

# 41. Appendice 1: immunologia in laboratorio

II edizione



(vale per tutto il capitolo)

41. Appendice 1: immunologia in laboratorio.....	1297	41.3. MARCATURA DI SUPERFICIE E SEPARAZIONE CELLULARE.....	1307
41.1. IMPIEGO DEGLI ANTICORPI IN LABORATORIO.....	1299	41.3.1. La citometria a flusso.....	1307
41.1.1. Tecniche di precipitazione.....	1299	41.3.2. Localizzazione dell'antigene nei tessuti e nelle cellule .....	1309
41.1.2. Immuno-elettroforesi.....	1301	41.4. IBRIDOMI ED ANTICORPI MONOCLONALI.....	1310
41.1.3. Emoagglutinazione.....	1302	41.4.1. Anticorpi policlonali versus monoclonali.....	1310
41.1.4. Quantificazione degli antigeni.....	1304	41.4.2. Produzione di anticorpi omogenei a specificità nota: anticorpi monoclonali .....	1310
41.2. BLOTTING.....	1305	41.4.3. Metodo classico attraverso la produzione di ibridomi.....	1311
41.2.1. Western blot-immunoblot.....	1305	41.4.4. Schema della formazione di un ibridoma.....	1312
41.2.2. Immunoblotting.....	1306	41.4.5. Anticorpi monoclonali umani ed umanizzati.....	1313
		41.5. APPLICAZIONI DEGLI ANTICORPI MONOCLONALI.....	1314
		41.6. PRINCIPALI FONTI UTILIZZATE.....	1315



## 41.1. Impiego degli anticorpi in laboratorio

- ☞ Gli anticorpi costituiscono un formidabile strumento per la valutazione su base strutturale
- La loro capacità di discriminare tra strutture molto simili ne fa un insostituibile *tool* diagnostico
- Possono essere usati per valutare strutture in soluzione/sospensione o in preparati solidi (istologici)
- Possono dar luogo a misurazioni quantitative, semi-quantitative o a valutazioni qualitative, dipendentemente dalla metodica utilizzata
- Possono essere usati in procedure diagnostiche *in vitro* o per fini terapeutici anche *in vivo*

### 41.1.1. TECNICHE DI PRECIPITAZIONE

- ☞ Storicamente, molti degli impieghi degli anticorpi poggiavano sulla capacità degli anticorpi e dei relativi antigeni di formare complessi di grosse dimensioni, che escono di soluzione
- Le metodiche principali che sfruttano questo principio sono:
  - precipitazione dell'immuno-complesso da una soluzione
  - precipitazione in agar per diffusione semplice secondo Outcherlony
  - immuno-elettroforesi

#### Precipitazione da una soluzione

- ☞ Gli studiosi di immuno-chimica hanno potuto identificare l'antigene osservando la formazione di questi complessi in soluzione mediante diffrazione della luce
- ☞ È stato possibile purificare l'antigene da soluzioni contenenti miscele di molecole raccogliendo i complessi immuni specifici per centrifugazione o per precipitazione dell'anticorpo con agenti chimici

#### Precipitazione in agar secondo Outcherlony

**(a)**

ab      ag

☐      ☐

l'antigene e l'anticorpo vengono posti in differenti pozzetti ricavati in un gel di agaroso

ab      ag

☐      ☐

l'antigene e l'anticorpo diffondono l'uno verso l'altro

ab      ag

☐      ☐

l'antigene e l'anticorpo precipitano nel punto in cui raggiungono il livello di equivalenza, dando origine ad una banda visibile

**(b)**

ab      ag 2

☐      ☐

se sono presenti proteine diverse, precipitate da anticorpi distinti, si formano due linee di precipitato che si incrociano

ab      ag 2

☐      ☐

se nei due campioni ignoti sono presenti proteine identiche, essi formano un'unica linea continua di precipitato

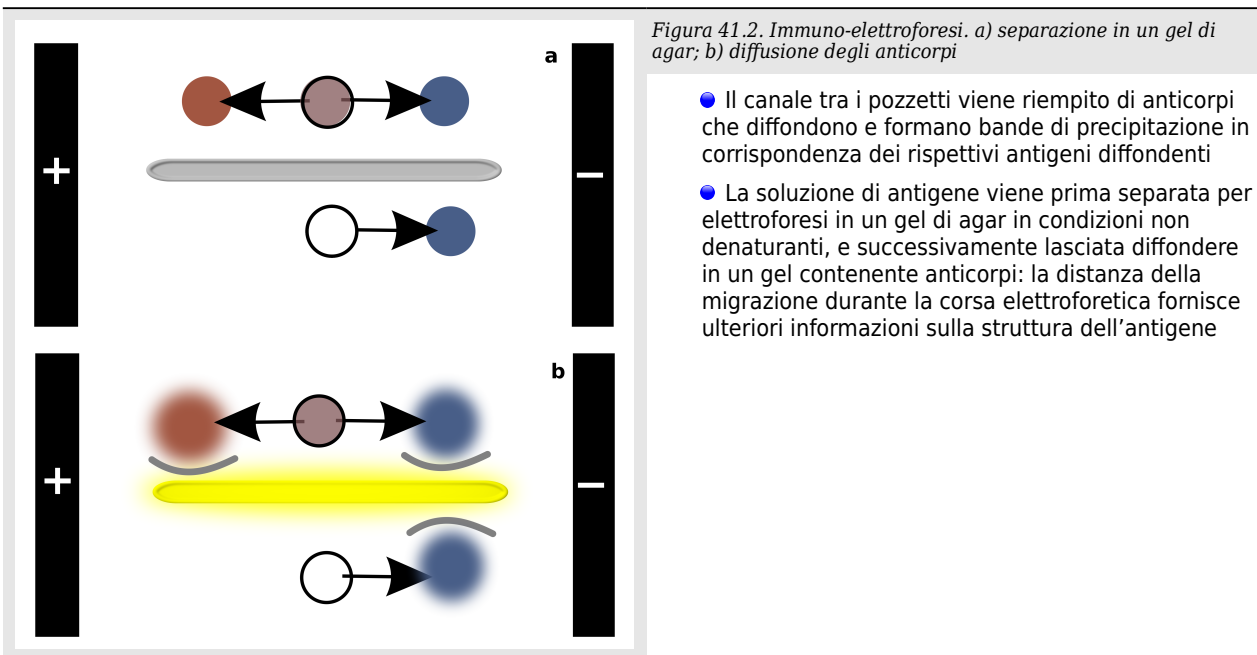
ab      ag 2

☐      ☐

se l'antigene 1 presenta alcuni epitopi in comune con l'ag 2 si forma uno sperone provocato dall'ag 2 precipitato dagli anticorpi anti-2 che non legano l'ag A

*Figura 41.1. Doppia diffusione secondo Outcherlony*  
 antigene (ag); anticorpo (ab)  
 Nel metodo classico di "doppia diffusione" secondo Outcherlony, gli antigeni e gli anticorpi sono lasciati diffondere in gel da pozzetti vicini ma separati, in modo da ottenere una "linea di precipitazione" di immuno-complessi insolubili nel punto in cui le concentrazioni dell'antigene e dell'anticorpo raggiungono l'equivalenza (grandi complessi reticolari)  
 (a) Utilizzo per verificare la presenza di un anticorpi contro un determinato antigene  
 (b) Utilizzo per la valutazione del grado di correlazione tra proteine sconosciute

### 41.1.2. IMMUNO-ELETTROFORESI



### 41.1.3. EMOAGGLUTINAZIONE



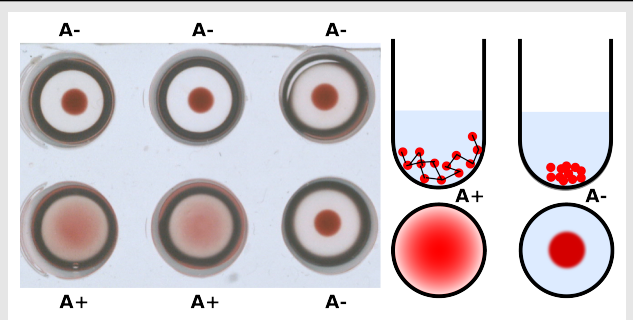
L'emoagglutinazione è utilizzata per tipizzare i gruppi sanguigni e per identificare donatori e riceventi compatibili per le trasfusioni di sangue

- i gruppi antigenici A e B del sangue sono determinati grazie alla capacità degli anticorpi diretti contro di essi di agglutinare gli eritrociti che presentano i rispettivi antigeni
- anticorpi specifici per i gruppi antigenici del sangue si trovano in tutti gli individui che non possiedono un determinato antigene, come mostrato nella colonna di sinistra; perciò gli individui di tipo O, che mancano degli antigeni A e B, hanno anticorpi sia anti-A che anti-B, mentre gli individui AB non ne hanno nessuno. Lo schema di agglutinazione degli eritrociti del donatore e del ricevente con anticorpi anti-A ed anti-B fornisce i gruppi sanguigni ABO individuali
- prima di una trasfusione il siero del ricevente viene saggiato per la presenza di anticorpi che agglutinano gli eritrociti del donatore e viceversa, un procedimento detto esame crociato
- anticorpi presenti nel sangue del donatore che si legano alle cellule del ricevente, o anticorpi del ricevente che si legano alle cellule del donatore, potrebbero danneggiare gli eritrociti nel ricevente e debbono perciò essere evitati

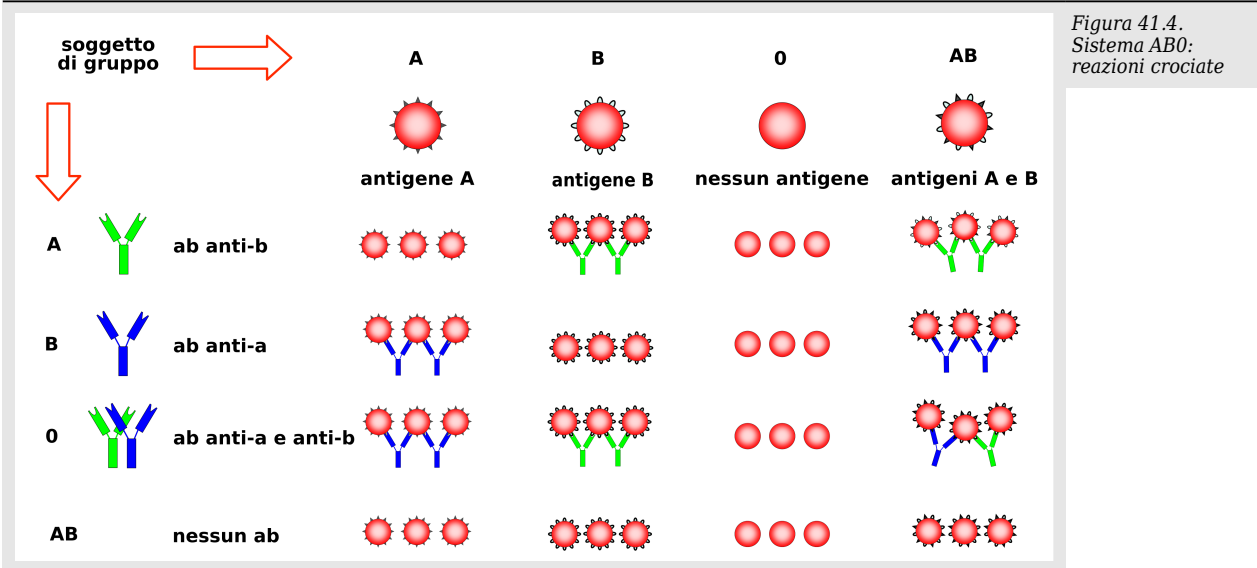
**Figura 41.3. Emoagglutinazione**

A+: agglutinato (gli anticorpi e gli antigeni polivalenti formano un reticolo che si appoggia sul fondo del pozzetto su una superficie ampia); A-: non agglutinato (gli eritrociti non trattenuti dagli anticorpi si accumulano nella parte più declive del pozzetto ammassati)

Liberamente tratto da: [pages.usherbrooke.ca](http://pages.usherbrooke.ca), e [path.cam.ac.uk](http://path.cam.ac.uk)



## Compatibilità AB0



### 41.1.4. QUANTIFICAZIONE DEGLI ANTIGENI

I metodi immunologici per quantificare la concentrazione degli antigeni garantiscono un'eccellente sensibilità e specificità, e sono diventate tecniche standard sia nella ricerca che per l'applicazione clinica

Tutti i moderni metodi immuno-chimici sono basati su un semplice ed accurato metodo per misurare la quantità di molecole indicatrici

- Quando la molecola indicatrice è marcata con un radioisotopo, può essere misurata contando l'emissione radioattiva in un contatore gamma; questo metodo è denominato test radioimmunologico (**radio-immunoassay, RIA**)
- Quando la molecola indicatrice è accoppiata covalentemente con un enzima, può essere quantizzata determinando con uno spettrofotometro il tasso di conversione di un substrato incolore in un prodotto colorato da parte dell'enzima; questo metodo è chiamato test immunoenzimatico (**enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA**)
- quando la molecola indicatrice è accoppiata covalentemente ad un fluorocromo si parla di **immunofluorescenza**

Questi saggi possono essere

- diretti
- indiretti


Nel caso di saggi diretti ad essere marcati sono gli antigeni o gli anticorpi specifici

Nel caso di saggi indiretti ad essere marcati sono anticorpi secondari rivolti contro gli anticorpi utilizzati nella reazione primaria con l'antigene




## 41.2. Blotting


### 41.2.1. WESTERN BLOT-IMMUNOBLOT

-  Se l'antigene proteico da caratterizzare è miscelato con altri antigeni, può essere per prima cosa sottoposto a separazione analitica, classicamente mediante elettroforesi in gel di acrilamide in presenza di sodio dodecilsolfato (SDS-PAGE, *polyacrylamide gel electrophoresis*), così che la posizione delle diverse proteine nel gel sia funzione delle dimensioni delle molecole


---

-  Le diverse proteine separate vengono poi trasferite dal gel di separazione su di una membrana di supporto per capillarità (*blotting*, assorbimento) o mediante elettroforesi; sulla membrana è così rappresentata una copia della serie di macromolecole separate nel gel


---

-  L'SDS viene rimosso dalla proteina durante il processo di trasferimento, e i determinanti antigenici nativi vengono spesso ricostituiti quando la proteina si "rinatura"

---

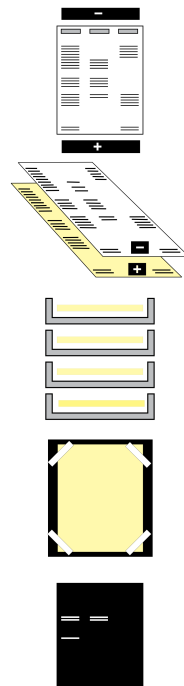
-  La posizione dell'antigene sulla membrana può essere infine visualizzata mediante legame di un anticorpo marcato, ottenendo così informazioni sulle dimensioni dell'antigene; sono comunemente usati a questo scopo sia anticorpi legati ad enzimi che radiomarcanti

---

-  La tecnica di trasferire proteine da un gel ad una membrana è chiamata **Western blot** per un gioco di parole inventato dai biochimici. Southern è infatti il cognome dello scienziato che per primo trasferì l'acido desossiribonucleico (DNA) da un gel di separazione ad una membrana, una tecnica da allora chiamata **Southern blot**. Per analogia il nome **Northern blot** fu dato alla tecnica per trasferire acido ribonucleico (RNA) da un gel ad una membrana, mentre il trasferimento di proteine fu chiamato **Western blot**

### 41.2.2. IMMUNOBLOTTING

Figura 41.5. Immunoblotting



i campioni con l'antigene vengono separati in un gel analitico, per esempio in un gel di poliacrilamide/sodio dodecil solfato, oppure un gel di focalizzazione isoelettrica

le molecole separate vengono trasferite su una membrana di nitrocellulosa (*blot*) in un contenitore per blotting

il *blot* viene poi sequenzialmente

1. trattato con l'anticorpo specifico per l'antigene
2. lavato
3. trattato con anticorpo radiomarcato anti-anticorpo
4. lavato

la membrana viene posta in contatto con una pellicola sensibile alle radiazioni in una cassetta

l'autoradiografia viene sviluppata e le bande dell'antigene che si sono legate all'anticorpo specifico sono messe in evidenza

### 41.3. Marcatura di superficie e separazione cellulare

☞ Gli anticorpi sono comunemente impiegati per caratterizzare, identificare o separare popolazioni cellulari

L'anticorpo può essere

- radiomarcato
- legato ad enzimi
- marcato con sostanze fluorescenti

#### 41.3.1. LA CITOMETRIA A FLUSSO

☞ La citometria a flusso consente di contare le cellule e di identificarle mediante i loro antigeni di superficie

- le cellule per essere analizzate in citometria a flusso devono essere marcate con fluorocromi, solitamente coniugati ad anticorpi specifici per antigeni della superficie cellulare
- le cellule vengono quindi forzate a passare attraverso un capillare, allo scopo di ottenere un flusso di cellule singole che scorre davanti ad un raggio laser
- tubi fotomoltiplicatori (PMT, *photomultiplier tubes*) rilevano la deviazione della luce, che dipende dalle dimensioni della cellula e dalla sua granulosità e l'emissione di luce fluorescente dai differenti fluorocromi
- misurando molte cellule si può avere una stima esatta del numero di cellule di una popolazione, con uno specifico quadro di caratteristiche consentendo di valutare su queste cellule il livello di espressione di varie molecole
- l'uso di un singolo anticorpo può fornire indicazioni sulla percentuale di una popolazione cellulare che presenta l'antigene riconosciuto da quell'anticorpo e la quantità di tale antigene espresso da ogni cellula
- l'impiego di due anticorpi può definire quattro popolazioni cellulari: quelle che esprimono una sola molecola (verde o rossa), quella che esprime entrambe le molecole e quella che non ne esprime nessuna

### Citofluorimetria e *fluorescence activated cell sorter*, FACS

☞ Nel caso dei traccianti fluorescenti, la quantità di anticorpo legato ad ogni singola cellula di una popolazione può essere misurata facendo passare la sospensione cellulare, una cellula alla volta, attraverso un fluorimetro

☞ Le cellule che fluiscono attraverso il citofluorimetro possono anche essere deviate in maniera differenziale da campi elettromagnetici, la cui forza e direzione varia a seconda dell'intensità del segnale di fluorescenza, permettendo così di separare delle popolazioni di cellule a seconda del legame dell'anticorpo alla superficie cellulare

Lo strumento che compie questa operazione è chiamato separatore cellulare attivato dalla fluorescenza (*fluorescence activated cell sorter*, **FACS**)

☞ FACS moderni permettono di *routine* la risoluzione simultanea di tre o più segnali fluorescenti diversi, ognuno associato ad un diverso anticorpo, consentendo l'analisi e la separazione di cellule in base a qualsiasi combinazione di fenotipi di superficie diversi

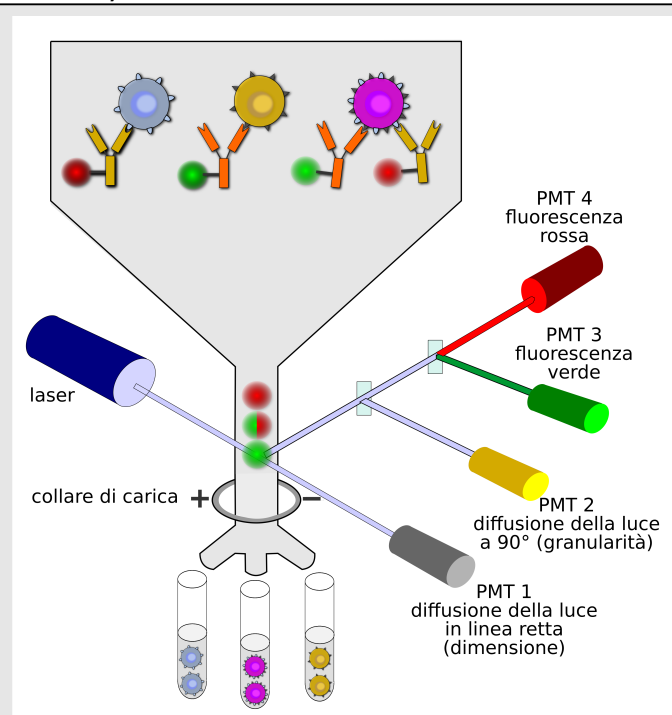


Figura 41.6. Fluorescence activated cell sorter. PMT: photomultiplier tube (*tubo fotomoltiplicatore*)

### 41.3.2. LOCALIZZAZIONE DELL'ANTIGENE NEI TESSUTI E NELLE CELLULE

☞ Gli anticorpi possono essere usati per identificare la distribuzione anatomica di un antigene nell'ambito di un tessuto o di un compartimento cellulare

☞ Il principio comune alla base di queste tecniche è che un tracciante venga legato a un anticorpo specifico; la posizione del tracciante nel tessuto o nella cellula, stabilita con un opportuno microscopio, consente di ricavare la posizione dell'antigene

☞ I principali metodi sono:

- immunofluorescenza
- immuno-perossidasi e fosfatasi alcalina

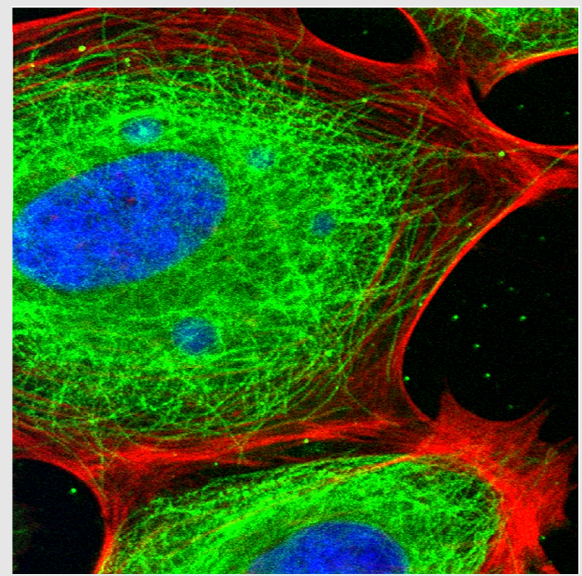


Figura 41.7. Immunoblotting. Da Traffick.dk, modificato. Immunofluorescenza dei filamenti intracellulari

## 41.4. Ibridomi ed anticorpi monoclonali

### 41.4.1. ANTICORPI POLICLONALI VERSUS MONOCLONALI

☞ I normali anticorpi prodotti *in vivo* verso un antigene sono prodotti da numerosi cloni cellulari diversi che sintetizzano molecole con specificità e affinità variabili: si definiscono pertanto policlonali

Gli anticorpi monoclonali provengono invece da un singolo clone e sono quindi il prodotto di un unico gene: si possono ottenere artificialmente. Unica eccezione sono le proteine mielomatose prodotte da tumori clonali di plasmacellule

### 41.4.2. PRODUZIONE DI ANTICORPI OMOGENEI A SPECIFICITÀ NOTA: ANTICORPI MONOCLONALI

☞ La tecnica di produzione di quantità praticamente illimitate di un singolo anticorpo specifico per un particolare determinante antigenico ha rivoluzionato l'immunologia ed ha avuto un impatto straordinario in diversi campi della ricerca e della pratica clinica

☞ Si possono isolare singoli linfociti B a specificità nota, che però hanno vita breve  
Gli sforzi si sono quindi incentrati sulla possibilità di immortalizzare cellule B secernenti uno specifico anticorpo

☞ La tecnica iniziale per raggiungere questo scopo, ora applicata diffusamente, è stata descritta per la prima volta da **Georges Kohler** e **Cesar Milstein** nel 1975

☞ Il metodo comporta:

- la fusione cellulare, o ibridizzazione cellulare somatica, fra un linfocita B normale che secerne anticorpi ed una linea di mieloma: **ibridoma**
- la selezione delle cellule fuse, al fine di isolare linee che producano anticorpi della specificità desiderata, derivata dal linfocita B normale

### 41.4.3. METODO CLASSICO ATTRAVERSO LA PRODUZIONE DI IBRIDOMI

- Reagenti:**
- linfociti sensibilizzati per l'antigene verso cui si vogliono gli anticorpi monoclonali
  - linee di mieloma difettive nell'enzima ipoxantina-guanina fosforibosil-transferasi (HGPRT, *hypoxanthine-guanine phosphoribosyltransferase*) la cui assenza impedisce loro di crescere in un terreno selettivo particolare (terreno HAT)
  - terreno selettivo HAT (*hypoxanthine-aminopterin-thymidine*) contenente aminopterina che blocca la produzione endogena dei nucleotidi stessi
- Procedura:**
- si espongono topi all'antigene di interesse cercando di ottenere una risposta intensa
  - si isolano i linfociti dalla milza dell'animale
  - i linfociti si fondono con cellule di mieloma HPRGT difettive con l'ausilio del virus di Sendai o di polietilenglicole
  - si coltiva in vitro il prodotto della fusione per 10-14 giorni in mezzo HAT
  - le cellule di mieloma non fuse muoiono perché incapaci di sintetizzare nucleotidi e coltivate in un mezzo carente di essi
  - i linfociti non fusi muoiono perché hanno una aspettativa di vita breve se privi di stimoli adeguati
  - le cellule fuse (ibridate) sopravvivono perché possono fabbricare nucleotidi (il gene viene dai linfociti immunizzati) e sono immortali (assetto genetico proveniente dal mieloma)
  - dalla miscela di cellule ibridate vengono selezionate quelle produttrici anticorpi contro l'antigene voluto: attraverso diluizioni al limite si arriva ad avere singoli cloni produttrici anticorpi formati da cellule derivate da un unico ibrido: ibridoma
  - L'ibridoma viene amplificato in vitro e utilizzato per la produzione di anticorpi monoclonali

### 41.4.4. SCHEMA DELLA FORMAZIONE DI UN IBRIDOMA

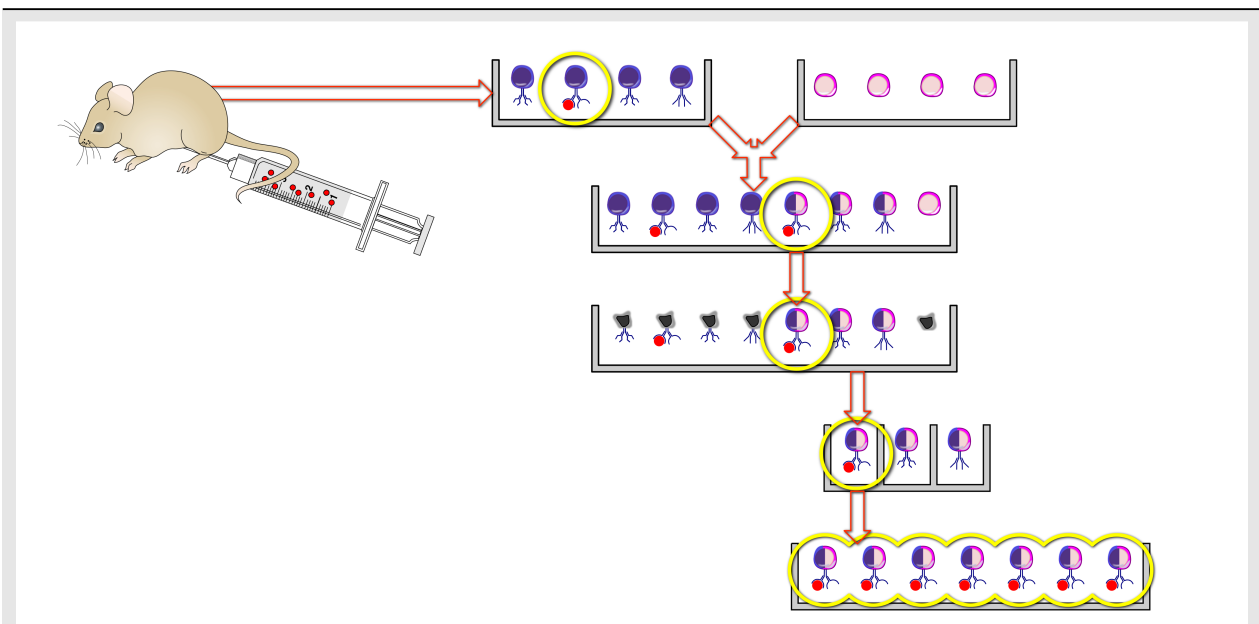









Figura 41.8. La formazione di un ibridoma secondo il metodo classico. Le linee cellulari derivate da questo processo di fusione sono immortalizzate, e sono chiamate **ibridomi**, e gli anticorpi da queste prodotti **anticorpi monoclonali**

---

#### 41.4.5. ANTICORPI MONOCLONALI UMANI ED UMANIZZATI





---

-  Gli ibridomi sono prodotti prevalentemente fondendo mielomi murini HAT-sensibili con cellule B ottenute da topi, ratti o cavie immunizzati
  -  Si possono anche generare anticorpi monoclonali umani, soprattutto per la somministrazione *in vivo* a pazienti, sviluppando come *partner* di fusione linee di mielomi umani
  -  È regola generale che la stabilità degli ibridi è bassa se vengono fuse cellule distanti fra loro nella scala filogenetica, e questo è verosimilmente il motivo per cui linfociti B umani non generano con buona efficienza ibridomi con linee di mieloma murino  
Anche gli ibridomi uomo-uomo sono piuttosto instabili
  -  solo una piccola parte della molecola anticorpale è responsabile del legame coll'antigene; il resto della molecola può esser pensata come una sorta di "intelaiatura"
  -  L'organizzazione strutturale degli anticorpi permette di "incastonare" i segmenti di DNA che codificano per la regione di legame coll'antigene di un anticorpo monoclonale in un cDNA che codifica per una proteina mielomatosa umana, così da creare un gene ibrido
  -  Quando viene espressa, la proteina ibrida che risulta dalla fusione dei due geni, e che mantiene la specificità antigenica, viene definita **anticorpo umanizzato**
  -  Gli anticorpi umanizzati costituiscono una strategia alternativa per produrre anticorpi monoclonali che possono essere somministrati senza effetti indesiderati ai pazienti
- 

---

#### 41.5. Applicazioni degli anticorpi monoclonali

---

-  **Identificazione di marcatori fenotipici specifici per particolari tipi cellulari.** Le basi della moderna classificazione dei linfociti e dei fagociti mononucleati poggiano sul legame di anticorpi monoclonali specifici per una determinata popolazione (classificazione CD)  
Es.: se vengono generati ibridomi diversi che producono anticorpi diretti verso molecole di superficie di una particolare cellula, ciascun clone di ibridoma secernerà un anticorpo specifico per un solo determinante antigenico di membrana. Questi anticorpi monoclonali possono essere quindi utilizzati per purificare diverse molecole presenti sulla superficie cellulare, alcune delle quali possono essere già conosciute, mentre altre possono non essere ancora state identificate
  -  **Immuno-diagnosi.** La diagnosi di numerose infezioni e malattie sistemiche si basa sulla dimostrazione di specifici antigeni e/o anticorpi in circolo o nei tessuti, usando anticorpi monoclonali in test immunologici
  -  **Diagnosi e terapia dei tumori.** Anticorpi monoclonali tumore-specifici vengono utilizzati per evidenziare tumori mediante tecniche di *imaging*, e per l'immunoterapia delle neoplasie *in vivo* ed *ex-vivo*
  -  **Analisi funzionale** delle molecole cellulari di superficie e di secrezione. Nella ricerca immunologica, gli anticorpi monoclonali che si legano a molecole cellulari di superficie stimolando o inibendo una particolare funzione cellulare costituiscono uno strumento insostituibile per definire le funzioni di tali molecole, compresi i recettori per gli antigeni. Anticorpi che neutralizzano le citochine sono routinariamente usati per evidenziare sia *in vitro* che *in vivo* la presenza ed il ruolo funzionale di questi ormoni proteici
-

## 41.6. Principali fonti utilizzate

Janeway, C.A., Travers, O. (1994) *Immunobiology: the immune system in health and disease*. Garland, New York

Köhler, G., Milstein, C. (1975) Continuous cultures of fused cells secreting antibody of predefined specificity. *J. Immunol.* 174, 2453-2455

### Siti web

[pages.usherbrooke.ca](http://pages.usherbrooke.ca)

visitato il 05-06-2010

contenuto non più disponibile il 23/06/2011

[path.cam.ac.uk](http://path.cam.ac.uk)

visitato il 05-06-2010

accessibile il 04/07/2012

[traffick.dk](http://traffick.dk)

visitato il 13/02/2011

contenuto non più disponibile il 22/06/2011

