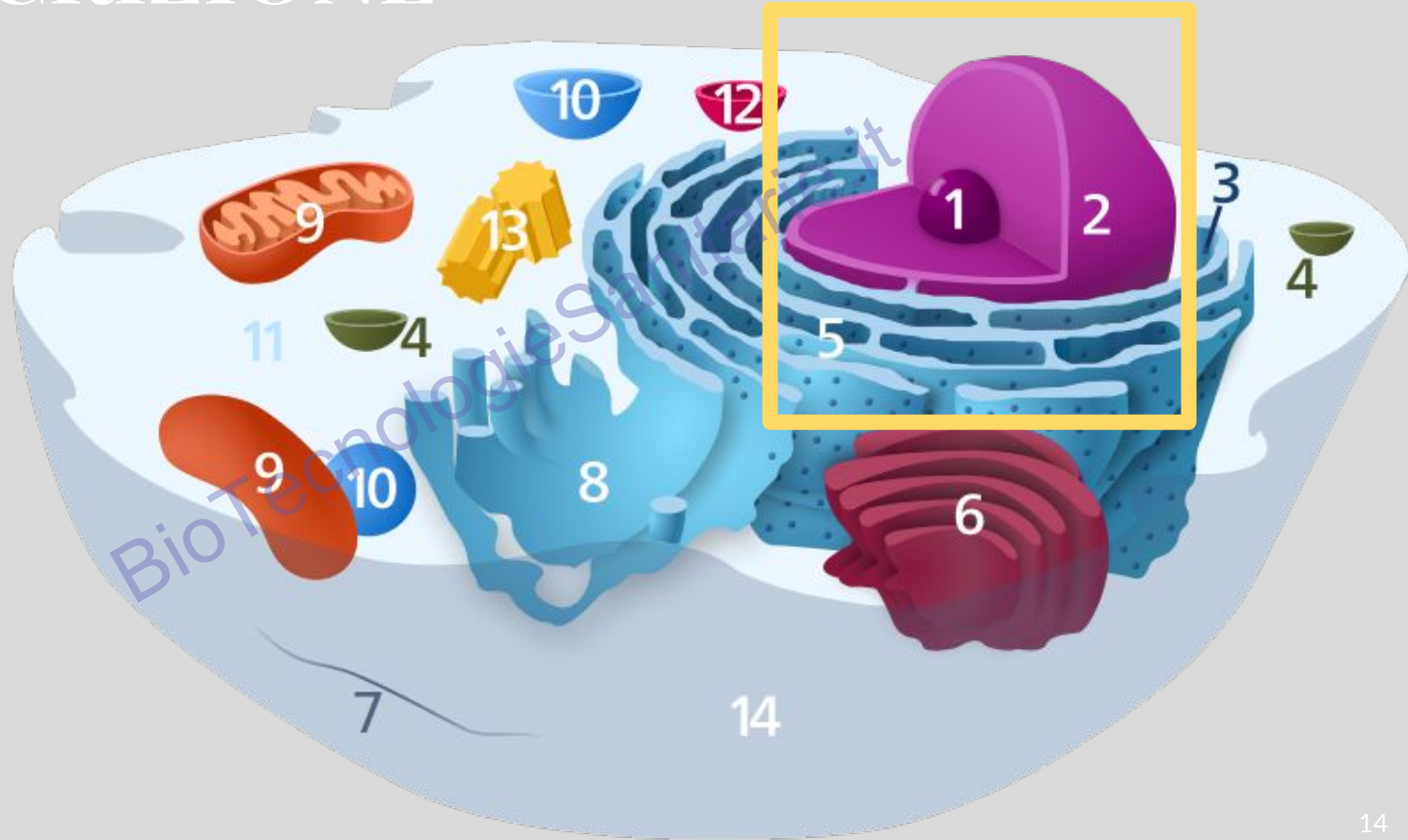
- Amminoacidi non polari (idrofobi)
- Amminoacidi polari (idrofili)
- Amminoacidi ionici (molto idrofili)

CODICE GENETICO

Vediamo ora cosa succede realmente nel nucleo dove ha inizio la sintesi proteica e nel citoplasma dove si completa. Come si può notare dall'immagine, una volta finita la sintesi della catena polipeptidica questa si ripiega su se stessa e dà vita ad una conformazione spaziale pienamente funzionante.

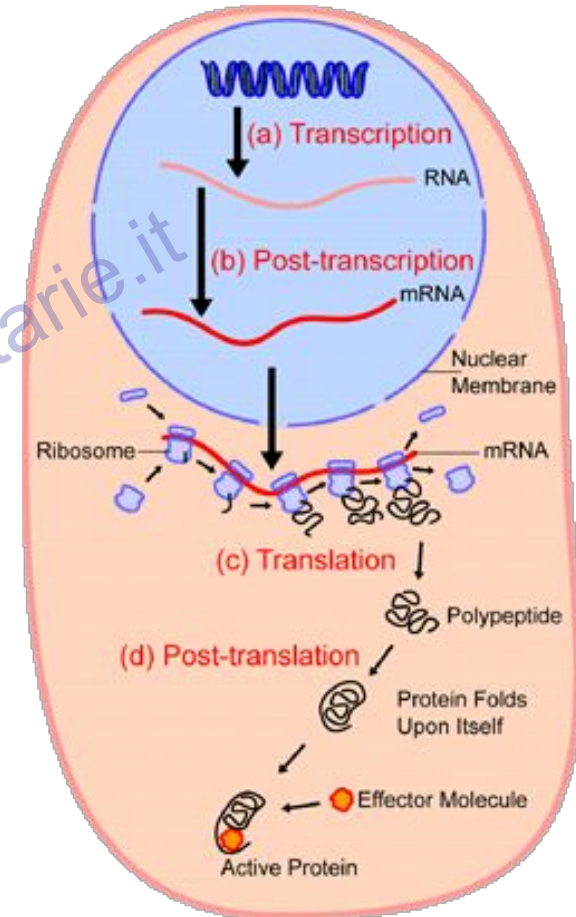


TRASCRIZIONE



TRASCRIZIONE

La prima tappa della sintesi proteica prevede la **trascrizione** dell'informazione, praticamente la sequenza delle basi azotate del DNA, e avviene ovviamente nel nucleo. L'informazione per la sintesi di una proteina è contenuta nel **gene** ma non sempre è disponibile. Dipende dallo stato della cromatina cioè del complesso tra DNA e istoni.



TRASCRIZIONE

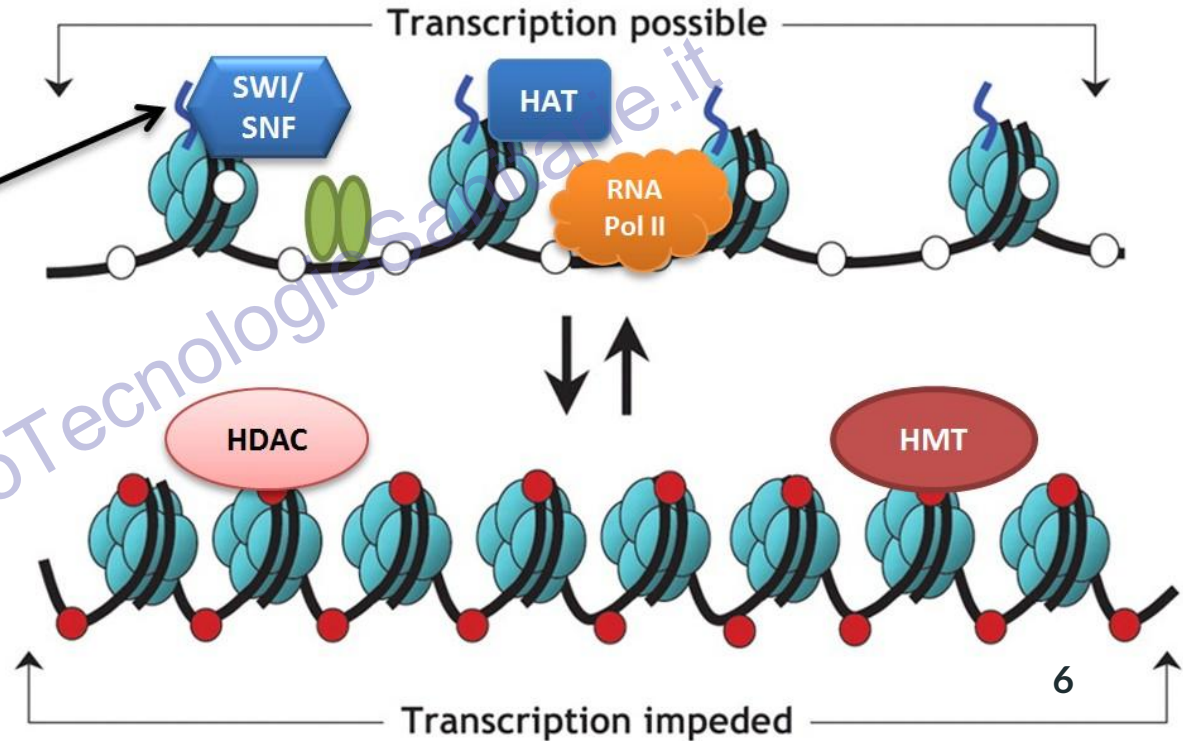
Gene "switched on"

- Active (open) chromatin
- Unmethylated cytosines (white circles)
- Acetylated histones

 **Transcription Factors / Co-activators**

Gene "switched off"

- Silent (condensed) chromatin
- Methylated cytosines (red circles)
- Deacetylated histones



TRASCRIZIONE

L'immagine della diapositiva precedente serve per ricordare alcuni fatti essenziali.

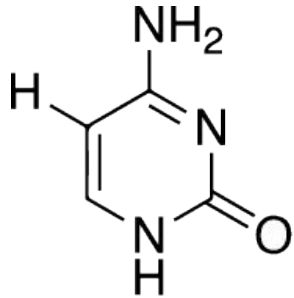
1. Quando la cromatina è attiva, l'informazione contenuta nel gene è accessibile e la trascrizione può avvenire.
2. La cromatina è attiva quando la citosina non è metilata.
La metilazione è una modificazione biochimica e comporta l'aggiunta di un gruppo metile ($-\text{CH}_3$) alla base azotata. Tale fenomeno spegnerebbe il gene come testimonia la seconda parte dell'immagine (in basso).

TRASCRIZIONE

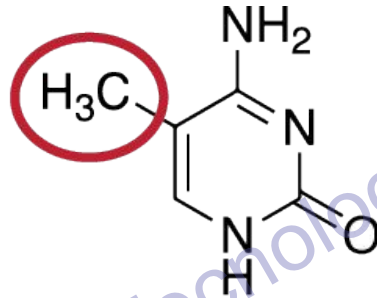
La metilazione è una modificazione epigenetica del DNA, cioè un cambiamento che influenza il fenotipo senza alterare il genotipo.

3. Altra modificazione biochimica molto importante è l'acetilazione degli istoni. Questa comporta il trasferimento di un gruppo acetile sull'azoto della catena laterale che non è più in grado di legarsi ai gruppi fosfato del DNA che sono negativi. Il mancato legame comporterebbe una certa rilassatezza della molecola dell'acido desossiribonucleico che sarebbe così più disponibile ad interagire con altri enzimi.

TRASCRIZIONE

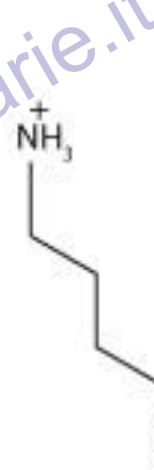


Cytosine

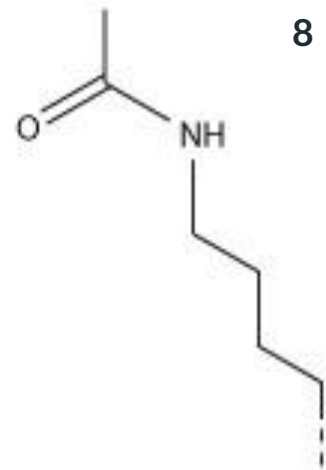


7
methylated Cytosine

Metilazione del DNA



lysine

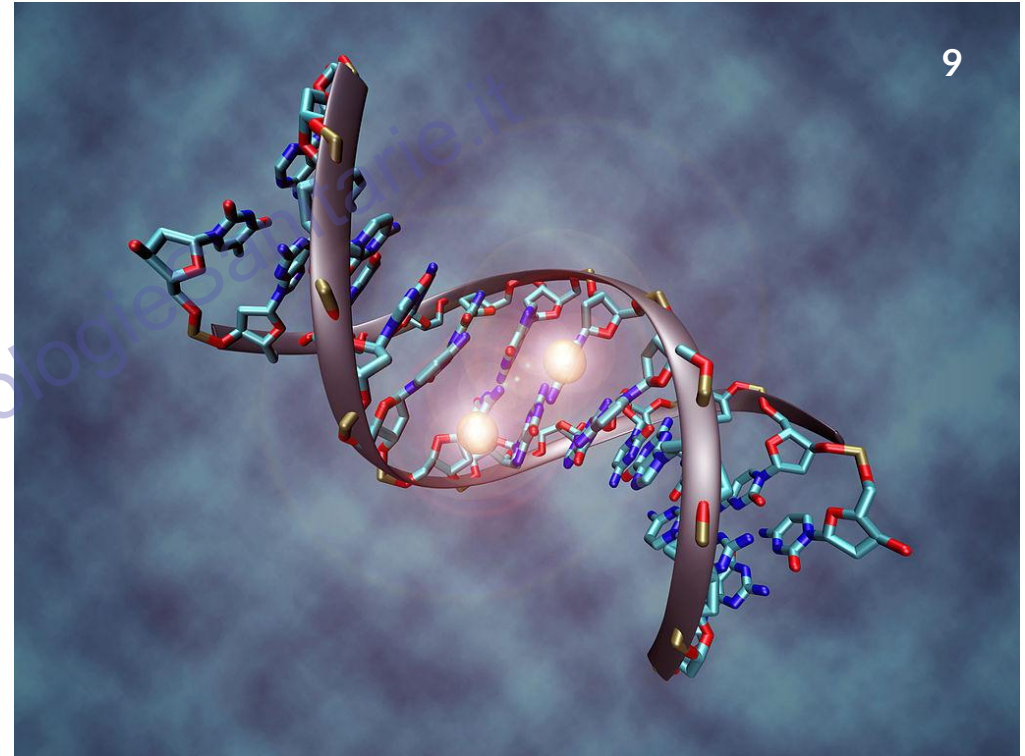


8
acetyllysine

Come esempio di acetilazione riporto quella della lisina

TRASCRIZIONE

Nell'immagine le due sfere luminose rappresentano due gruppi metilici legati a due molecole di citosina. Le anomalie nella metilazione sono state associate allo sviluppo di diverse neoplasie.



TRASCRIZIONE

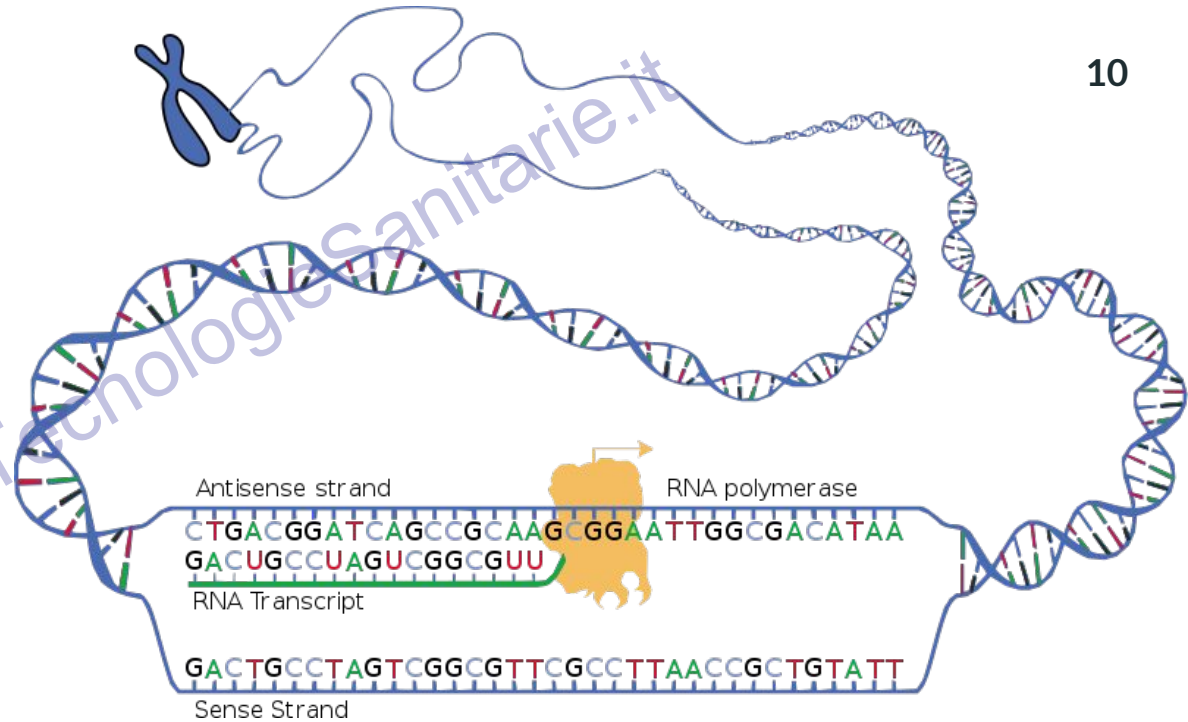
Concludendo, quando gli istoni hanno subito l'acetilazione e la citosina del DNA non è metilata il gene è accessibile e disponibile all'interazione con altri enzimi tra cui la **RNA polimerasi** che interviene nella trascrizione.

Infatti, nella trascrizione, il segmento del DNA in cui ci sono le informazioni per la proteina da sintetizzare (gene) viene copiato. La sequenza di basi azotate del gene viene affidata ad un messaggero, in pratica una molecola di RNA (**mRNA**) che è complementare ad uno dei filamenti del DNA.

Per potersi formare l'mRNA ha bisogno della RNA polimerasi.

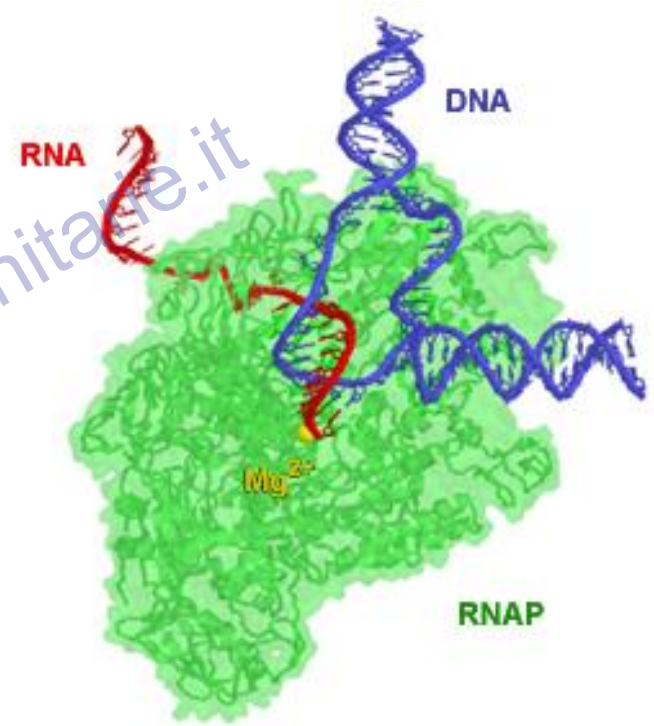
TRASCRIZIONE

Nell'immagine è chiaro quanto avviene con la trascrizione nel nucleo. Ogni cromosoma, che contiene numerosi geni, rappresenta il momento di maggior superavvolgimento del complesso DNA-istoni. Quando la molecola è srotolata e il gene di interesse è accessibile può avvenire la trascrizione. I due filamenti di DNA si separano e la RNA polimerasi comincia il suo lavoro. Sintetizza una molecola di RNA, detta trascritto, destinata a diventare nel caso della sintesi proteica un mRNA. La RNA polimerasi aggiunge i nucleotidi all'RNA alla estremità 3'.



TRASCRIZIONE

Questa è un'altra bella immagine che mette in evidenza le interazioni tra le tre molecole:
DNA in blu
RNA trascritto in rosso
RNA polimerasi (RNAP) in verde
In giallo è rappresentato lo ione magnesio nel sito attivo dell'enzima RNA polimerasi



11

TRASCRIZIONE

Vale la pena, per chiarire le idee, soffermarci sul ruolo della RNA polimerasi.

In realtà non esiste un solo tipo di questo enzima nelle cellule eucariote ma ce ne sono tre.

Ci sono RNA polimerasi destinate a trascrivere i geni per:

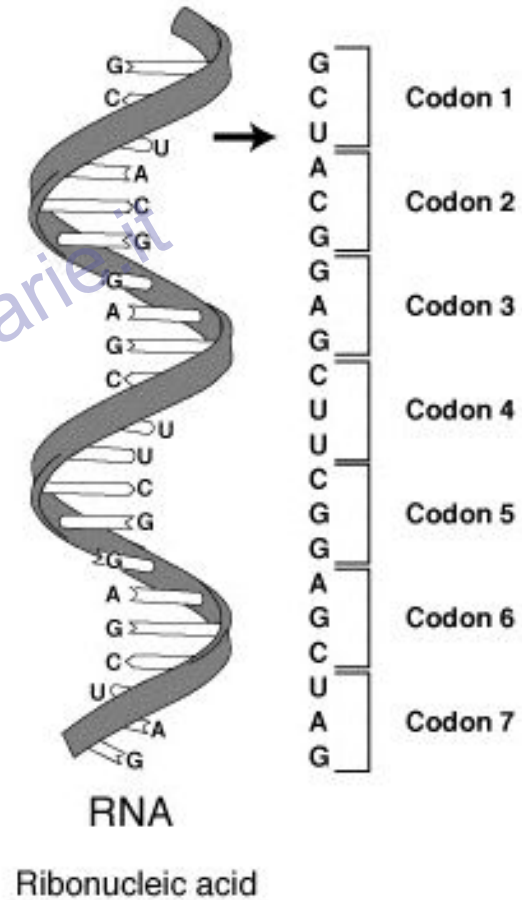
- la sintesi proteica e quindi che producono la mRNA
- i tRNA
- gli rRNA

La stessa RNA polimerasi che trascrive i geni per la sintesi proteica trascrive anche i geni per i microRNA e per gli RNA delle telomerasi.

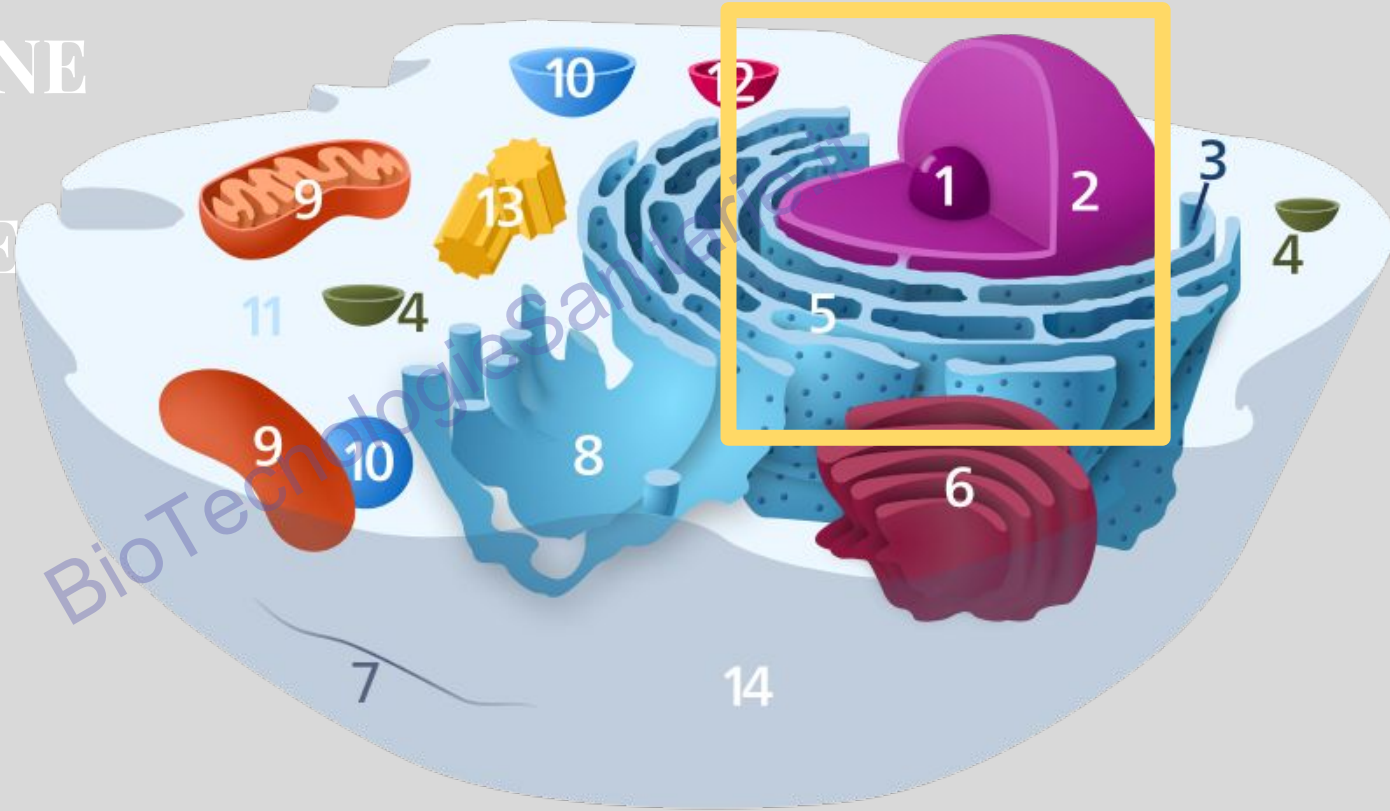
Nei procarioti invece esiste solo un tipo di RNA polimerasi.

TRASCRIZIONE

Il prodotto finale della trascrizione per la sintesi proteica è, quindi, un tipo particolare di RNA, l'**mRNA** o **RNA messaggero**. Ricordo che l'RNA ha un solo filamento, lo zucchero ribosio al posto del desossiribosio e la base azotata uracile invece della timina. Nell'immagine la serie di basi azotate è già rappresentata in triplette che prendono il nome di **codoni**.



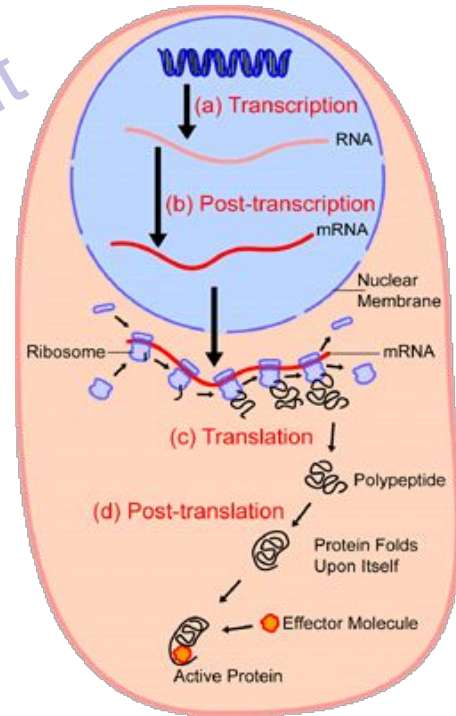
TRA TRASCRIZIONE E TRADUZIONE



TRA TRASCRIZIONE E TRADUZIONE

Ciò che la RNA polimerasi trascrive è in realtà, all'inizio, un trascritto primario che solo in un secondo momento viene trasformato in mRNA.

Una volta avvenuta questa trasformazione l'mRNA deve lasciare il nucleo e lo fa attraverso i pori della membrana nucleare che vengono descritti in dettaglio nella presentazione della pagina dedicata al [nucleo e al nucleolo](#).



TRA TRASCRIZIONE E TRADUZIONE

La traduzione avviene nel **citoplasma** e precisamente sui **ribosomi** che sono presenti sia sulla parte esterna della membrana nucleare che sulle **membrane del reticolo endoplasmatico** trasformandolo nel RER (reticolo endoplasmatico rugoso). Altri sono liberi nel citoplasma. Fissiamo la nostra attenzione su questi organelli perché vi ricordo che esaminare la sintesi proteica può anche essere un metodo alternativo per studiare in maggiore dettaglio alcune delle strutture e delle biomolecole presenti normalmente nella cellula eucariote.

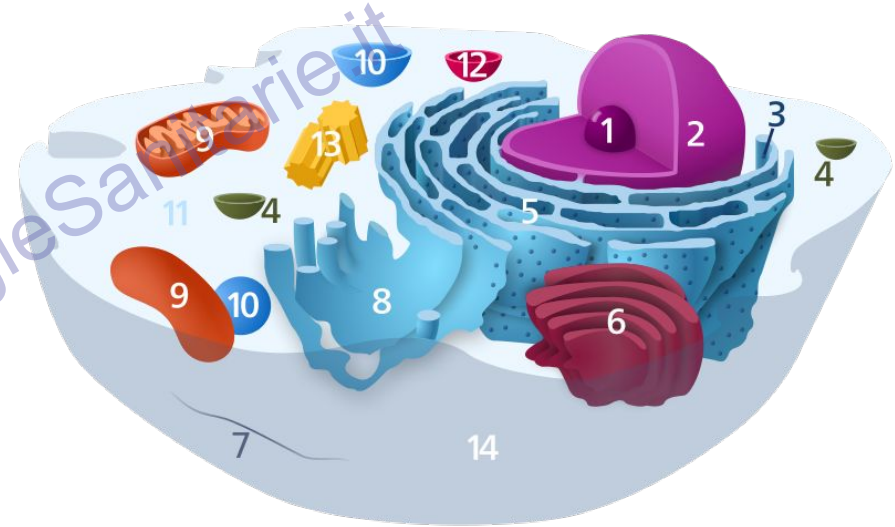
TRA TRASCRIZIONE E TRADUZIONE

Citoplasma: tutto il materiale compreso tra la membrana cellulare e il nucleo.

È formato dall'80% di acqua ed è in genere incolore.

Comprende quindi il ***citosol*** (sostanza simil-gelatinosa) in cui è immerso il citoscheletro e ***gli organelli***.

Nella cellula procariote è tutto il contenuto cellulare visto che non esiste il nucleo.



Nel disegno che ci accompagna nella descrizione della cellula eucariote il citosol è indicato con il numero 11

TRA TRASCRIZIONE E TRADUZIONE

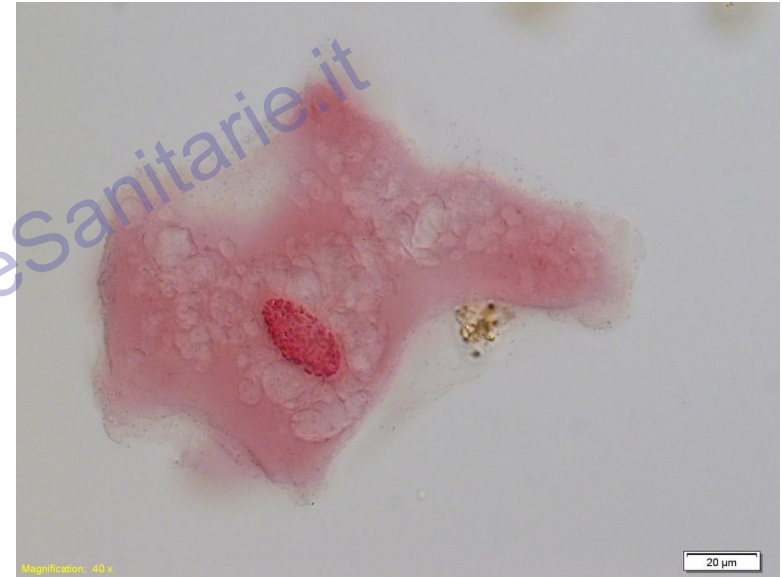
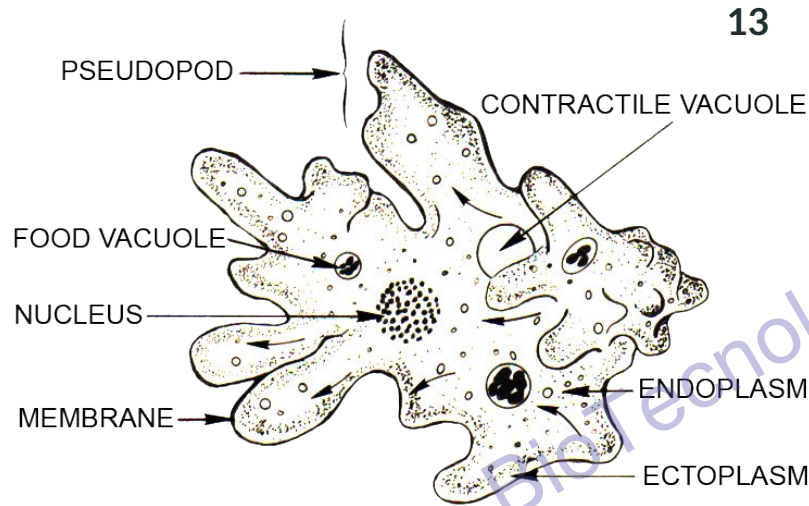
Nel citoplasma si verifica la maggior parte delle reazioni biochimiche e processi come la divisione cellulare.

In genere è suddiviso in due parti:

- ❑ l'**endoplasma**, più interno, spesso con granulazioni e denso
- ❑ l'**ectoplasma**, appena sotto la membrana cellulare e spesso non ben visibile

Nella diapositiva successiva viene presentata una ameba sia in una foto al microscopio che in una ricostruzione grafica per evidenziare queste due zone.

TRA TRASCRIZIONE E TRADUZIONE

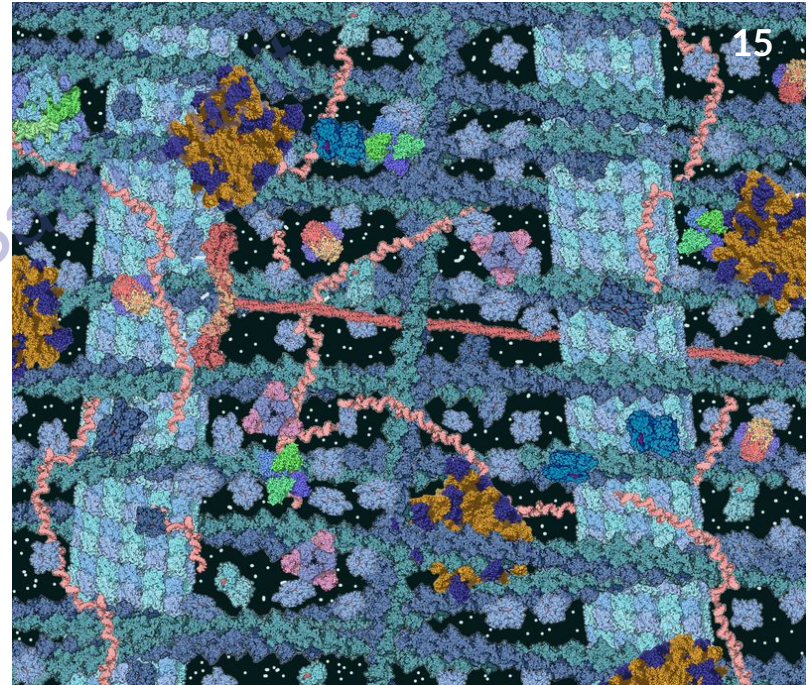


Disegno a sinistra: cellula eucariote di **ameba**

Foto a destra: **ameba al microscopio** in cui si nota il nucleo (in rosa più intenso) e la maggior parte della cellula (in rosa meno intenso) occupato da endoplasma. L'ectoplasma è rappresentato solo nel disegno, in quanto nella foto non è ben individuabile. Si trova immediatamente al di sotto della membrana cellulare.

TRA TRASCRIZIONE E TRADUZIONE

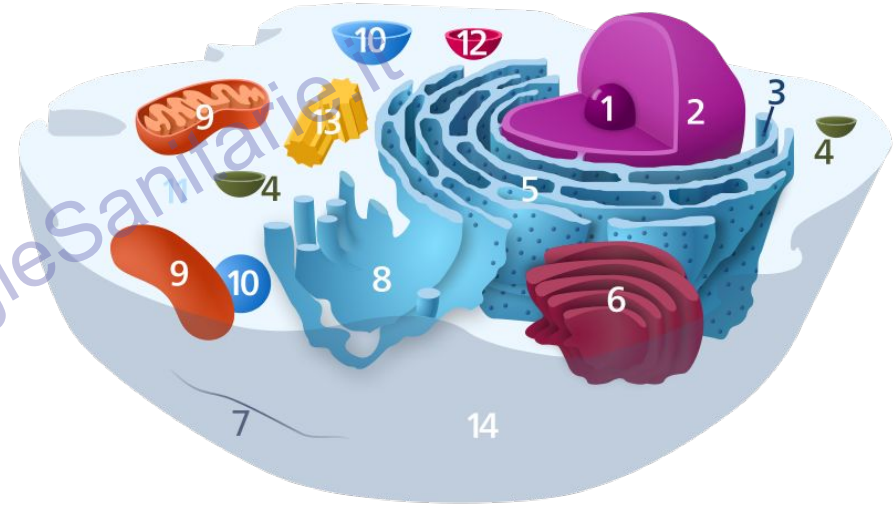
Abbiamo detto che il citoplasma comprende il citosol e gli organelli. Il citosol è la fase liquida del citoplasma in una cellula intatta. In altre parole è una soluzione in cui si trovano molti tipi diversi di molecole (acqua, ioni, biomolecole) che riempie la maggior parte del volume cellulare, come viene indicato nel disegno. Non comprende i fluidi interni agli organelli.



TRA TRASCRIZIONE E TRADUZIONE

Ribosomi. I ribosomi sono strutture molto complesse formate dall'*associazione di due tipi di biomolecole: le proteine ribosomiali e l'RNA ribosomiale.*

Sono immersi nel citosol e sono la sede della traduzione nella sintesi proteica.

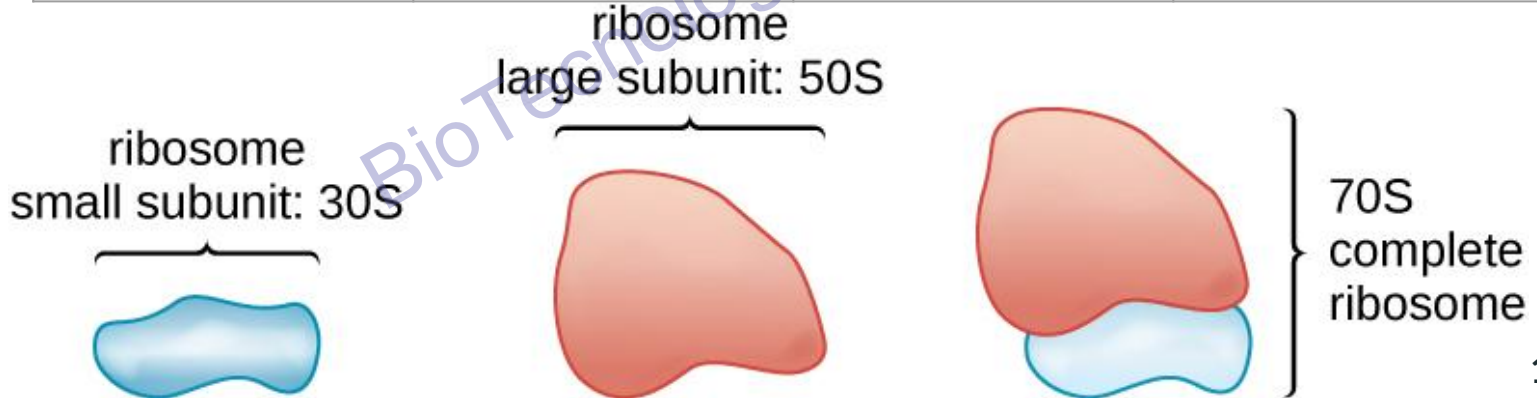


Nel disegno che ci accompagna nella descrizione della cellula eucariote i ribosomi sono i piccoli punti disseminati sulle membrane del reticolo endoplasmatico rugoso (5)

TRA TRASCRIZIONE E TRADUZIONE

I ribosomi delle cellule eucariote sono più grandi di quelli delle cellule procariote (nel disegno) e sono formati anch'essi da due subunità.

Cellula	Coefficiente di sedimentazione	Subunità minore	Subunità maggiore
Procariote	70S	30S	40S
Eucariote	80S	50S	60S



TRA TRASCRIZIONE E TRADUZIONE

Ricordo che il coefficiente di sedimentazione viene riportato in unità svedberg (S).

Le unità svedberg non sono una vera e propria unità di misura ma rappresentano il rapporto tra la velocità di sedimentazione di un corpo ideale (la sfera) e quella del corpo in esame.

Da quanto si evince dalla tabella della diapositiva precedente i ribosomi delle cellule eucariote sedimentano più velocemente rispetto a quelli delle cellule procariote.

TRA TRASCRIZIONE E TRADUZIONE

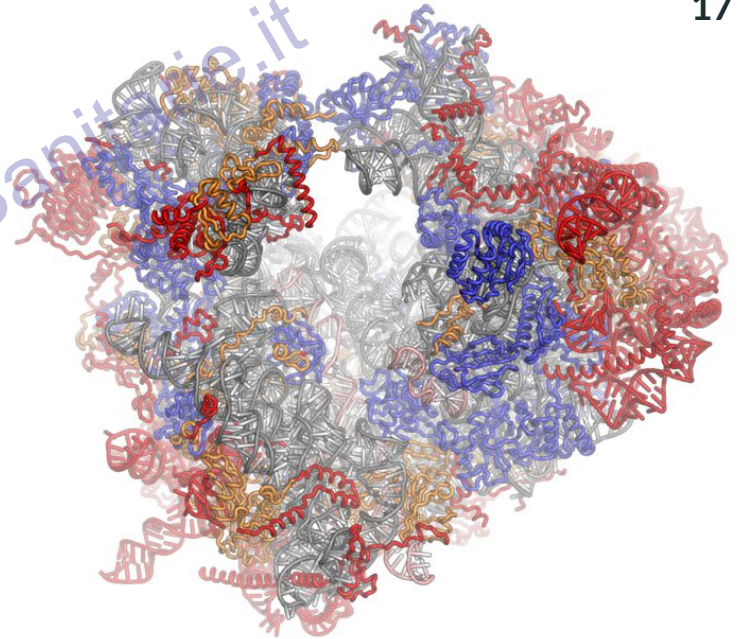
L'immagine di questa diapositiva è molto interessante. Rappresenta un ribosoma di una cellula eucariote (la subunità minore è a sinistra mentre quella maggiore è a destra).

La parte dell'RNA ribosomiale è colorata in grigio. Per quanto riguarda le proteine le colorazioni mettono in evidenza una caratteristica molto importante.

Ci sono proteine presenti universalmente, vale a dire che le troviamo negli archeobatteri, negli eubatteri e negli eucarioti. In questo disegno sono evidenziate in blu.

L'arancione è stato scelto per le proteine presenti negli archeobatteri e negli eucarioti.

Mentre in rosso sono le proteine specifiche degli eucarioti.



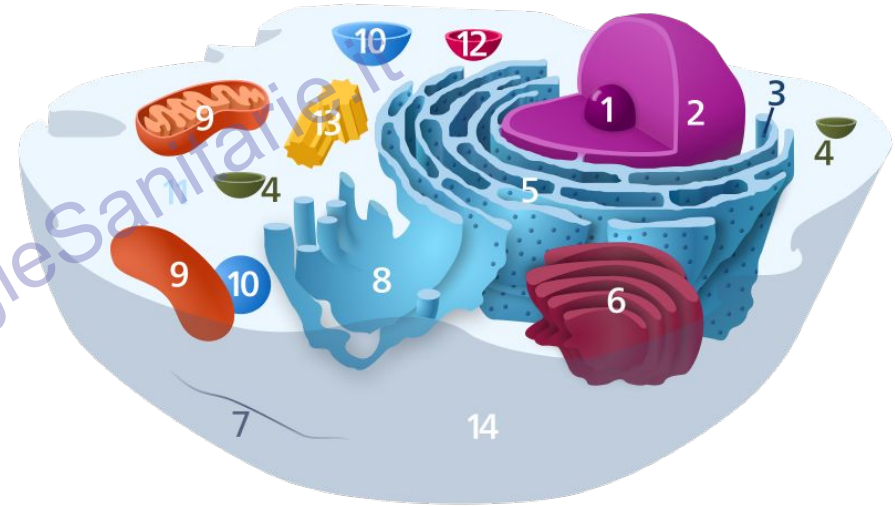
17

TRA TRASCRIZIONE E TRADUZIONE

I ribosomi possono essere liberi nel citoplasma o legati alle membrane del reticolo endoplasmatico come già ricordato. La loro posizione dipende dal tipo di proteine prodotte. Se le proteine vengono secrete all'esterno allora esse vengono sintetizzate sui ribosomi presenti sul reticolo. In caso contrario, se vengono utilizzate all'interno della cellula, la loro sintesi avviene sui ribosomi liberi. Ribosomi sono presenti anche nei mitocondri e, nelle cellule vegetali, anche nei cloroplasti. Completata la sintesi proteica le due subunità si separano.

TRA TRASCRIZIONE E TRADUZIONE

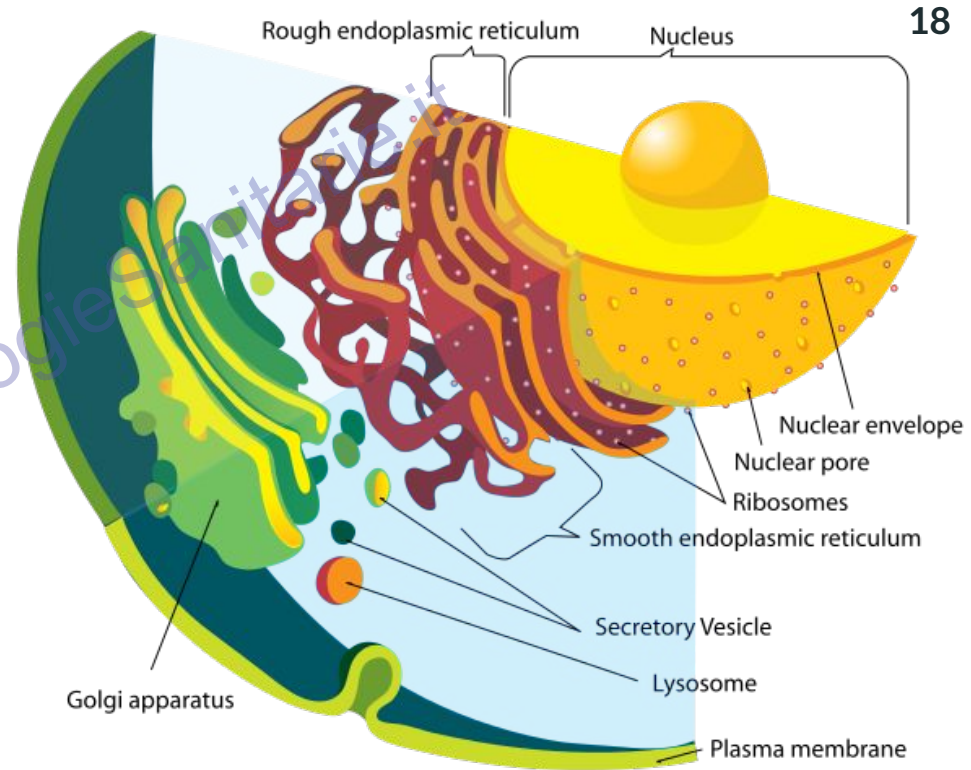
Per quanto riguarda **il reticolo endoplasmatico** esso può essere rappresentato come un sistema interconnesso di sacche membranose appiattite o di strutture simili a tubuli. Viene distinto in liscio e rugoso a seconda che sia privo o meno di ribosomi.



Nel disegno che ci accompagna nella descrizione della cellula eucariote i reticoli endoplasmatici sono contraddistinti dai numeri 5 (rugoso) e 8 (liscio)

TRA TRASCRIZIONE E TRADUZIONE

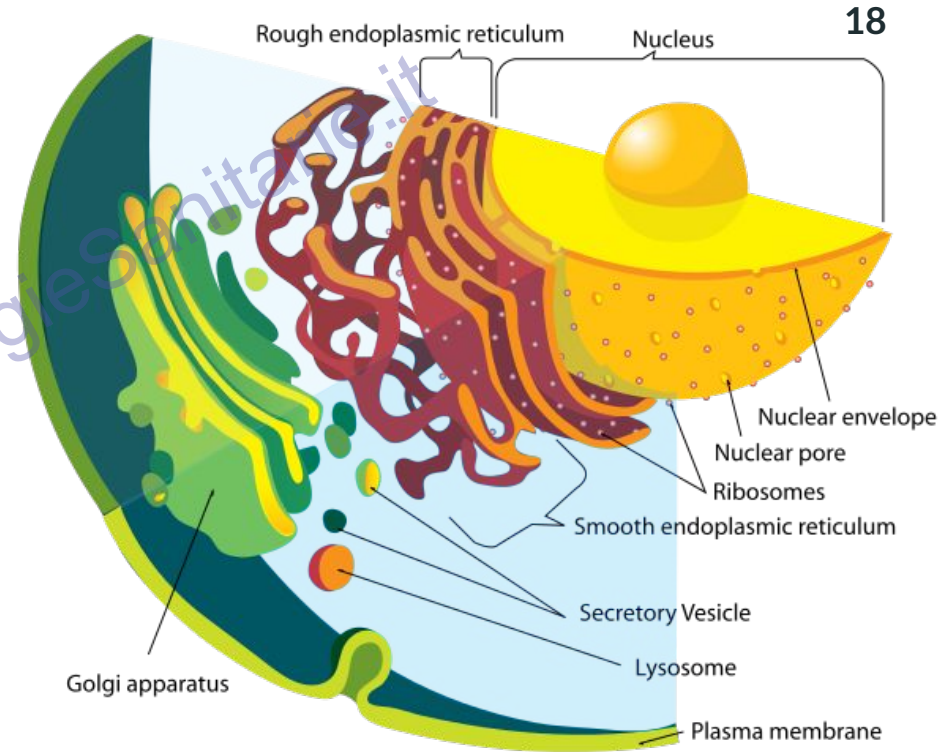
In questa seconda immagine relativa ai due reticoli endoplasmatici sono ancora più evidenti le connessioni tra il rugoso e la membrana nucleare e la presenza di ribosomi anche sulla membrana nucleare.



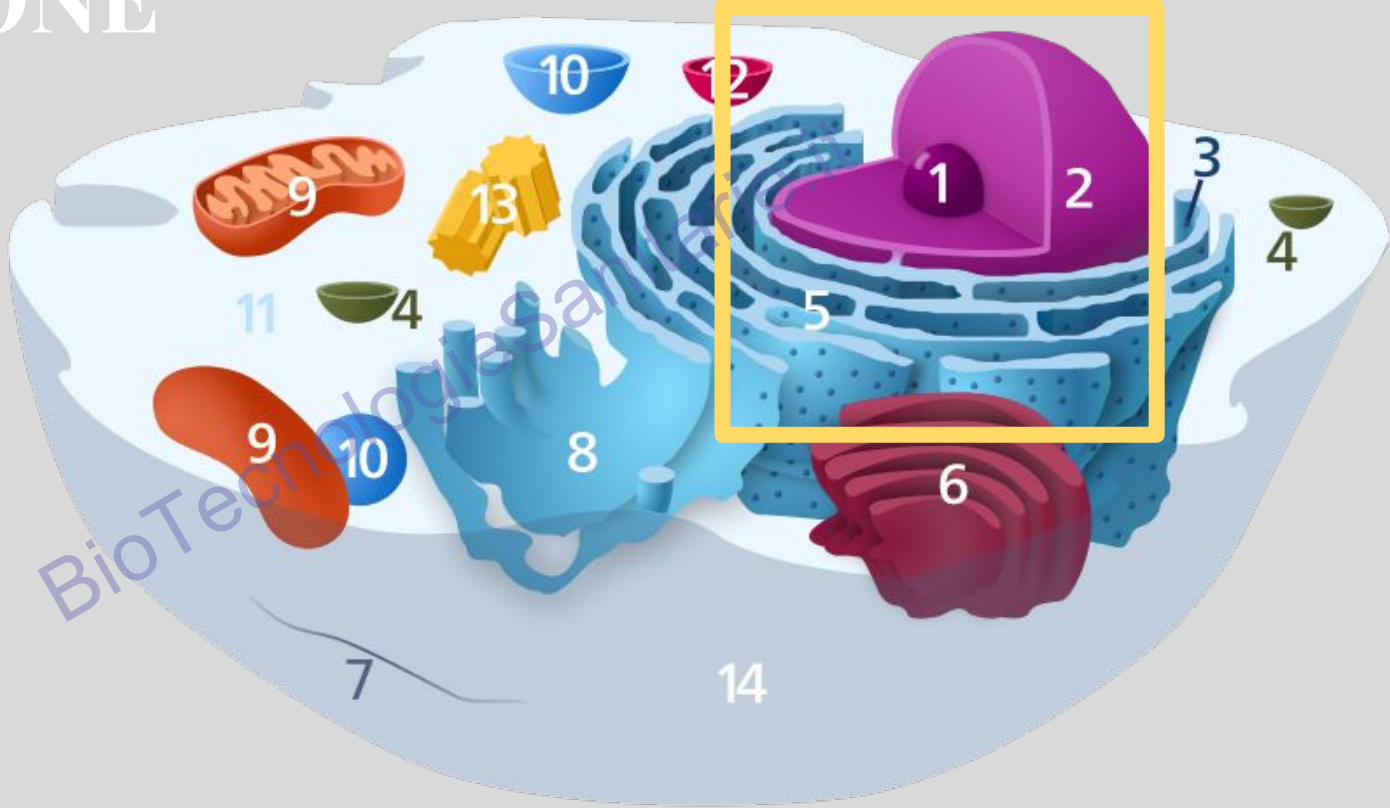
TRA TRASCRIZIONE E TRADUZIONE

L'area in cui si completa la sintesi proteica con la traduzione è quella evidenziata dal rettangolo bianco.

Per ulteriori dettagli sul reticolo endoplasmatico rimando alla pagina del sito specifica per il sistema di membrane intracellulari.

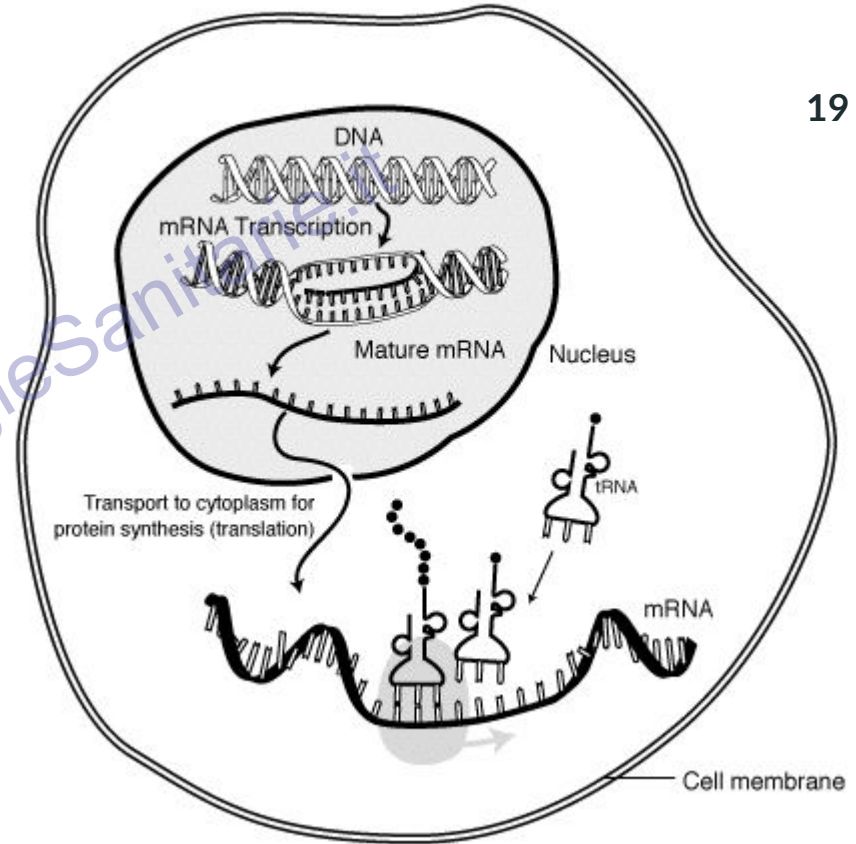


TRADUZIONE



TRADUZIONE

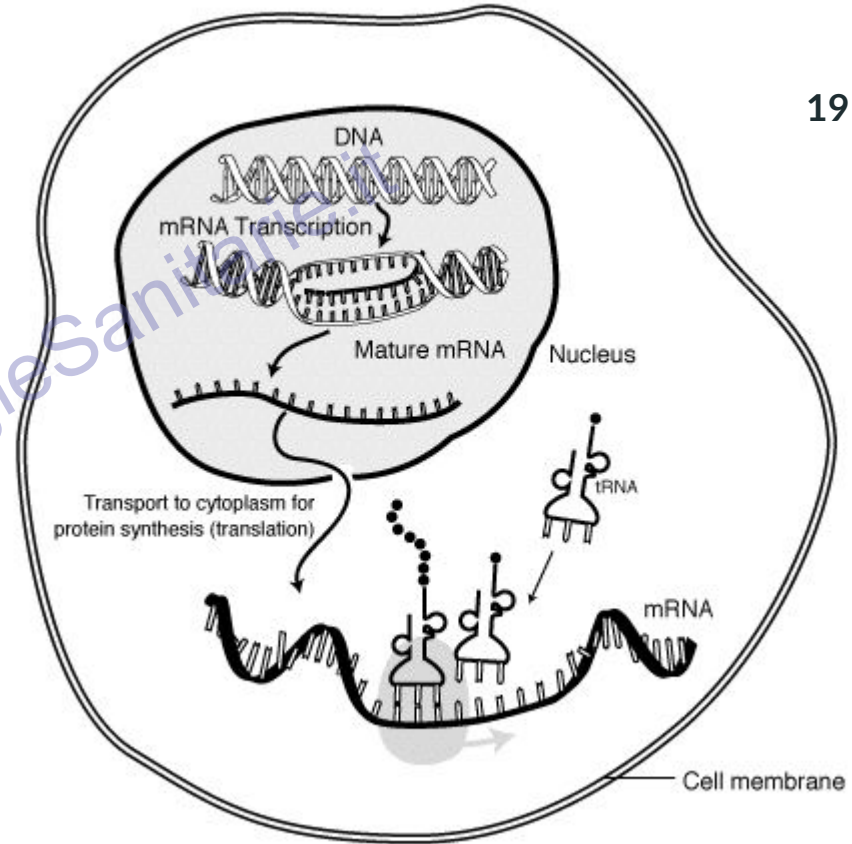
La **traduzione** avviene sul ribosoma dopo che questo è stato raggiunto dall'mRNA. L'mRNA è destinato ad essere degradato nel momento in cui avrà completato questa fase. Nell'immagine tutto il suo ciclo vitale.



TRADUZIONE

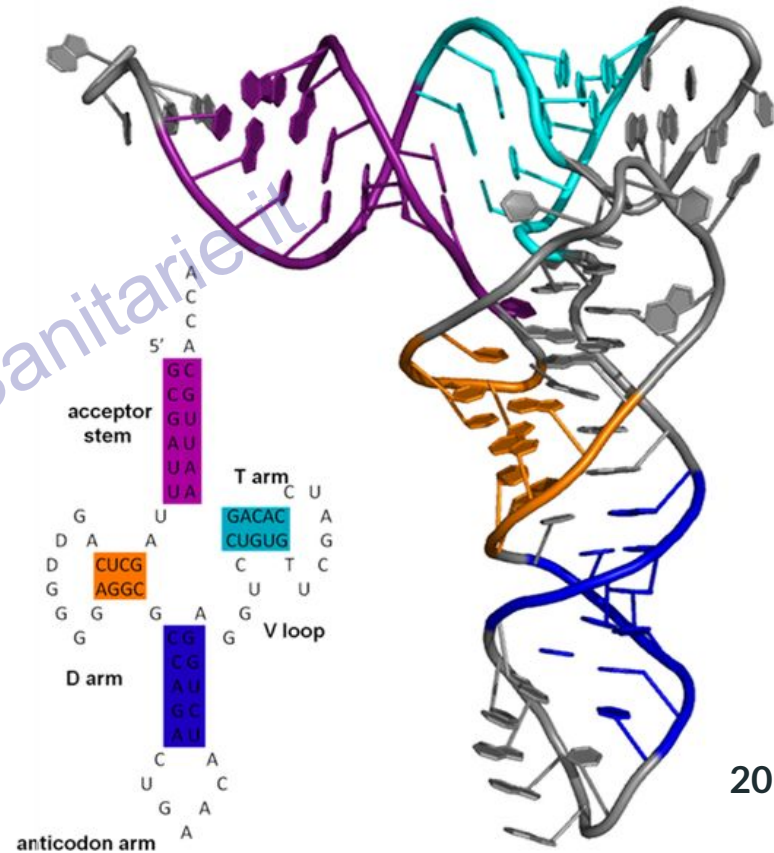
L'RNA messaggero si posiziona tra la grande e la piccola subunità del ribosoma che come vedremo meglio tra poco svolgono ruoli diversi nella traduzione.

A questo punto si avvicinano al ribosoma altri tipi di RNA: i tRNA.



TRADUZIONE

Il tRNA o RNA di trasferimento ha una struttura primaria (la semplice sequenza di nucleotidi), una struttura secondaria (la classica forma a trifoglio in basso a sinistra nel disegno) e una struttura tridimensionale (ad L - a destra nel disegno - con cui riesce ad entrare nei siti dei ribosomi).



TRADUZIONE

Vediamo più da vicino la struttura secondaria di un tRNA di un lievito.

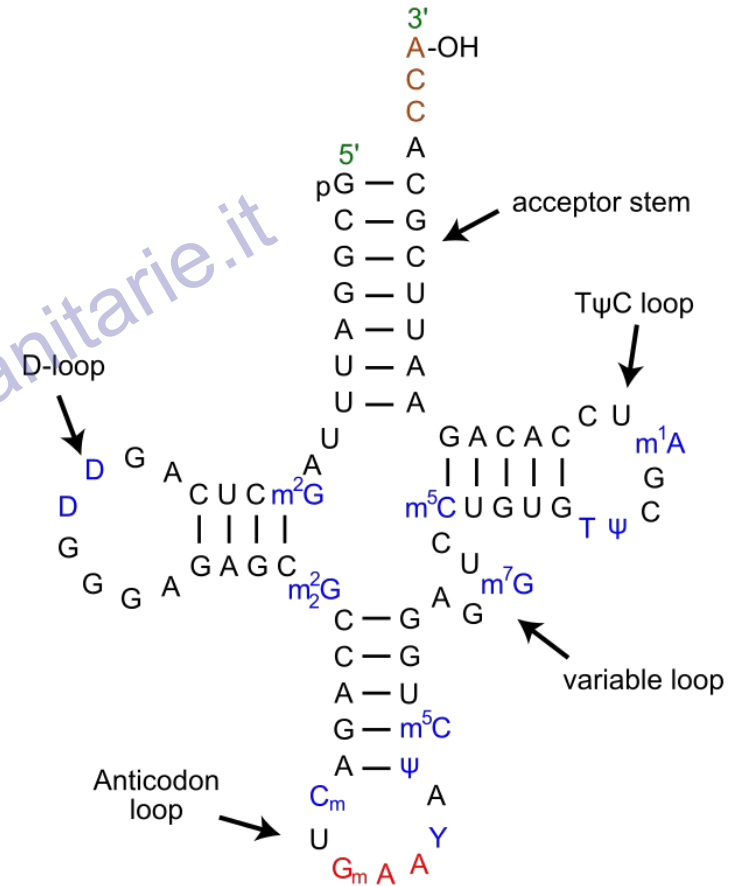
Il suo filamento ha un'estremità 5' con gruppo fosfato terminale e l'altra 3' che ha una tripletta di coda CCA a cui si lega un amminoacido.

Ci sono poi tre bracci di cui quello opposto alla coda CCA presenta l'anticodone, vale a dire una tripletta complementare a quella presente nell'mRNA.

La descrizione ci porta ad una conclusione. Ogni amminoacido si lega ad un tRNA specifico ma dal momento che abbiamo imparato dal codice genetico che ad ogni amminoacido corrispondono più triplette ci saranno più tRNA per ogni amminoacido.

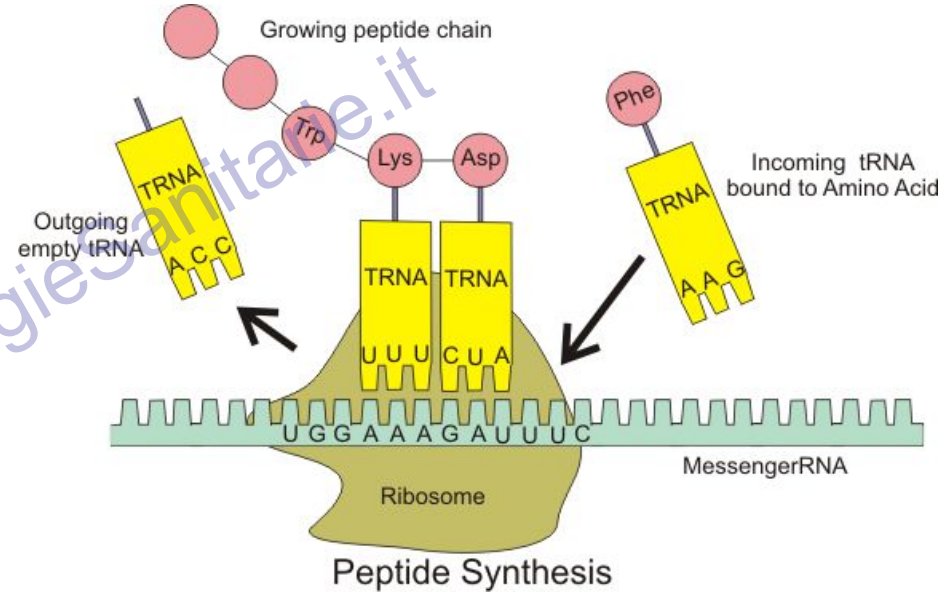
Ogni tRNA in realtà è formato da circa 70 - 90 nucleotidi. Il braccio con l'anticodone per esempio è formato solo da 7 nucleotidi e l'anticodone è al centro.

Passiamo ora alla traduzione vera e propria .



TRADUZIONE

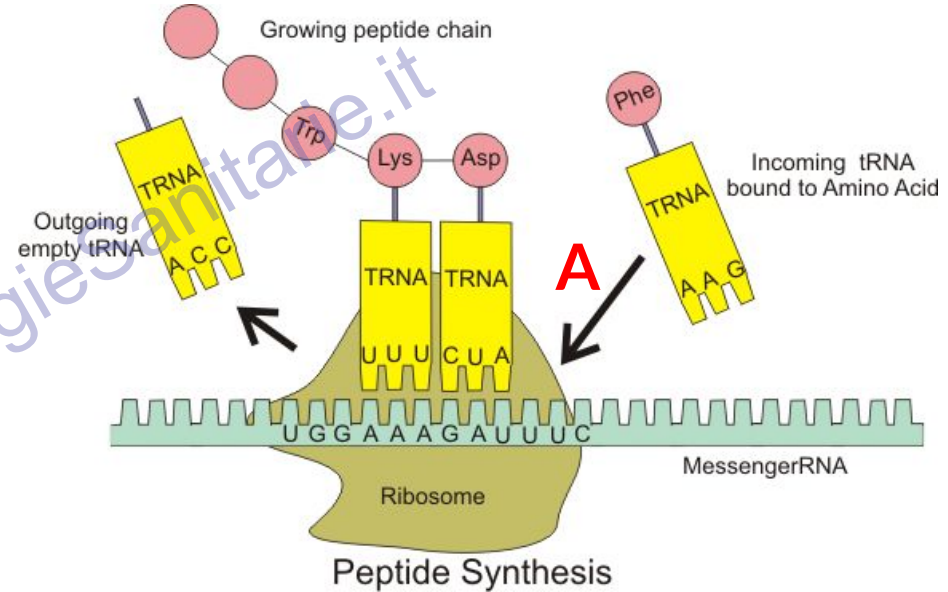
Ogni ribosoma ha 4 siti d'attacco.
Uno accoglie l'mRNA.
L'mRNA si attacca alla subunità minore del ribosoma in corrispondenza della sua estremità 5'.
Gli altri tre servono per i tRNA in arrivo e in uscita.



TRADUZIONE

Ecco i tre siti in azione

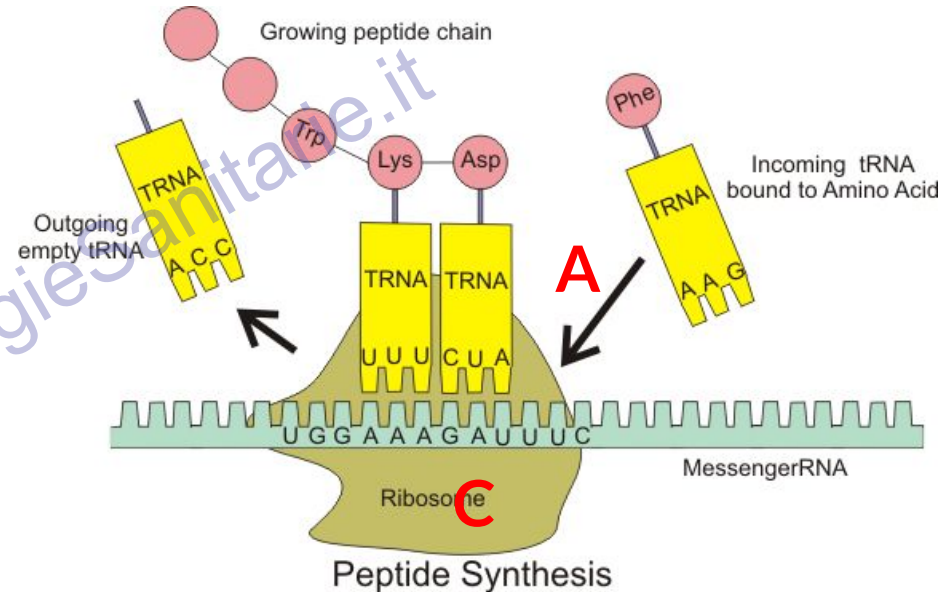
- ★ Sito di attacco (**A**) dove va a posizionarsi il tRNA il cui anticodone è complementare al codone dell'mRNA; in questo sito avviene il legame tra codone e anticodone
- ★ Sito di condensazione
- ★ Sito di distacco



TRADUZIONE

Ecco i tre siti in azione

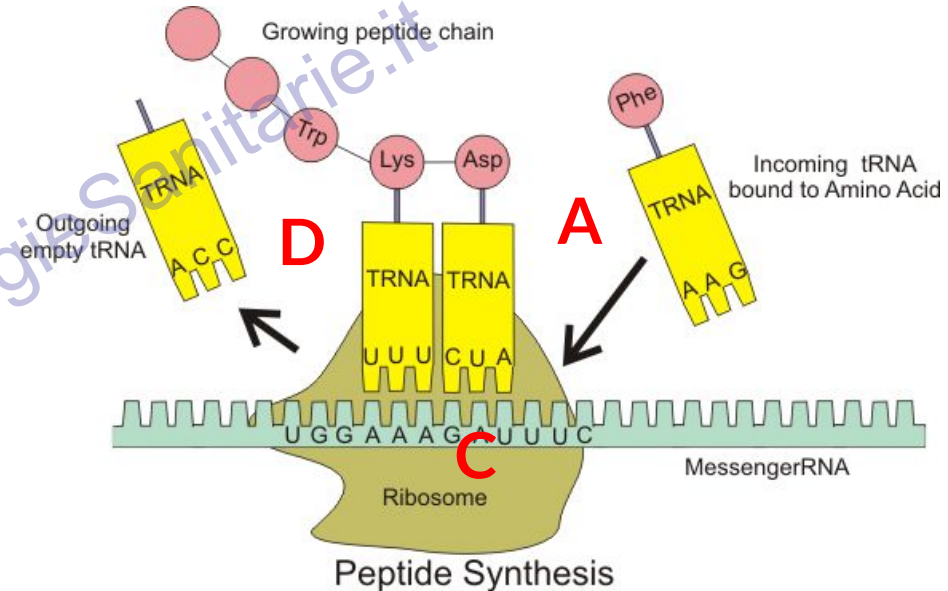
- ★ Sito di attacco (**A**)
- ★ Sito di condensazione (**C**) dove ogni tRNA, dopo aver legato il suo anticodone al codone dell'mRNA, aggiunge l'amminoacido che trasporta alla proteina in formazione grazie al legame peptidico (nel disegno: growing peptide chain)
- ★ Sito di distacco



TRADUZIONE

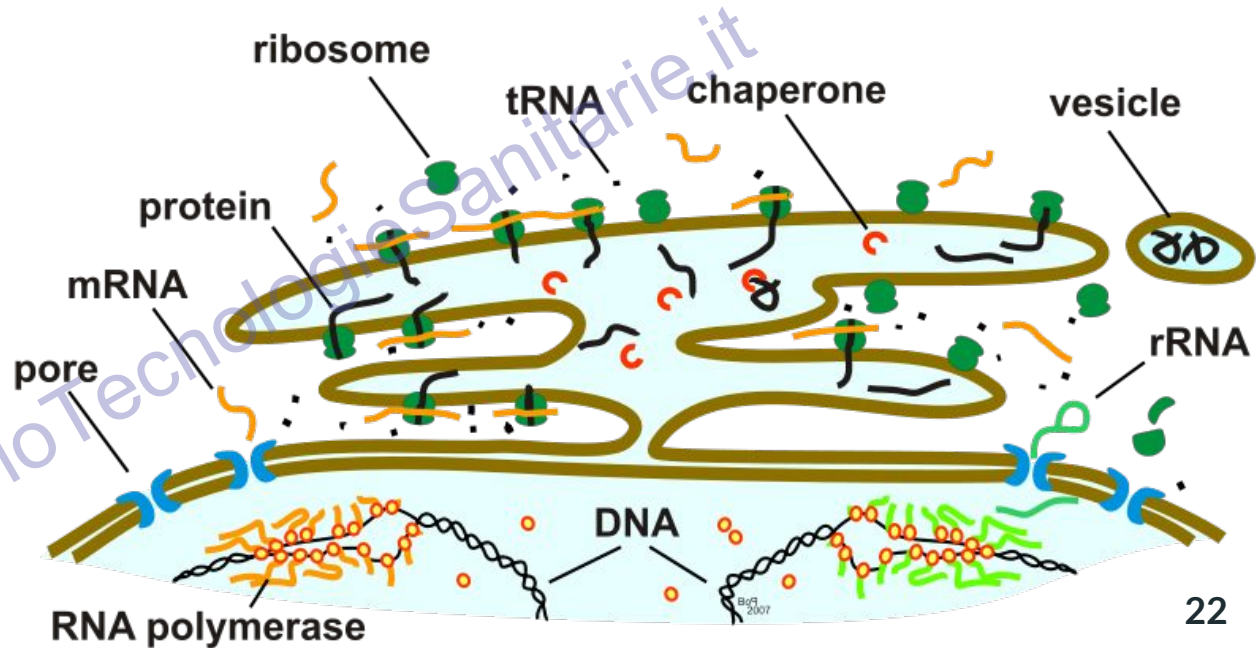
Ecco i tre siti in azione

- ★ Sito di attacco (**A**)
- ★ Sito di condensazione (**C**)
- ★ Sito di distacco (**D**) dove si sposta ogni tRNA, una volta che ha ceduto il proprio amminoacido. Completata l'operazione infatti può abbandonare il ribosoma mentre il ribosoma accetta un nuovo tRNA. Così può continuare la traduzione dell'mRNA.

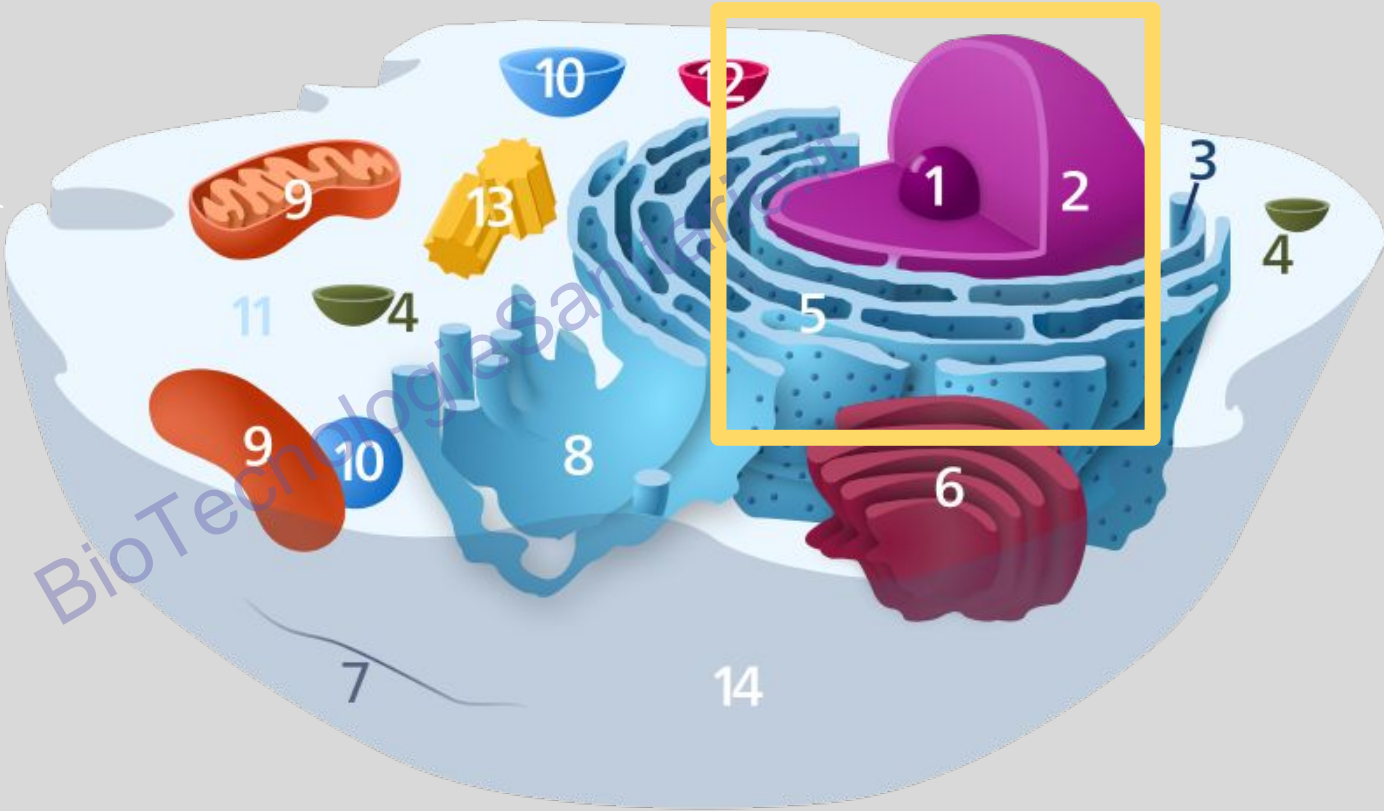


TRADUZIONE

Tutto il processo della sintesi proteica, dalla trascrizione alla traduzione, può durare da 1 a 2 minuti. Dipende dalla lunghezza della catena proteica. Il disegno va oltre la sintesi proteica perché mostra come dal DNA si formi anche l'rRNA vale a dire i vari tipi di RNA ribosomiali che partecipano alla costruzione dei ribosomi. Inoltre evidenzia anche gli stretti rapporti tra membrana nucleare e reticolo endoplasmatico rugoso.



IL DOGMA DELLA BIOLOGIA



BioTech
100mPa

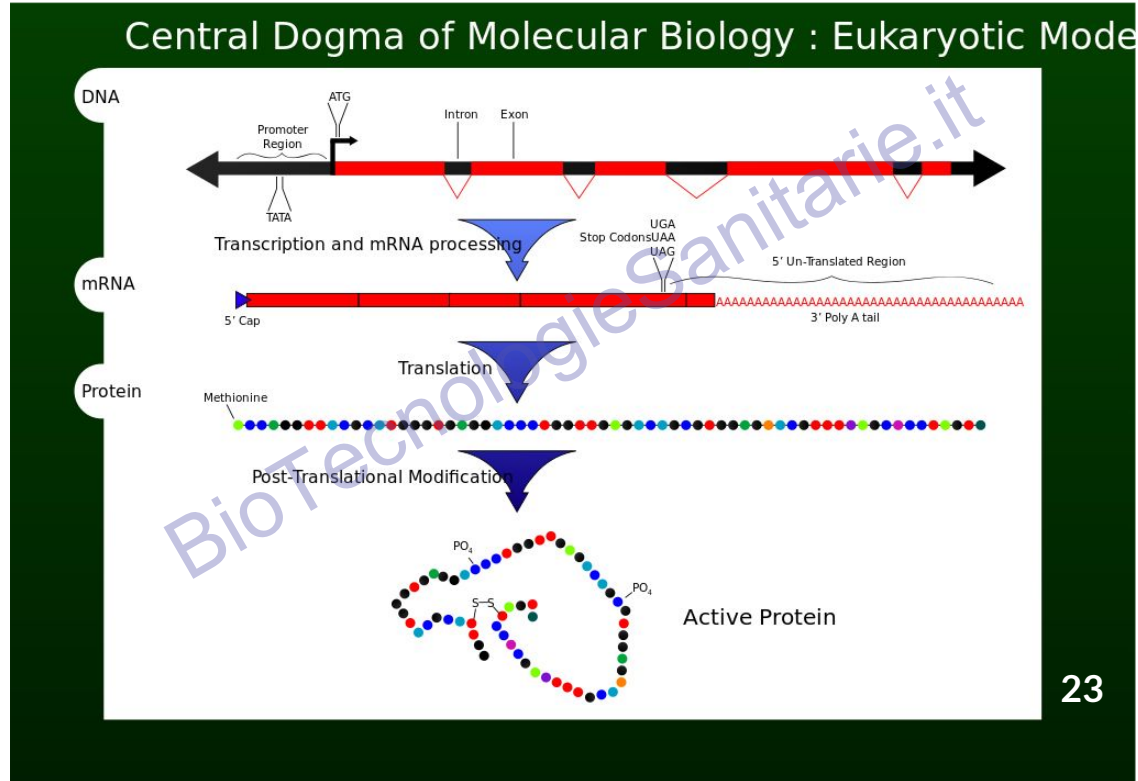
IL DOGMA DELLA BIOLOGIA

Una volta completata la sequenza di amminoacidi la catena polipeptidica viene sottoposta a piegamenti ed altre trasformazioni perché possa acquisire la sua tipica struttura tridimensionale che le conferisce piena funzionalità. Tutto il processo spiega il

DOGMA CENTRALE della BIOLOGIA

Vale a dire la direzione in cui fluisce l'informazione genetica all'interno di un sistema vivente (DNA - mRNA - proteine)

IL DOGMA DELLA BIOLOGIA



IL DOGMA DELLA BIOLOGIA

Per fare il punto su tutta la sintesi proteica credo che la cosa migliore sia guardare questo video in inglese. Ci sono anche i sottotitoli e quindi è di facile comprensione.

<https://www.youtube.com/watch?v=gG7uCskUOrA>

PHOTO CREDITS

Intestazione di sezione

Cellula eucariote animale By Kelvinsong - Own work, CC0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=22952603>

1 CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=70651>

2 By GYassineMrabetTalk ✉ This vector image was created with Inkscape. - Own work, Public Domain,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2552310>

3 By Spunk (Own work) [Public domain or Public domain], via Wikimedia Commons -

https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AOverview_proteinogenic_amino_acids-DE.svg

4 By AGeremia (Own work) [CC BY-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>) or GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>)], via Wikimedia Commons -

https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ACodice_genetico.svg

5 Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1222995>

6 CC BY 3.0, <https://en.wikipedia.org/w/index.php?curid=35818927>

PHOTO CREDITS

7 By Mariuswalter - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=54318073>

8 Di Jonsprofile - Opera propria, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18804194>

9 By Christoph Bock, Max Planck Institute for Informatics - Own work, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17066877>

10 By reworked and vectorized by myself [Public domain], via Wikimedia Commons -
https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ADNA_transcription.svg

11 By User:Abbondanzieri on the English Wikipedia - Created with the rendering program Protein Explorer [1] using coordinates 1H38 deposited at the RCSB PDB repository. [2], Public Domain,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2211175>

12 Di L'utente che ha caricato in origine il file è stato Sverdrup di Wikipedia in inglese - Trasferito da en.wikipedia su Commons., Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1534478>

13 By Pearson Scott Foresman [Public domain], via Wikimedia Commons -
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AAmoeba_\(PSF\).png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AAmoeba_(PSF).png)

PHOTO CREDITS

- 14** By Thierry Arnet - This document was created as part of the Pénard projectDeutsch | English | français | +/-, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=40468134>
- 15** By TimVickers - Own work by uploader, based upon similar illustrations in Goodsell DS (June 1991). "Inside a living cell". Trends Biochem. Sci. 16 (6): 203–6. DOI:10.1016/0968-0004(91)90083-8. PMID 1891800., Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4762672>
- 16** By CNX OpenStax (<https://cnx.org/contents/5CvTdmJL@4.4>) [CC BY 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)], via Wikimedia Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AOSC_Microbio_03_03_Ribosome.jpg
- 17** By Fvoigtsh - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=25185130>
- 18** By Mariana Ruiz LadyofHats - I made it myself on adobe illustrator based on the information found on this websites:[1], [2],[3],[4] and [5], Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6197500>
- 19** Di L'utente che ha caricato in origine il file è stato Sverdrup di Wikipedia in inglese - [1](file) Originally from en.wikipedia; description page is/was here., Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2120822>

PHOTO CREDITS

- 20** By Kyle Schneider (SchneiderKD) (Transferred by BQmUB2010090/Original uploaded by SchneiderKD) (Schneider KD (Original uploaded on en.wikipedia)) [Public domain], via Wikimedia Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ATRNA_all2.png
- 21** By Boumphreyfr (Own work) [CC BY-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>) or GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>)], via Wikimedia Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3APeptide_syn.png
- 22** By Adjustit (Own work) [GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>) or CC BY-SA 4.0-3.0-2.5-2.0-1.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0-3.0-2.5-2.0-1.0>)], via Wikimedia Commons - <https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AProteinTranscription%2BSynthesis.svg>
- 23** By Adenosine at English Wikipedia, CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=32026515>