



**La Fisica “Quasi” Moderna  
La Meccanica Quantistica  
“Classica”**

---

***Particelle a velocità  
Molto inferiore alla luce***

# Sommario

---

## ○ **Il Macinino di Newton**

- Ma perché esiste il Mondo?
- Una deviazione: fisica e matematica
- La Storia alla Storia – La Fisica alla Fisica
- Il Macinino Quantistico
- Particelle o Onde (o entrambi?)
- Ma Funziona?

# Il Macchinino di Newton

Posizioni e vel.  
iniziali



Leggi di Forza

Gravità

Attrito

**Elettromagnetismo**  
(eq. Di Maxwell)



Moto dei corpi

# Ma Perché Esiste il Mondo??

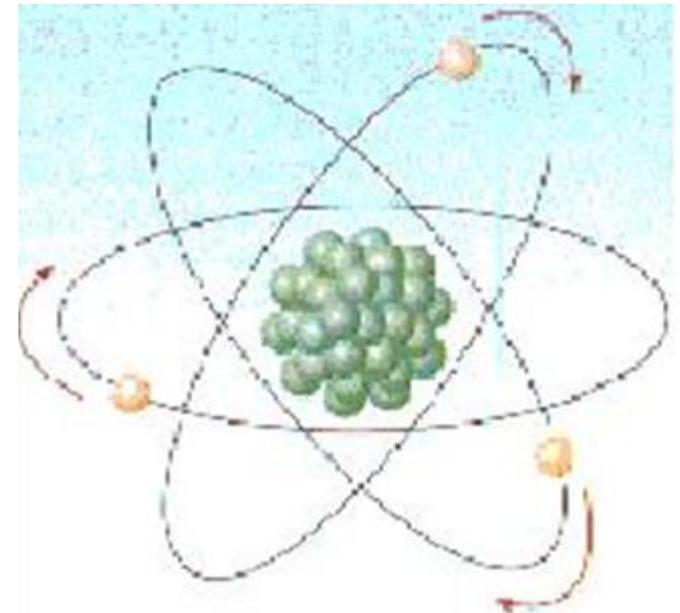
## ANTENNA LINEARE

Si muove in  
Un campo  
elettrico



Pila elettrica  
Compensa la perdita  
Di energia per radiazione

## ATOMO DI RUTHERFORD



Gli elettroni sono in moto in  
Un campo elettrico **MA** nessuna  
Pila compensa la radiazione  
**PERCHE' NON COLLASSANO ?**

# Una Deviazione: Fisica e Matematica

Perché la traiettoria di un proiettile in aria è quasi un triangolo??



**IL FISICO TEORICO:** in assenza di aria sarebbe una parabola. Si deve considerare che la resistenza dell'aria diminuisce rapidamente con la temperatura. Il proiettile esce arroventato .....

**IL FISICO MATEMATICO:** la equazione del moto in due dimensioni è

$$-g \vec{z} - \mu(T, \vec{v}) \vec{v}_{\text{ers}}(\vec{v}) = m \vec{a}$$

.....



# La Matematica Minima

---

$$2 + 2 = 4 \Rightarrow +_u 2 = 4$$

$$\frac{d}{dx} [a f(x) + g(x)] = a \frac{d}{dx} f(x) + \frac{d}{dx} g(x)$$

**LINEARITA'**

**SOMMA DI OPERATORI**

$$\left[ 1 + h(x) + \frac{d}{dx} + \int_0^x dx \right] f(x) = k(x)$$

# La Storia alla Storia

# La Fisica alla Fisica

---

## **I PRINCIPI DELLA NUOVA FISICA**

- 1 – Le Variabili Fisiche
- 2 – Cosa Vuol Dire Misurare
- 3 – La Natura è Coerente  
(Il principio di riduzione del pacchetto d'onda)
- 4 – L'Equazione del Moto  
(L'equazione di Shroedinger)
- 5 – La Natura è Strana, Molto Strana  
(Il principio di indeterminazione di Heisenberg)
- 6 – Un punto non può Ruotare  
( Il Principio di Pauli)

# Variabili Fisiche ( o no?)

---

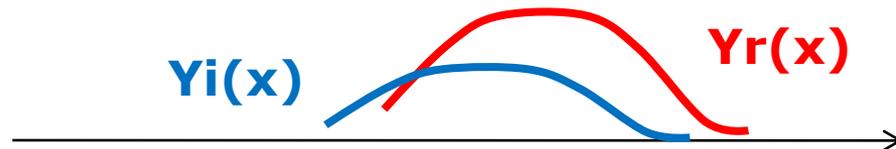
**Le variabili fisiche sono rappresentate da funzioni complesse delle coordinate e del tempo, non più da semplici numeri**

**Tranne il tempo  $t$ : un numero misurabile con precisione infinita**  
(impostazione non relativistica)

**Es: un elettrone che si muove lungo una linea (antenna)**

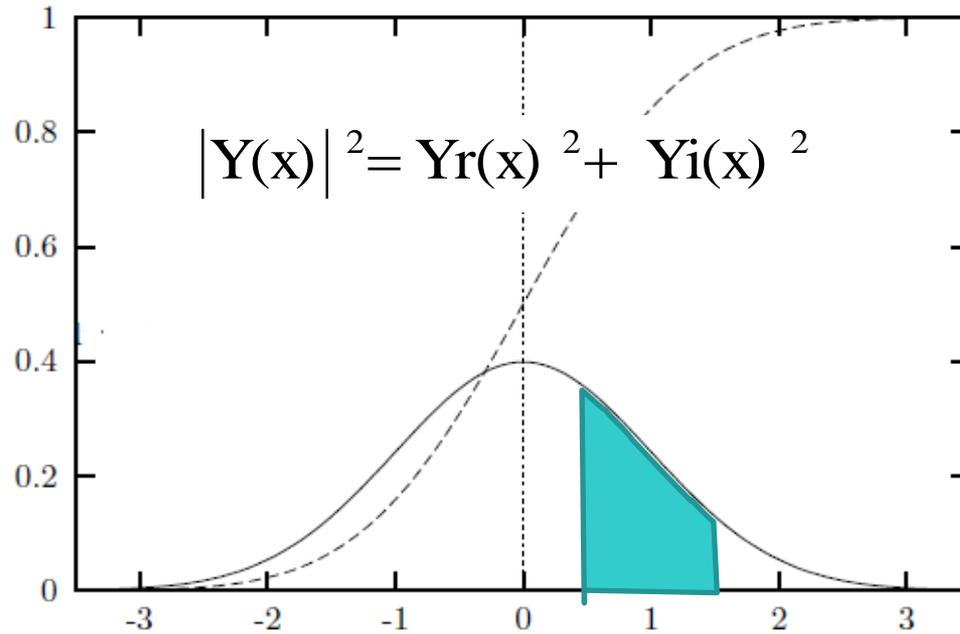
La sua posizione  $d$  rispetto ad un sistema di riferimento lineare è una funzione, per esempio quella  
Le cui parti reale ed immaginaria sono rappresentate qui in basso

$$Y(x) = Y_r(x) + i Y_i(x)$$



# Ma che cosa vuol dire?

Eppure  $Y(x)$  sembra un'onda (non dimentichiamo che è complessa) ??



L'area rappresenta la probabilità  
Con la quale una misura di posizione  
Troverà l'elettrone nel segmento che  
La sottende



# I Fisici Estraggono a Sorte Ma la natura è Coerente

---

**La misura della variabile  $Y$  è un numero aleatorio la cui probabilità è derivata da**

$$|Y(x)|^2 = Y_r(x)^2 + Y_i(x)^2$$

(funzione densità di probabilità)

**Una misura ripetuta a tempi molto vicini dà sempre lo stesso risultato**

(Principio di riduzione del pacchetto d'onda)

# L'equazione quantistica del moto

$$i \hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(t, x, y, z) = \hat{\mathbf{H}} \Psi(t, x, y, z)$$

Funzione che  
Rappresenta la  
Posizione della  
particella

Costante di  
Plank diviso  $2\pi$   
Dimensioni di  
Energia x tempo

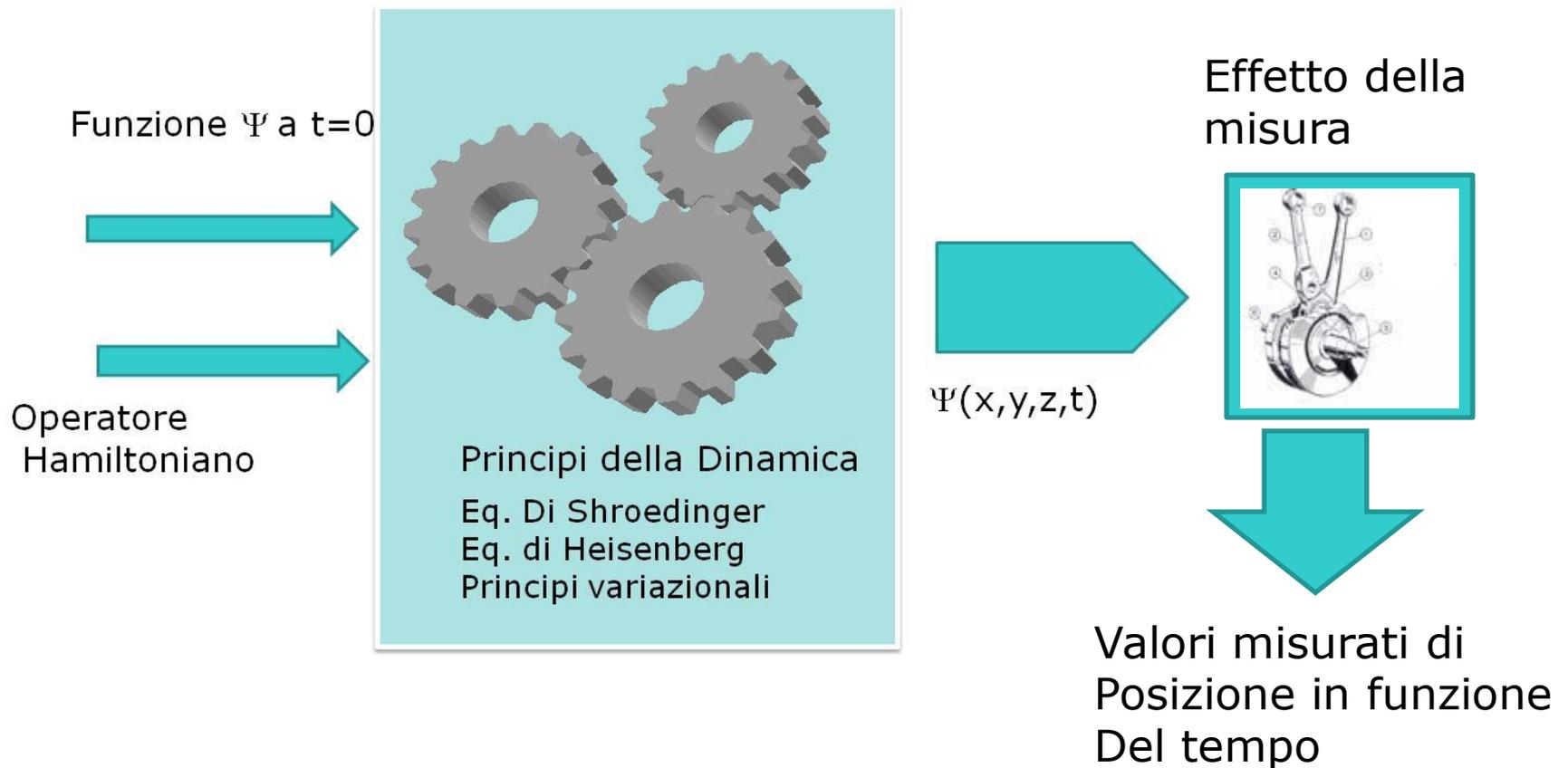
Operatore di Hamilton  
o Hamiltoniano ha le dimensioni  
Di una energia

Come le leggi di natura in fisica classica sono nella  
forma di leggi di forza, così in fisica quantistica  
Sono nella forma di operatori Hamiltoniani

Per una particella sottoposta ad una forza di tipo classico con  
Potenziale  $V(x, y, z)$  si ha

$$\hat{\mathbf{H}} = -\frac{\hbar^2}{2m} \left[ \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right] + V(x, y, z)$$

# Il Macinino Quantistico



# La Natura è Strana

---

Se esiste una distribuzione di probabilità esiste  
Una deviazione statistica intrinseca.

L'errore di una qualsiasi misura è quindi

$$\Delta_{TOT} x = \underset{\uparrow}{\Delta}_{Mis} x + \Delta_H x \underset{\nwarrow}$$

Strumento

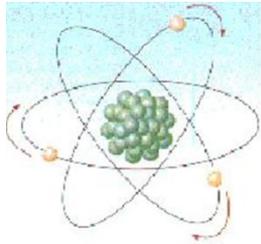
Stato del Sistema (Y)

Se consideriamo poi la misura simultanea di una  
coordinata e della relativa velocità si ha

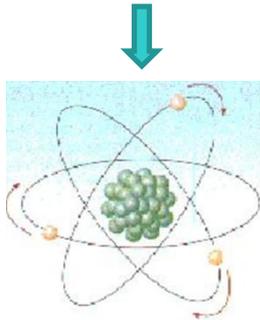
$$\Delta_H x \Delta_H v_x \geq \frac{\hbar^2}{2m}$$

# Molto Strana

## Il principio di indeterminazione di Heisenberg



↑  
Atomi nelle  
Stesse  
condizioni



Misura di posizione su un atomo  
di idrogeno sulla terra  $\Delta_H x$



$$\Delta_H x \Delta_H v_x \geq \frac{\hbar^2}{2m}$$



Misura di posizione su un atomo  
di idrogeno sulla plutone  $\Delta_H v_x$

# L'Electrone non sta mai Fermo

---

$$\Delta_H x \Delta_H v_x \geq \frac{\hbar^2}{2m} \quad \Rightarrow \quad x = 0 \text{ e } v_x = 0 \quad \text{IMPOSSIBILE}$$

Una variabile è "Costante" se  $|Y(t)|$  è costante in  $t$   
(dipende solo dalla posizione)

SE LA POSIZIONE E' "COSTANTE" SI PARLA DI  
**STATI STAZIONARI**

Questi sono stati che non evolvono con il tempo, quindi

**IN NATURA SONO GLI STATI CUI I SISTEMI  
TENDONO SPONTANEAMENTE**

# Il Macchinino si Semplifica

---

L'intera  $Y(t)$  deve allora dipendere da  $t$  in modo che il tempo sparisca nel modulo

$$Y(t, x, y, z) = J(x, y, z) \left[ \cos\left(\frac{E}{\hbar} t\right) - i \sin\left(\frac{E}{\hbar} t\right) \right]$$



$$i \hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(t, x, y, z) = \hat{\mathbf{H}} \Psi(t, x, y, z)$$



$$E \phi(x, y, z) = \hat{\mathbf{H}} \phi(x, y, z)$$

Dimensionalmente  $E$  è una energia ed assume il significato di energia dello stato stazionario, che risulta completamente determinata,

# Particelle Legate – Livelli discreti

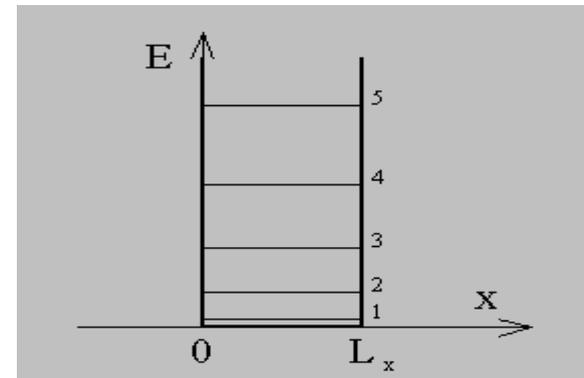
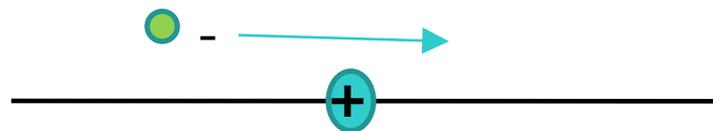
Ci sono forze attrattive e cerco gli stati stazionari

Esempio

Elettrone che oscilla in un filo con un centro positivo (antenna lineare)

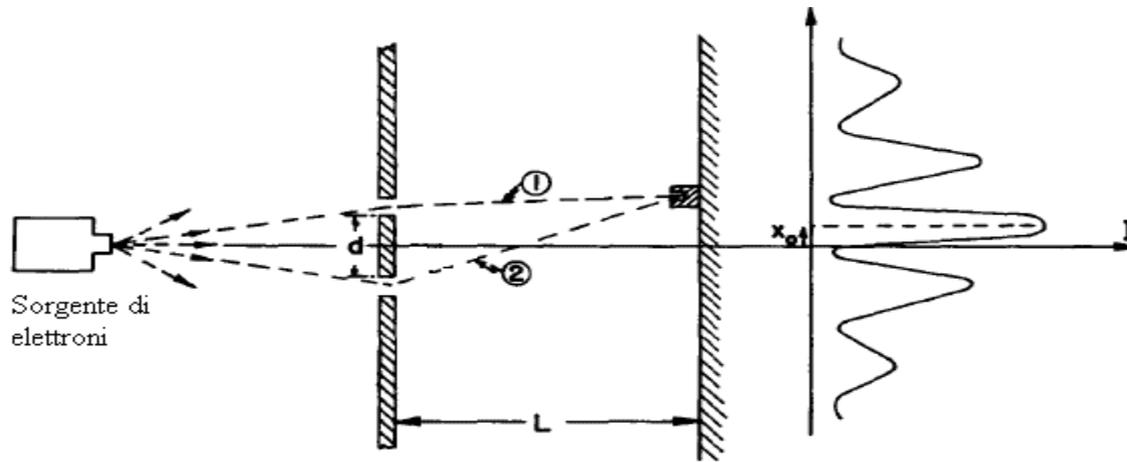
$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{q}{x}$$

potenziale



Ottengo che l'energia può assumere solo alcuni valori,  
In genere indicizzati con un numero intero detto  
**“numero quantico”**

# Onde o Particelle? (Particelle o Onde?)



Interferenza di Fasci Di Elettroni

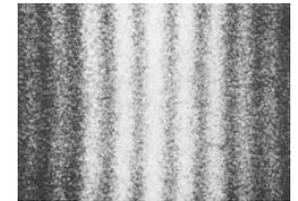


Figura di interferenza tra elettroni misurata

Eppure  $Y(x)$  sembra un'onda, l'equazione del moto sembra una equazione d'onda??



La particella è rappresentata da un campo di probabilità che si propaga Per onde



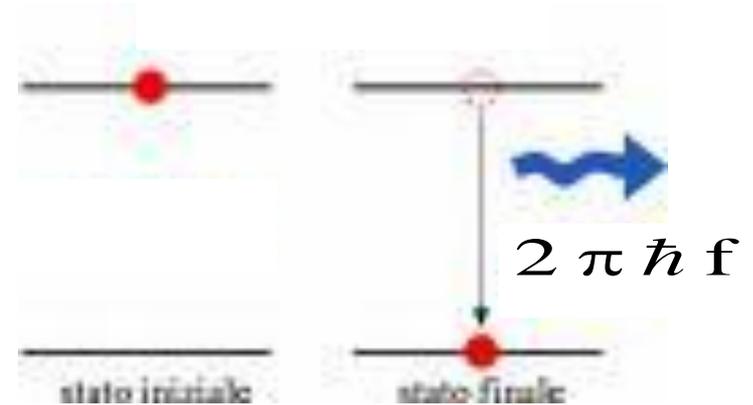
# E le Onde Elettromagnetiche?

Onde elettromagnetiche sono emesse ed assorbite nelle transizioni tra stati stazionari

Quindi a "pacchetti" di uguale energia, cioè uguale frequenza

$$E = 2 \pi \hbar f = 2 \pi \hbar \frac{c}{\lambda}$$

Quindi pacchetti di energia si propagano per onde, come le onde di probabilità



Il modello onda-particella vale anche per la luce  
**Fotoni: Particelle di Luce**

# Il Fotone: ma che particella è?

---

**Velocità:** sempre uguale a  $c$  ed esattamente determinata

**Posizione:** Completamente indeterminata

**Appare** (viene emesso) e **scompare** (viene assorbito)

Si tratta di una particella necessariamente relativistica di un nuovo tipo (non somiglia certo ad una pallina<)

Ne discuteremo a fondo quando convertiremo la teoria  
In una teoria relativistica

# Un Punto non può Ruotare

---

**Elettroni ed altre particelle hanno un momento magnetico**

**Ma come può un PUNTO ruotare?**

**Non può: si tratta di una proprietà propriamente Quantistica:**

**TALE MOMENTO E' DETTO SPIN.**

**Lo Spin in una direzione scelta come riferimento può essere o un multiplo intero o semintero di una costante  $S_0$ .**

**LEPTONI O ANDRONI**

# Un Principio Misterioso

---

**LEPTONI con gli stessi numeri quantici (spin compreso) non possono occupare lo stesso stato stazionario**

# Ma Funziona?

---

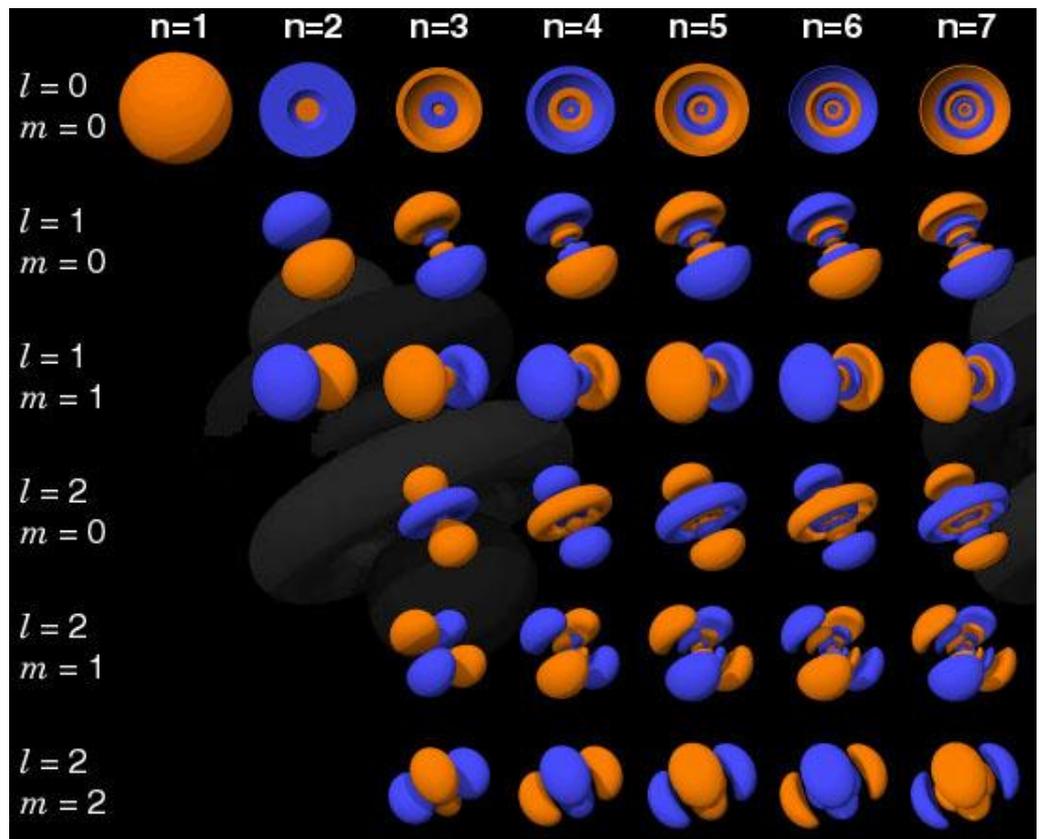
- L'Atomo di Idrogeno
- La Tavola Periodica
- La Chimica: legami e reazioni
- La Catastrofe dell'Ultravioletto
- Molte Applicazioni

# L'Atomo di Idrogeno un protone lega un elettrone !

gli stati stazionari si calcolano con carta e penna

$$E_n = \frac{m_e e^4}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2}$$

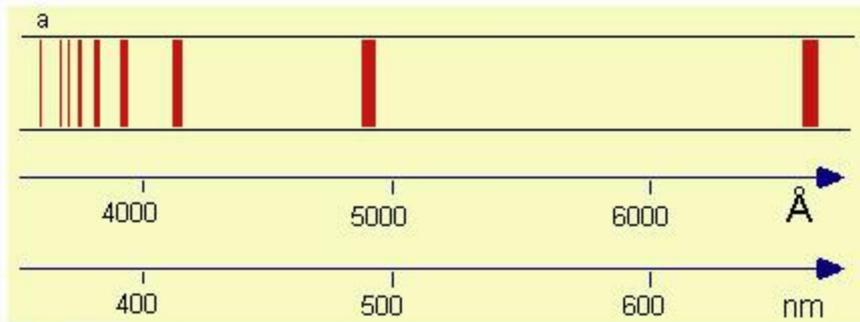
Un elettrone in uno stato stazionario ovviamente non emette



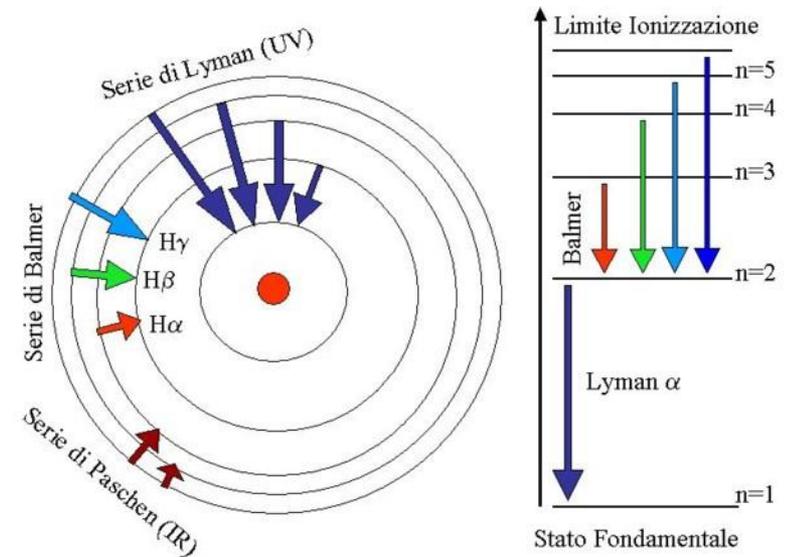
Orbitali dell'atomo di Idrogeno

# Lo Spettro dell'Idrogeno (finalmente)

La teoria conferma completamente le misure  
Fornendo lo spettro di emissione discreto osservato



Spettro di emissione dell'idrogeno  
Nel visibile



Livelli energetici dell'atomo di  
idrogeno

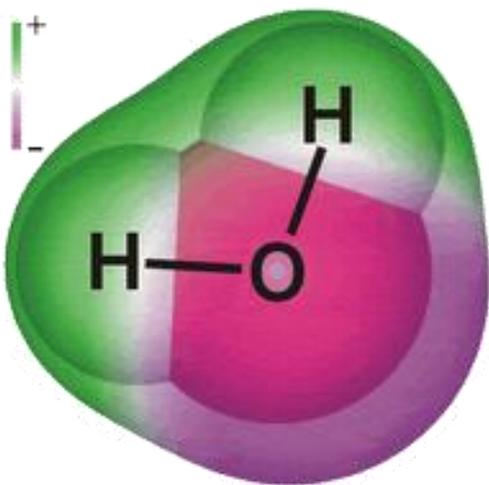
# Riempiamo Uno per uno gli orbitali

## Tavola Periodica degli Elementi

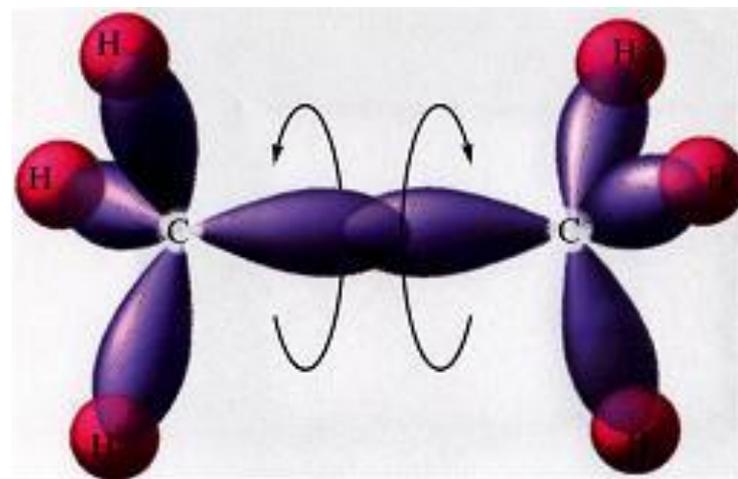
1 IA	Nuovo Originale																18 VIIIA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1 H Idrogeno 1.00794																	2 He Elio 4.002602																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
2 Li Litio 6.941	3 Be Berillio 9.012182																	4 He Elio 4.002602																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3 Na Sodio 22.989770	4 Mg Magnesio 24.3050	5 Al Alluminio 26.981538	6 Si Silicio 28.0855	7 P Fosforo 30.973761	8 S Zolfo 32.06	9 Cl Cloro 35.453	10 Ar Argon 39.948	11 K Potassio 39.0983	12 Ca Calcio 40.078	13 Sc Scandio 44.955910	14 Ti Titanio 47.887	15 V Vanadio 50.9415	16 Cr Cromo 51.9961	17 Mn Manganese 54.938049	18 Fe Ferro 55.8457	19 Co Cobalto 58.933200	20 Ni Nichel 58.6934	21 Cu Rame 63.546	22 Zn Zinco 65.409	23 Ga Gallio 69.723	24 Ge Germanio 72.64	25 As Arsenico 74.92160	26 Se Selenio 78.96	27 Br Bromo 79.904	28 Kr Kriptone 83.798																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
37 Rb Rubidio 85.4678	38 Sr Stronzio 87.62	39 Y Itrio 88.90585	40 Zr Zirconio 91.224	41 Nb Niobio 92.90638	42 Mo Molibdeno 95.94	43 Tc Tecnecio 98	44 Ru Rutenio 101.07	45 Rh Rodio 102.90550	46 Pd Palladio 106.42	47 Ag Argento 107.8682	48 Cd Cadmio 112.411	49 In Indio 114.818	50 Sn Stagno 118.710	51 Sb Antimonio 121.760	52 Te Tellurio 127.60	53 I Iodio 126.90447	54 Xe Xeno 131.293	55 Cs Cesio 132.90545	56 Ba Bario 137.327	57 La Lantanio 138.9055	58 Ce Cerio 140.116	59 Pr Praseodimio 140.90765	60 Nd Neodimio 144.24	61 Pm Promezio (145)	62 Sm Samario 150.36	63 Eu Europio 151.964	64 Gd Gadolino 157.25	65 Tb Terbio 158.92534	66 Dy Dysprosio 162.500	67 Ho Olimio 164.93032	68 Er Erbio 167.259	69 Tm Termio 168.93421	70 Yb Iscandio 173.04	71 Lu Lutetio 174.967																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
87 Fr Francio (223)	88 Ra Radicio (226)	89 to 103	72 Hf Hafnio 178.49	73 Ta Tantalio 180.9479	74 W Tungsteno 183.84	75 Re Renio 186.207	76 Os Osmio 190.23	77 Ir Iridio 192.217	78 Pt Platino 195.078	79 Au Oro 196.96655	80 Hg Mercurio 200.59	81 Tl Tallio 204.3833	82 Pb Piombo 207.2	83 Bi Bismuto 208.98039	84 Po Polonio (209)	85 At Astatio (210)	86 Rn Radone (222)	87 Fr Francio (223)	88 Ra Radicio (226)	89 to 103	90 Th Torio 232.0381	91 Pa Protattinio 231.03688	92 U Uranio 238.02891	93 Np Nettuno (237)	94 Pu Plutonio (244)	95 Am Americio (243)	96 Cm Curio (247)	97 Bk Berkelio (247)	98 Cf Californio (251)	99 Es Einsteinio (252)	100 Fm Fermio (257)	101 Md Mendelevio (258)	102 No Nobelio (259)	103 Lr Lawrencio (260)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
111 Rg Roentgenio (272)	112 Uub Ununbium (285)	113 Uut Ununbium (284)	114 Uuq Ununquadio (289)	115 Uup Ununpentio (288)	116 Uuh Ununhexio (282)	117 Uus Ununseptio (284)	118 Uuo Ununoctio (289)	119 Uue Ununennio (289)	120 Uuq Ununquadio (289)	121 Uup Ununpentio (288)	122 Uuh Ununhexio (282)	123 Uuq Ununquadio (289)	124 Uup Ununpentio (288)	125 Uuh Ununhexio (282)	126 Uuq Ununquadio (289)	127 Uup Ununpentio (288)	128 Uuh Ununhexio (282)	129 Uuq Ununquadio (289)	130 Uup Ununpentio (288)	131 Uuh Ununhexio (282)	132 Uuq Ununquadio (289)	133 Uup Ununpentio (288)	134 Uuh Ununhexio (282)	135 Uuq Ununquadio (289)	136 Uup Ununpentio (288)	137 Uuh Ununhexio (282)	138 Uuq Ununquadio (289)	139 Uup Ununpentio (288)	140 Uuh Ununhexio (282)	141 Uuq Ununquadio (289)	142 Uup Ununpentio (288)	143 Uuh Ununhexio (282)	144 Uuq Ununquadio (289)	145 Uup Ununpentio (288)	146 Uuh Ununhexio (282)	147 Uuq Ununquadio (289)	148 Uup Ununpentio (288)	149 Uuh Ununhexio (282)	150 Uuq Ununquadio (289)	151 Uup Ununpentio (288)	152 Uuh Ununhexio (282)	153 Uuq Ununquadio (289)	154 Uup Ununpentio (288)	155 Uuh Ununhexio (282)	156 Uuq Ununquadio (289)	157 Uup Ununpentio (288)	158 Uuh Ununhexio (282)	159 Uuq Ununquadio (289)	160 Uup Ununpentio (288)	161 Uuh Ununhexio (282)	162 Uuq Ununquadio (289)	163 Uup Ununpentio (288)	164 Uuh Ununhexio (282)	165 Uuq Ununquadio (289)	166 Uup Ununpentio (288)	167 Uuh Ununhexio (282)	168 Uuq Ununquadio (289)	169 Uup Ununpentio (288)	170 Uuh Ununhexio (282)	171 Uuq Ununquadio (289)	172 Uup Ununpentio (288)	173 Uuh Ununhexio (282)	174 Uuq Ununquadio (289)	175 Uup Ununpentio (288)	176 Uuh Ununhexio (282)	177 Uuq Ununquadio (289)	178 Uup Ununpentio (288)	179 Uuh Ununhexio (282)	180 Uuq Ununquadio (289)	181 Uup Ununpentio (288)	182 Uuh Ununhexio (282)	183 Uuq Ununquadio (289)	184 Uup Ununpentio (288)	185 Uuh Ununhexio (282)	186 Uuq Ununquadio (289)	187 Uup Ununpentio (288)	188 Uuh Ununhexio (282)	189 Uuq Ununquadio (289)	190 Uup Ununpentio (288)	191 Uuh Ununhexio (282)	192 Uuq Ununquadio (289)	193 Uup Ununpentio (288)	194 Uuh Ununhexio (282)	195 Uuq Ununquadio (289)	196 Uup Ununpentio (288)	197 Uuh Ununhexio (282)	198 Uuq Ununquadio (289)	199 Uup Ununpentio (288)	200 Uuh Ununhexio (282)	201 Uuq Ununquadio (289)	202 Uup Ununpentio (288)	203 Uuh Ununhexio (282)	204 Uuq Ununquadio (289)	205 Uup Ununpentio (288)	206 Uuh Ununhexio (282)	207 Uuq Ununquadio (289)	208 Uup Ununpentio (288)	209 Uuh Ununhexio (282)	210 Uuq Ununquadio (289)	211 Uup Ununpentio (288)	212 Uuh Ununhexio (282)	213 Uuq Ununquadio (289)	214 Uup Ununpentio (288)	215 Uuh Ununhexio (282)	216 Uuq Ununquadio (289)	217 Uup Ununpentio (288)	218 Uuh Ununhexio (282)	219 Uuq Ununquadio (289)	220 Uup Ununpentio (288)	221 Uuh Ununhexio (282)	222 Uuq Ununquadio (289)	223 Uup Ununpentio (288)	224 Uuh Ununhexio (282)	225 Uuq Ununquadio (289)	226 Uup Ununpentio (288)	227 Uuh Ununhexio (282)	228 Uuq Ununquadio (289)	229 Uup Ununpentio (288)	230 Uuh Ununhexio (282)	231 Uuq Ununquadio (289)	232 Uup Ununpentio (288)	233 Uuh Ununhexio (282)	234 Uuq Ununquadio (289)	235 Uup Ununpentio (288)	236 Uuh Ununhexio (282)	237 Uuq Ununquadio (289)	238 Uup Ununpentio (288)	239 Uuh Ununhexio (282)	240 Uuq Ununquadio (289)	241 Uup Ununpentio (288)	242 Uuh Ununhexio (282)	243 Uuq Ununquadio (289)	244 Uup Ununpentio (288)	245 Uuh Ununhexio (282)	246 Uuq Ununquadio (289)	247 Uup Ununpentio (288)	248 Uuh Ununhexio (282)	249 Uuq Ununquadio (289)	250 Uup Ununpentio (288)	251 Uuh Ununhexio (282)	252 Uuq Ununquadio (289)	253 Uup Ununpentio (288)	254 Uuh Ununhexio (282)	255 Uuq Ununquadio (289)	256 Uup Ununpentio (288)	257 Uuh Ununhexio (282)	258 Uuq Ununquadio (289)	259 Uup Ununpentio (288)	260 Uuh Ununhexio (282)	261 Uuq Ununquadio (289)	262 Uup Ununpentio (288)	263 Uuh Ununhexio (282)	264 Uuq Ununquadio (289)	265 Uup Ununpentio (288)	266 Uuh Ununhexio (282)	267 Uuq Ununquadio (289)	268 Uup Ununpentio (288)	269 Uuh Ununhexio (282)	270 Uuq Ununquadio (289)	271 Uup Ununpentio (288)	272 Uuh Ununhexio (282)	273 Uuq Ununquadio (289)	274 Uup Ununpentio (288)	275 Uuh Ununhexio (282)	276 Uuq Ununquadio (289)	277 Uup Ununpentio (288)	278 Uuh Ununhexio (282)	279 Uuq Ununquadio (289)	280 Uup Ununpentio (288)	281 Uuh Ununhexio (282)	282 Uuq Ununquadio (289)	283 Uup Ununpentio (288)	284 Uuh Ununhexio (282)	285 Uuq Ununquadio (289)	286 Uup Ununpentio (288)	287 Uuh Ununhexio (282)	288 Uuq Ununquadio (289)	289 Uup Ununpentio (288)	290 Uuh Ununhexio (282)	291 Uuq Ununquadio (289)	292 Uup Ununpentio (288)	293 Uuh Ununhexio (282)	294 Uuq Ununquadio (289)	295 Uup Ununpentio (288)	296 Uuh Ununhexio (282)	297 Uuq Ununquadio (289)	298 Uup Ununpentio (288)	299 Uuh Ununhexio (282)	300 Uuq Ununquadio (289)	301 Uup Ununpentio (288)	302 Uuh Ununhexio (282)	303 Uuq Ununquadio (289)	304 Uup Ununpentio (288)	305 Uuh Ununhexio (282)	306 Uuq Ununquadio (289)	307 Uup Ununpentio (288)	308 Uuh Ununhexio (282)	309 Uuq Ununquadio (289)	310 Uup Ununpentio (288)	311 Uuh Ununhexio (282)	312 Uuq Ununquadio (289)	313 Uup Ununpentio (288)	314 Uuh Ununhexio (282)	315 Uuq Ununquadio (289)	316 Uup Ununpentio (288)	317 Uuh Ununhexio (282)	318 Uuq Ununquadio (289)	319 Uup Ununpentio (288)	320 Uuh Ununhexio (282)	321 Uuq Ununquadio (289)	322 Uup Ununpentio (288)	323 Uuh Ununhexio (282)	324 Uuq Ununquadio (289)	325 Uup Ununpentio (288)	326 Uuh Ununhexio (282)	327 Uuq Ununquadio (289)	328 Uup Ununpentio (288)	329 Uuh Ununhexio (282)	330 Uuq Ununquadio (289)	331 Uup Ununpentio (288)	332 Uuh Ununhexio (282)	333 Uuq Ununquadio (289)	334 Uup Ununpentio (288)	335 Uuh Ununhexio (282)	336 Uuq Ununquadio (289)	337 Uup Ununpentio (288)	338 Uuh Ununhexio (282)	339 Uuq Ununquadio (289)	340 Uup Ununpentio (288)	341 Uuh Ununhexio (282)	342 Uuq Ununquadio (289)	343 Uup Ununpentio (288)	344 Uuh Ununhexio (282)	345 Uuq Ununquadio (289)	346 Uup Ununpentio (288)	347 Uuh Ununhexio (282)	348 Uuq Ununquadio (289)	349 Uup Ununpentio (288)	350 Uuh Ununhexio (282)	351 Uuq Ununquadio (289)	352 Uup Ununpentio (288)	353 Uuh Ununhexio (282)	354 Uuq Ununquadio (289)	355 Uup Ununpentio (288)	356 Uuh Ununhexio (282)	357 Uuq Ununquadio (289)	358 Uup Ununpentio (288)	359 Uuh Ununhexio (282)	360 Uuq Ununquadio (289)	361 Uup Ununpentio (288)	362 Uuh Ununhexio (282)	363 Uuq Ununquadio (289)	364 Uup Ununpentio (288)	365 Uuh Ununhexio (282)	366 Uuq Ununquadio (289)	367 Uup Ununpentio (288)	368 Uuh Ununhexio (282)	369 Uuq Ununquadio (289)	370 Uup Ununpentio (288)	371 Uuh Ununhexio (282)	372 Uuq Ununquadio (289)	373 Uup Ununpentio (288)	374 Uuh Ununhexio (282)	375 Uuq Ununquadio (289)	376 Uup Ununpentio (288)	377 Uuh Ununhexio (282)	378 Uuq Ununquadio (289)	379 Uup Ununpentio (288)	380 Uuh Ununhexio (282)	381 Uuq Ununquadio (289)	382 Uup Ununpentio (288)	383 Uuh Ununhexio (282)	384 Uuq Ununquadio (289)	385 Uup Ununpentio (288)	386 Uuh Ununhexio (282)	387 Uuq Ununquadio (289)	388 Uup Ununpentio (288)	389 Uuh Ununhexio (282)	390 Uuq Ununquadio (289)	391 Uup Ununpentio (288)	392 Uuh Ununhexio (282)	393 Uuq Ununquadio (289)	394 Uup Ununpentio (288)	395 Uuh Ununhexio (282)	396 Uuq Ununquadio (289)	397 Uup Ununpentio (288)	398 Uuh Ununhexio (282)	399 Uuq Ununquadio (289)	400 Uup Ununpentio (288)	401 Uuh Ununhexio (282)	402 Uuq Ununquadio (289)	403 Uup Ununpentio (288)	404 Uuh Ununhexio (282)	405 Uuq Ununquadio (289)	406 Uup Ununpentio (288)	407 Uuh Ununhexio (282)	408 Uuq Ununquadio (289)	409 Uup Ununpentio (288)	410 Uuh Ununhexio (282)	411 Uuq Ununquadio (289)	412 Uup Ununpentio (288)	413 Uuh Ununhexio (282)	414 Uuq Ununquadio (289)	415 Uup Ununpentio (288)	416 Uuh Ununhexio (282)	417 Uuq Ununquadio (289)	418 Uup Ununpentio (288)	419 Uuh Ununhexio (282)	420 Uuq Ununquadio (289)	421 Uup Ununpentio (288)	422 Uuh Ununhexio (282)	423 Uuq Ununquadio (289)	424 Uup Ununpentio (288)	425 Uuh Ununhexio (282)	426 Uuq Ununquadio (289)	427 Uup Ununpentio (288)	428 Uuh Ununhexio (282)	429 Uuq Ununquadio (289)	430 Uup Ununpentio (288)	431 Uuh Ununhexio (282)	432 Uuq Ununquadio (289)	433 Uup Ununpentio (288)	434 Uuh Ununhexio (282)	435 Uuq Ununquadio (289)	436 Uup Ununpentio (288)	437 Uuh Ununhexio (282)	438 Uuq Ununquadio (289)	439 Uup Ununpentio (288)	440 Uuh Ununhexio (282)	441 Uuq Ununquadio (289)	442 Uup Ununpentio (288)	443 Uuh Ununhexio (282)	444 Uuq Ununquadio (289)	445 Uup Ununpentio (288)	446 Uuh Ununhexio (282)	447 Uuq Ununquadio (289)	448 Uup Ununpentio (288)	449 Uuh Ununhexio (282)	450 Uuq Ununquadio (289)	451 Uup Ununpentio (288)	452 Uuh Ununhexio (282)	453 Uuq Ununquadio (289)	454 Uup Ununpentio (288)	455 Uuh Ununhexio (282)	456 Uuq Ununquadio (289)	457 Uup Ununpentio (288)	458 Uuh Ununhexio (282)	459 Uuq Ununquadio (289)	460 Uup Ununpentio (288)	461 Uuh Ununhexio (282)	462 Uuq Ununquadio (289)	463 Uup Ununpentio (288)	464 Uuh Ununhexio (282)	465 Uuq Ununquadio (289)	466 Uup Ununpentio (288)	467 Uuh Ununhexio (282)	468 Uuq Ununquadio (289)	469 Uup Ununpentio (288)	470 Uuh Ununhexio (282)	471 Uuq Ununquadio (289)	472 Uup Ununpentio (288)	473 Uuh Ununhexio (282)	474 Uuq Ununquadio (289)	475 Uup Ununpentio (288)	476 Uuh Ununhexio (282)	477 Uuq Ununquadio (289)	478 Uup Ununpentio (288)	479 Uuh Ununhexio (282)	480 Uuq Ununquadio (289)	481 Uup Ununpentio (288)	482 Uuh Ununhexio (282)	483 Uuq Ununquadio (289)	484 Uup Ununpentio (288)	485 Uuh Ununhexio (282)	486 Uuq Ununquadio (289)	487 Uup Ununpentio (288)	488 Uuh Ununhexio (282)	489 Uuq Ununquadio (289)	490 Uup Ununpentio (288)	491 Uuh Ununhexio (282)	492 Uuq Ununquadio (289)	493 Uup Ununpentio (288)	494 Uuh Ununhexio (2

# La Chimica si riduce alla Fisica

---



Legame idrogeno in una  
Molecola di acqua rappresentato  
Tramite gli orbitali molecolari



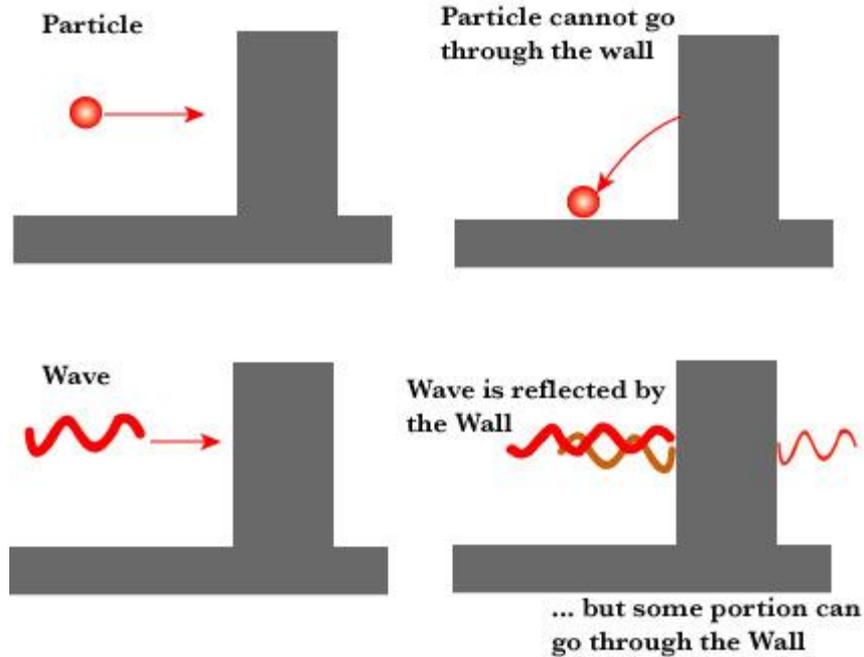
Rappresentazioni grafiche dell'orbitale  
molecolare  $\sigma$  del legame C-C dell'etano,  
per sovrapposizione di orbitali sp<sup>3</sup>. Le  
proporzioni sono state alterate per  
evidenziarlo

# Ci Passa o non Ci Passa?

---

## Effetto Tunnel

### TUNNEL EFFECT



# Ed Ancora

---

Il Transistor ed i circuiti integrati

Il laser ed i sistemi in fibra ottica

Gli amplificatori a microonde dei radar

I Fotodiodi delle cellule fotoelettriche

Le celle solari

.....