

CORSO BASE DI RISONANZA MAGNETICA

Latina, 7 Maggio 2022

TITOLO PRESENTAZIONE
Genesis del segnale di RM

DOCENTE
Tsmr Mariagrazia De Paola

CENNI STORICI

1946 Bloch e Purcell : i nuclei assorbono radiazione e.m.

1952 entrambi i fisici vinsero il Premio Nobel per la fisica.

1950-1970 RM utilizzata prevalentemente per studiare la struttura chimica delle sostanze.

1971 Raymond Damadian : i tempi di rilassamento dei tessuti sani erano differenti da quelli dei tessuti tumorali.

1973 Hounsfield: TAC
Paul Lauterbur : immagini con retroproiezione.

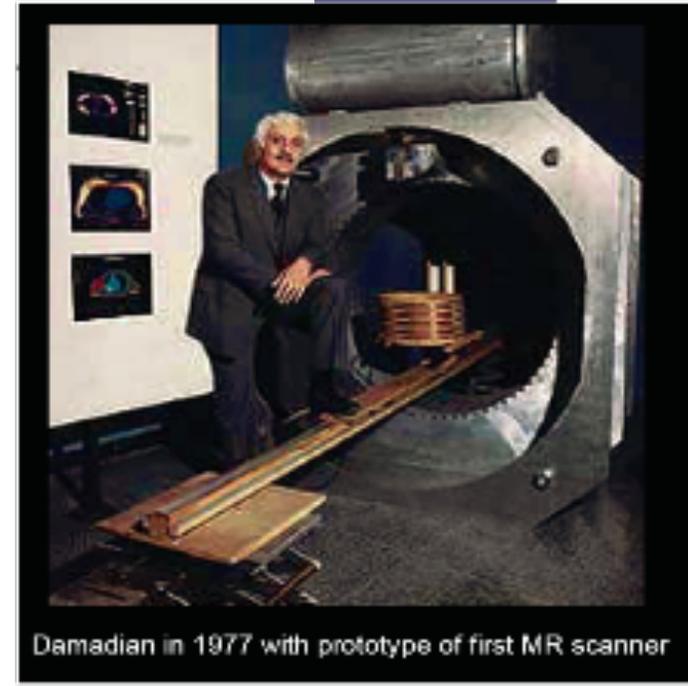
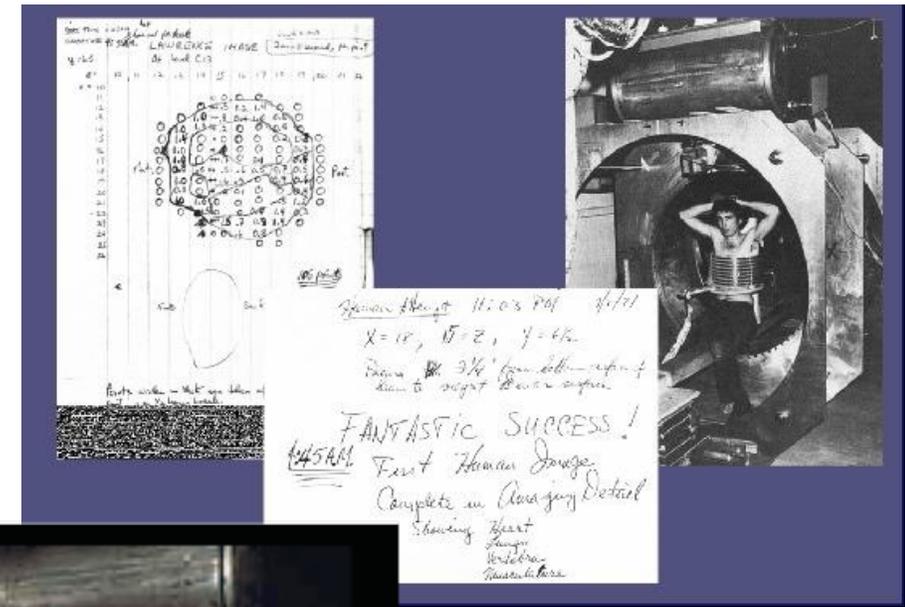
1975 Richard Ernst : codifica di fase e frequenza.

1980 Eldestein & Co: immagini del corpo umano .

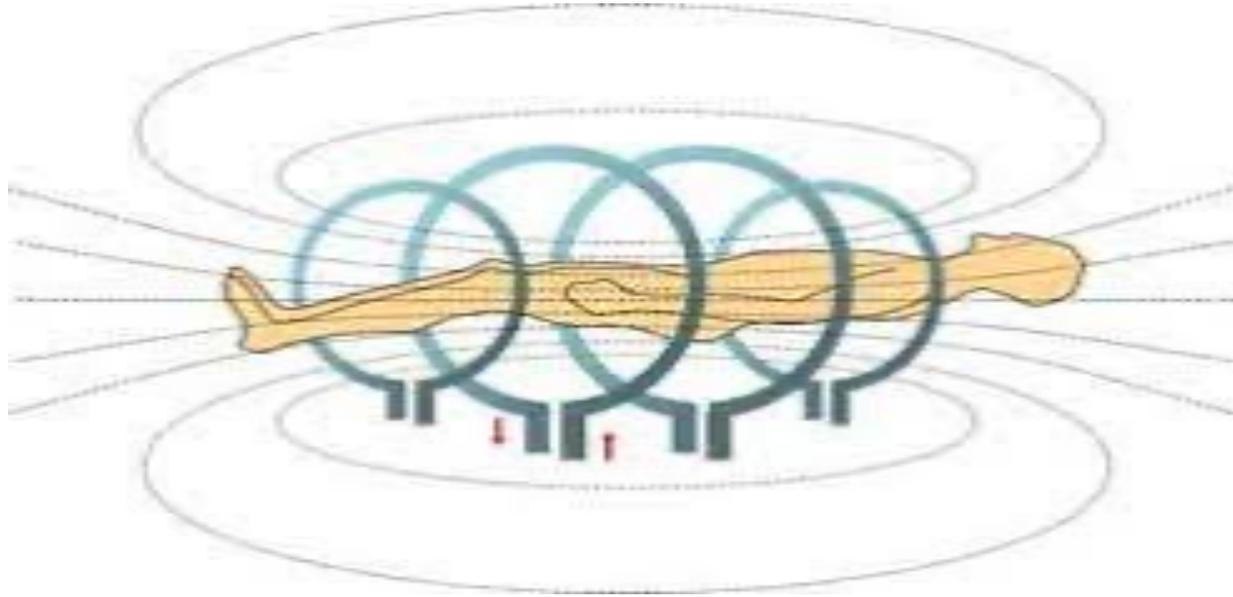
1987 EPI

1991 Spettroscopia

1992 MRI funzionale



RISONANZA Magnetica Nucleare



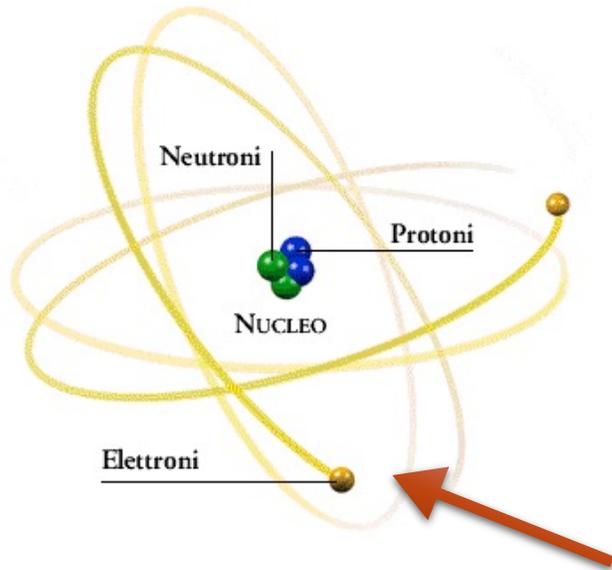
Fenomeno che **AMPLIFICA** le oscillazioni periodiche di un sistema attraverso energia fornita da impulsi di radiofrequenze.

Risonanza **MAGNETICA** Nucleare

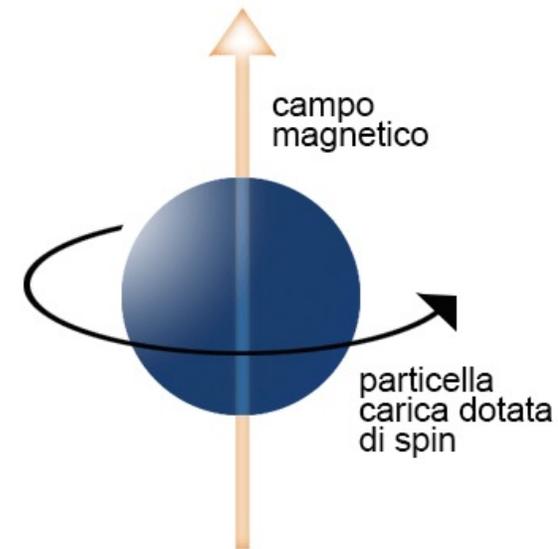
INTERAZIONE dei nuclei di H con campo magnetico B^0 e con con **MOMENTO MAGNETICO** $\mu \neq 0$.



(μ): capacità di e^- di **rivoluzione** attorno al nucleo e di **rotazione** attorno al proprio asse



Il movimento dell' e^- intorno al nucleo genera un momento angolare orbitale



La rotazione dell' e^- intorno al proprio asse (spin) genera un momento angolare di spin

Risonanza Magnetica **NUCLEARE**

Proprietà di una particella subatomica

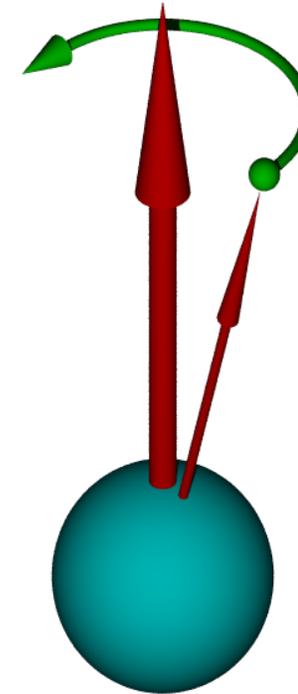
- massa
- spin
- Carica

Rapporto Giromagnetico $\gamma = \frac{\mu}{p}$

$\gamma_{H^1} = 42.58 \text{ MHz/T}$

Momento magnetico dovuto alla rotazione di una carica elettrica

Momento angolare dovuto alla rotazione di una massa



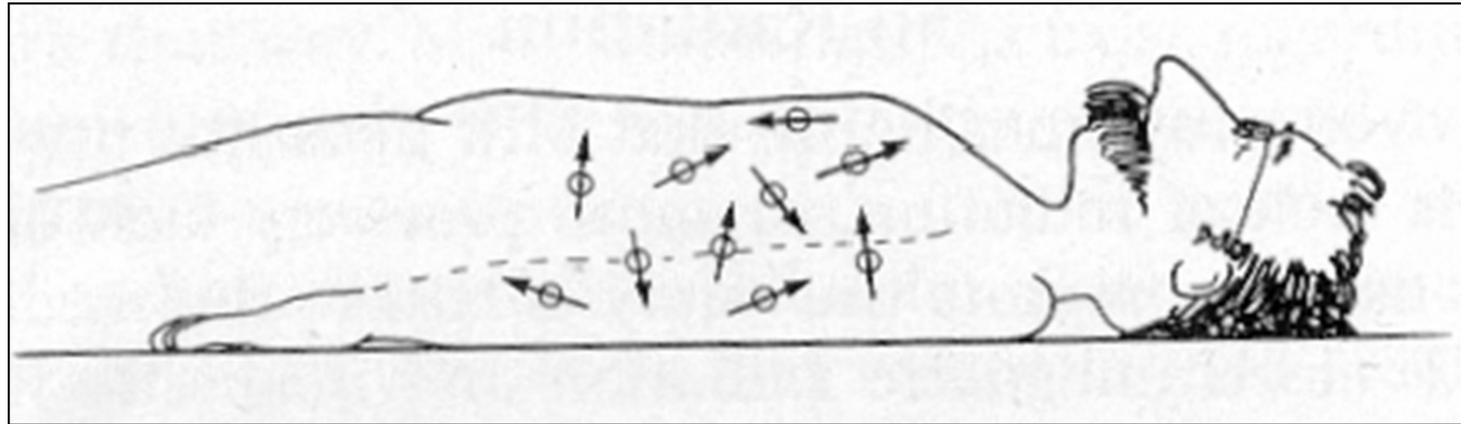
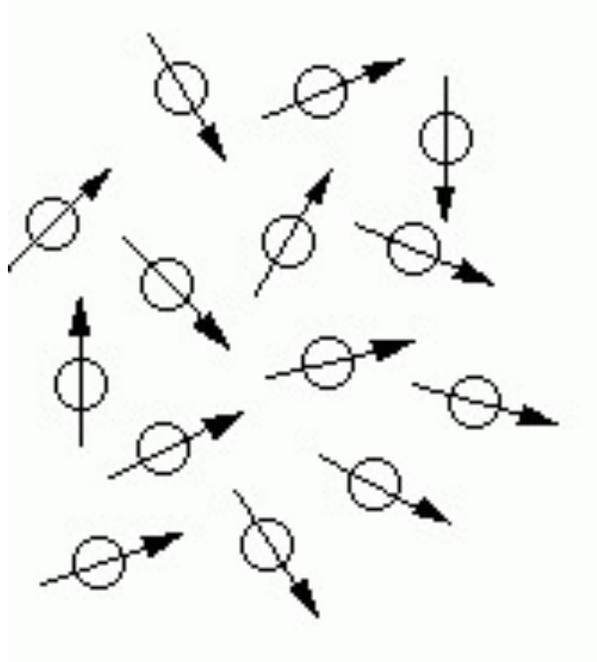
I protoni hanno uno **spin**, ovvero ruotano attorno al loro asse; la carica elettrica gira insieme ad essi, quindi genera corrente elettrica.

UNA CORRENTE ELETTRICA PRODUCE UN CAMPO MAGNETICO.

È possibile calcolare la velocità di rotazione dei nuclei attraverso il **Rapporto Giromagnetico γ** .

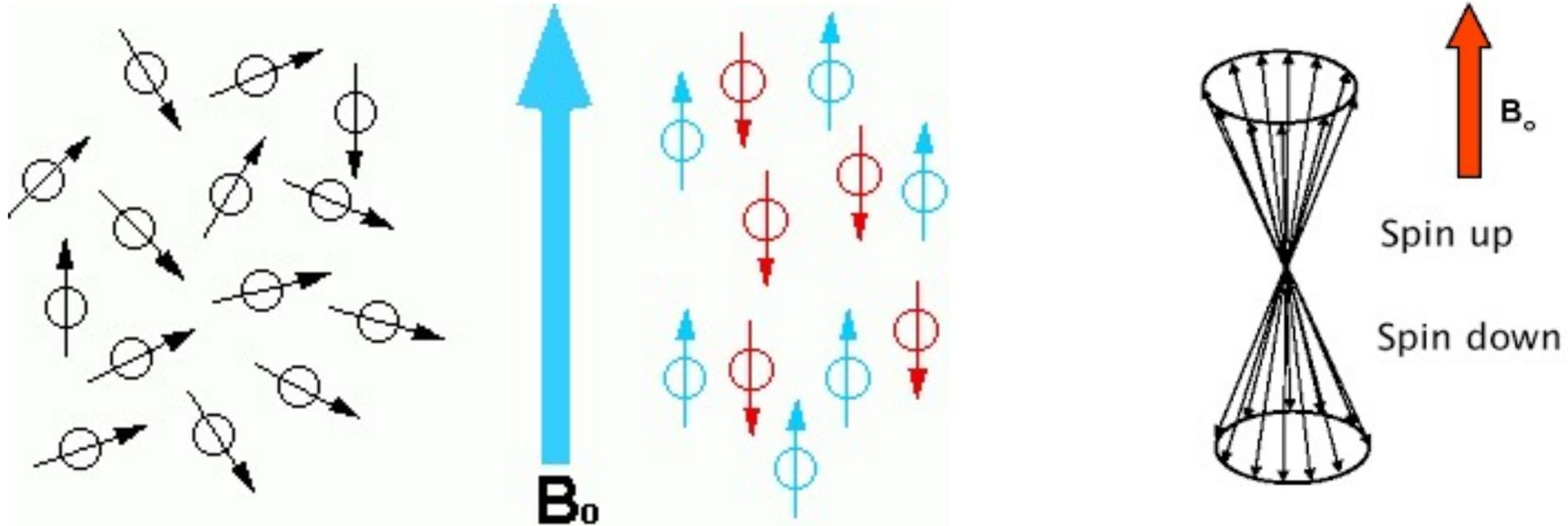
LA **RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE** CONSTA DI QUELL'INSIEME DI TECNICHE CHE SFRUTTANO LE CAPACITA' MAGNETICHE ED ELETTRICHE DELL' e^- .
PERMETTE DI STUDIARE I TESSUTI BIOLOGICI ATTRAVERSO LA VALUTAZIONE DELL'ASSORBIMENTO DI RADIOFREQUENZE DA PARTE DELL' e^- , SOTTOPOSTO AD UN CAMPO MAGNETICO ESTERNO (CME).

Orientazione degli Spin



In **assenza di campo magnetico esterno B^0** , la direzione dei nuclei di H è completamente **casuale $\mu = 0$**

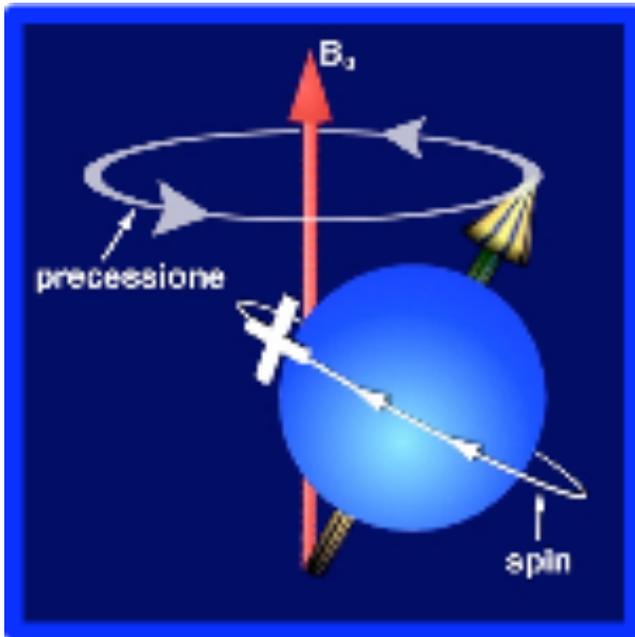
Se però applichiamo un campo magnetico costante i dipoli magnetici iniziano ad oscillare orientandosi con verso parallelo o antiparallelo (b), con un movimento chiamato di PRECESSIONE ($\mu \neq 0$).



VERSO PARALLELO --> UP BASSA ENERGIA

VERSO ANTIPARALLELO --> DOWN ALTA ENERGIA

PRECESSIONE



Oscillazione dell'asse magnetico del protone che si combina con il moto rotatorio proprio della particella (**SPIN**).

Il prodotto è un movimento complesso di rotazione su una superficie conica avente come asse la direzione del CM B^0 .

Così come l'ago di una bussola si orienta secondo la direzione del CM terrestre.

Questa oscillazione ha velocità e frequenza definita, denominata **frequenza di precessione** o **di Larmor**.

Equazione di Larmor:

$$\omega_0 = \gamma B_0$$

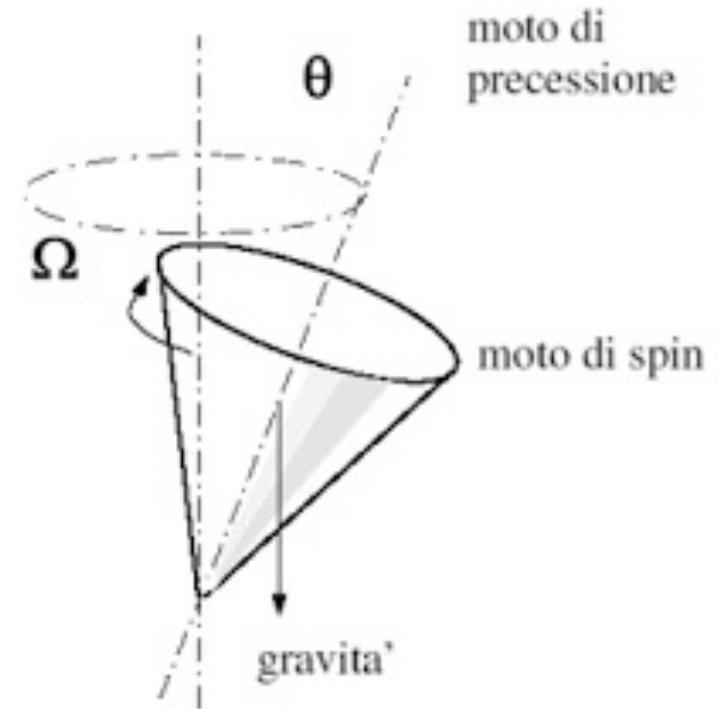
ω_0 = frequenza di precessione (MHz)

B_0 = forza campo magnetico esterno (in Tesla)

γ = costante giromagnetica: differente per diverse sostanze (per H: 42,5 MHz/T)



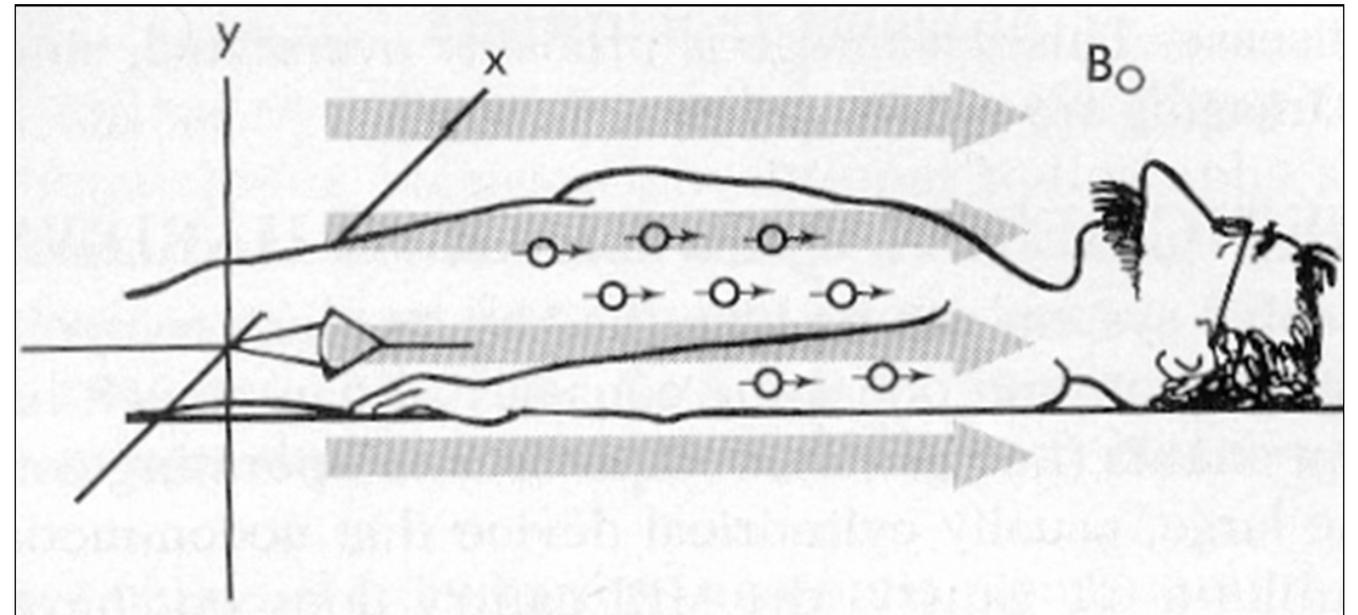
La velocità del movimento di precessione = n .
di precessioni al sec., misurata come una frequenza (MHz), aumenta in modo proporzionale all'intensità del campo magnetico esterno, e varia da atomo ad atomo in funzione della costante giromagnetica.



MAGNETIZZAZIONE MACROSCOPICA (MM)

La differenza tra gli spin UP e DOWN è minima.

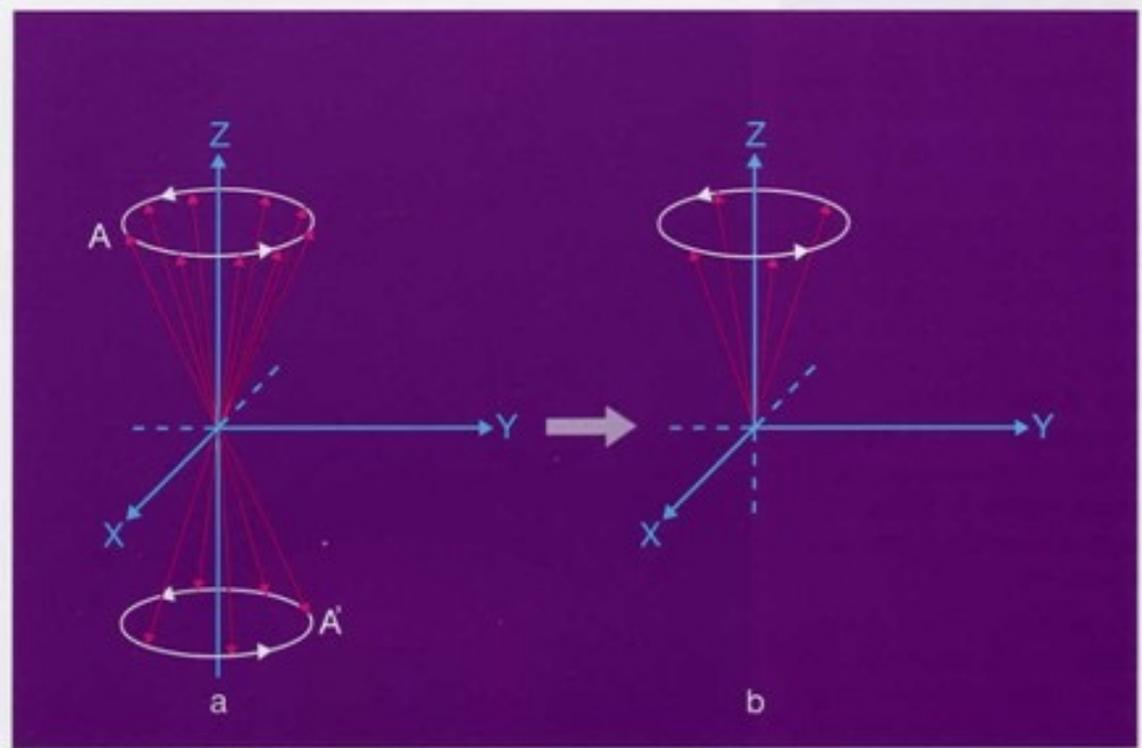
Naturalmente lo stato energetico preferito è quello a livello energetico minore, quello parallelo (UP).



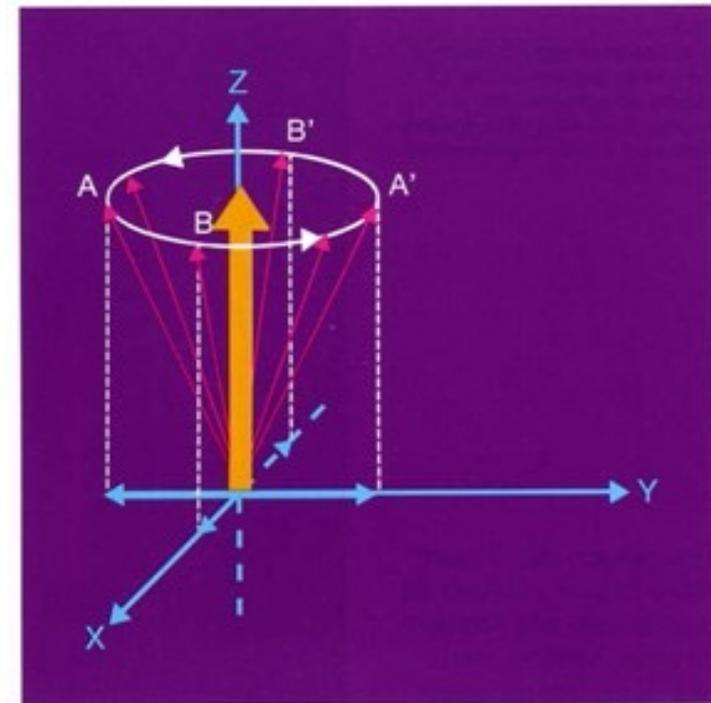
Questo determina la creazione di una **MAGNETIZZAZIONE MACROSCOPICA (MM)**.

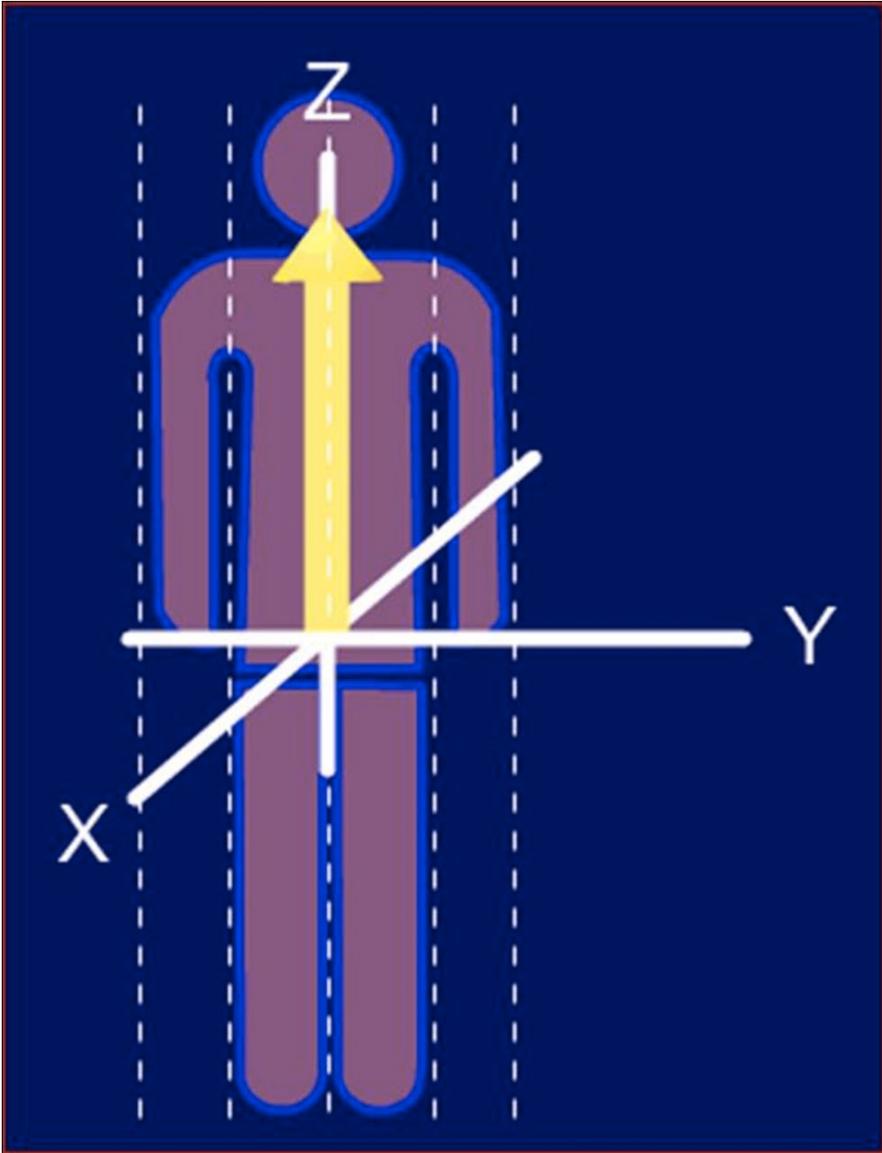
MAGNETIZZAZIONE MACROSCOPICA LONGITUDINALE (MML)

Le forze magnetiche con direzione e verso opposto si annullano reciprocamente.

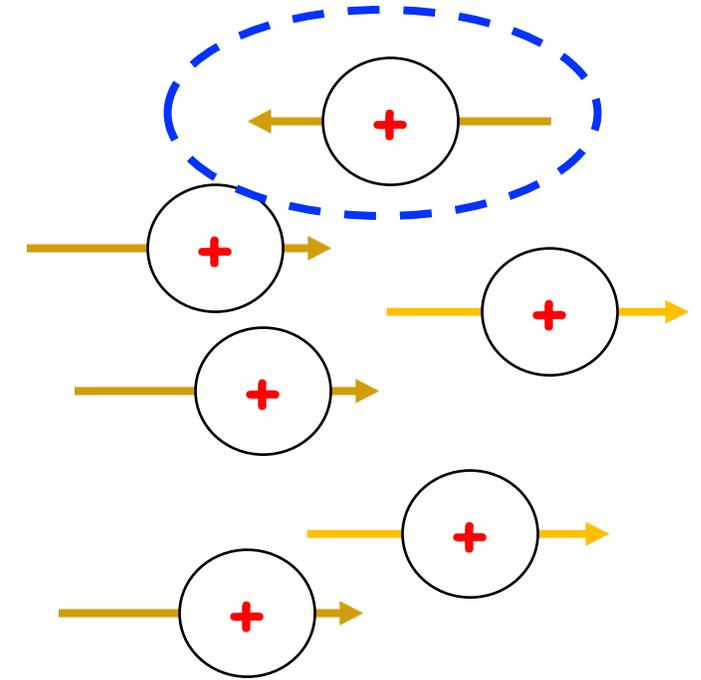
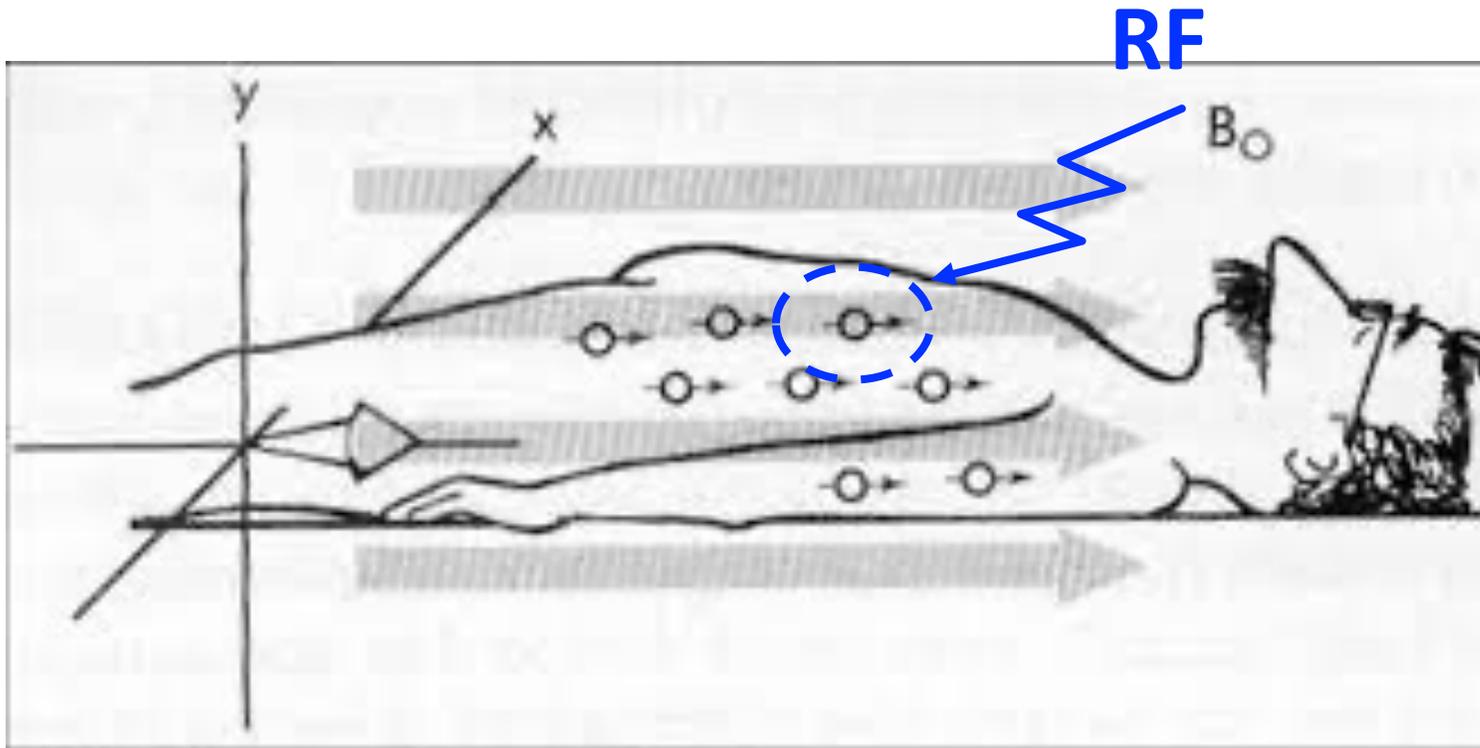


Questo **vettore magnetico risultante**, dato dalla **somma** dei vettori che erano puntati verso l'alto, ha una **direzione parallela**, e orientata in senso **longitudinale** rispetto a B_0 .



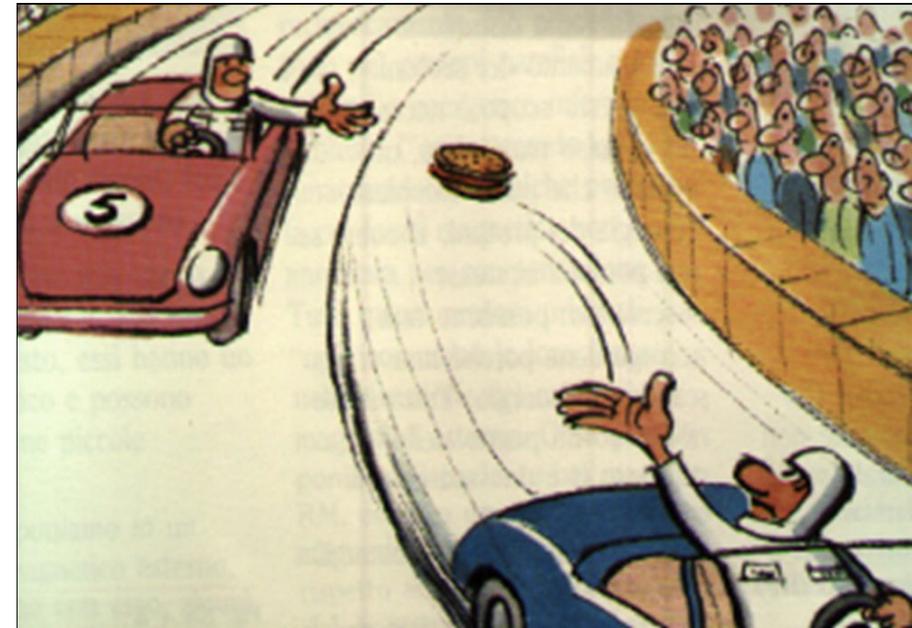


Questo dimostra che...
posizionando un **paziente**
in un apparecchio RM
questi **si comporta** come
un **magnete**, formando
esso stesso un **campo**
magnetico.



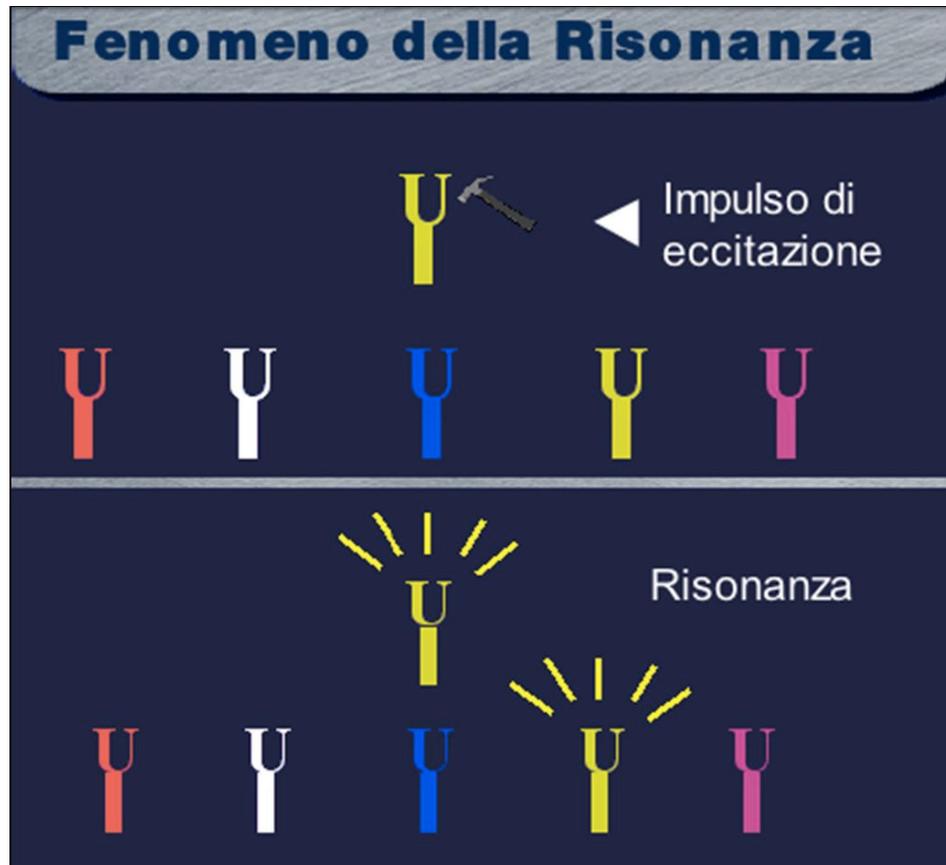
Non è possibile quantizzare la MML, in quanto parallela a B^0 . E' necessario perturbare il sistema. Ciò che noi **inviamo** al paziente è **un'onda elettromagnetica RF**, di breve durata, che ha lo scopo di **disturbare i protoni** che precedono in modo regolare, parallelamente al campo magnetico esterno.

L'impulso di RF non può essere casuale ma **selettivo**, deve avere la stessa frequenza, ovvero la **stessa velocità dei protoni**, se fosse minore lo scambio di energia sarebbe impossibile.



FENOMENO DELLA RISONANZA

Solo quando **impulso RF e protoni** hanno la **stessa frequenza**, questi possono assorbire energia dall' impulso radio.



Il termine risonanza può essere spiegato pensando a dei diapason in una stanza che emettono, ad esempio, le note "LA", "MI" e "RE". Se qualcuno entrasse nella stanza con un altro diapason che sta vibrando e questo diapason fosse un "LA", solo gli altri diapason "LA" inizierebbero a vibrare e ad emettere il suono dimostrando il fenomeno della risonanza.

Equazione di Larmor:

$$\omega_0 = \gamma B_0$$

ω_0 = frequenza di precessione
(MHz)

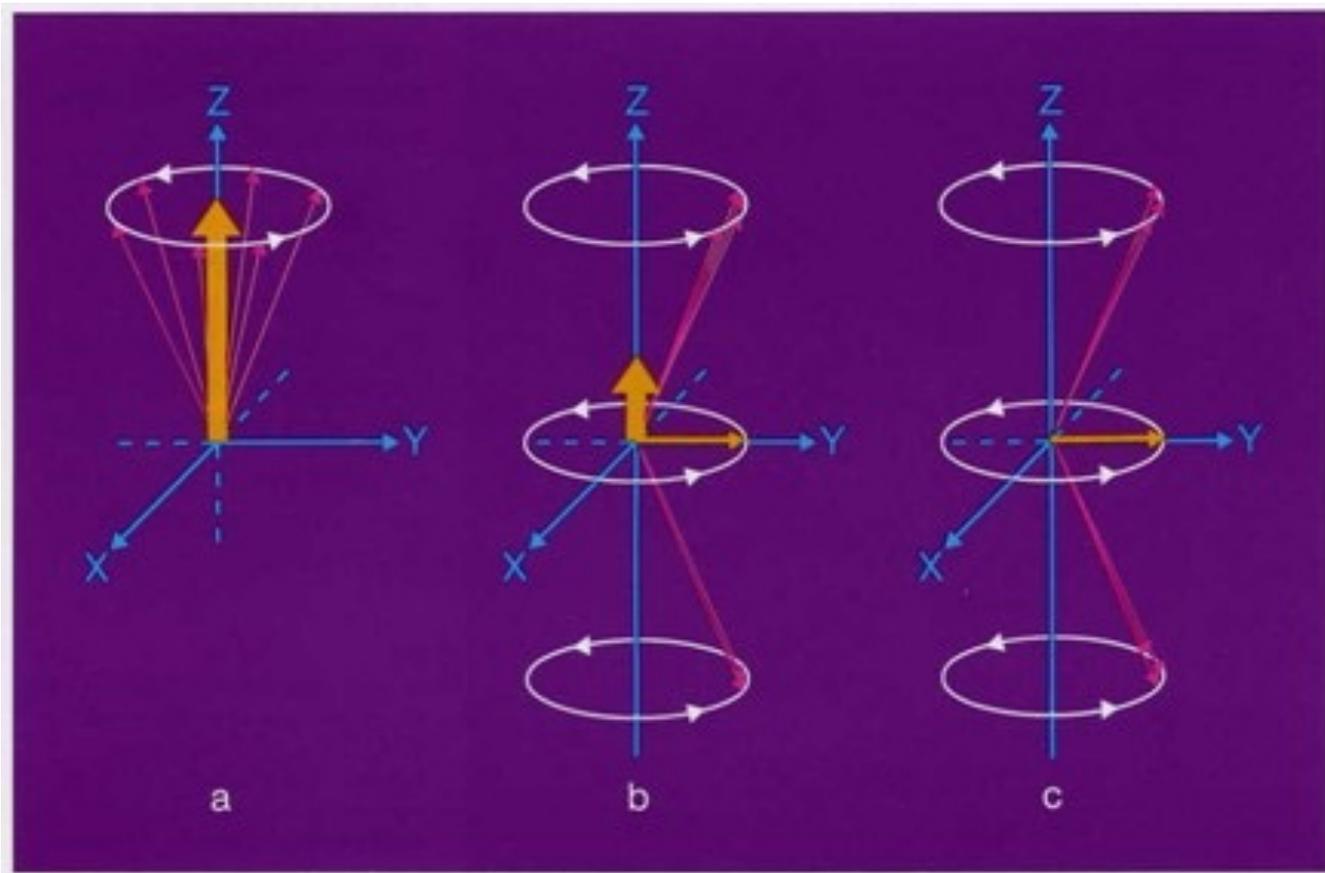
B_0 = forza campo magnetico
esterno (in Tesla)

γ = costante giromagnetica:
differente per diverse sostanze
(per H: 42,5 MHz/T)



Ci permette di conoscere
la frequenza dell'impulso
RF da inviare.

EFFETTI DELLA RF



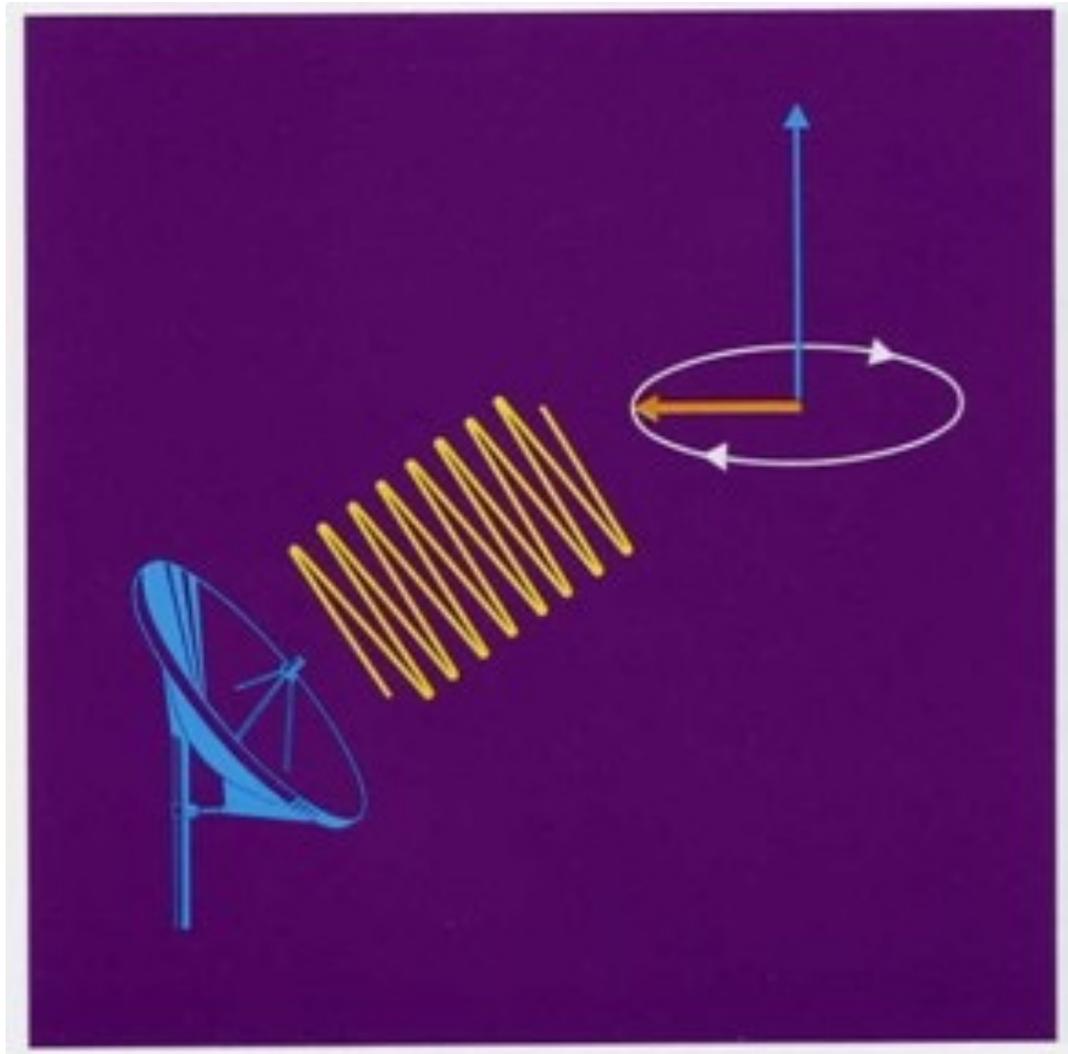
Alcuni **protoni** passano da un livello energetico inferiore UP ad uno **superiore DOWN**. Alcuni protoni che puntavano verso l'alto, dopo l'impulso, punteranno verso il basso.

Di conseguenza si avrà una **riduzione della MAGNETIZZAZIONE LONGITUDINALE**.

Contemporaneamente, l'impulso RF sincronizza i moti di precessione di tutti i protoni portandoli "in fase";

Sono, così, in grado di generare un unico **vettore "somma"**, il quale rappresenta la

MAGNETIZZAZIONE MACROSCOPICA TRASVERSALE.



La **magnetizzazione**
TRASVERSALE

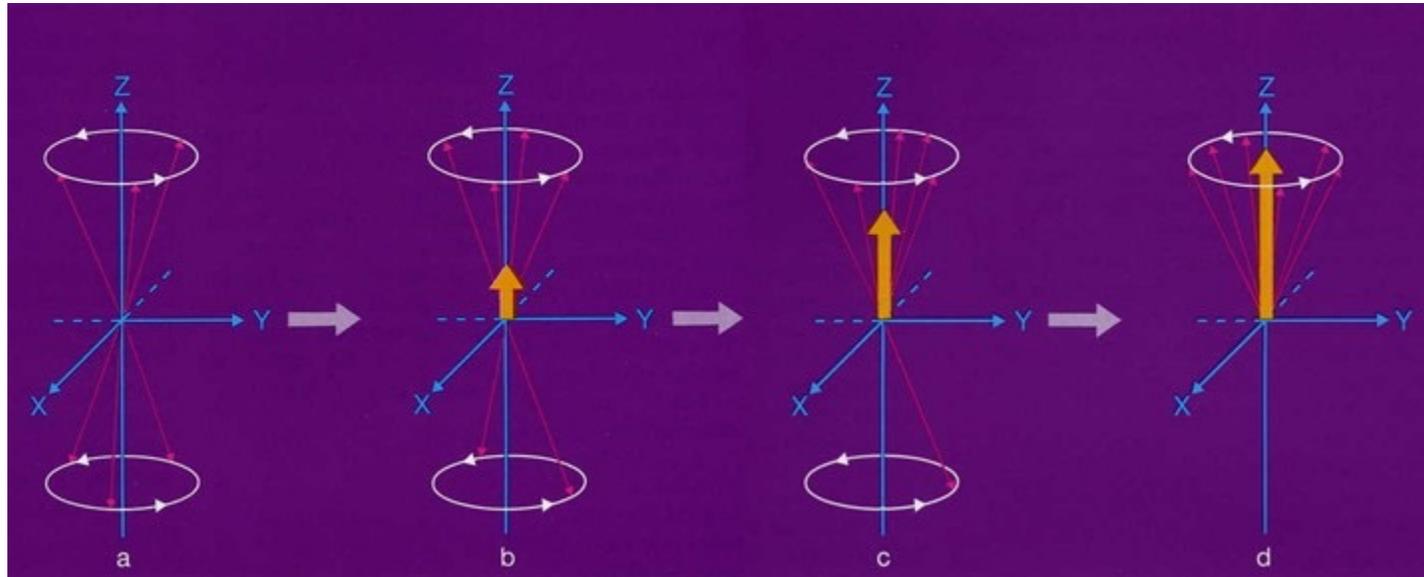
induce una **corrente elettrica** in
un'antenna (bobina).

Dove c'è un campo elettrico c'è
sempre un campo magnetico e
viceversa.

Questo **cambiamento del vettore**
magnetico che **induce una corrente**
elettrica in un'antenna costituisce il

SEGNALE RM.

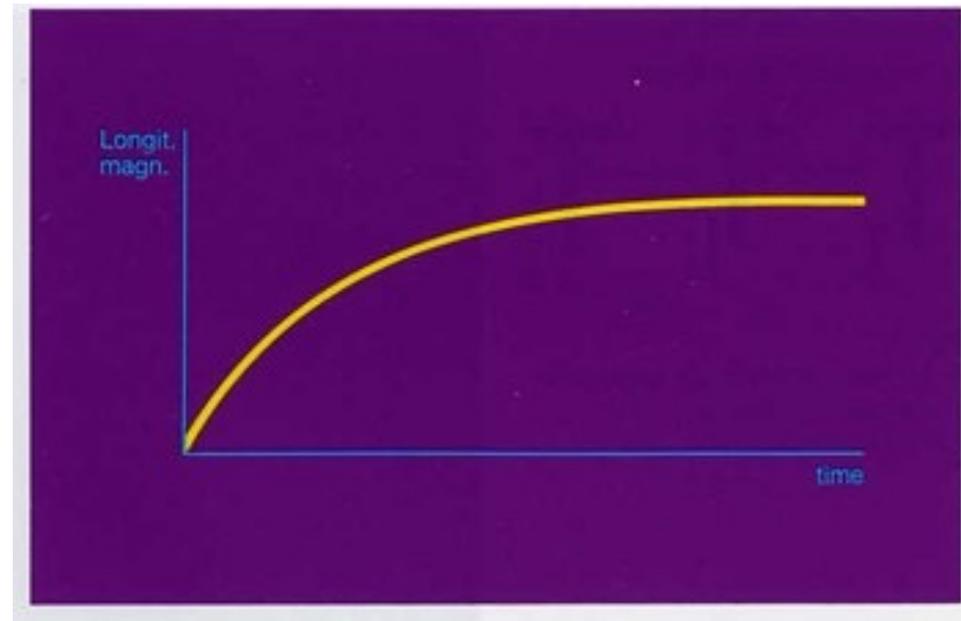
RILASSAMENTO



Non appena l'impulso RF è interrotto, il sistema che era stato disturbato torna allo stato originale (si rilassa). Scompare la magnetizzazione trasversale (**rilassamento trasversale**) e la magnetizzazione longitudinale ritorna allo stato originale (**rilassamento longitudinale**).

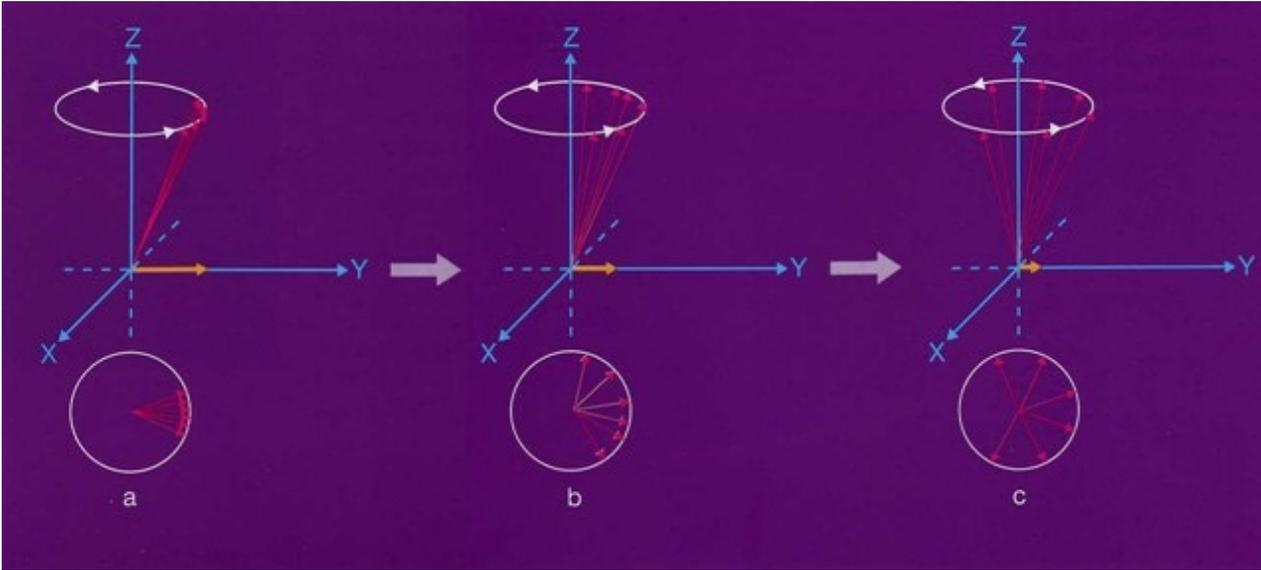
RILASSAMENTO LONGITUDINALE

L'energia assorbita dai protoni viene ceduta all'ambiente circostante (reticolo-lattice) sotto forma di energia termica ed essi tornano allo stato originario (rilassamento longitudinale o spin-lattice).

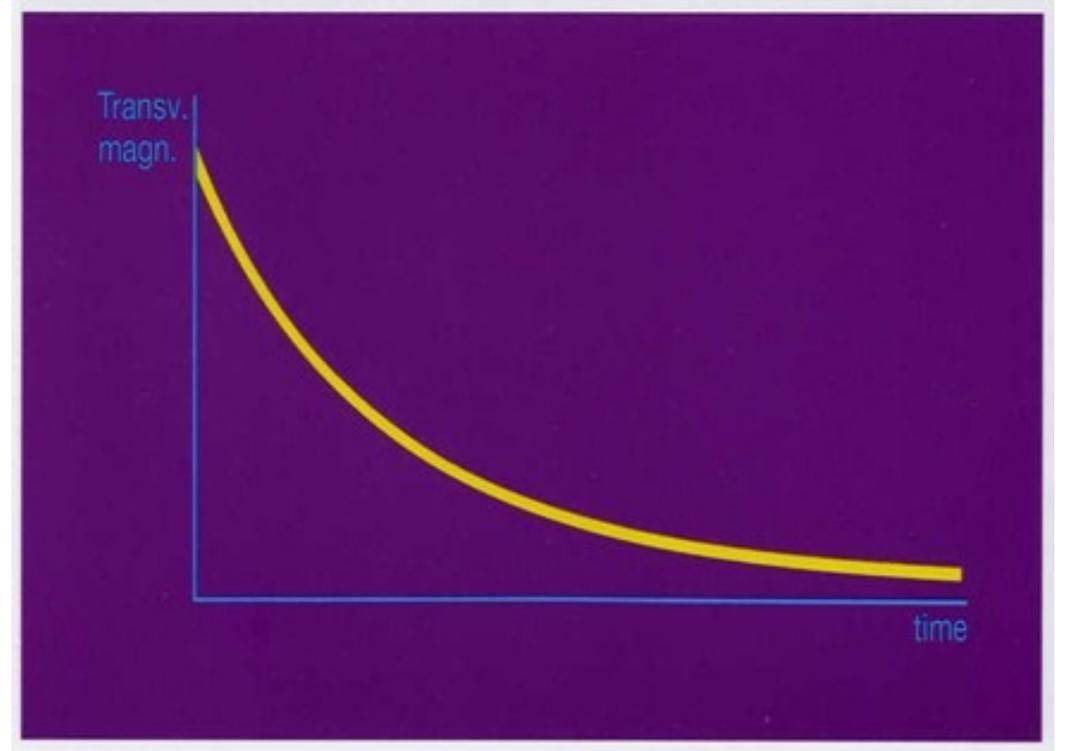


Il tempo necessario alla magnetizzazione longitudinale per tornare allo stato iniziale è chiamato anche T_1 . Il grafico della funzione T/ML è determinato da una curva che cresce con il tempo che descrive quanto velocemente avviene il processo.

RILASSAMENTO TRASVERSALE

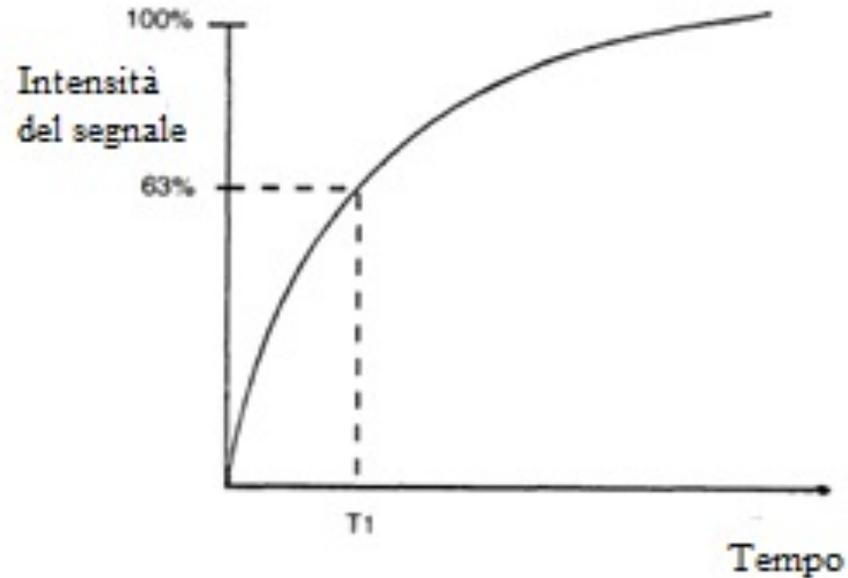


Quando l'impulso RF è interrotto, la MT tende a scomparire a causa dell'influenza dei piccoli campi magnetici dei nuclei vicini (*spin*) e delle inhomogeneità del campo esterno "tempo di rilassamento trasversale o spin-spin".



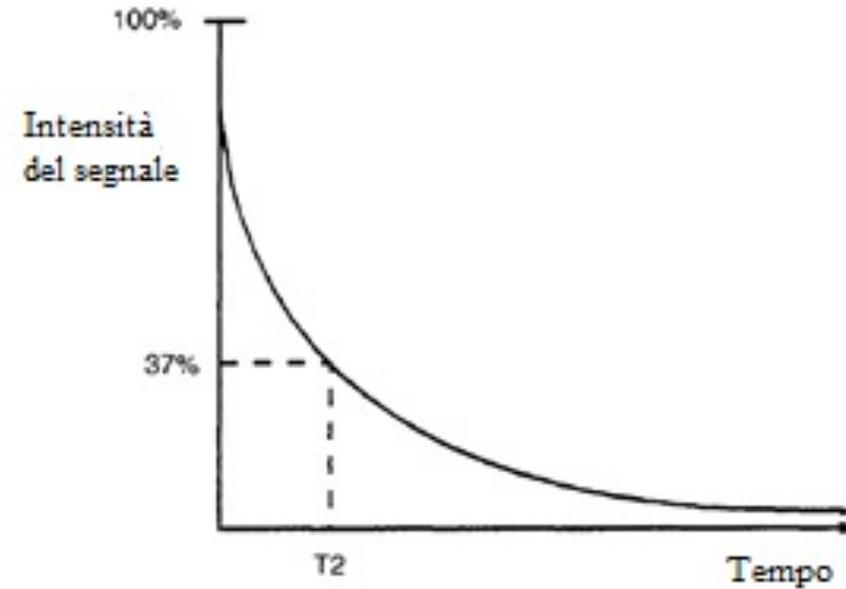
La curva T_2 tende verso il basso indicando che la MT diminuisce con il tempo.

QUANTO E' LUNGO IL TEMPO DI RILASSAMENTO?



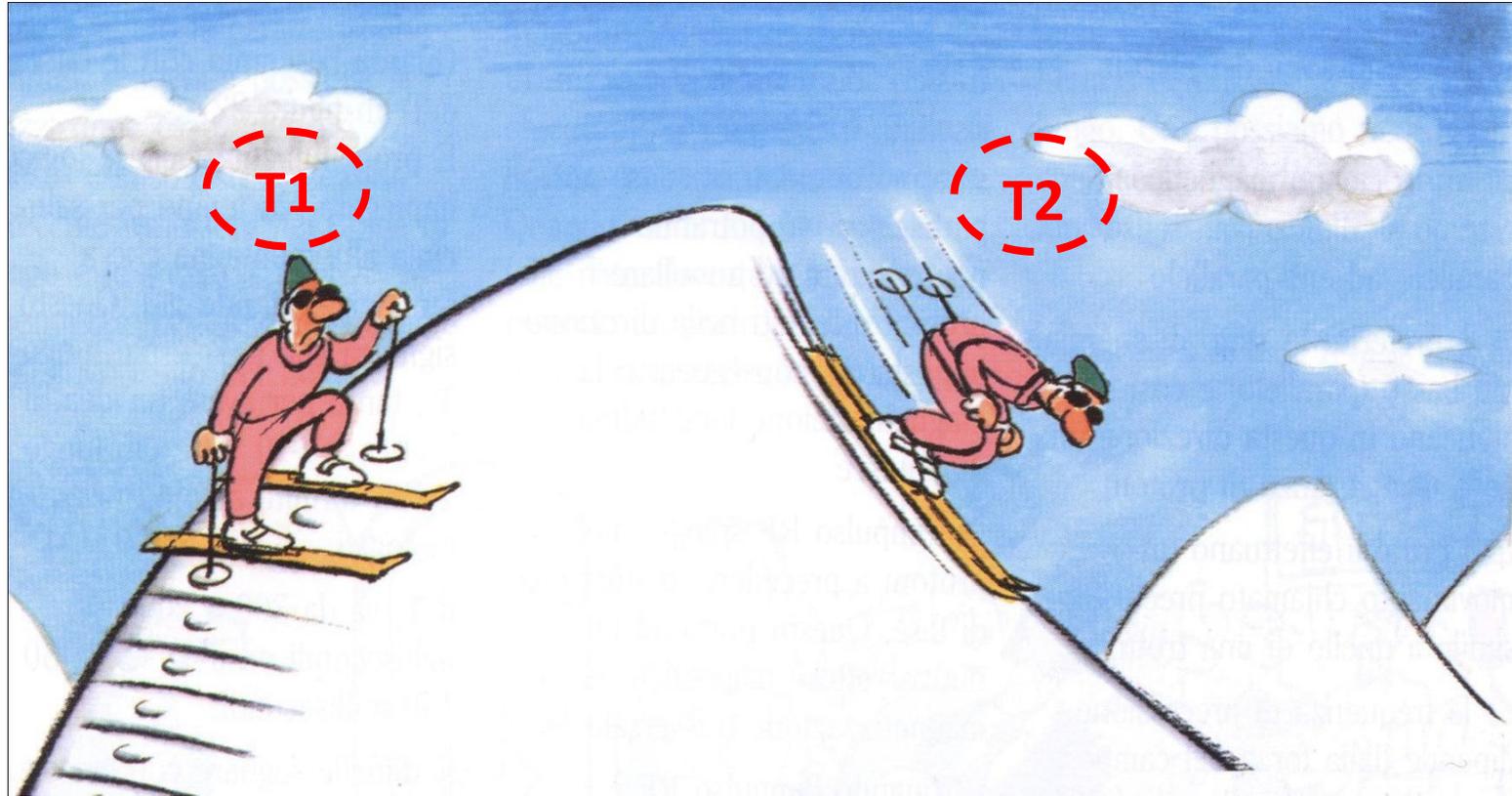
T_1 : tempo in cui si raggiunge il 63%
della ML originale

Da 300 a 2000 msec



T_2 : tempo in cui la MT decresce del
37% del valore originale

Da 30 a 150 msec

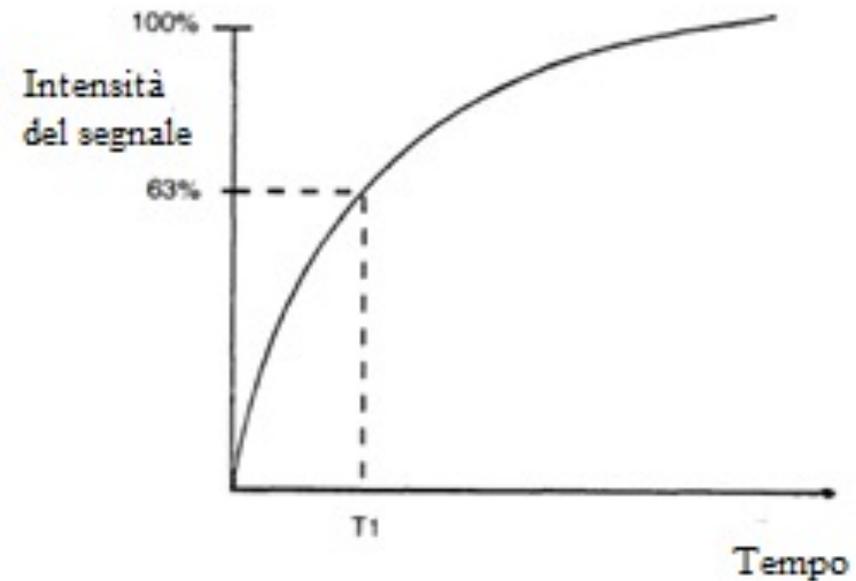


Il T_1 è più lungo del T_2 , è difficile segnare con esattezza quando termina uno e inizia l'altro.

L'unione delle due curve ricorda una **montagna**, ci vuole **più tempo per salire che per scendere**; ciò aiuta a ricordare che T_1 è più lungo del T_2 .

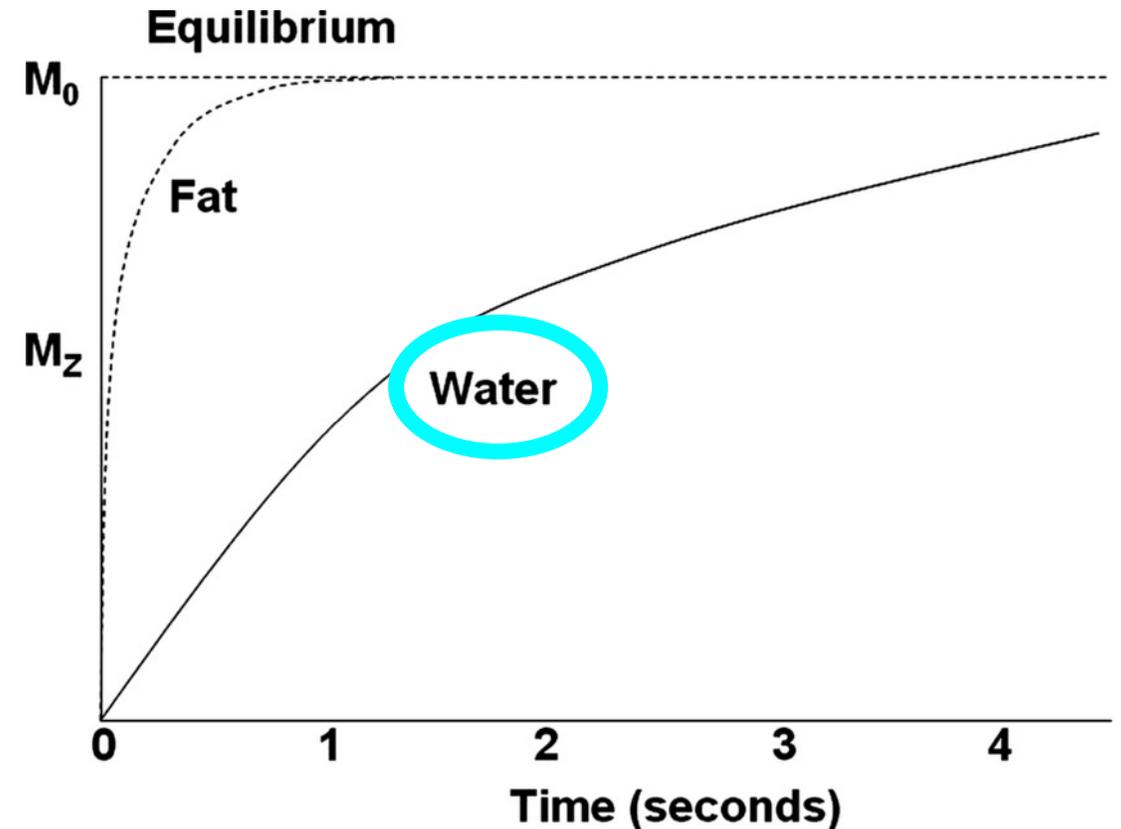
DA COSA DIPENDE IL T_1 ?

- Dalla composizione del tessuto
- Dalla sua struttura
- Dall'ambiente circostante



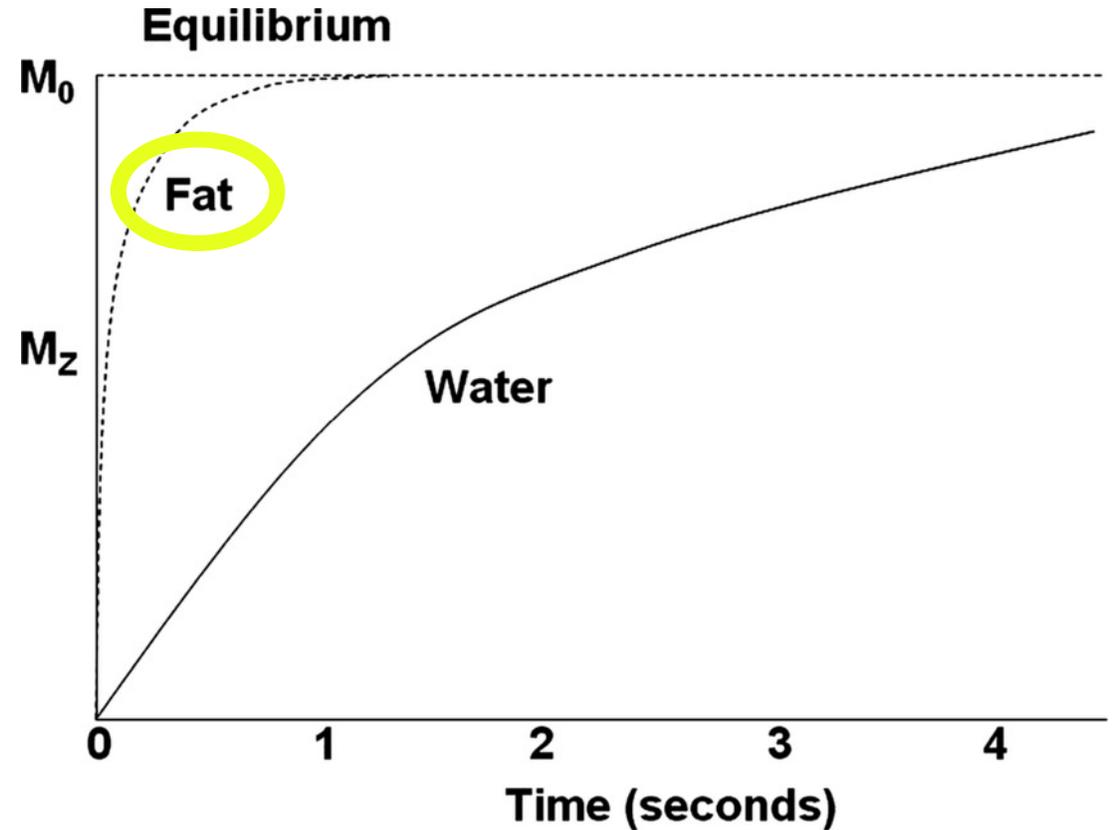
T1 ACQUA

Il T_1 è correlato allo scambio di energia termica che è ceduta dai protoni all'ambiente circostante, il reticolo. Quando il reticolo è formato da semplice liquido/acqua per i protoni risulta difficile liberarsi della loro energia perché le piccole molecole di acqua si muovono molto velocemente. I protoni quindi, torneranno molto lentamente al loro livello energetico più basso: ML. Questo significa che **liquidi/acqua hanno un T_1 lungo.**



T1 GRASSO

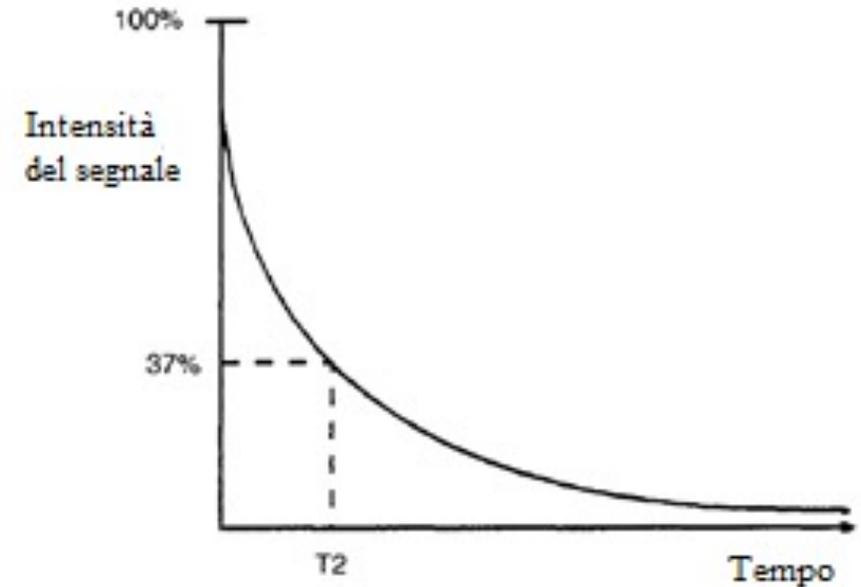
È costituito da molecole di dimensioni maggiori rispetto ai liquidi e i legami tra gli atomi di carbonio all'estremità delle catene di acidi grassi hanno una frequenza simile a quella di Larmor, così si ottiene un efficace trasferimento di energia.



COSA INFLUENZA IL T_2 ?

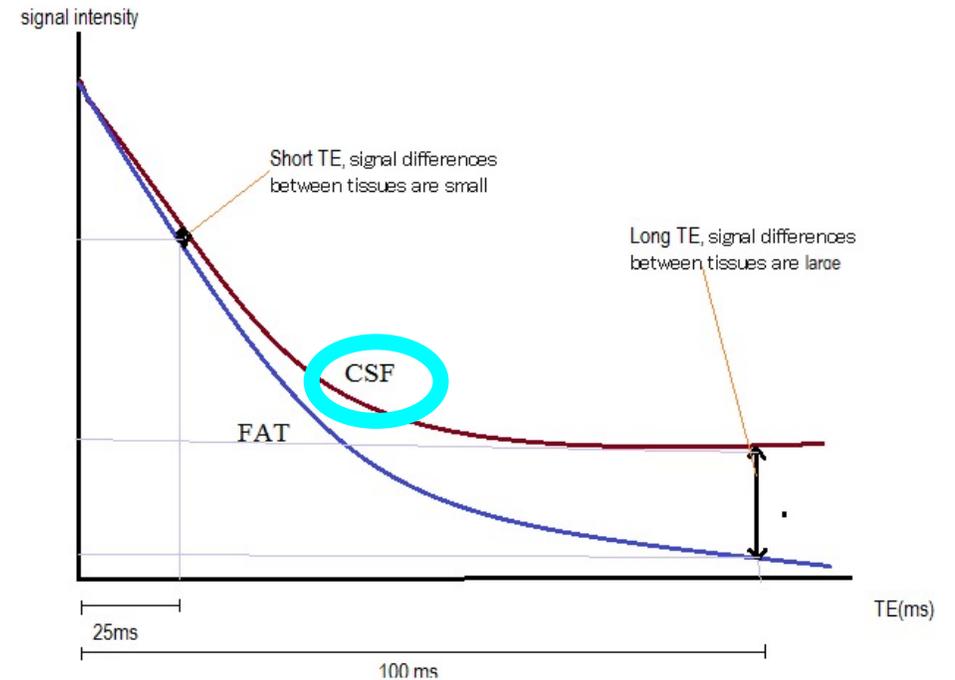
- Il rilassamento T_2 si ha quando i protoni vanno fuori fase, cosa che avviene in due situazioni:

1. Quando non sono omogenei i campi magnetici locali all'interno dei tessuti
2. Quando B^0 non è omogeneo



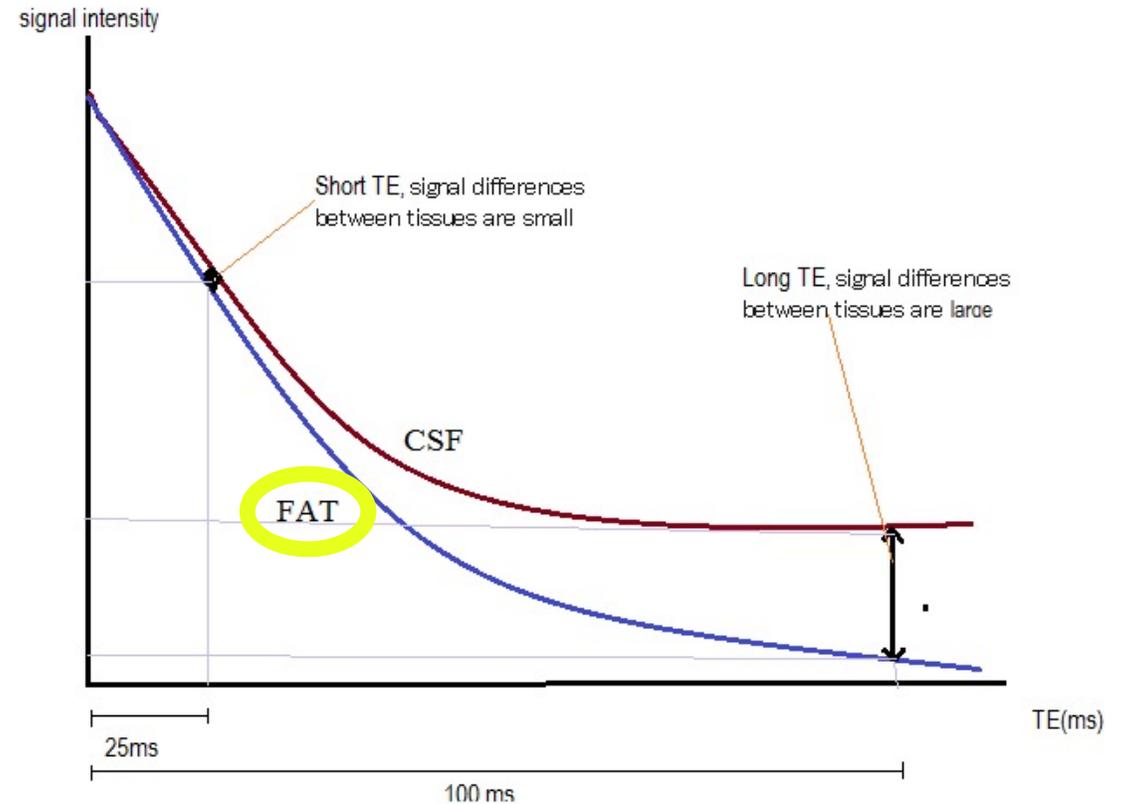
T2 ACQUA

Se non vi è grande differenza di energia nei campi magnetici all'interno dei tessuti, i protoni rimangono in fase per un lungo tempo e così il T2 risulta più lungo, come avviene per le molecole di acqua che ruotano molto velocemente e perciò si influenzano l'un l'altra, mantenendo in fase i protoni per un lungo tempo.



T2 GRASSO

Nei tessuti che contengono molecole di grandi dimensioni (grasso), vi sono maggiori variazioni nei campi magnetici locali, in quanto non ruotando molto velocemente, i loro campi magnetici locali non si annullano l'un l'altro in maniera significativa. Queste grandi differenze nei campi magnetici locali provocano una grande differenza nelle frequenze di precessione, così che i protoni escono di fase rapidamente.



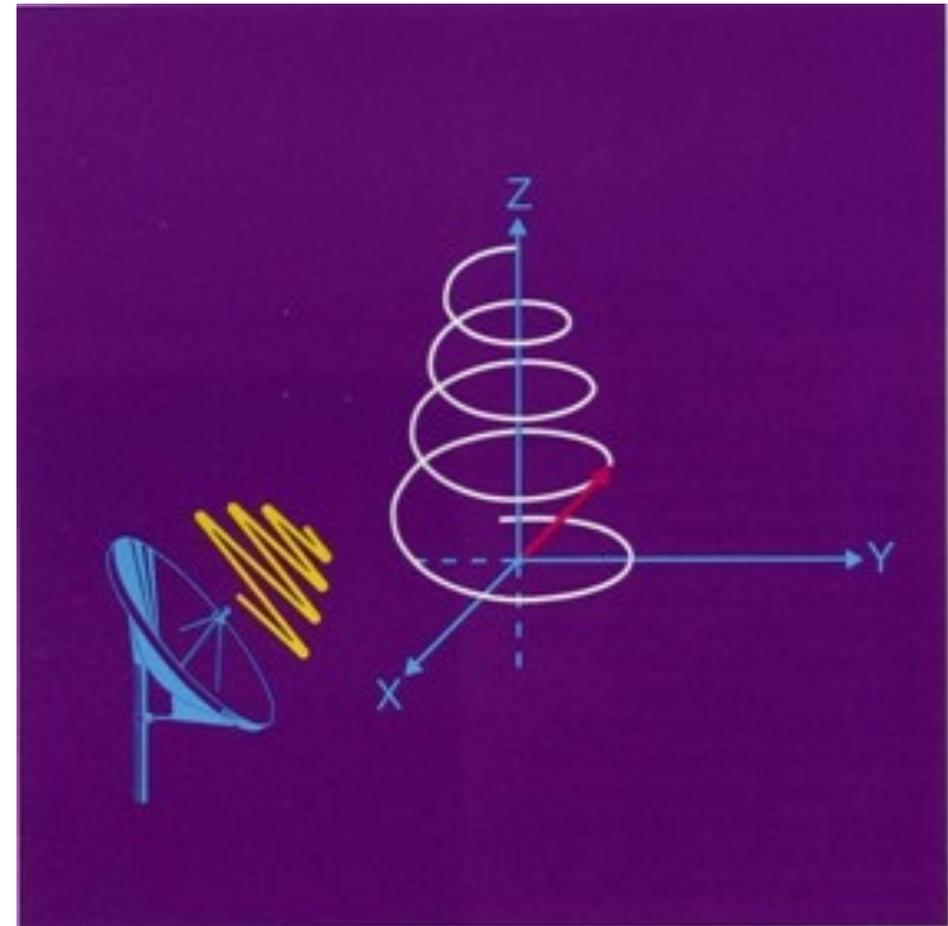
IL SEGNALE RM GENERATO IN SEGUITO AD
UNA ECCITAZIONE PUO' ESSERE DI DUE TIPI:

- FID (FREE INDUCTION DECAY)
- ECO

Free Induction Decay - FID

L'impulso di RF trasferisce energia agli spin che assumono un **moto di precessione** attorno alla direzione del CM B_0 con frequenza pari a quella di risonanza ed **angolo via via crescente**.

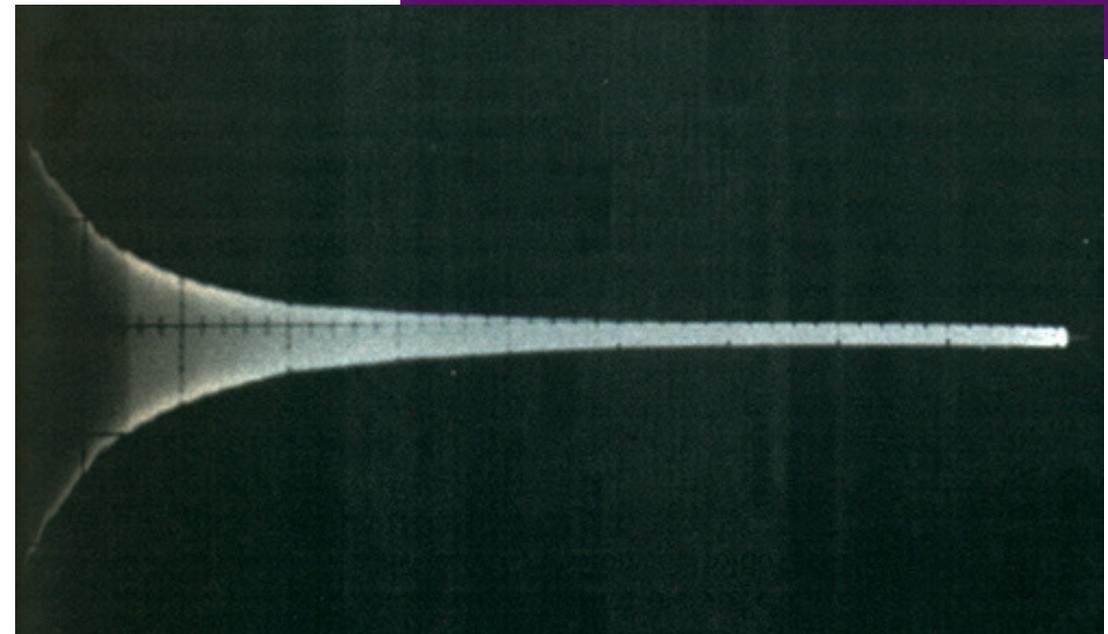
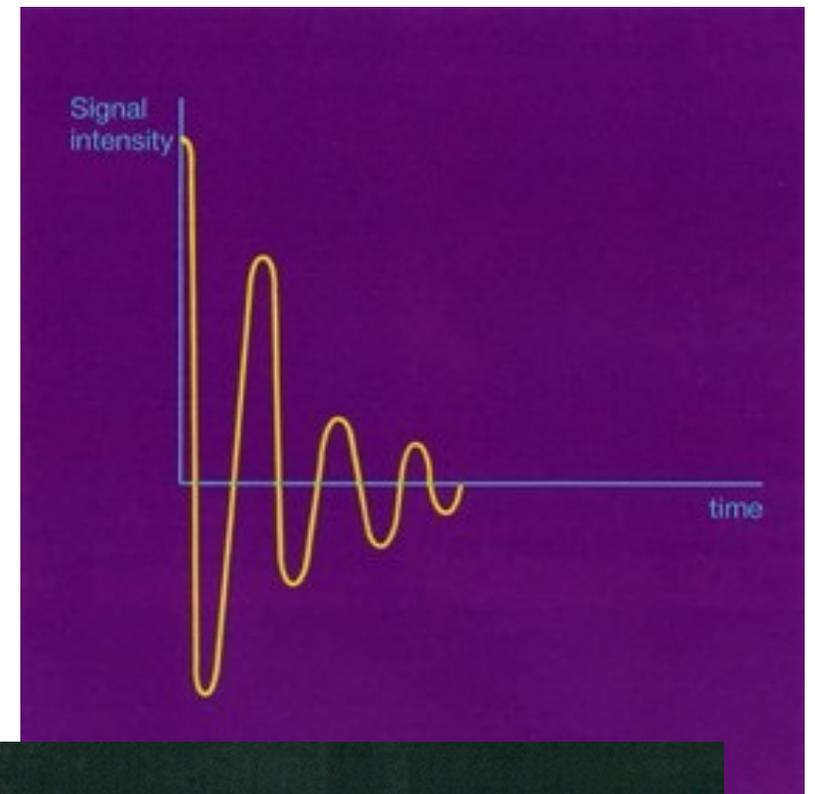
Arrestando la RF quando questo **angolo** è di 90° si instaura una condizione per la quale gli spin **precedono nel piano perpendicolare** alla direzione di B_0 e sono in condizione di indurre una **corrente nella bobina di ricezione** perpendicolare alla direzione di B_0 .



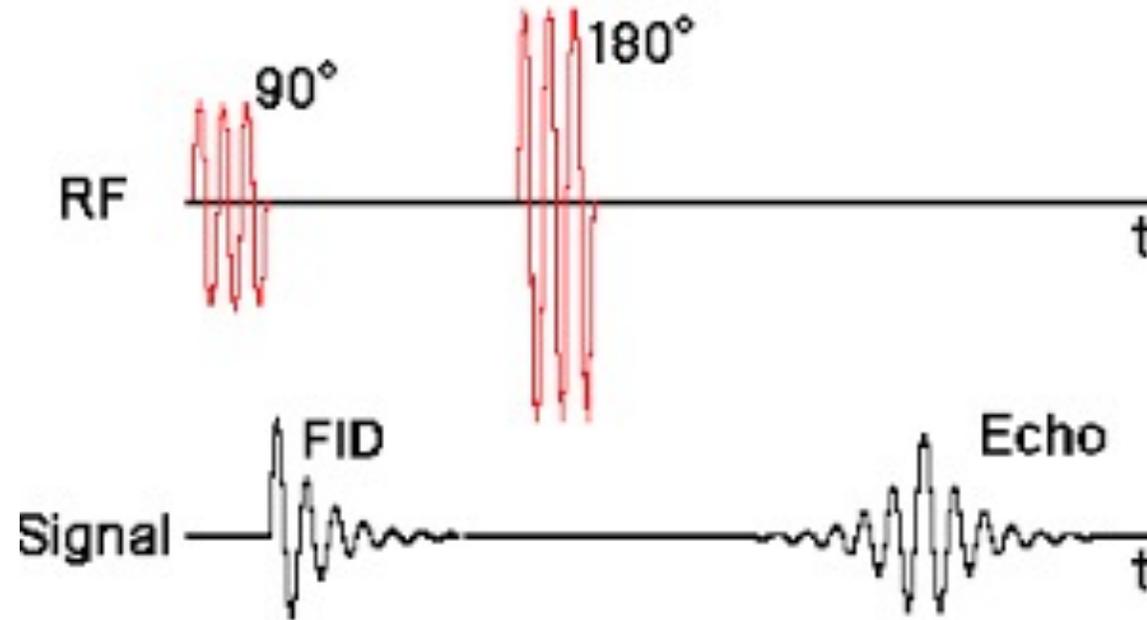
FID (Free Induction Decay)

Il **segnale ricevuto** dalla bobina costituisce la FID, ha un **andamento sinusoidale** alla frequenza di risonanza degli spin fino ad annullarsi.

Il segnale **FID** ha una grande importanza concettuale in quanto rappresenta il **FENOMENO DELLA RISONANZA MAGNETICA ALLO STATO PURO.**



SEGNALE ECO



Se si applica un impulso RF di 180° dopo un tempo maggiore di T_2 ma minore di T_1 (cioè dopo che il segnale è completamente decaduto ma prima che gli spin abbiano riguadagnato la condizione di equilibrio) è possibile ricostruire la iniziale coerenza di fase ed osservare una “eco” che è una replica della FID originale.

A brown line graph showing a decaying sine wave. The wave starts with a high amplitude on the left and gradually decreases in amplitude as it moves towards the right, eventually leveling out into a low-amplitude, high-frequency oscillation. The text "GRAZIE PER L'ATTENZIONE" is centered in the upper part of the image.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE