

CORSO DI LAUREA
TECNICHE DI RADIOLOGIA MEDICA, PER IMMAGINI E RADIOTERAPIA

CORSO INTEGRATO
«*FISICA E APPARECCHIATURE TC E RM – RMX012*»

ANNO ACCADEMICO 2025/2026



Gemelli



Insegnamento:
APPARECCHIATURE RISONANZA MAGNETICA
RMX054 - 13 ore MED/50 CFU 1

Formazione
per l'eccellenza

ott. '25

2° anno I semestre

Fondazione Policlinico Universitario Agostino Gemelli IRCCS
Università Cattolica del Sacro Cuore



Insegnamento:
APPARECCHIATURE RISONANZA MAGNETICA
RMX054 - 13 ore MED/50 CFU 1

MRI – Fenomeno RM e principi fisici



Gemelli



Equazione di Larmor

$$\omega_0 = \gamma B_0$$

ω_0 = frequenza di precessione (Hz)
 γ = costante giromagnetica (differente per diverse sostanze)
 B_0 = intensità campo magnetico esterno (T)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

ott. '25



Fondazione Policlinico Universitario Agostino Gemelli IRCCS
Università Cattolica del Sacro Cuore



TSRM Marino Gentile
Radiographer

Gemelli

+39 3280077833

✉ marino.gentile@outlook.com

✉ marino.gentile@policlinicogemelli.it

🌐 ^{ott. '25} <https://www.variodyne.it>

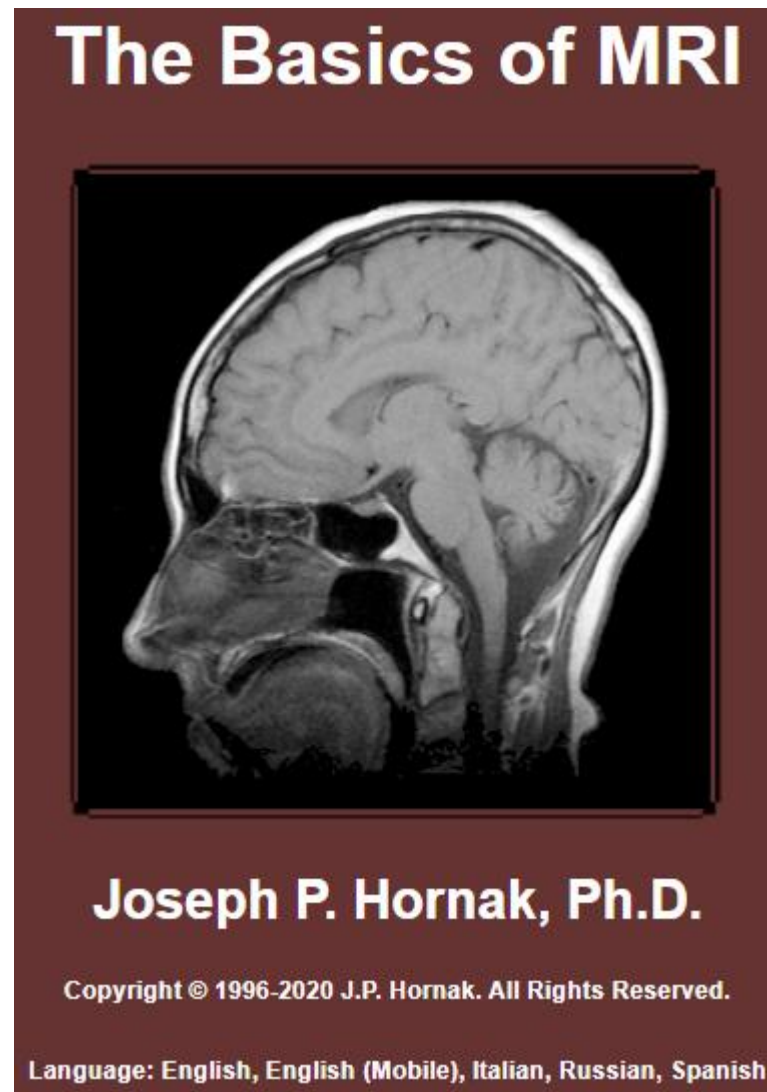


Fondazione Policlinico Universitario Agostino Gemelli IRCCS
Università Cattolica del Sacro Cuore



- G+ Introduzione
- G+ Sicurezza in RM
- G+ Mdc e sicurezza
- G+ Passato, presente e futuro della RM
- G+ **Fenomeno «RM» e principi fisici di base**
- G+ Magnete e i vari componenti
- G+ Radiofrequenza e Bobine
- G+ Gradienti
- G+ Generazione di un'immagine RM
- G+ Tecniche di acquisizione – *Parallel Imaging*
- G+ Intelligenza artificiale – *Deep Learning*
- G+ Artefatti
- G+ Esame RM
- G+ Sequenze RM
- G+ Apparecchiature Fondazione

<http://www.cis.rit.edu/htbooks/mri/>

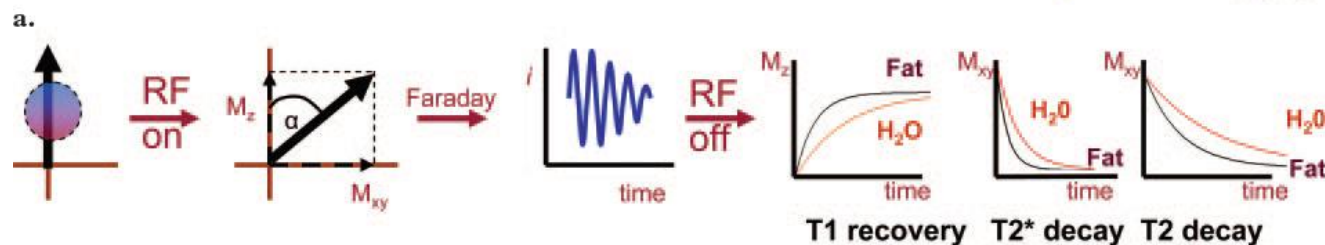
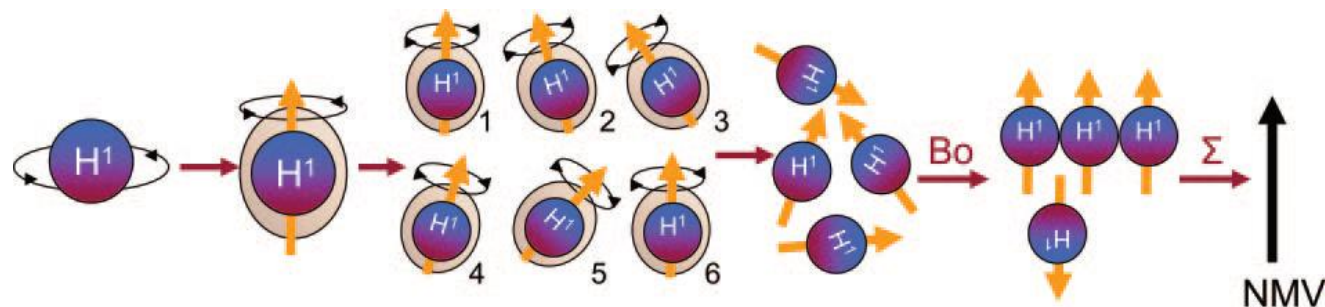


RadioGraphics

Teaching Points for MR Pulse Sequences: What Every Radiologist Wants to Know but Is Afraid to Ask

Richard Bitar, MD, MSc et al

<http://pubs.rsna.org/journal/radiographics>

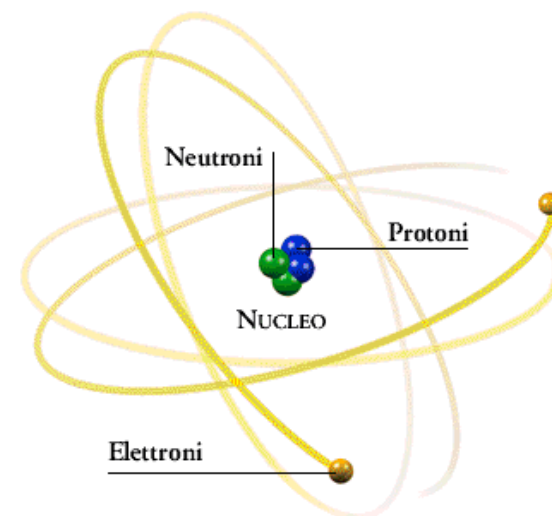


La **Risonanza Magnetica Nucleare** è un fenomeno che può avvenire quando i nuclei di alcuni atomi sono immersi in un campo magnetico statico (**B**) e vengono esposti ad un secondo campo magnetico oscillante. Alcuni atomi sperimentano questo fenomeno, mentre altri non lo sperimentano mai, e ciò dipende dal fatto che essi possiedano o meno una proprietà chiamata *spin*

L'**elettrone**, oltre al moto orbitale (movimento dell'elettrone nello spazio intorno al nucleo) ha il moto di spin (movimento dell'elettrone intorno al suo asse). L'elettrone, essendo carico elettricamente, si comporta durante il suo movimento come un minuscolo dipolo magnetico avente un suo movimento magnetico intrinseco.

Gli atomi sono le più piccole particelle caratterizzanti un elemento chimico.

Sono costituiti da un nucleo avente carica elettrica positiva, circondato a grande distanza da uno sciame di elettroni, aventi carica elettrica negativa.

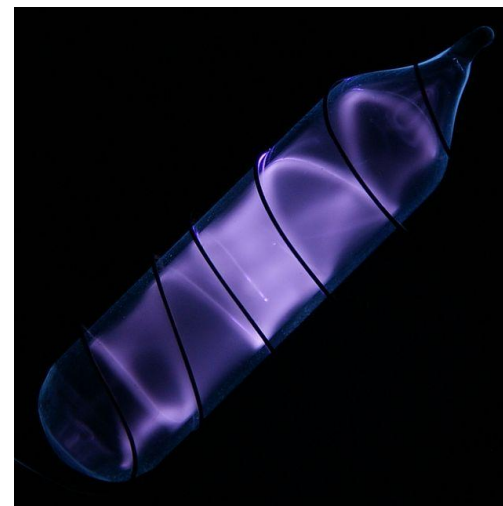
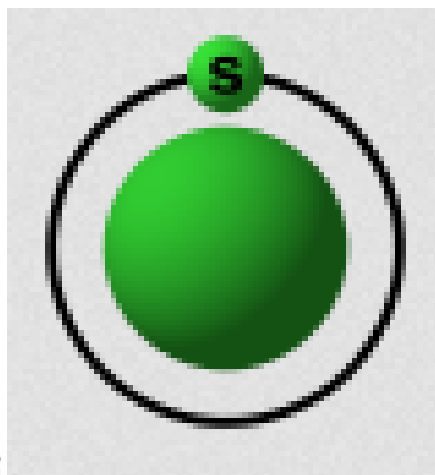


Nella fisica con il termine **nucleo atomico** generalmente si intende la parte centrale, densa, di un atomo, costituita da **protoni** che possiedono carica positiva e **neutroni** di carica nulla, detti collettivamente nucleoni.

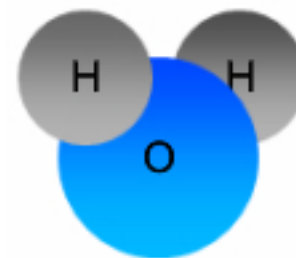
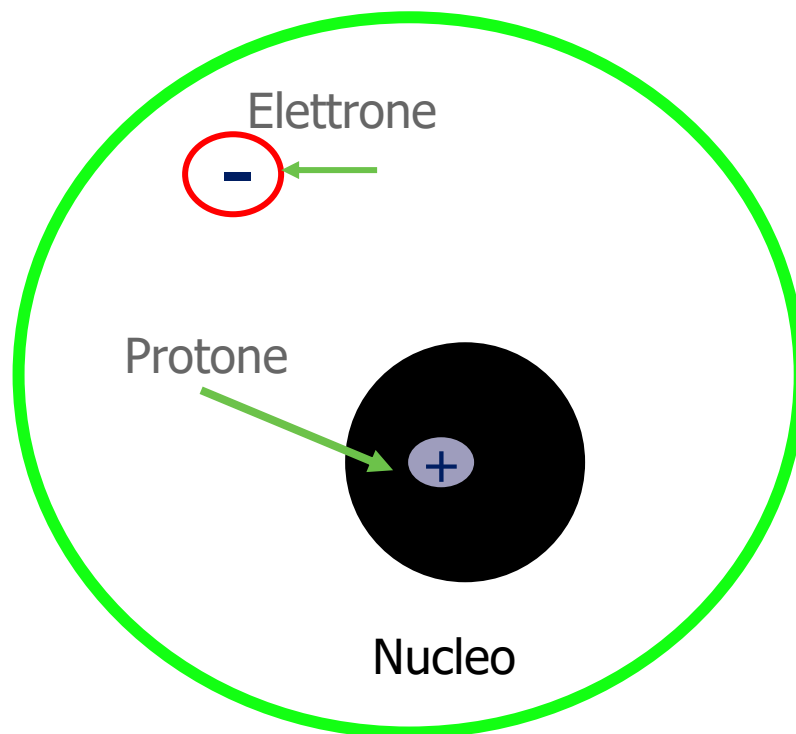
Il nucleo è caratterizzato da diversi parametri di cui i più importanti sono il numero di massa **A**, che rappresenta il numero totale di nucleoni presenti, il numero atomico **Z** che è il numero di protoni ed il numero neutronico **N** che rappresenta il numero di neutroni.

Vale la relazione: $A = Z + N$

Tra i tanti elementi dotati di $spin \neq 0$ presenti nei tessuti biologici [quali ^{13}C , ^{14}N , ^{19}F , ^{23}Na , ^{31}P e ^{39}K], l'**idrogeno** fu scelto come elemento per produrre l'imaging di RM poiché è l'elemento più semplice e più approfonditamente studiato da un punto di vista fisico, ma anche perché è il più abbondante nel corpo umano (è presente con una concentrazione di 10^{19} atomi per ogni mm^3 di tessuto) ed è dotato di un momento dipolare magnetico più intenso rispetto a quello degli altri elementi.



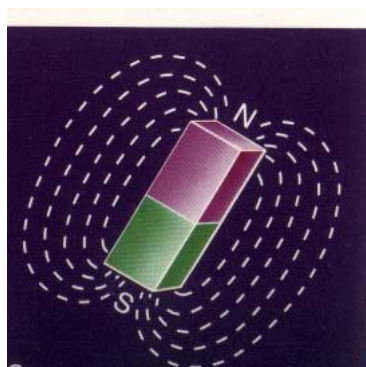
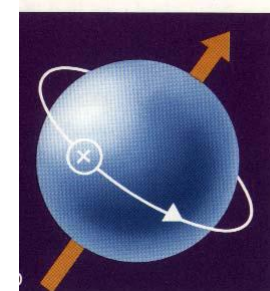
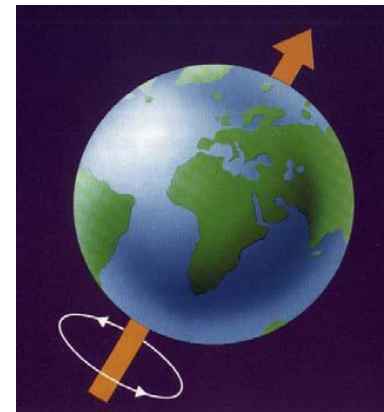
L'**idrogeno** (dal greco ὕδωρ "hydor", *acqua*; la radice γεν/γον significa *generare*, quindi *generatore d'acqua*) è il primo elemento chimico della tavola periodica degli elementi, ha come simbolo **H**



Il nucleo dell'idrogeno stabile è costituito da un solo protone, presenta quindi un numero di massa = 1 e un numero atomico = 1.

Un atomo di H è costituito da un nucleo protonico e da un singolo elettrone.

- I protoni sono piccole particelle dotate di carica elettrica positiva.
- Essi girano costantemente: ruotano attorno al loro asse (spin) così come fa la Terra
- Una carica elettrica in movimento genera una corrente elettrica
- A sua volta una corrente elettrica INDUCE un campo magnetico (Legge di Biot e Savart)



Da ricordare: il protone in movimento rotatorio attorno al proprio spin genera una corrente elettrica a cui è associato un campo magnetico quindi il protone può essere rappresentato come un piccolo magnete

Un **orbitale atomico** è lo spazio intorno al nucleo di un atomo in cui si ha la pratica certezza (95%) di trovare un certo elettrone, senza che sia possibile stabilire la sua posizione esatta in un dato istante.

Un orbitale atomico è caratterizzato da quattro numeri quantici:

n → **numero quantico principale**; può assumere solo valori interi positivi (1, 2, ..., n), è correlato all'energia orbitale elettronica del sistema.

l → secondo numero quantico, detto **numero quantico azimutale**, è correlato alla forma dell'orbitale; può avere solo valori interi a partire da 0 e fino ad un valore pari ad $(n-1)$: $l = 0, 1, 2, \dots, (n-1)$.

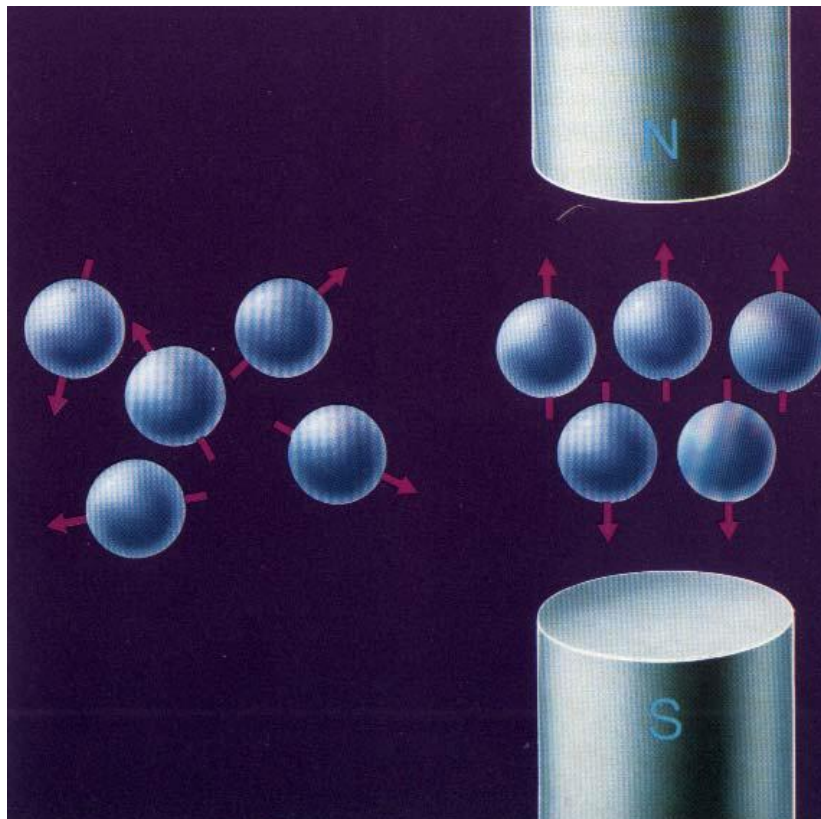
I valori di l sono state assegnate lettere dell'alfabeto, che sono le designazioni più comuni per la forma degli orbitali:

$l = 0$	$l = 1$	$l = 2$	$l = 3$	$l = 4$	
corrisponde a:	s	p	d	f	g

m → **numero quantico magnetico**, può avere valori interi sia positivi che negativi ma non superiori ad l ; è correlato all'orientamento dell'orbitale nello spazio

m_s → **numero quantico di spin**: può avere solo due valori: $+\frac{1}{2}$ e $-\frac{1}{2}$.

Cosa avviene ai protoni del corpo umano quando li poniamo in un campo magnetico esterno?



I protoni essendo piccoli magneti si allineano lungo le linee di forza del campo magnetico esterno come l'ago di una bussola nel campo magnetico terrestre

- Mentre l'ago della bussola può allinearsi con il campo magnetico terrestre in un solo modo, i protoni possono allinearsi con il campo magnetico esterno in direzione parallela o antiparallela

- In analogia possiamo immaginare di essere allineati in direzione parallela al campo magnetico terrestre quando camminiamo sui piedi e in direzione antiparallela quando camminiamo sulle mani.

Questi due tipi di allineamento corrispondono a due differenti stati energetici (uno più alto ed uno più basso)

- Indubbiamente camminare sui piedi richiede meno fatica che camminare sulle mani e questo corrisponde allo stato energetico più basso
- Lo stato energetico più basso è quello maggiormente popolato dai protoni

Attenzione: la differenza numerica fra i protoni presenti nei due livelli energetici è piccola. Questo inciderà su tutto quello che ci diremo fra poco

ma ...

i protoni all'interno del campo magnetico non sono fissi (fermi in posizione parallela o antiparallela) ma ruotano attorno al proprio asse (spin) allineato al campo magnetico esterno. Questa rotazione dei protoni è detta PRECESSIONE.

In analogia possiamo immaginare al moto rotatorio di una trottola in movimento: essa gira su se stessa descrivendo un'orbita a forma di cono senza cadere.

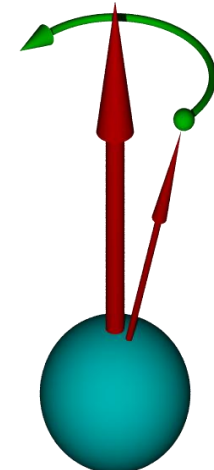
La velocità del movimento di precessione può essere misurata come FREQUENZA DI PRECESSIONE ovvero quante volte il moto di precessione si ripete in un secondo. La frequenza di precessione non è costante ma dipende dall'intensità del campo magnetico esterno: più è alta l'intensità del campo magnetico maggiore è la frequenza di precessione (**Equazione di**

Larmor)

Equazione di Larmor

$$\omega_0 = \gamma B_0$$

ω_0 = frequenza di precessione (Hz)
 γ = costante giromagnetica (differente per diverse sostanze)
 B_0 = intensità campo magnetico esterno (T)



Una particella atomica o sub-atomica ruota intorno al proprio asse (*moto di precessione*) secondo una costante detta *giromagnetica* (γ) determinata dal numero quantico di quella particella.



Il protone, mentre tende ad allinearsi lungo la direzione del campo magnetico applicato B_0 , è animato da un moto di precessione analogo a quello della trottola.

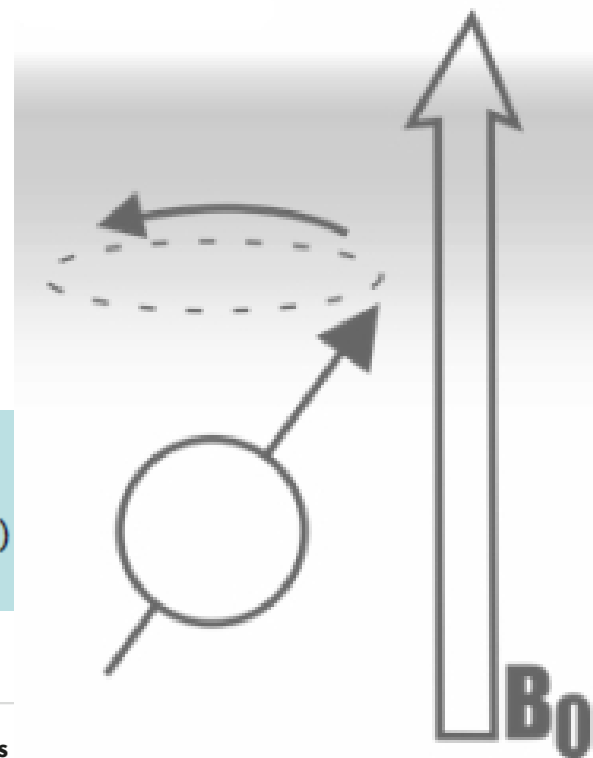
La frequenza angolare ω_0 del moto di precessione è proporzionale all'intensità del campo magnetico applicato B_0

$$\omega_0 = \gamma B_0$$

Equazione di Larmor

$$\omega_0 = \gamma B_0$$

ω_0 = frequenza di precessione (Hz)
 γ = costante giromagnetica (differente per diverse sostanze)
 B_0 = intensità campo magnetico esterno (T)



Equazione di Larmor

$$\omega_0 = \gamma B_0$$

ω_0 = frequenza di precessione (Hz)
 γ = costante giromagnetica (differente per diverse sostanze)
 B_0 = intensità campo magnetico esterno (T)

Per il nucleo di idrogeno il valore del rapporto giromagnetico γ è di 42.5756 MHz/T

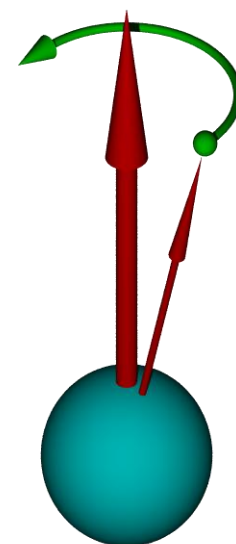
In un campo magnetico di 1,5T la frequenza di precessione dei protoni è di circa 64 MHz

0,5T: 42,5756/2=21,2878 MHz

1T : 42,5756 MHz

1,5T: 42,5756+21,2878=63,8634 MHz

3T: 42,5756*3=127,7268 MHz

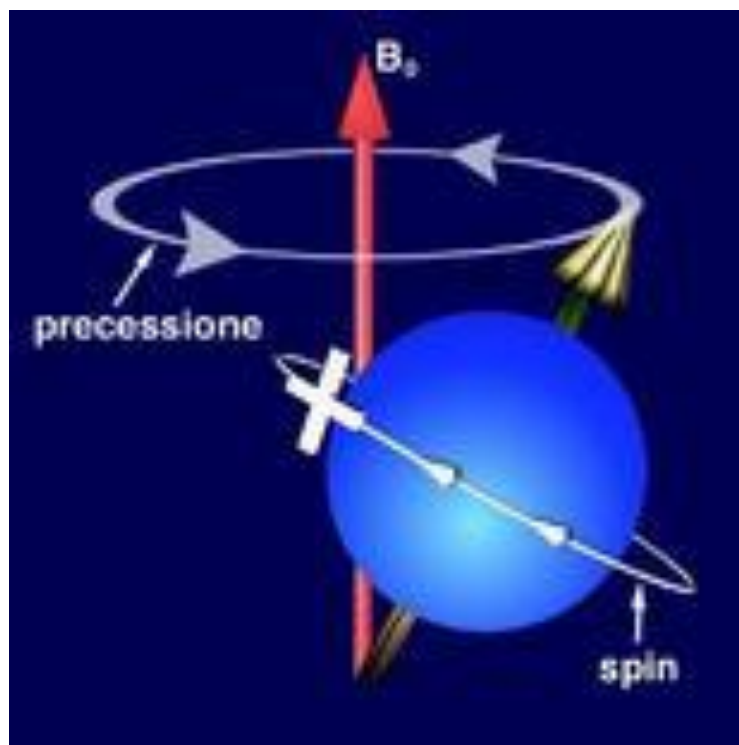


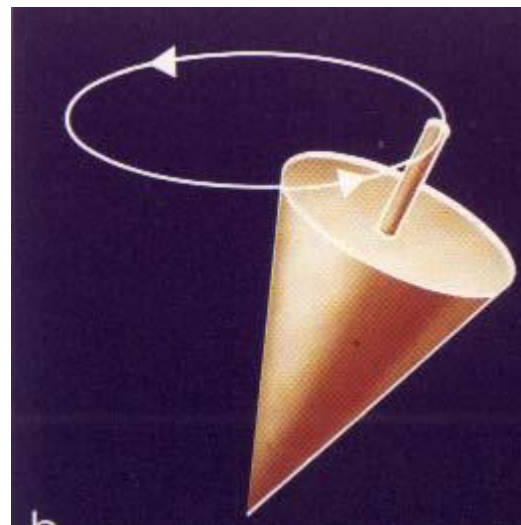
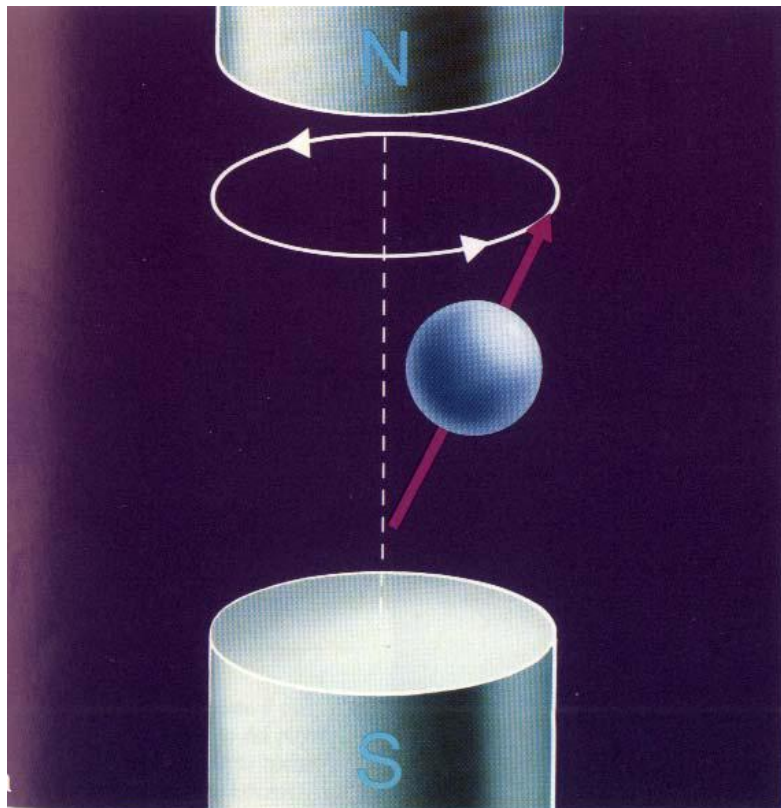
Equazione di Larmor

Equazione di Larmor

$$\omega_0 = \gamma B_0$$

ω_0 = frequenza di precessione (Hz)
 γ = costante giromagnetica (differente per diverse sostanze)
 B_0 = intensità campo magnetico esterno (T)





Equazione di Larmor

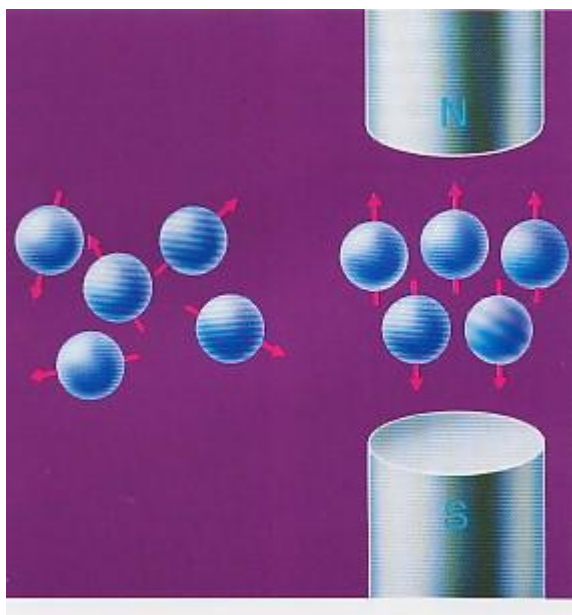
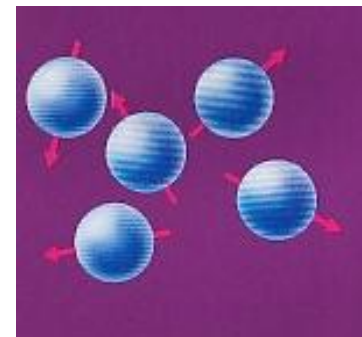
$$\omega_0 = \gamma B_0$$

ω_0 = frequenza di precessione (Hz)
 γ = costante giromagnetica (differente per diverse sostanze)
 B_0 = intensità campo magnetico esterno (T)

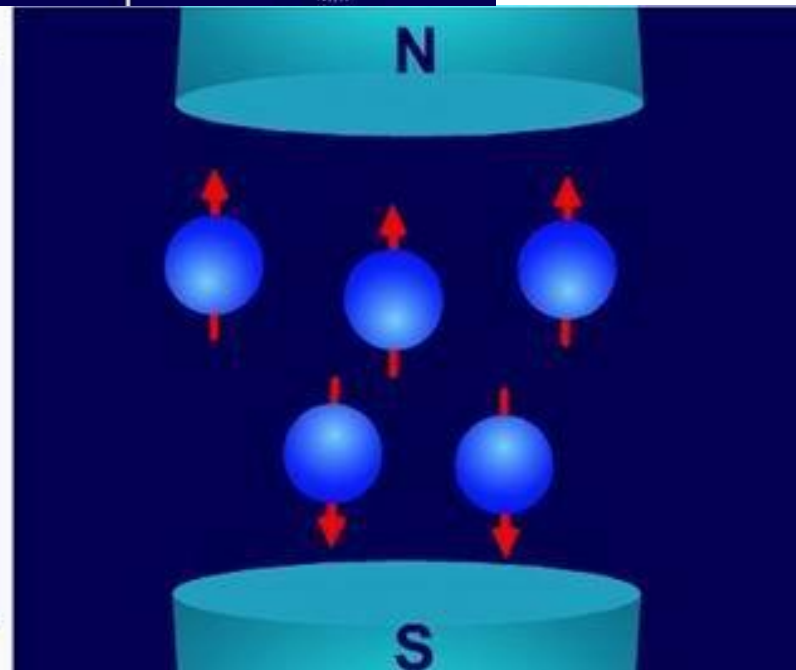
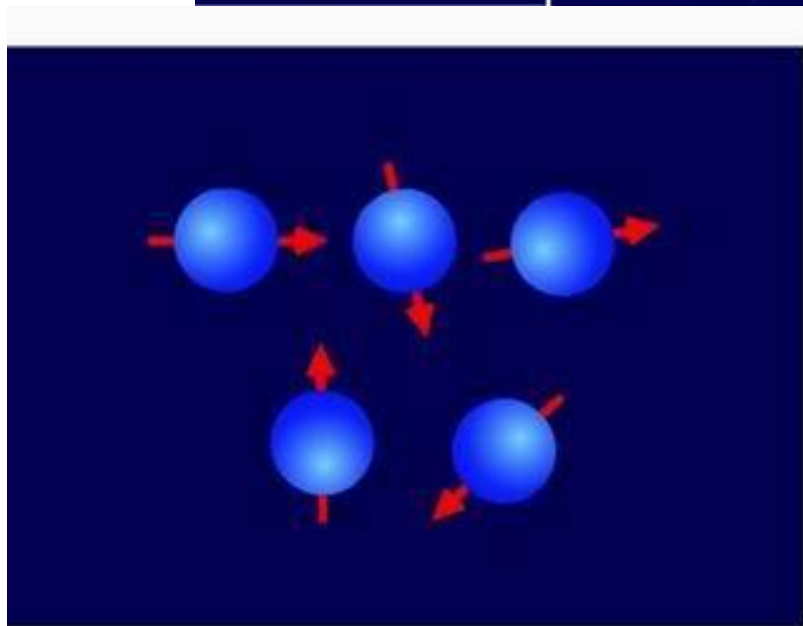
Se quella particella viene investita da una radiofrequenza identica alla propria frequenza di precessione la particella subisce la massima cessione di energia e il suo asse di rotazione si sposta drasticamente, il fenomeno si chiama **RISONANZA MAGNETICA** ma non determina alcun effetto macroscopico



Infatti considerando la particella dell'atomo di H (protone), maggiormente rappresentata nei tessuti biologici, queste sono tutte in discordanza di fase e quindi non si può determinare alcun effetto macroscopico applicando qualsiasi radiofrequenza.



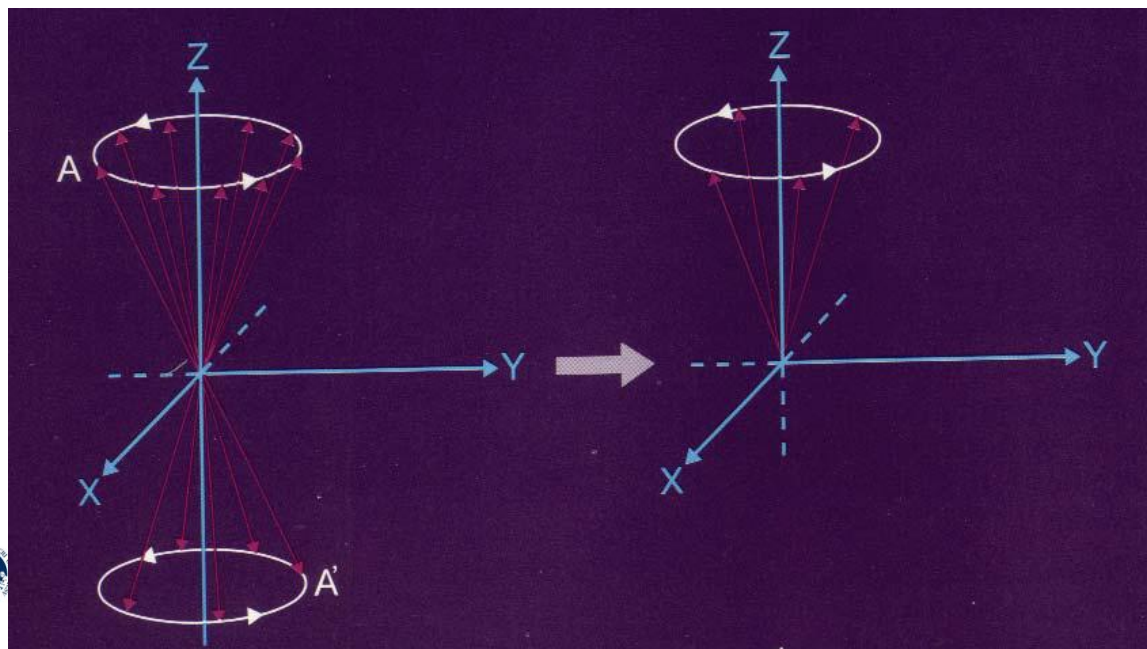
Se però applichiamo un campo magnetico ad alta intensità (unità di misura è il Tesla $1 \text{ Tesla} = 10.000 \text{ Gauss}$) tutti i protoni entrano in concordanza di fase, **ruotano alla stessa frequenza di precessione** e si orientano secondo l'asse del campo magnetico in direzione parallela e, meno numerosi in direzione antiparallela (posizione energeticamente più elevata)



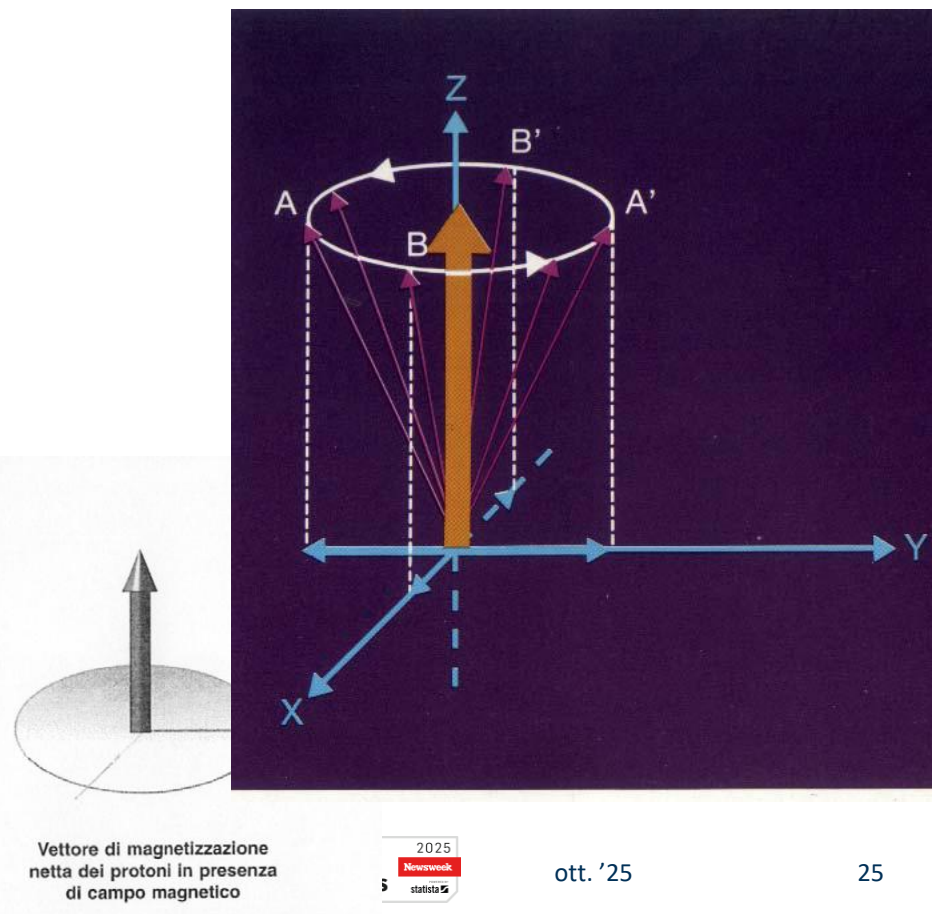
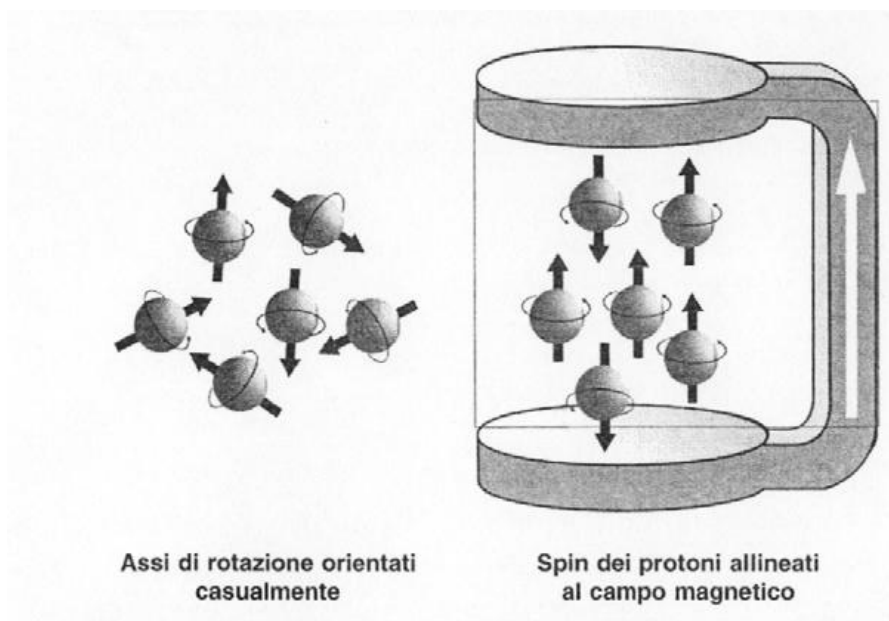
Spin protonici ad orientamento casuale e sottoposti a campo magnetico stazionario

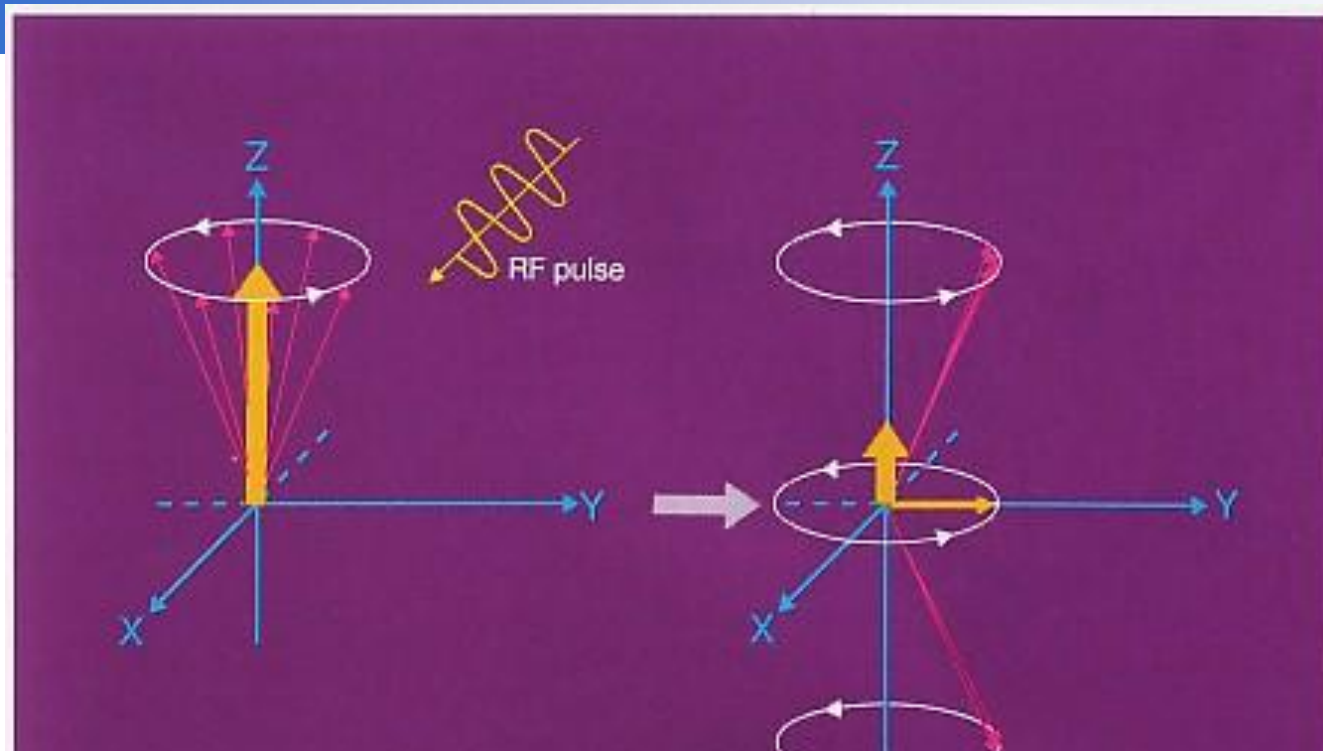
Tornando ai protoni immersi in un campo magnetico esterno...

- I milioni di protoni del corpo umano immersi nel campo magnetico si orientano nella posizione parallela o antiparallela (ricordiamo che il maggior numero di protoni è contenuto nello stato energetico più basso: posizione parallela).
- Le forze magnetiche in direzioni e versi opposti (alto, basso, destra, sinistra) si annullano reciprocamente (si pensi a due persone che con pari forza tirano dalla parte opposta reciprocamente un oggetto)
- **RISULTATO: PER OGNI PROTONE RIVOLTO VERSO IL BASSO (verso antiparallelo) ci sarà un protone rivolto verso l'alto che annulla i suoi effetti magnetici**

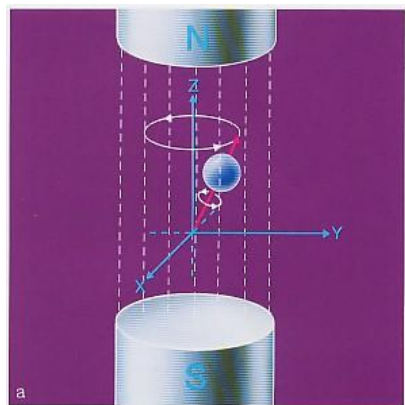


Quali protoni sopravvivono? Quelli lungo la direzione Z cioè lungo il campo magnetico esterno. Quindi avremo un vettore magnetico risultante nella direzione del campo magnetico esterno e questo vettore è la somma dei vettori dei protoni che erano puntati verso l'alto e prende il nome di **MAGNETIZZAZIONE LONGITUDINALE** in quanto è una magnetizzazione orientata in direzione longitudinale



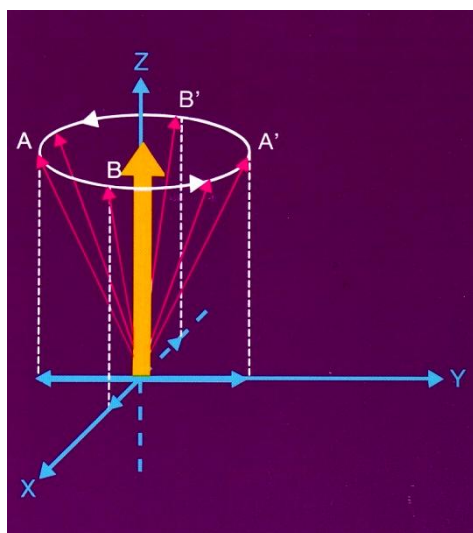
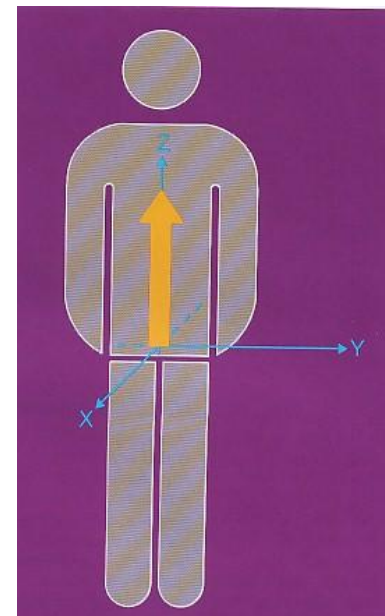


Applicando ora un impulso di radiofrequenza con frequenza uguale a quella di precessione di tutti i protoni si verificherà il fenomeno della RISONANZA MAGNETICA, la **MML** si riduce e compare la **magnetizzazione macroscopica trasversale (MMT)** sull'asse y. L'angolo di ribaltamento si definisce Flip Angle (in questo caso di 90°)



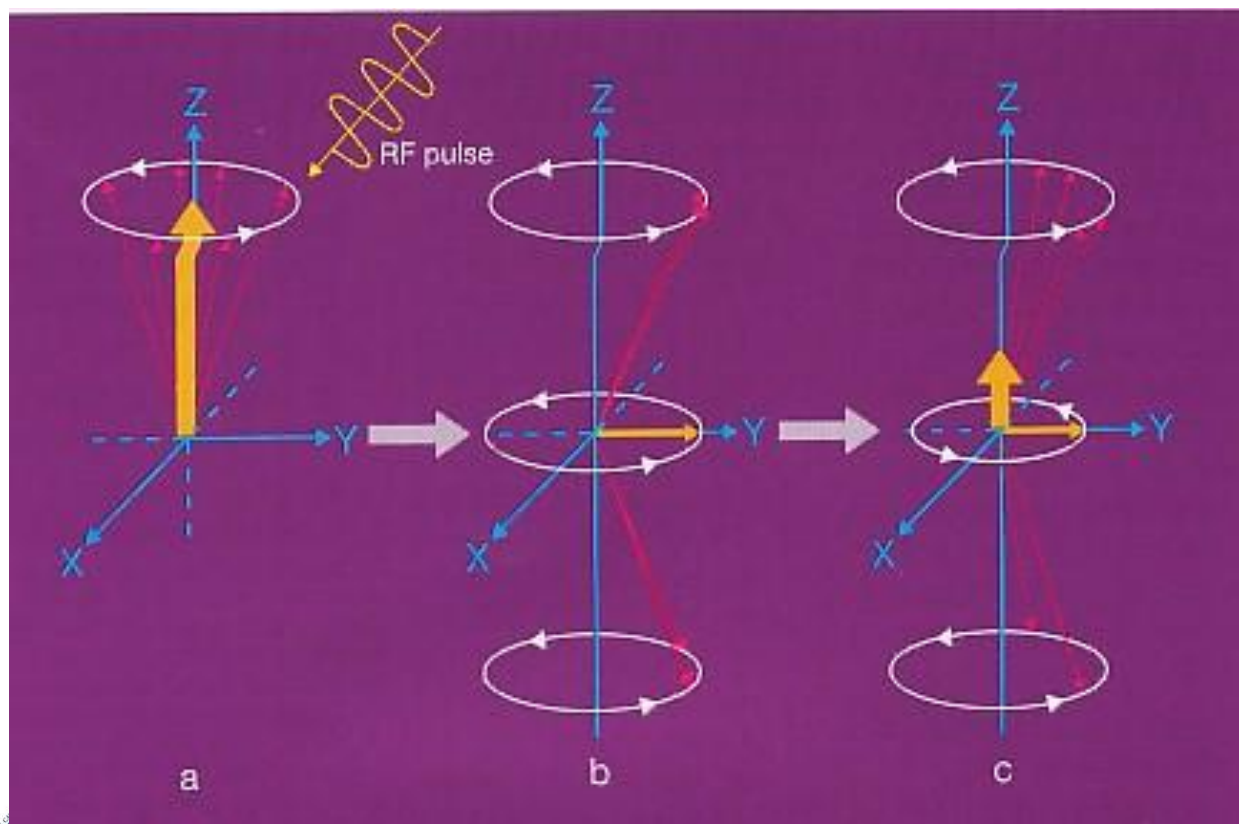
Oltre all'asse principale del magnete (asse z) vanno anche ricordati gli altri due piani ortogonali x e y .

A questo punto si può considerare la somma vettoriale del momento magnetico di tutti i protoni orientati sull'asse z e la definiamo **magnetizzazione macroscopica longitudinale (MML)**

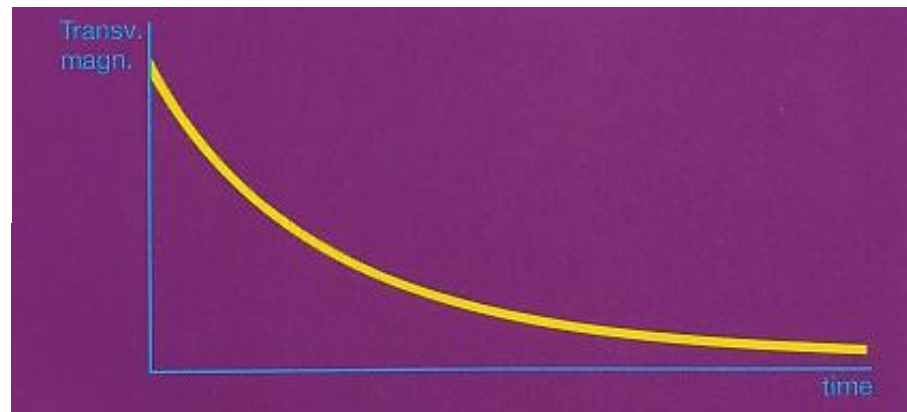
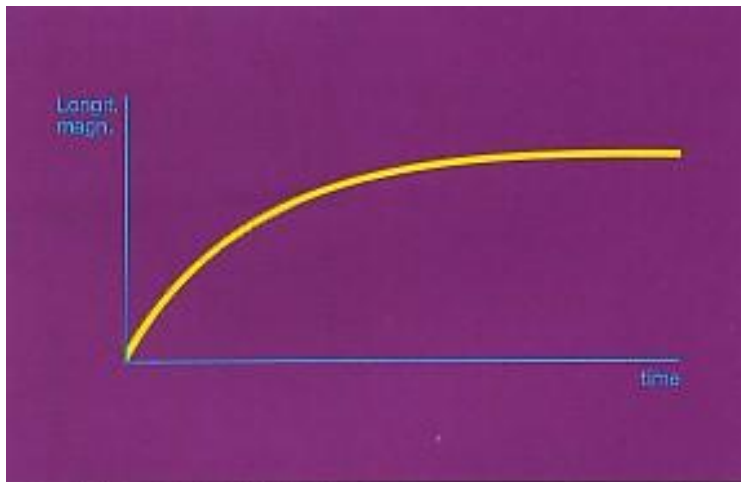


IN CONDIZIONI DI EQUILIBRIO LA
MAGNETIZZAZIONE MACROSCOPICA M E'
ALLINEATA CON IL CAMPO MAGNETICO (B_0)

Se a questo punto si sospende l'applicazione della radiofrequenza, per una legge fisica generale, il sistema tenderà a tornare all'equilibrio e si riacquisterà la **magnetizzazione macroscopica longitudinale (MML)**

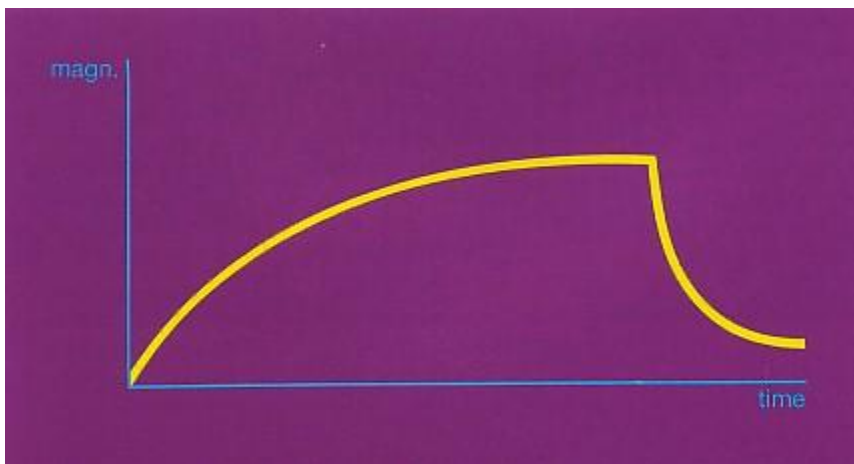


La **MML** si recupera al cessare dell'applicazione della radiofrequenza e cresce nel **tempo**



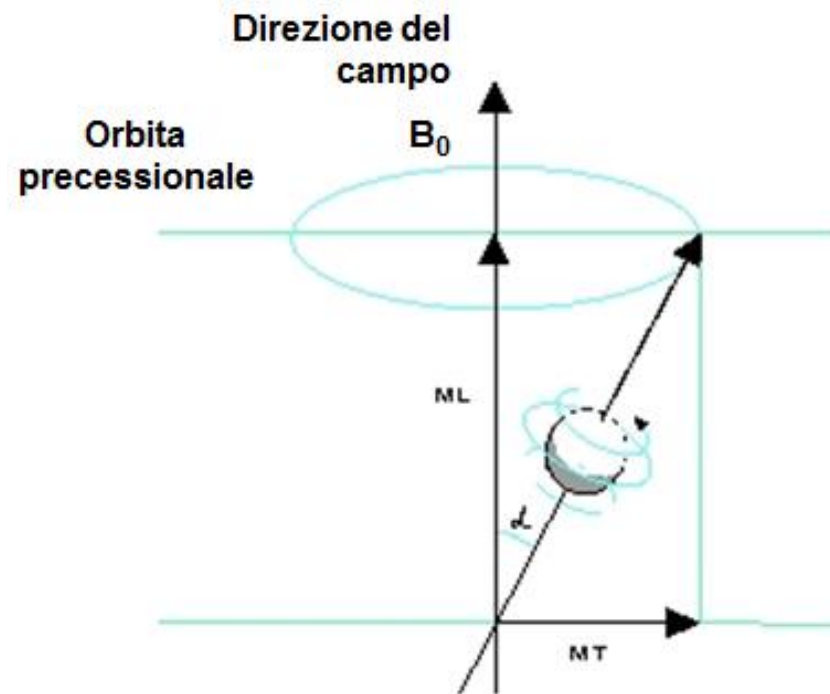
La **MMT** decresce al cessare della applicazione della radiofrequenza e decade nel **tempo**

La **Magnetizzazione Macroscopica** quindi può essere perturbata dalla radiofrequenza di L. secondo una funzione di **tempo**



Il ritorno del sistema all'equilibrio con il recupero della MML e la scomparsa della MMT si definisce “**rilassamento**”; è una funzione di tempo e varia per i diversi costituenti molecolari:

ACQUA LIBERA, ACQUA LEGATA, GRASSO, METALLI, SANGUE, ecc.

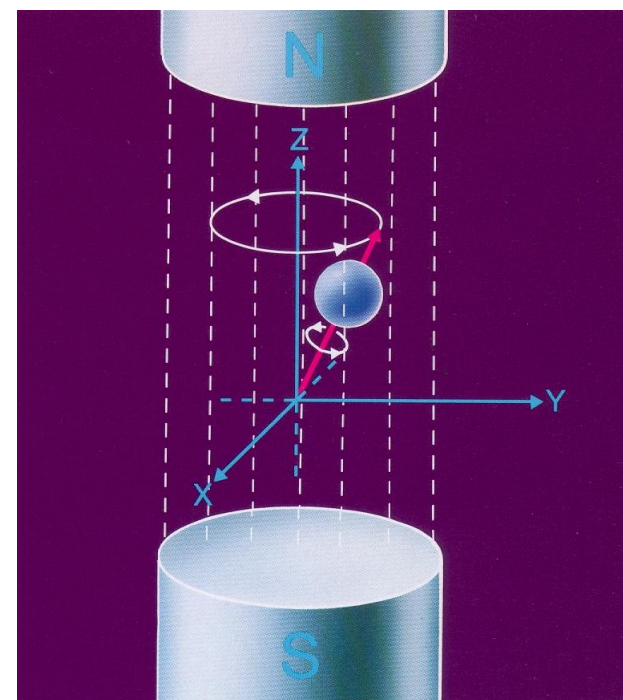


La variabilità di rilassamento dei diversi tessuti è alla base stessa dell'estrazione dell'immagine in RM

(nulla di diverso concettualmente dalla costruzione della matrice con i numeri Hounsfield alla TAC)

Fenomeno della Risonanza

Se applichiamo Radiofrequenza al sistema alla stessa frequenza di precessione degli Spin, trasferiremo energia in grado di variare l'angolo formato tra il momento magnetico e il campo magnetico



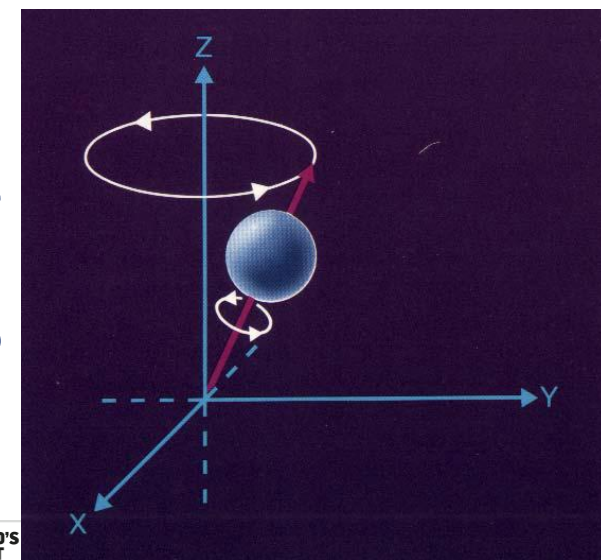
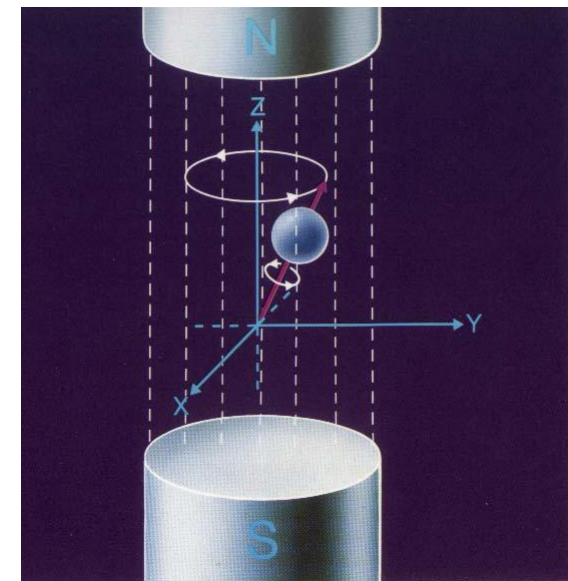
La risonanza magnetica è una metodica di indagine diagnostica che riguarda misure di segnali provenienti da **NUCLEI con numero dispari di protoni** in risposta ad onde radio (radiofrequenza) che hanno la stessa frequenza naturale (frequenza di risonanza) dei nuclei stessi

Fenomeno della Risonanza

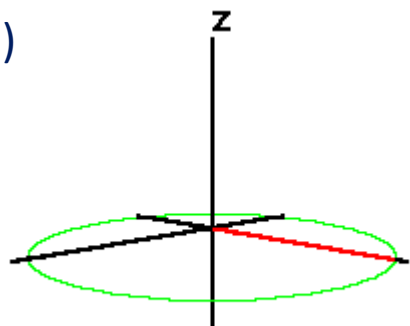


Trasferimento di energia tra due sistemi oscillanti con la stessa frequenza e in perfetta sincronia

1. I protoni, immersi in un campo magnetico esterno, sono in costante movimento perché posseggono uno spin
2. Una carica elettrica in movimento è una corrente elettrica che induce un campo magnetico
3. Ciascun protone ha un piccolo campo magnetico e può essere rappresentato come un magnete
4. Quando si pone un paziente in un campo magnetico i protoni, essendo piccoli magneti si allineano in modo parallelo (stato a più bassa energia) o antiparallelo al campo magnetico
5. I protoni hanno un movimento di precessione lungo le linee di campo magnetico
6. La frequenza di precessione varia in modo direttamente proporzionale con l'intensità del campo magnetico esterno

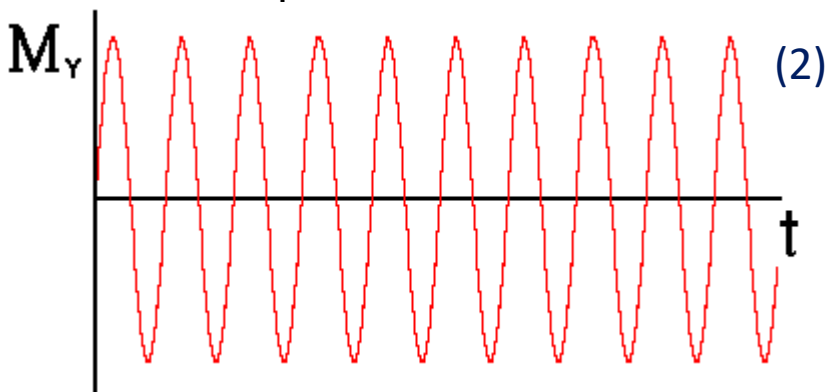


(1)

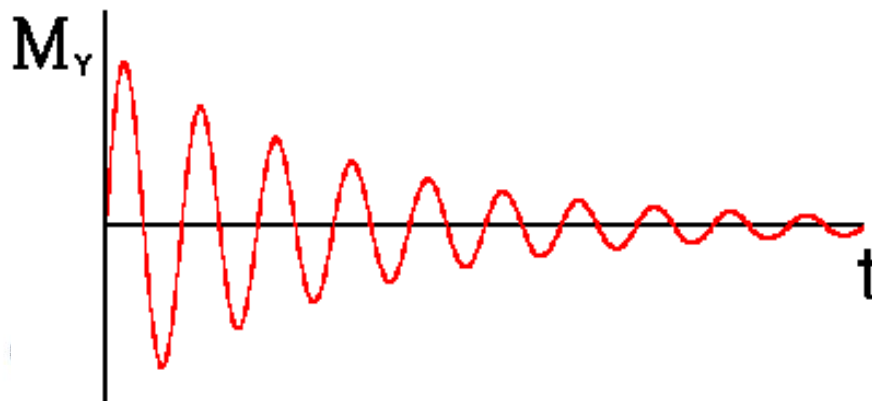


il segnale NMR nel dominio del tempo

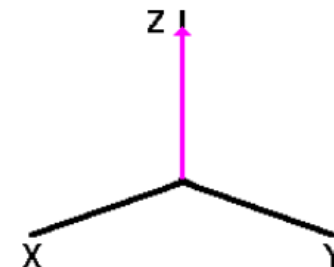
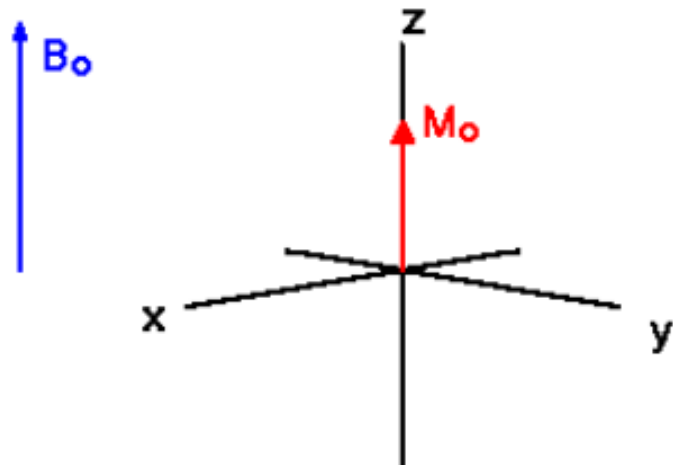
Il ritorno all'equilibrio del vettore di magnetizzazione di un sistema di spin che ha assorbito un impulso RF genera un segnale che può essere rivelato. La rotazione del vettore di magnetizzazione trasversale attorno alla direzione del campo magnetico statico B_0 (asse Z) induce una corrente elettrica nella bobina posizionata attorno all'asse X (1) Riportando in un grafico la corrente in funzione del tempo si ottiene un'onda sinusoidale (2). Quest'onda decadrà naturalmente secondo la costante di tempo T_2^* dovuta alla perdita di fase dei pacchetti di spin. Il segnale originato dal "libero" decadimento della magnetizzazione trasversale è chiamato **FID (Free Induction Decay)** (3).



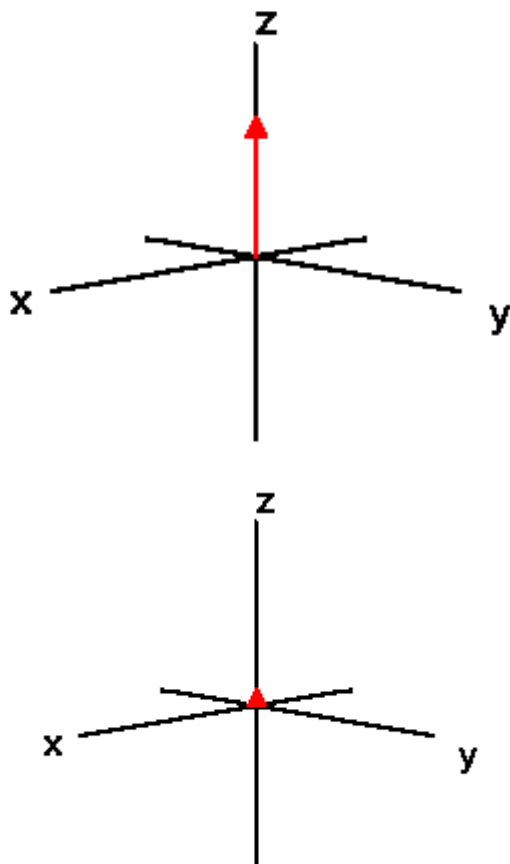
(3)



Adottando un sistema di coordinate nel quale l'asse Z è lungo la direzione del campo magnetico esterno (sistema convenzionale di coordinate NMR), avremo che, all'equilibrio, anche il vettore di magnetizzazione risultante sarà lungo l'asse Z.



All'equilibrio, il vettore di magnetizzazione risultante è posizionato lungo la direzione del campo magnetico statico B_0 ed è chiamato magnetizzazione all'equilibrio M_0 . In questa configurazione, la componente Z del vettore di magnetizzazione M_z è uguale a M_0 . M_z è conosciuta come *magnetizzazione longitudinale*. In questo caso non c'è componente del vettore di magnetizzazione nel piano XY (*magnetizzazione trasversale M_{xy}*).



È possibile modificare l'intensità del vettore di magnetizzazione risultante esponendo il sistema di spin nucleari ad una energia di frequenza pari alla differenza di energia tra gli stati degli spin.

Se si cede sufficiente energia, è possibile saturare il sistema di spin ed ottenere $M_z = 0$.

Al termine dell'eccitazione il sistema tende a ritornare alla sua condizione di equilibrio.

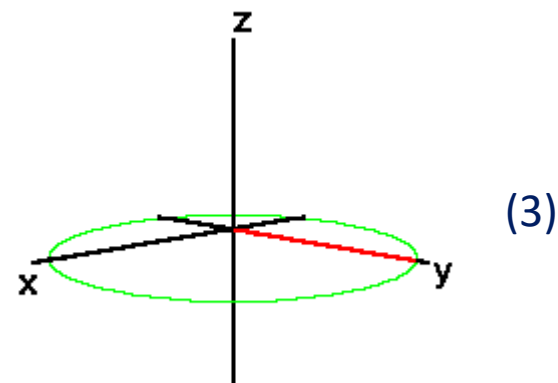
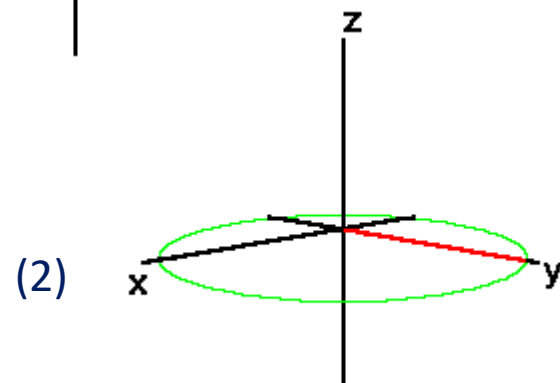
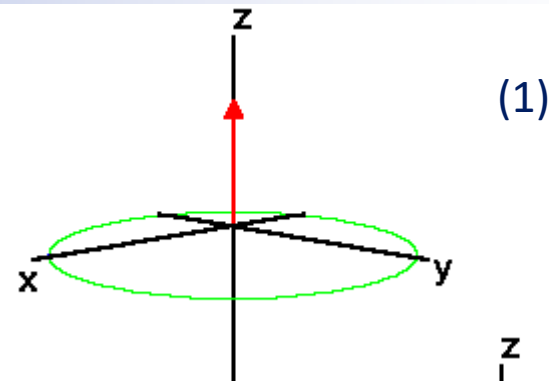
La costante di tempo che descrive il ritorno all'equilibrio della magnetizzazione longitudinale, M_z , è chiamata **tempo di rilassamento spin-reticolo, T_1** . L'equazione che descrive questo fenomeno in funzione del tempo t è:

$$M_z = M_0 (1 - e^{-t/T_1})$$

T_1 è quindi definito come il tempo necessario per far sì che la componente Z del vettore magnetizzazione riacquisti il 63% del suo valore iniziale.

Tempo di rilassamento spin-spin (T_2)

Se il vettore di magnetizzazione ha una componente non nulla nel piano XY (1), esso ruoterà attorno all'asse Z ad una frequenza uguale alla frequenza del fotone che ha causato la transizione tra i due livelli di energia. Questa frequenza è chiamata **frequenza di Larmor** (2) ed il relativo moto di rotazione del vettore di magnetizzazione, "precessione". Oltre a ruotare, la magnetizzazione risultante comincia a perdere fase poiché ognuno dei pacchetti di spin che la costituiscono è sottoposto ad un campo magnetico leggermente diverso e ruota ad una propria frequenza di Larmor. Più trascorre il tempo, maggiore è la differenza di fase. Nell'esempio che segue il vettore di magnetizzazione risultante è inizialmente sull'asse +Y. Per questo e per tutti gli altri casi in cui si parla di perdita di fase, si deve pensare a questo vettore come sovrapposizione di molti vettori più piccoli prodotti dai singoli pacchetti di spin (3).

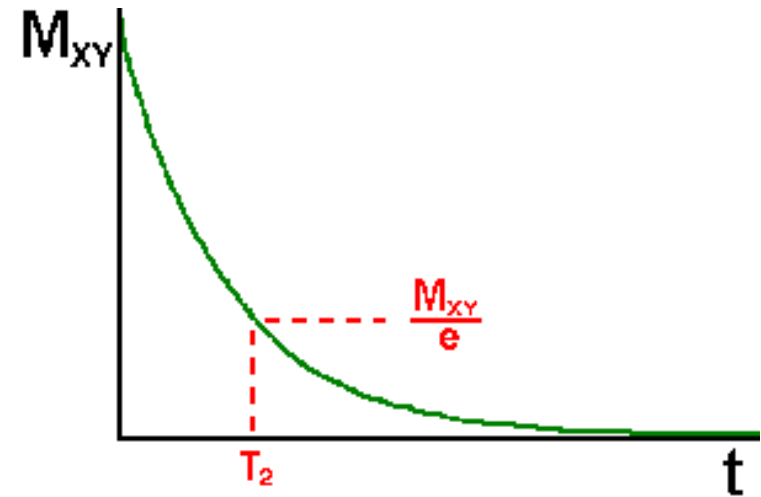


La costante di tempo che descrive il decadimento della magnetizzazione trasversale, M_{XY} , è chiamata **tempo di rilassamento spin-spin, T_2** .

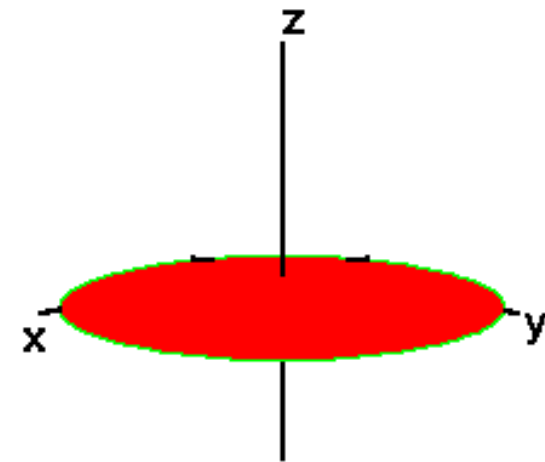
$$M_{XY} = M_{XY0} e^{-t/T_2}$$

T_2 è sempre minore o uguale a T_1 . La magnetizzazione risultante nel piano XY va a zero e allo stesso tempo la magnetizzazione longitudinale cresce finché lungo l'asse Z non si avrà di nuovo il valore M_0 (2).

In altre parole, il tempo di rilassamento spin-spin, T_2 , è il tempo necessario per far sì che la magnetizzazione trasversale si riduca del 63%.



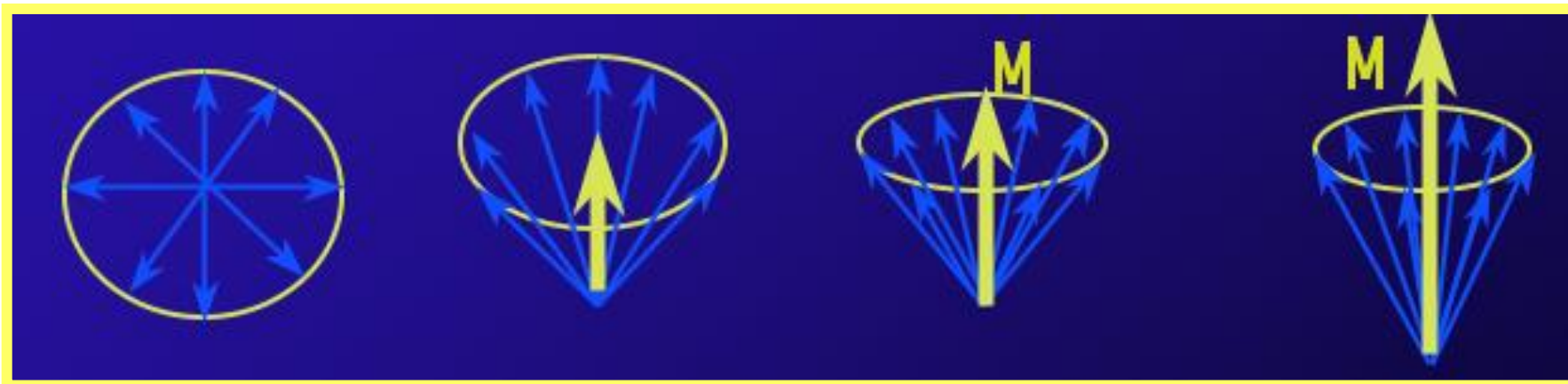
(2)



(3)

Scambio di energia tra spin e l'ambiente circostante

Il tempo T1 è il tempo necessario al vettore di Magnetizzazione longitudinale M_L per raggiungere un valore pari al 63% di quello iniziale

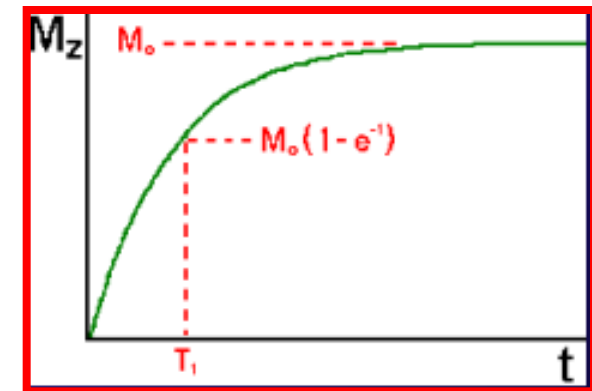
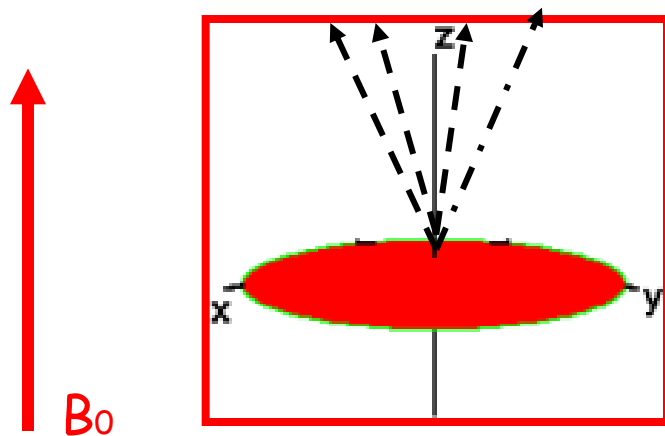


I momenti magnetici dei singoli spin tendono gradualmente a riallinearsi a B_0

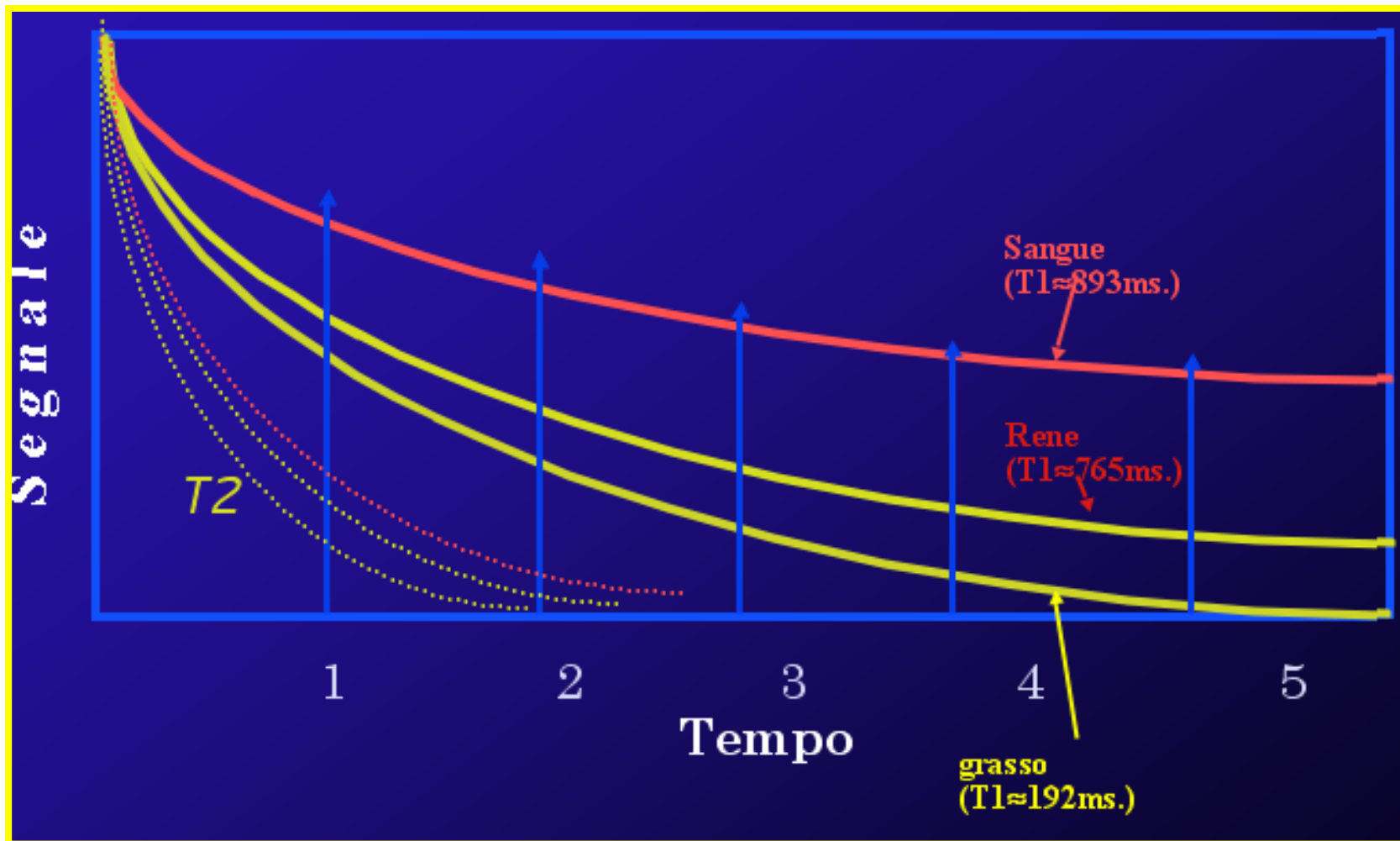
La componente longitudinale M_z torna verso il suo valore B_0

Tempo che impiega la M a tornare lungo B_0 (si riduce l'ampiezza del segnale)

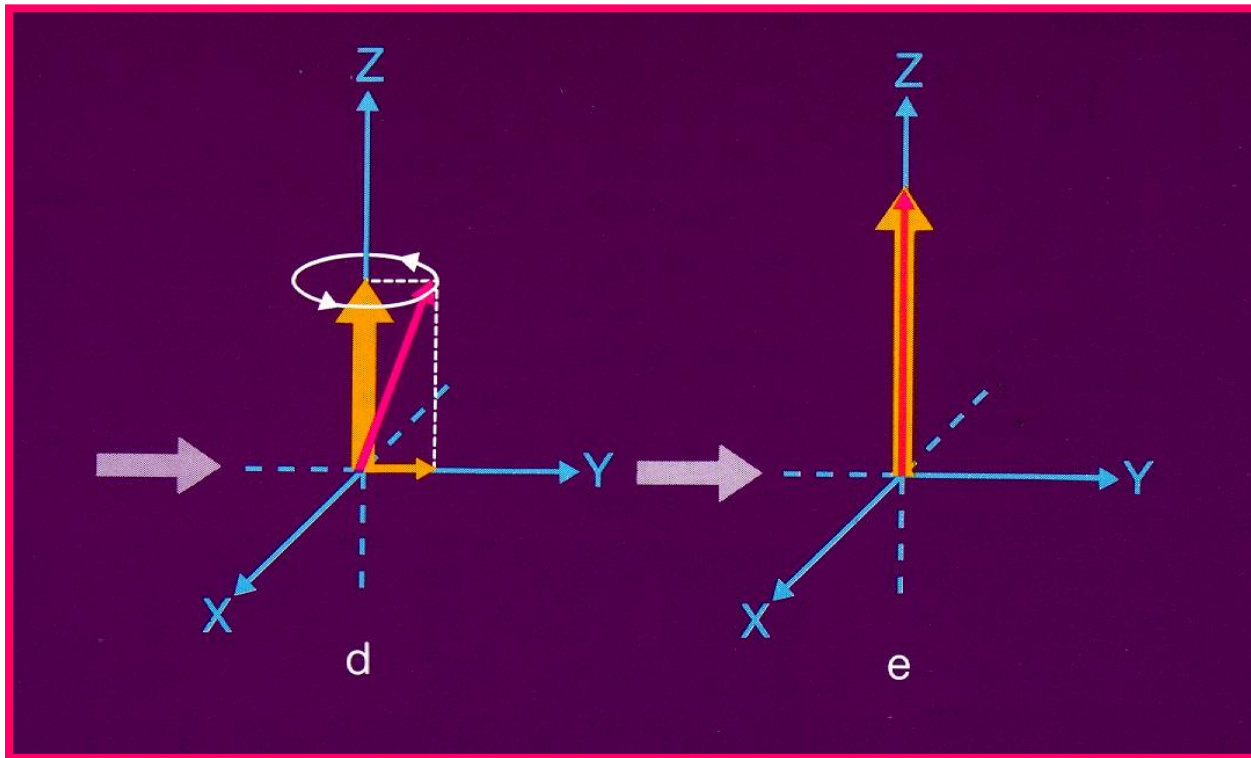
Disegnando la M Longitudinale in funzione del tempo t, si ottiene una curva che cresce con il tempo.....la curva **T1**



Tempo di Rilassamento Longitudinale T1



La costante di tempo che descrive il graduale ritorno di $|\mathbf{M}|$ al valore M_0 di equilibrio a causa del fatto che i protoni restituiscono l'energia all'ambiente esterno è il



*tempo di
rilassamento
spin-reticolo*

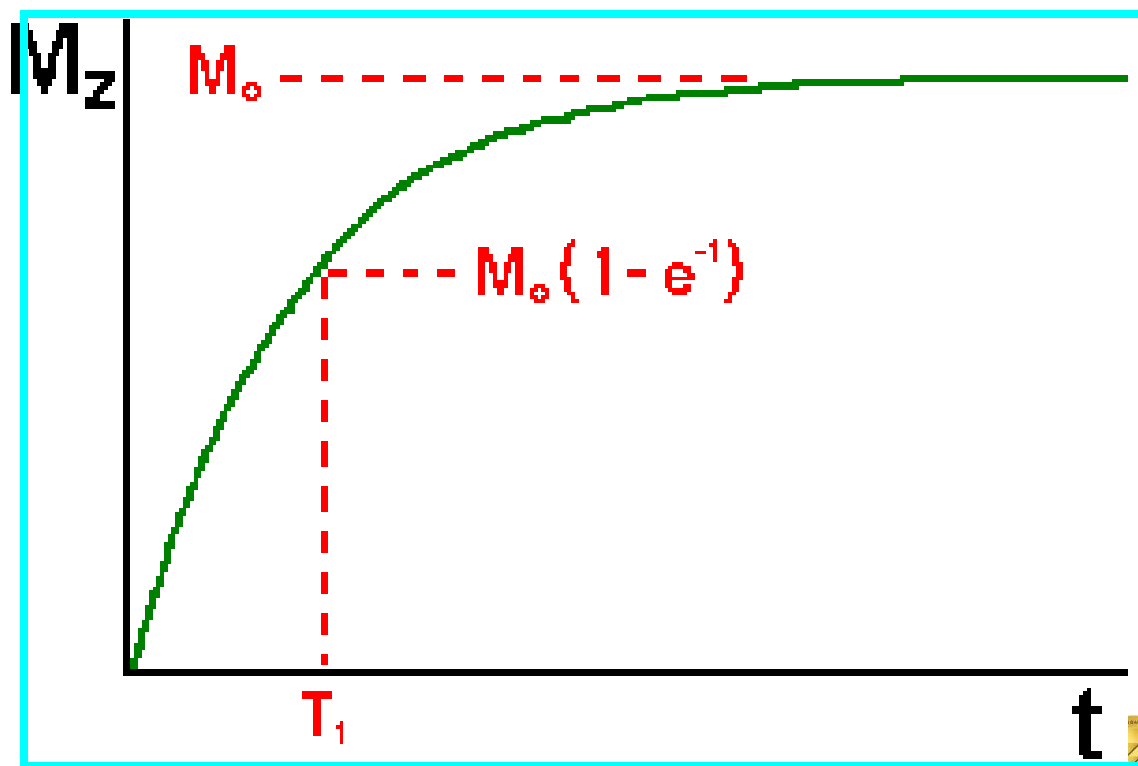
*indicato
con*

T1

Tempo di Rilassamento Longitudinale T1

T1 e impulso a 90°

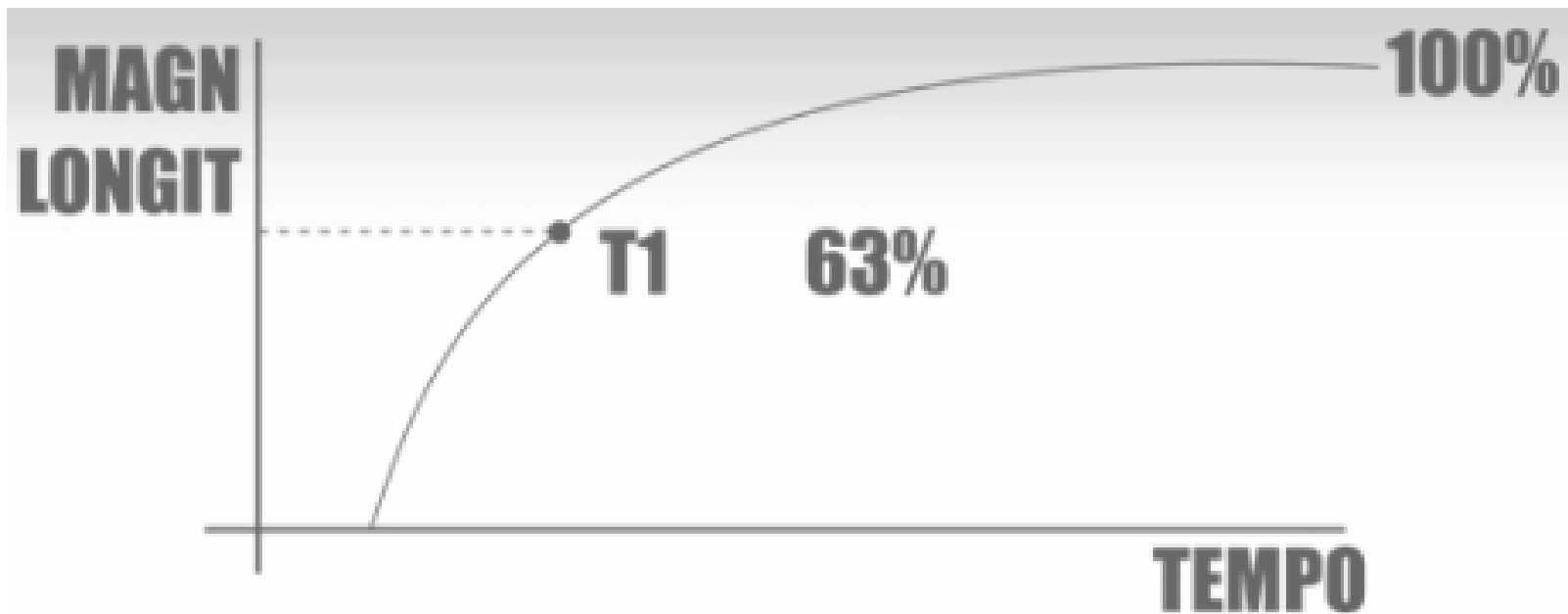
Il tempo T1 è dunque il tempo richiesto per ridurre la componente longitudinale della Magnetizzazione Netta Totale di un fattore pari a e, dove $e = 2.728...$



$$M_z = M_0 (1 - e^{-t/T_1})$$

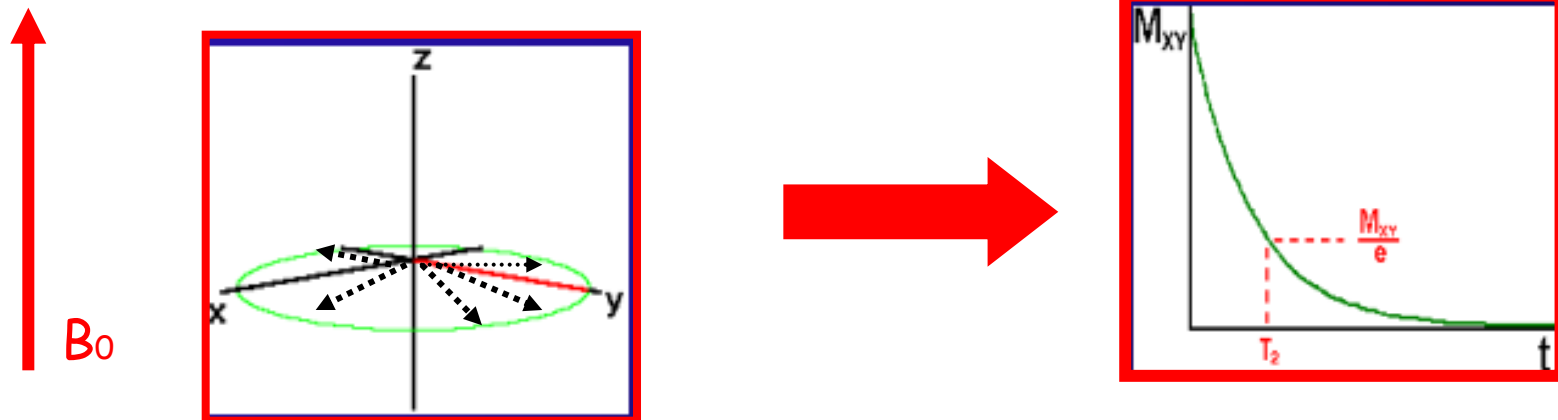
In alternativa si può dire che T1 è il tempo necessario per ripristinare il 63% della M_0

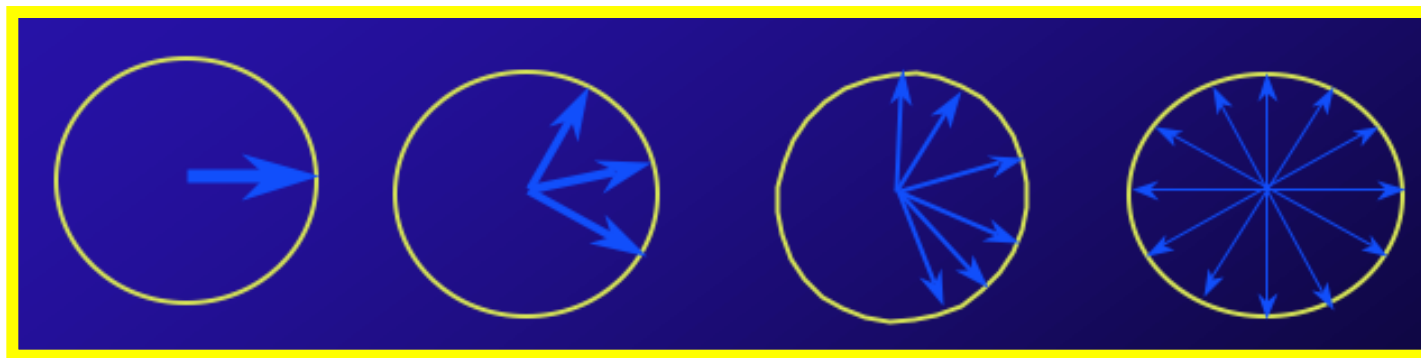
Tempo di Rilassamento Longitudinale T1



È il tempo impiegato a decrescere la MT fino al 37% della sua intensità massima, viene definito tempo di rilassamento Trasversale, o **T2**.

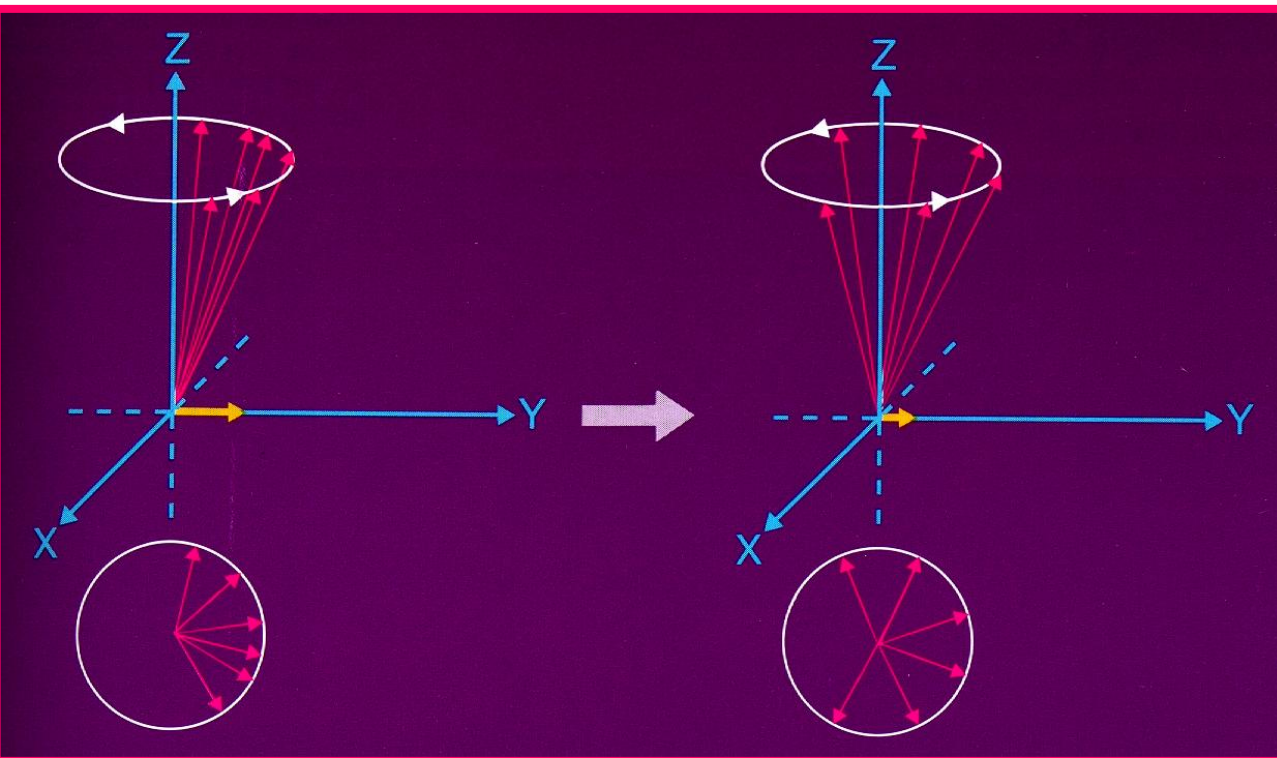
Disegnando la M Trasversale in funzione del tempo t , si ottiene una curva che tende verso il basso, indicando che la M trasversale diminuisce nel tempo.....la curva **T2**





I momenti magnetici di singoli spin precessano a velocità diverse e quindi si sfasano tra di loro. La componente trasversale M_{xy} (perpendicolare a B_0) tende ad annullarsi

La costante di tempo che descrive la graduale *riduzione* di $M_{\perp}$ a causa dello *sfasamento degli M_i* , è detta

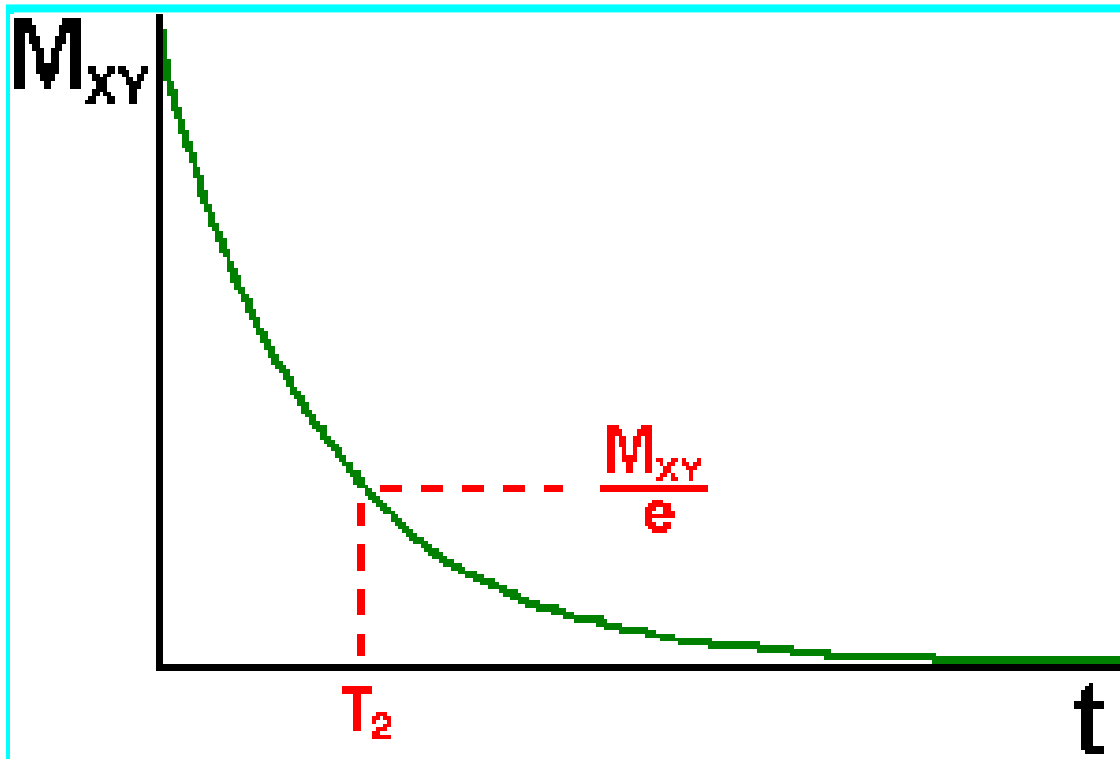


*tempo di
rilassamento
spin-spin*

*indicato
con*

T2

Il tempo T_2 è in pratica il tempo richiesto per ridurre la componente trasversale della Magnetizzazione Netta Totale di un fattore pari a e , dove $e = 2.728...$



$$M_{xy} = M_{xy0} e^{-t/T_2}$$

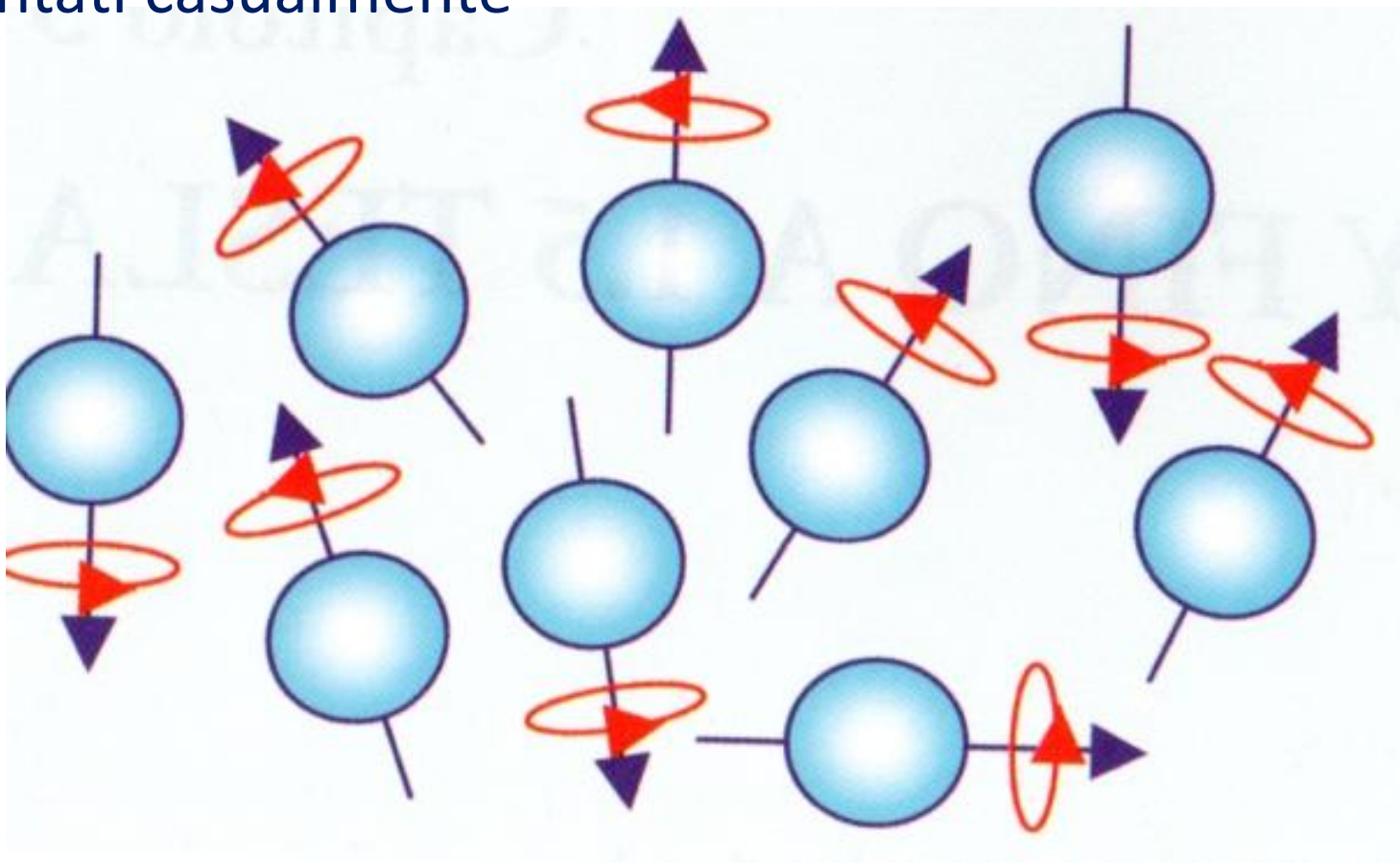
In alternativa si può dire che T_2 è il tempo necessario per ridurre del 63% la

M_{xy}

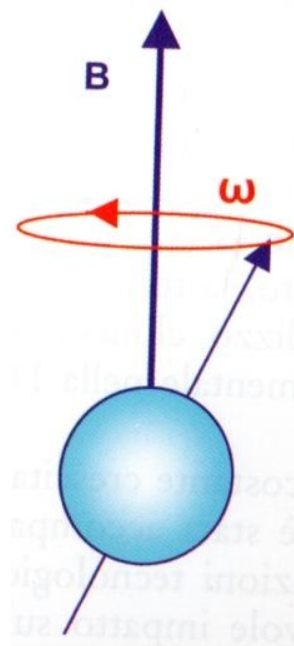
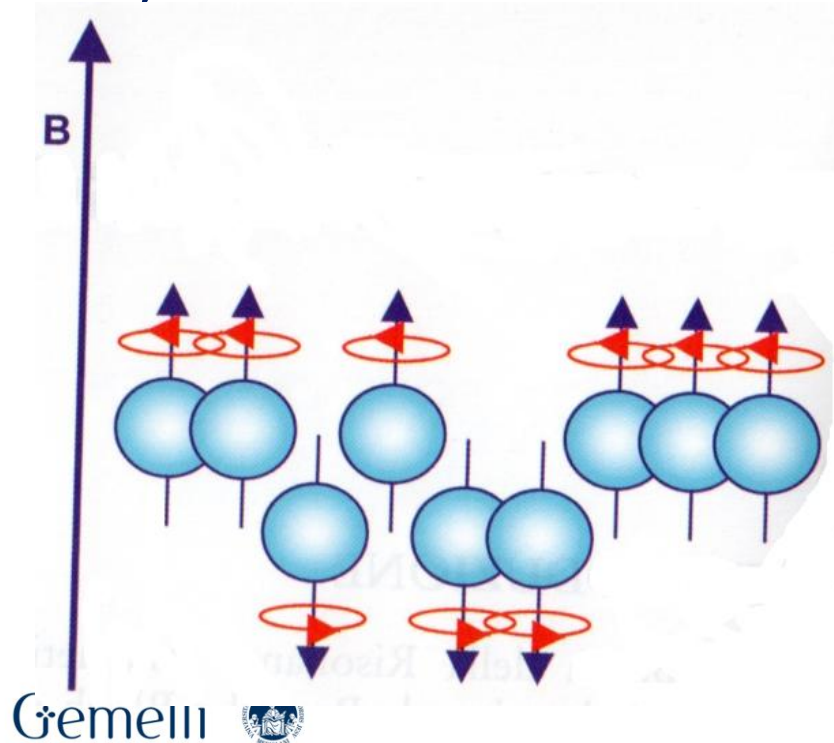
T_2

ott. '25

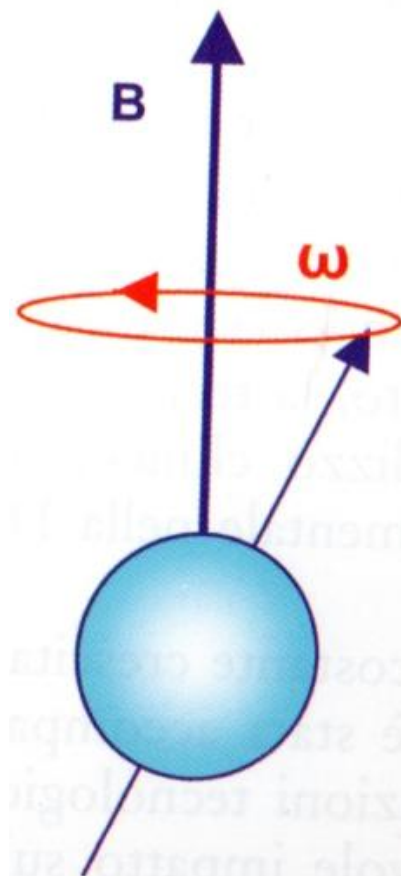
In assenza di campo magnetico esterno, i protoni sono orientati casualmente



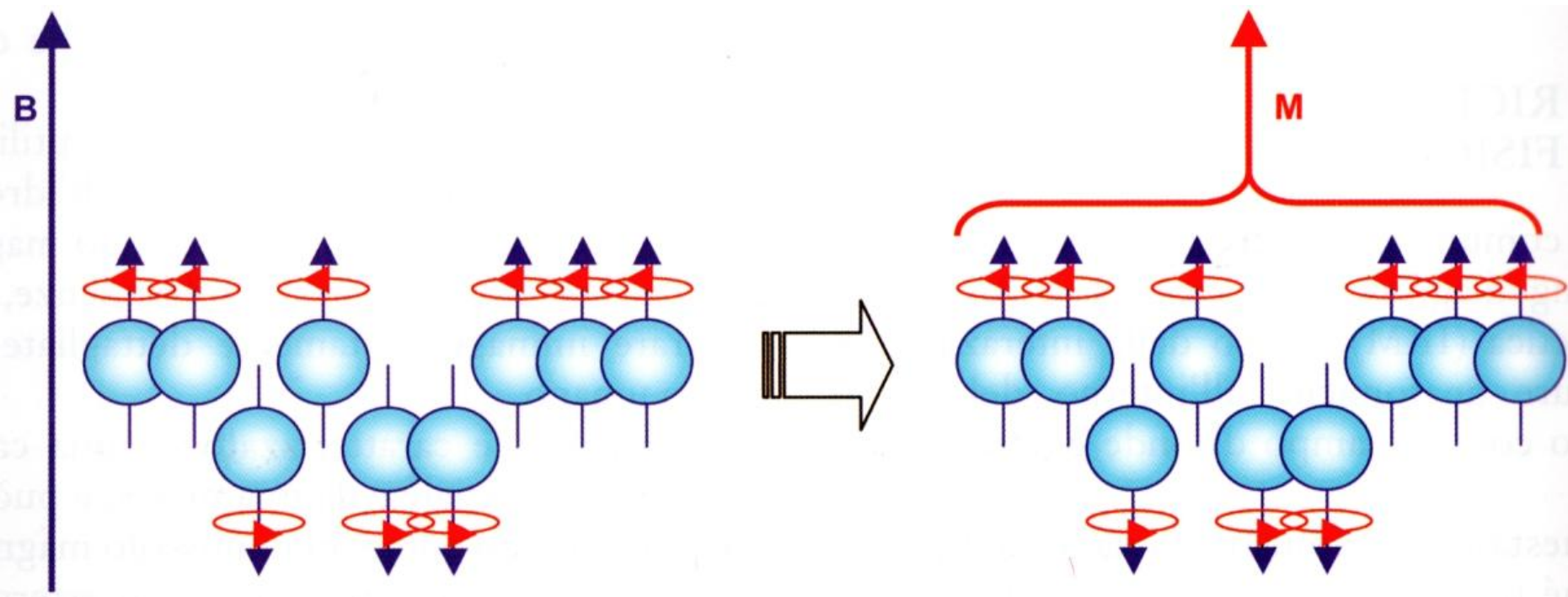
Applicando un campo magnetico esterno B_0 , all'equilibrio termico gli atomi tenderanno ad allinearsi lungo la direzione del campo magnetico stesso con un movimento di precessione (movimento conico analogo a quello di una trottola) attorno alla direzione del campo applicato.

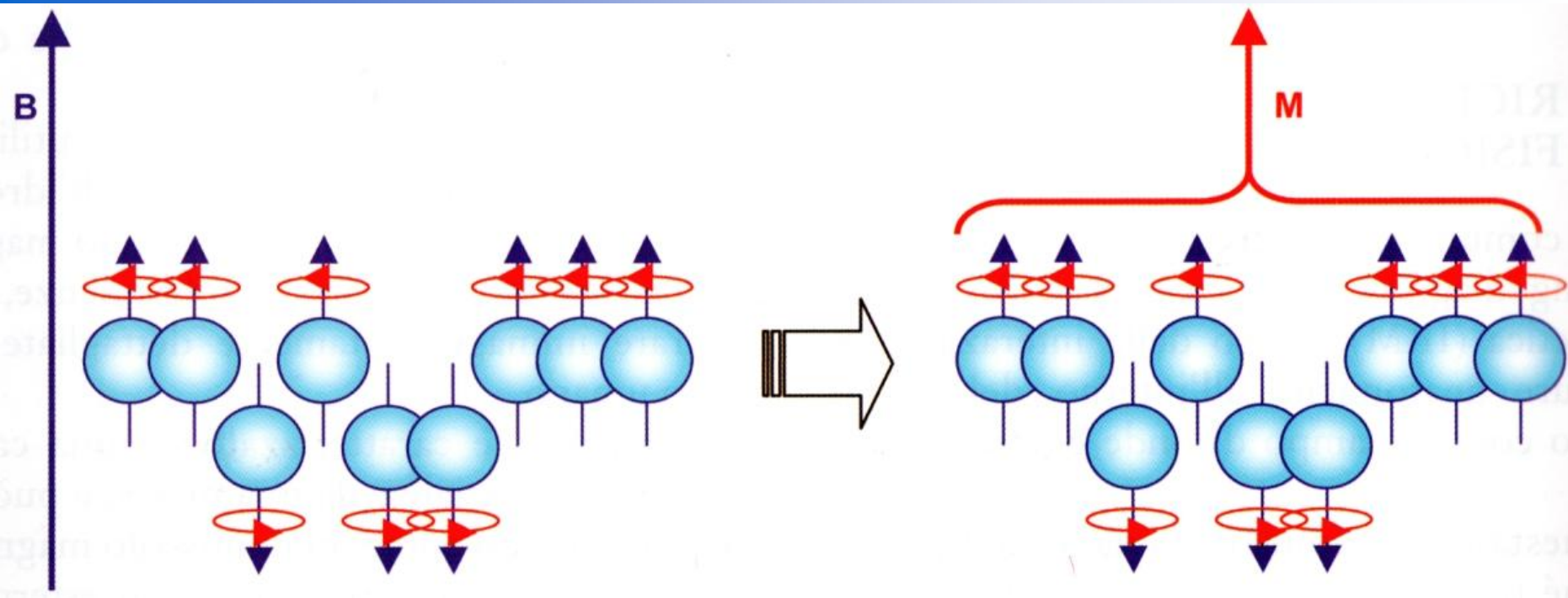


La precessione avviene ad una velocità angolare ω , definita **velocità di Larmor**, cui corrisponde un valore di frequenza (**f**) detta **frequenza di Larmor**.

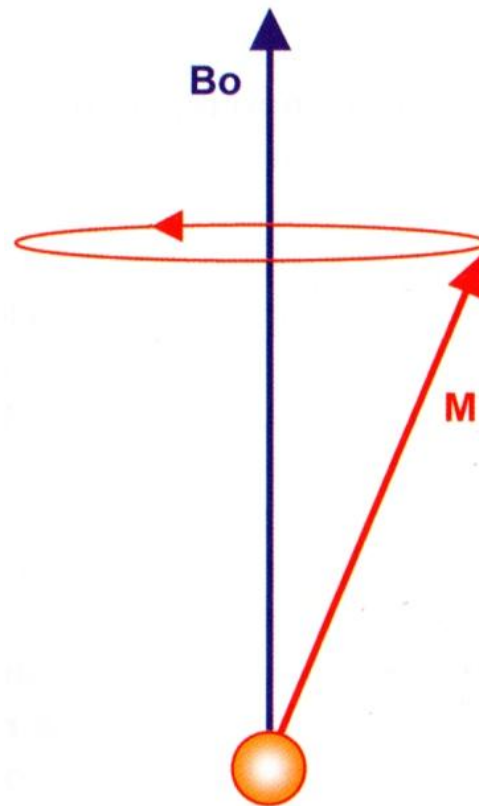


Il moto di precessione avviene secondo due possibili direzioni parallele alla direzione del campo magnetico stesso: una direzione secondo l'orientamento del campo magnetico (spins a minore energia) e l'altra opposta all'orientamento del campo magnetico (spins con energia maggiore).



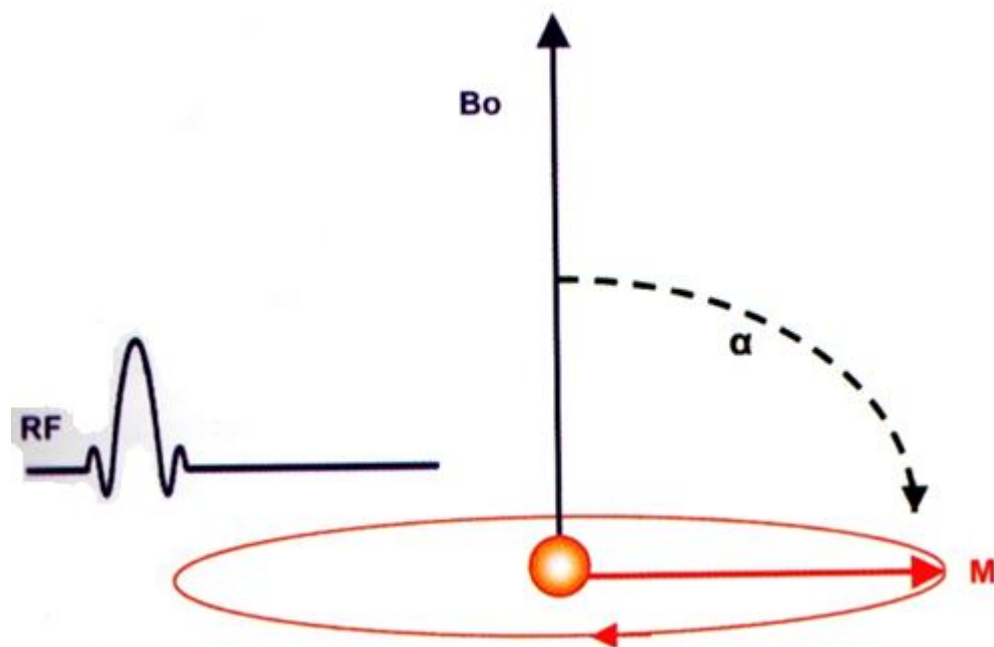


La direzione più favorevole è quella corrispondente all'orientamento del campo applicato; questa differenza dà luogo ad una risultante, denominata *momento magnetico macroscopico* o **magnetizzazione (M)**



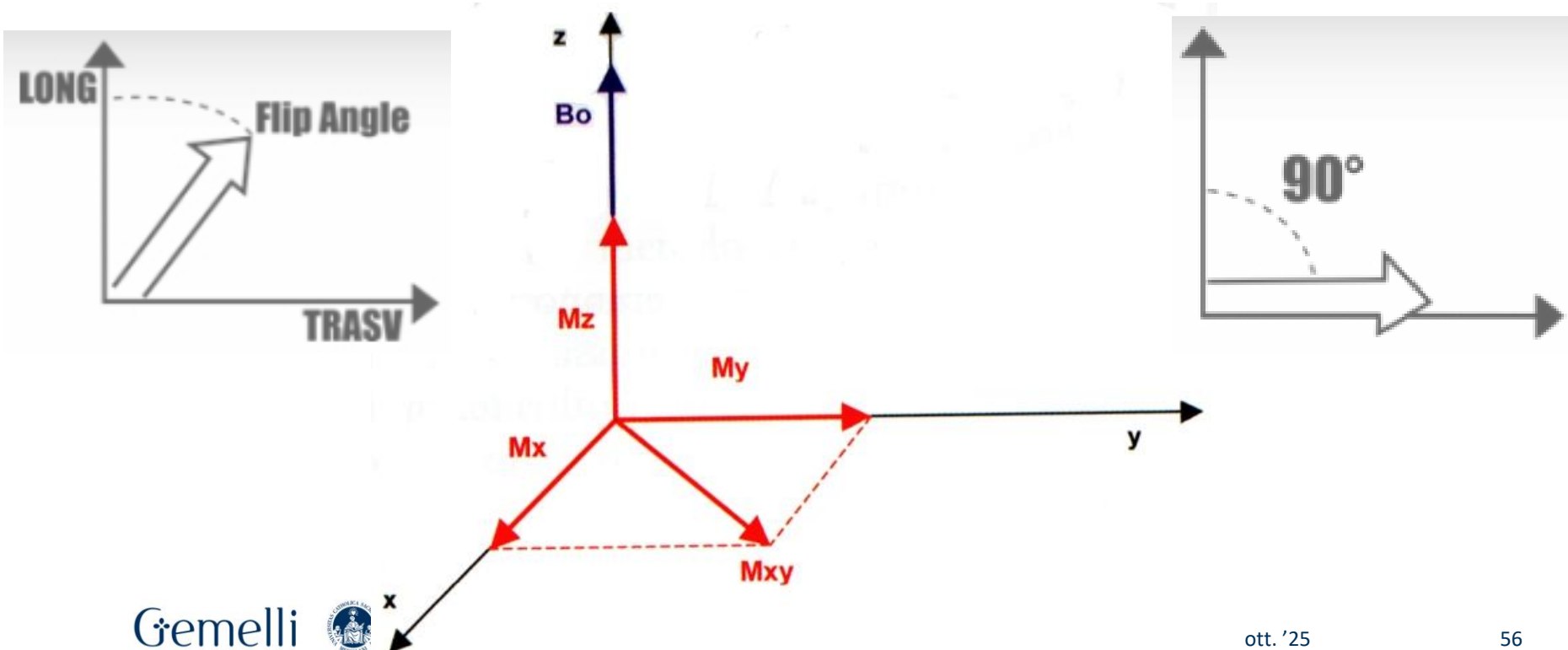
La magnetizzazione (M) è caratterizzata anche essa da un movimento di precessione attorno alla direzione del campo magnetico

Applicando un campo magnetico esterno B_1 perpendicolare a B_0 (ad esempio una radiofrequenza) e che ruota ad una frequenza f_1 , diremo di essere in condizioni di risonanza quando f_1 eguaglia la frequenza di Larmor.

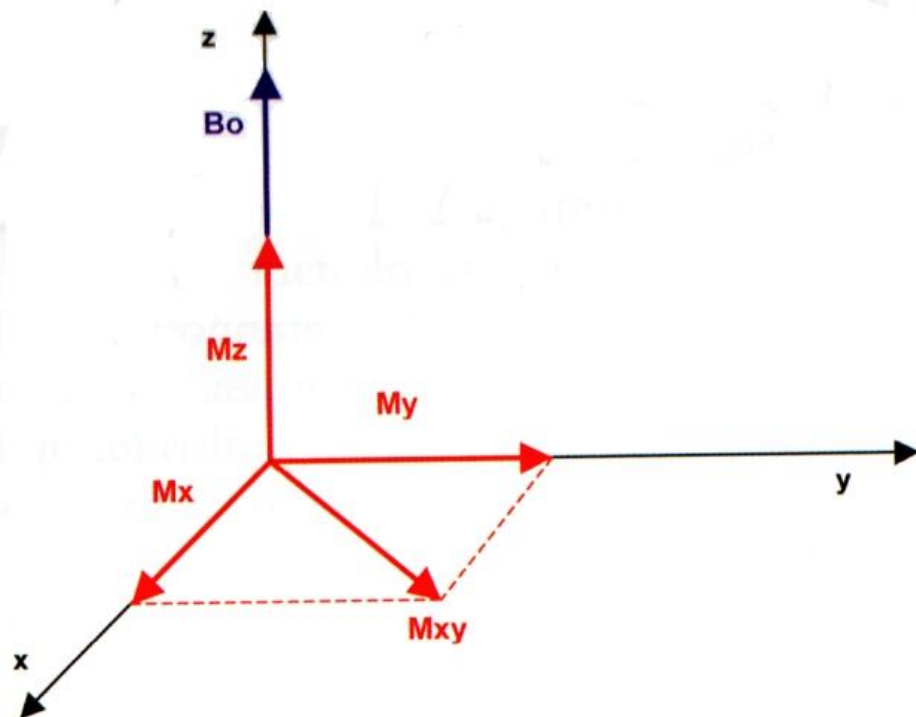


Come conseguenza dell'applicazione del campo B_1 , la magnetizzazione risultante M subirà una deflessione rispetto alla direzione del campo magnetico statico B_0 pari ad un **angolo α** , denominato **Flip Angle**, continuando comunque il suo moto di precessione attorno alla direzione del campo magnetico esterno.

Più elevata è l'energia dell'impulso a radiofrequenza applicato, maggiore sarà il flip angle: un flip angle pari a 90° comporta una deflessione della magnetizzazione nel piano xy, mentre un flip angle pari a 180° significherà un ribaltamento della magnetizzazione esattamente nella direzione opposta.



Indicando con z la direzione del campo magnetico B_0 , la magnetizzazione sarà caratterizzata da una componente lungo la direzione del campo, denominata **magnetizzazione longitudinale M_z** . La magnetizzazione sarà, inoltre, caratterizzata da una componente lungo l'asse x (**M_x**) ed una lungo l'asse y (**M_y**); la loro somma **M_{xy}** sarà definita **magnetizzazione trasversale**, e si troverà nel piano xy perpendicolare al campo magnetico esterno.

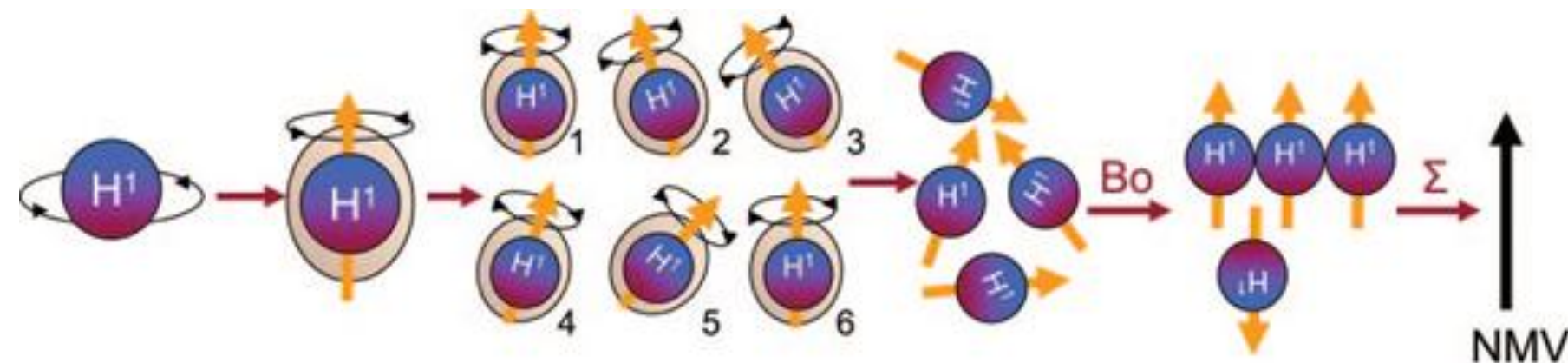


Gli spin debbono trovarsi nel piano xy allo scopo di consentirci di ricevere un segnale R_m

Finita l'azione di B1, il ritorno all'equilibrio della magnetizzazione risultante, denominato **FID (Free Induction Decay)**, può essere seguito utilizzando un'apposita antenna ricevente (bobina) per rilevare le variazioni di M nel tempo, e che rappresentano il segnale di risposta dei protoni eccitati.

In tale fase, la componente trasversale della magnetizzazione si riduce mentre viene recuperata la componente longitudinale.



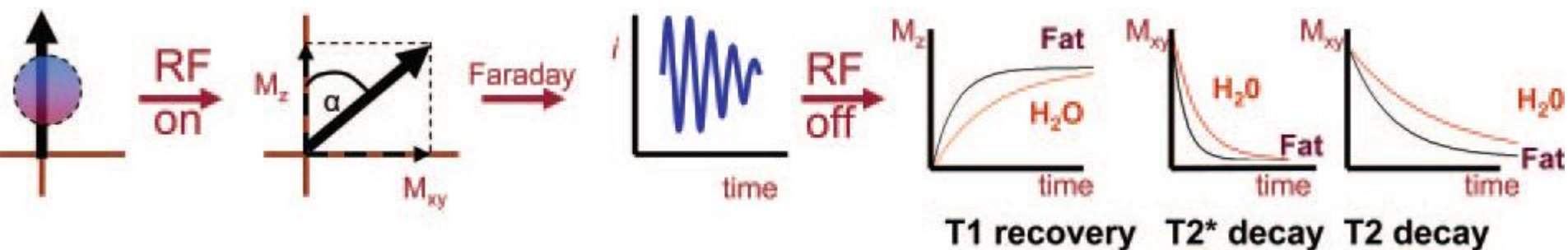


Fisica di base del segnale MR

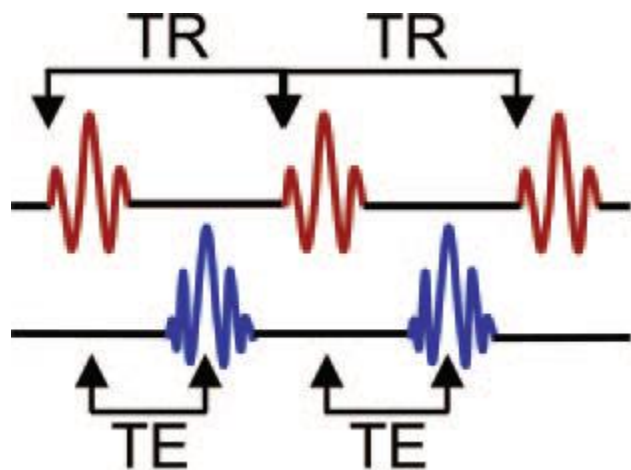
La direzione del campo magnetico (asse magnetico) è raffigurata da una freccia (in giallo).

I nuclei $1H$ inizialmente precessano con una oscillazione a vari angoli (1-6), ma quando sono esposti ad un campo magnetico esterno (B_0), si allineano con esso.

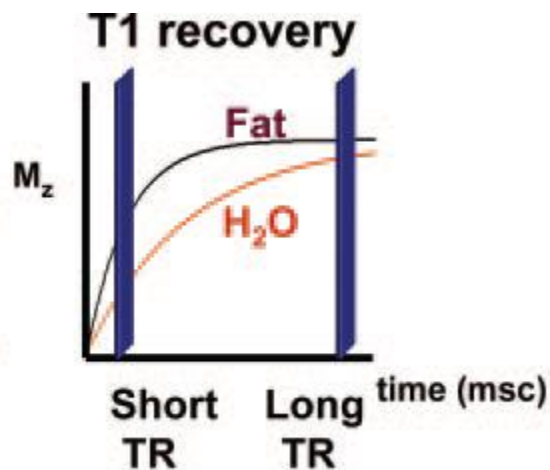
La somma di tutte i momenti magnetici è chiamato il vettore di magnetizzazione (NMV).



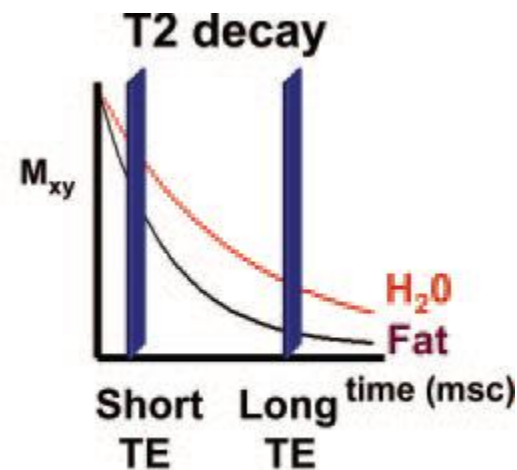
Quando viene applicato un impulso RF, il vettore di magnetizzazione netta è capovolto in un angolo (α), che produce due componenti di magnetizzazione: magnetizzazione longitudinale (M_z) e magnetizzazione trasversale (M_{xy}). Come la magnetizzazione trasversale precessa intorno a un bobina ricevente, questa induce una corrente (i) in quella bobina, in accordo con la legge di induzione di Faraday. Questa corrente diviene il segnale RM. Quando il generatore di RF viene spento, si verifica il recupero T1 e il decadimento T2 e T2*.



a.



b.



Radiofrequency (RF) pulse



Echo or Hahn Echo



Upward (positive) Gradient



Downward (negative) Gradient



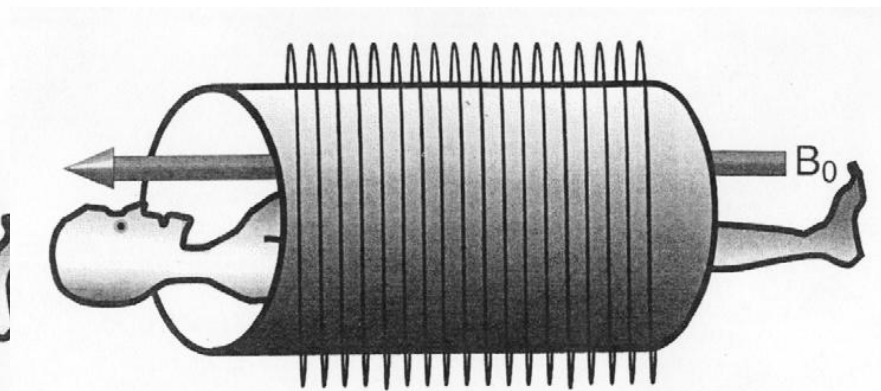
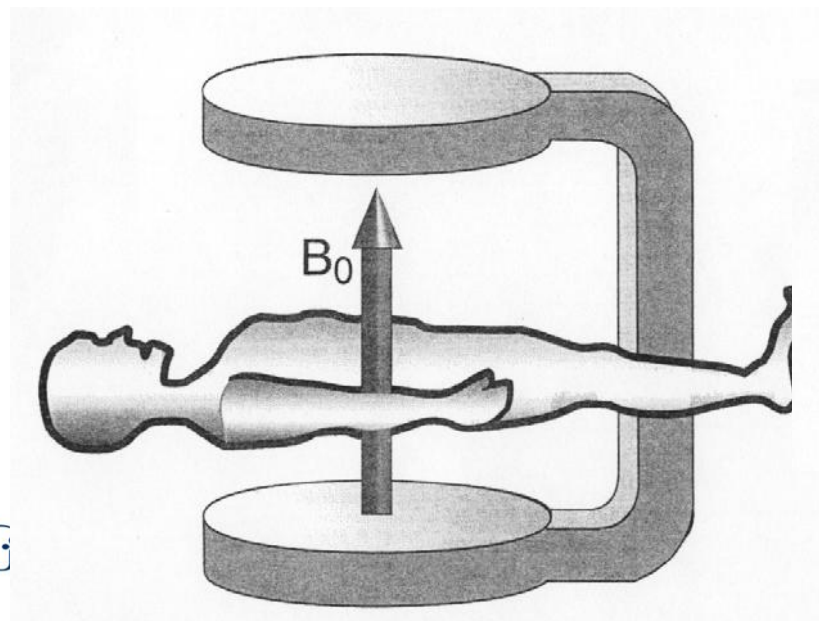
Phase encoding Gradient

1. Il paziente è posto in un magnete
2. viene inviato un impulso a radiofrequenza
3. viene interrotto l'impulso di radiofrequenza
4. il paziente emette un segnale che viene rilevato ed usato per....
- 5....la ricostruzione delle immagini

Quindi cosa succede ad un paziente immerso in uno scanner RM?

Quando poniamo il paziente nel magnete RM, esso avrà un suo campo magnetico che è longitudinale rispetto al campo magnetico creato dal magnete della macchina RM

Si avrà un solo vettore di magnetizzazione longitudinale netta che punta nella direzione del campo magnetico esterno (asse Z) lungo le sue linee di campo



Ma questo segnale
(magnetizzazione longitudinale) si
può misurare?

La risposta è NO poiché è una
magnetizzazione orientata con direzione
parallela al campo magnetico esterno
che ha intensità milioni di volte superiore
alla magnetizzazione longitudinale

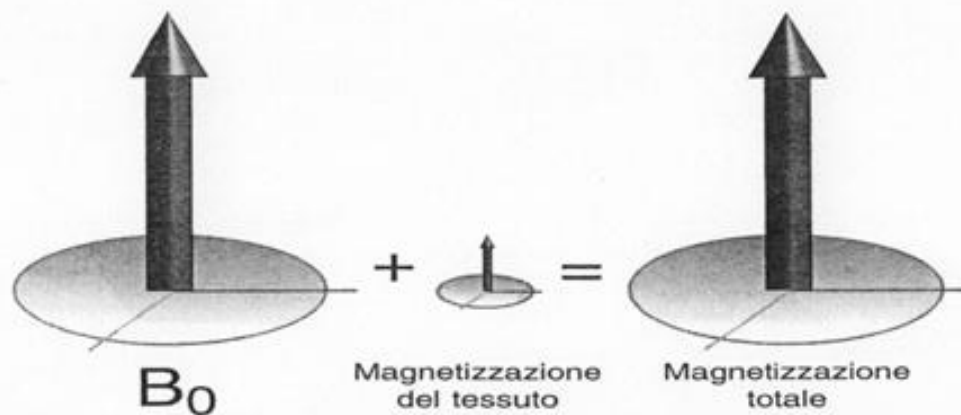


FIGURA 1-4. Rispetto al campo magnetico principale (B_0), la magnetizzazione longitudinale dei tessuti è molto piccola. L'impatto sulla magnetizzazione totale è irrilevante. Questo impedisce di misurarla direttamente.



La magnetizzazione
longitudinale non può
essere misurata per
questo abbiamo bisogno
di una magnetizzazione
trasversale al campo
magnetico esterno

