

## **Libri di testo consigliati**

### **In Italiano:**

D.F. Shriver & P.W. Atkins

Chimica Inorganica

(II edizione, dalla V edizione Inglese)

Zanichelli

Weller, Overton, Rourke, Armstrong

Inorganic Chemistry (III edizione, novembre 2021)

Oxford

### **In Inglese:**

C.E. Housecroft, A.G. Sharpe

Inorganic Chemistry (3rd edition)

Pearson

D.F. Shriver & P.W. Atkins

Inorganic Chemistry (4th or 5th edition)

Oxford

Weller, Overton, Rourke, Armstrong

Inorganic Chemistry (International Edition)

Oxford

In the last 5 years, the average American (and likely European) has relied on **80** elements for quality of life.

General Electric uses **72** of the first **82** elements in its product line.



### Pharmaceuticals

Pd, Rh, Os, Ir



### Household Items

Rh, Pt



### Refining

La, Pt



### Hybrid/Electric Cars

Nd, Tb, Dy, Pr



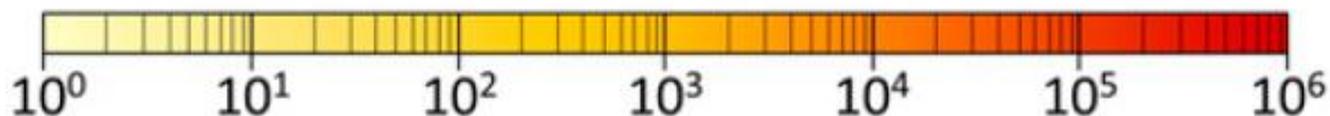
### Alternative Energy

Ru, Nd, Tb, Dy, Pr

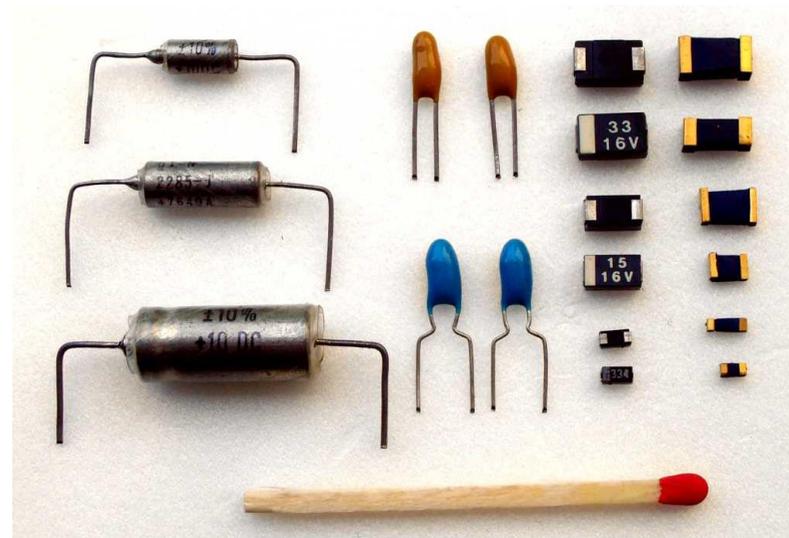
# Concentrazione (in ppm) dei 44 elementi che si trovano in un comune circuito elettronico stampato

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uu	Fl	Uu	Lv	Uus	Uuo

* Lanthanides	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
** Actinides	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr



Columbite – Tantalite = **Coltan**  
 $(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Nb}_n, \text{Ta}_m)_2\text{O}_6$



*..ogni studente in chimica, davanti ad un qualsiasi trattato, dovrebbe essere consapevole che in una di quelle pagine, forse in una sola riga, o formula, o parola, sta scritto il suo avvenire, in caratteri indecifrabili, ma che diverranno chiari «poi»: dopo il successo o l'errore o la colpa, la vittoria o la disfatta.*

*...quale chimico, davanti alla tabella del Sistema Periodico....non vi ravvisa sparsi i tristi brandelli, o trofei, del proprio passato professionale?*

*Così avviene dunque, che ogni elemento dica qualcosa a qualcuno (a ciascuno una cosa diversa), come le valli o spiagge visitate in giovinezza...*

*Primo Levi Il Sistema Periodico*

	Proton	Electron	Neutron
Charge / C	$+1.602 \times 10^{-19}$	$-1.602 \times 10^{-19}$	0
Charge number (relative charge)	1	-1	0
Rest mass / kg	$1.673 \times 10^{-27}$	$9.109 \times 10^{-31}$	$1.675 \times 10^{-27}$
Relative mass	1837	1	1839

$h =$  costante di Planck  $= 6.626 \times 10^{-34}$  J·s

$\hbar = h/2\pi = 1.052 \times 10^{-34}$  J·s

$a_0 =$  raggio di Bohr  $= 5.293 \times 10^{-11}$  m  $= 52.93$  pm  $= 0.529$  Å

(1 pm =  $10^{-12}$  m; 1 Å =  $10^{-10}$  m, cioè 1 Å = 100 pm;

1 nm = 1000 pm, 1 nm = 10 Å)

Raggio del protone: ca. 1 fm (1 fm =  $10^{-15}$  m)

Raggio di un nucleo atomico: ca. 10 fm

Nell'atomo di H, rapporto raggio atomo/raggio nucleo = ca. 50.000

*...se il protone dell'atomo di idrogeno avesse raggio 1m e fosse posto in Piazza Unità, l'elettrone starebbe – mediamente – a più di 50 km di distanza, cioè quasi a Palmanova del Friuli..*

# Tappe verso la Meccanica Quantistica

**De Broglie** (1924): dualismo onda-particella per l'elettrone

**Heisenberg** (1926): principio di indeterminazione

**Schrödinger** (1926): equazione (equazione d'onda) che descrive il comportamento ondulatorio dell'elettrone dell'atomo di idrogeno intorno al nucleo nello stato fondamentale

# equazione di Schrödinger

(caso monodimensionale)

$$-\hbar^2/2m \times d^2\Psi/dx^2 + V\Psi = E\Psi$$



*cinetica*



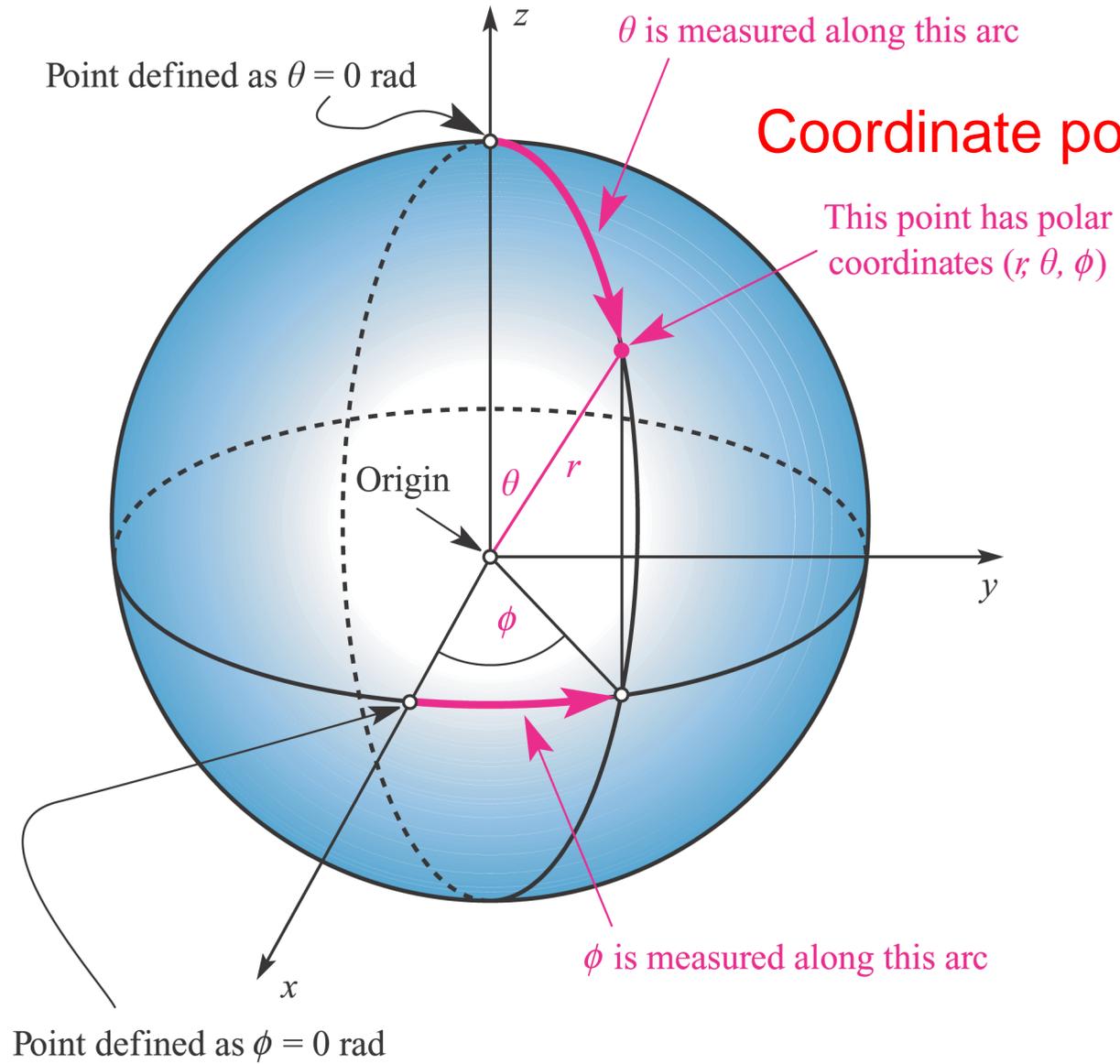
*potenziale*

$\Psi$  = funzione d'onda

$$d^2\Psi/dx^2 + 8\pi^2m/h^2 \cdot (E - V) \Psi = 0$$

Le funzioni d'onda  $\Psi$  per un elettrone sono soluzioni dell'**equazione di Schrödinger** e descrivono il comportamento dell'elettrone (inteso come onda) in una regione di spazio chiamata **orbitale**.

Alle funzioni d'onda  $\Psi$  sono associati valori quantizzati di energia



## Coordinate polari sferiche

$$\Psi(x, y, z) = R_{n,l}(r) \cdot A_{l,m}(\theta, \phi)$$

Ogni **orbitale atomico**, descritto da una  $\Psi$ , è definito univocamente da un set di 3 numeri interi, i numeri quantici,  $n$ ,  $l$  ed  $m_l$

$n =$  **numero quantico principale**: energia, grandezza  
 $n = 1, 2, 3, 4, \dots$  (valori interi)

$l =$  **numero quantico (del momento angolare) orbitale**: forma e momento angolare  
 $l = 0, 1, 2, 3, 4, \dots, n-1$  (in totale  $n$  valori interi)  
**s, p, d, f, .....**

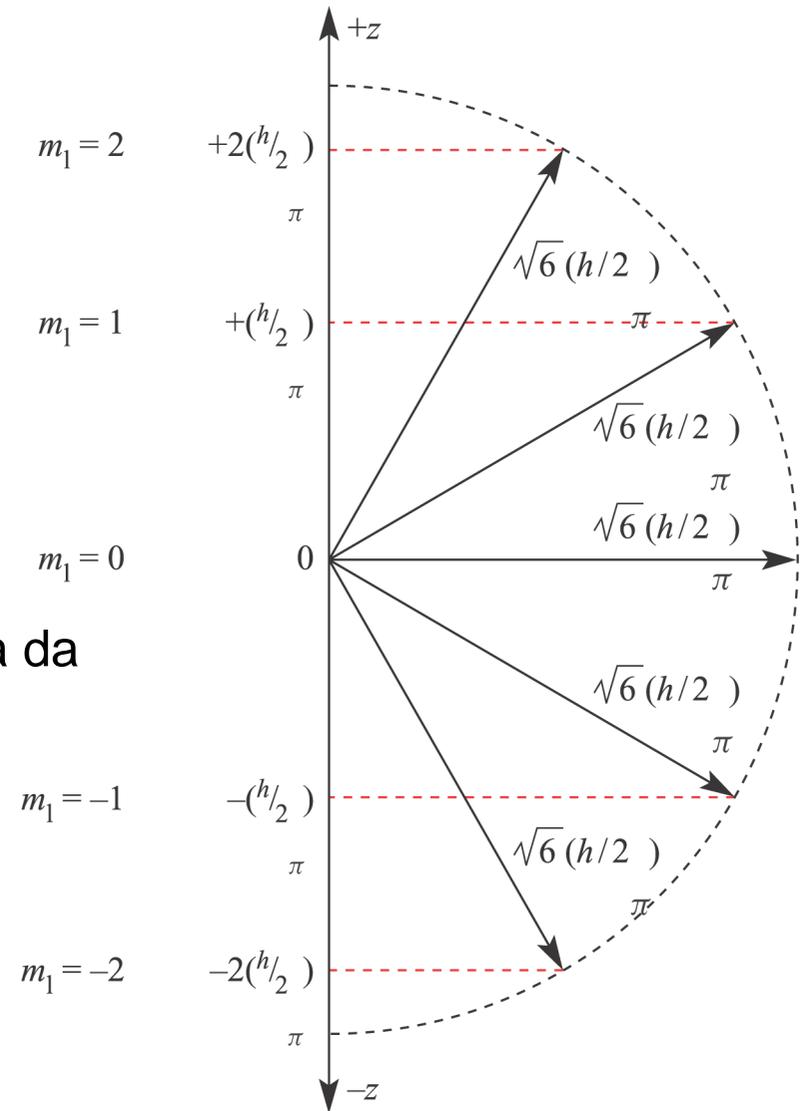
La grandezza del momento angolare orbitale è data da  $\frac{h}{2\pi} \times \sqrt{l(l+1)}$

$m_l =$  **numero quantico magnetico**: orientazione del momento angolare (e quindi dell'orbitale stesso).  
 $m_l = -l, -l+1, \dots, 0, \dots, l-1, l$  (in totale  $2l+1$  valori interi)

Il numero quantico  $m_l$  specifica la componente (proiezione) del momento angolare orbitale lungo un asse arbitrario (tipicamente  $z$ ) che passa per il nucleo

# Momento angolare associato a un elettrone in un orbitale d ( $l = 2$ ) e sue componenti sull'asse z

La grandezza del momento angolare orbitale è data da  $\frac{h}{2\pi} \times \sqrt{l(l+1)}$



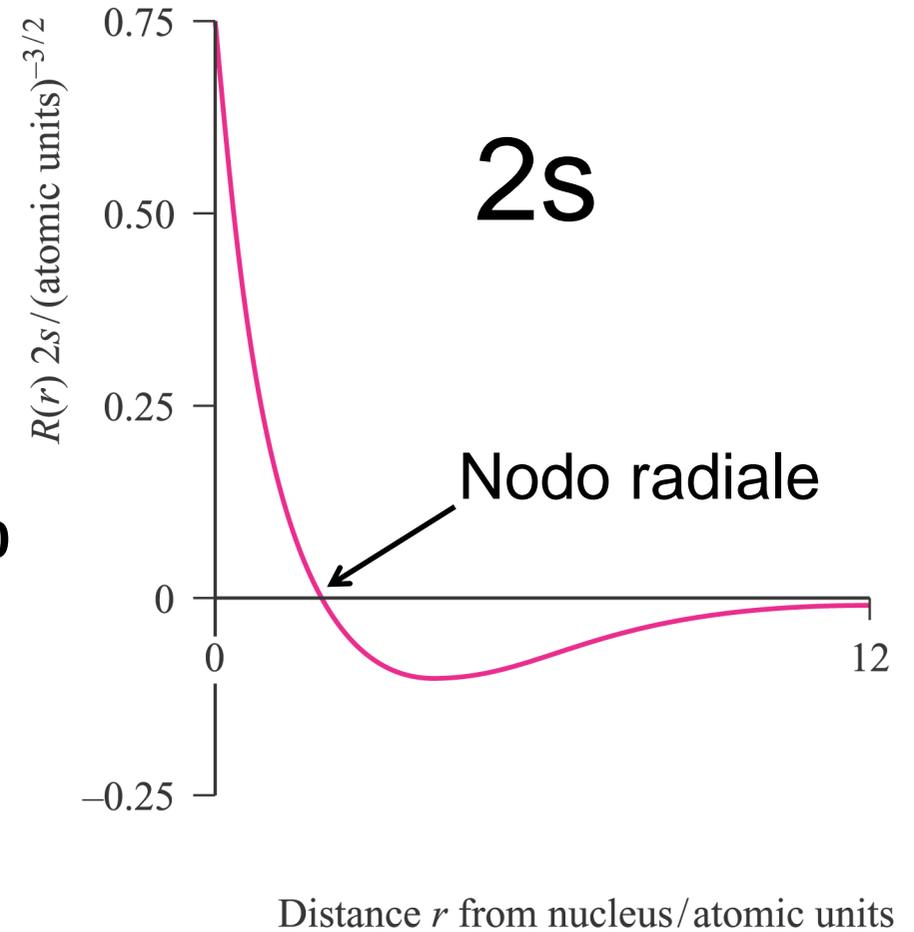
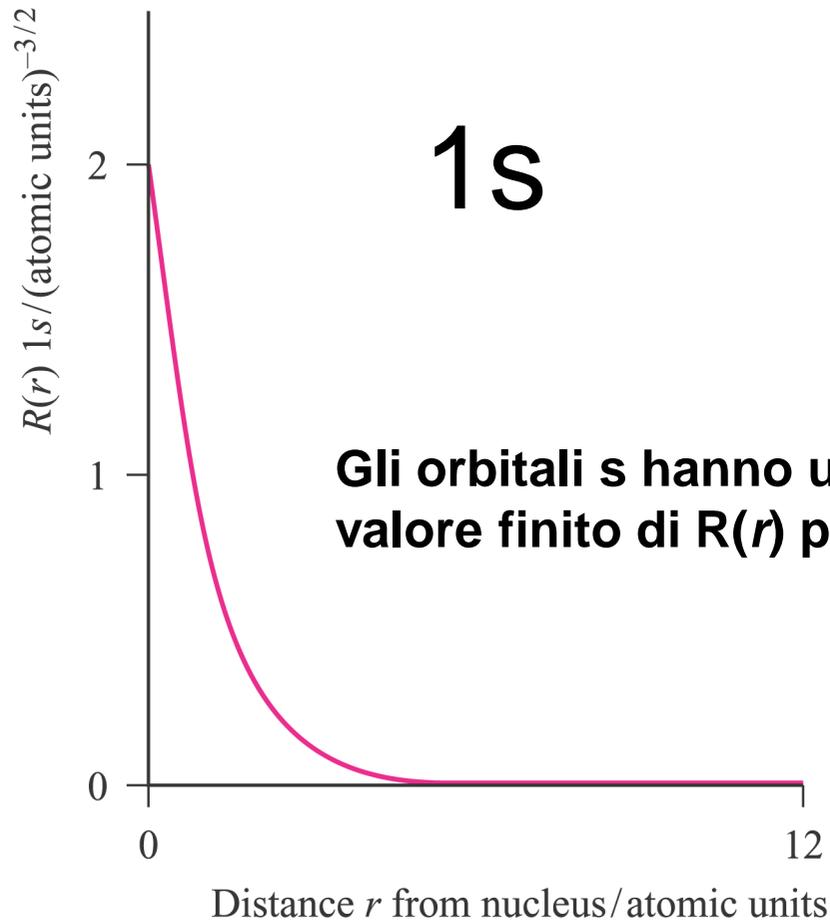
# Funzioni d'onda per l'atomo H

Atomic orbital	$n$	$l$	$m_l$	Radial part of the wavefunction, $R(r)^\dagger$	Angular part of wavefunction, $A(\theta, \phi)$
1s	1	0	0	$2e^{-r}$	$\frac{1}{2\sqrt{\pi}}$
2s	2	0	0	$\frac{1}{2\sqrt{2}}(2-r)e^{-r/2}$	$\frac{1}{2\sqrt{\pi}}$
$2p_x$	2	1	+1	$\frac{1}{2\sqrt{6}}r e^{-r/2}$	$\frac{\sqrt{3}(\sin \theta \cos \phi)}{2\sqrt{\pi}}$
$2p_z$	2	1	0	$\frac{1}{2\sqrt{6}}r e^{-r/2}$	$\frac{\sqrt{3}(\cos \theta)}{2\sqrt{\pi}}$
$2p_y$	2	1	-1	$\frac{1}{2\sqrt{6}}r e^{-r/2}$	$\frac{\sqrt{3}(\sin \theta \sin \phi)}{2\sqrt{\pi}}$

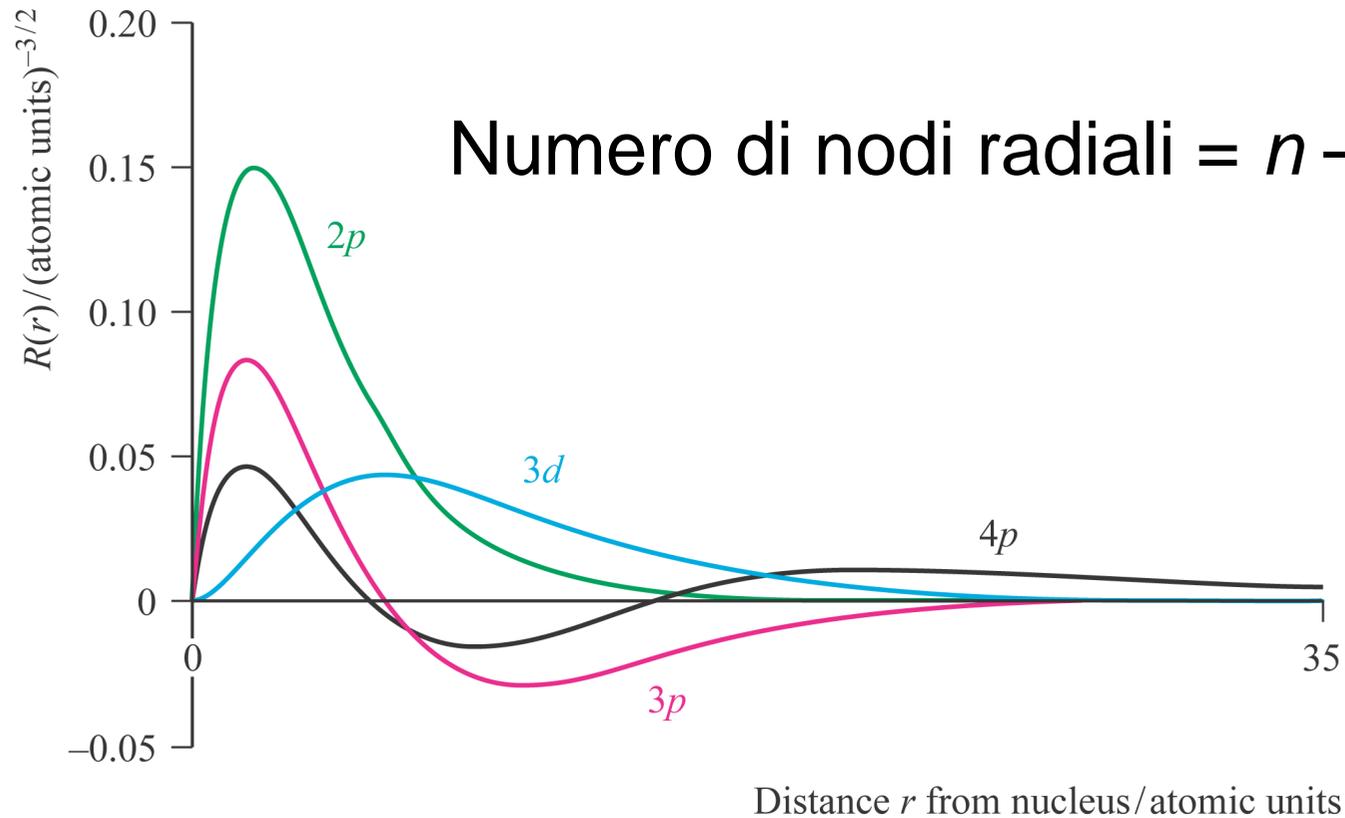
<sup>†</sup> For the 1s atomic orbital, the formula for  $R(r)$  is actually  $2\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-Zr/a_0}$  but for the hydrogen atom,  $Z = 1$  and  $a_0 = 1$  atomic unit. Other functions are similarly simplified.

$$\Psi(x, y, z) = R_{n,l}(r) \cdot A_{l,m}(\theta, \phi)$$

# Componente radiale della funzione d'onda



# Componente radiale della funzione d'onda

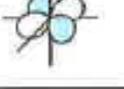


$$\Psi(x, y, z) = R_{n,l}(r) \cdot A_{l,m}(\theta, \phi)$$

Atomic orbital	$n$	$l$	$m_l$	Radial part of the wavefunction, $R(r)^\dagger$	Angular part of wavefunction, $A(\theta, \phi)$
1s	1	0	0	$2e^{-r}$	$\frac{1}{2\sqrt{\pi}}$
2s	2	0	0	$\frac{1}{2\sqrt{2}}(2-r)e^{-r/2}$	$\frac{1}{2\sqrt{\pi}}$
2p <sub>x</sub>	2	1	+1	$\frac{1}{2\sqrt{6}}re^{-r/2}$	$\frac{\sqrt{3}(\sin\theta\cos\phi)}{2\sqrt{\pi}}$
2p <sub>z</sub>	2	1	0	$\frac{1}{2\sqrt{6}}re^{-r/2}$	$\frac{\sqrt{3}(\cos\theta)}{2\sqrt{\pi}}$
2p <sub>y</sub>	2	1	-1	$\frac{1}{2\sqrt{6}}re^{-r/2}$	$\frac{\sqrt{3}(\sin\theta\sin\phi)}{2\sqrt{\pi}}$

<sup>†</sup> For the 1s atomic orbital, the formula for  $R(r)$  is actually  $2\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} e^{-Zr/a_0}$  but for the hydrogen atom,  $Z = 1$  and  $a_0 = 1$  atomic unit. Other functions are similarly simplified.

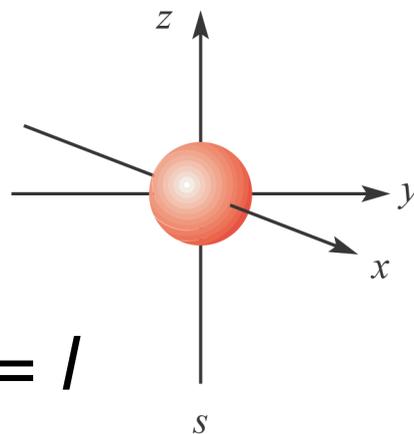
**TABELLA 2.3 Funzioni d'onda dell'atomo di idrogeno: funzioni angolari**

Fattori angolari				Funzioni d'onda reali			
	Legate al momento angolare		Funzioni di $\theta$	In coordinate polari	In coordinate cartesiane	Forme	Nome
$l$	$m_l$	$\Phi$	$\Theta$	$\Theta\Phi(\theta, \phi)$	$\Theta\Phi(x, y, z)$		
0(s)	0	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}}$	$\frac{1}{2\sqrt{\pi}}$		s
1(p)	0	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}}$	$\frac{\sqrt{6}}{2} \cos \theta$	$\frac{1}{2\sqrt{\pi}} \cos \theta$	$\frac{1}{2\sqrt{\pi}} \frac{z}{r}$		$p_z$
	+1	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{i\phi}$	$\frac{\sqrt{3}}{2} \sin \theta$	$\frac{1}{2\sqrt{\pi}} \sin \theta \cos \phi$	$\frac{1}{2\sqrt{\pi}} \frac{x}{r}$		$p_x$
	-1	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-i\phi}$	$\frac{\sqrt{3}}{2} \sin \theta$	$\frac{1}{2\sqrt{\pi}} \sin \theta \sin \phi$	$\frac{1}{2\sqrt{\pi}} \frac{y}{r}$		$p_y$
2(d)	0	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}}$	$\frac{1}{2\sqrt{2}} (3 \cos^2 \theta - 1)$	$\frac{1}{4\sqrt{\pi}} (3 \cos^2 \theta - 1)$	$\frac{1}{4\sqrt{\pi}} \frac{(2z^2 - x^2 - y^2)}{r^2}$		$d_{z^2}$
	+1	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{i\phi}$	$\frac{\sqrt{15}}{2} \cos \theta \sin \theta$	$\frac{1}{2\sqrt{\pi}} \cos \theta \sin \theta \cos \phi$	$\frac{1}{2\sqrt{\pi}} \frac{xz}{r^2}$		$d_{xz}$
	-1	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-i\phi}$	$\frac{\sqrt{15}}{2} \cos \theta \sin \theta$	$\frac{1}{2\sqrt{\pi}} \cos \theta \sin \theta \sin \phi$	$\frac{1}{2\sqrt{\pi}} \frac{yz}{r^2}$		$d_{yz}$
	+2	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{2i\phi}$	$\frac{\sqrt{15}}{4} \sin^2 \theta$	$\frac{1}{4\sqrt{\pi}} \sin^2 \theta \cos 2\phi$	$\frac{1}{4\sqrt{\pi}} \frac{(x^2 - y^2)}{r^2}$		$d_{x^2-y^2}$
	-2	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-2i\phi}$	$\frac{\sqrt{15}}{4} \sin^2 \theta$	$\frac{1}{4\sqrt{\pi}} \sin^2 \theta \sin 2\phi$	$\frac{1}{4\sqrt{\pi}} \frac{xy}{r^2}$		$d_{xy}$

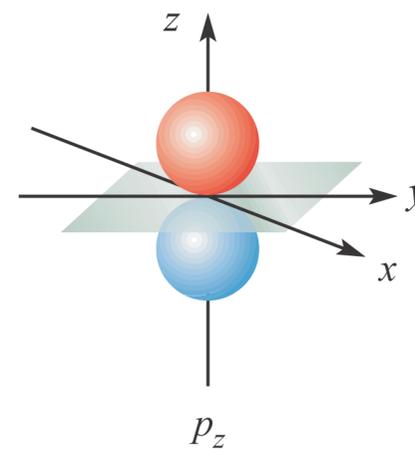
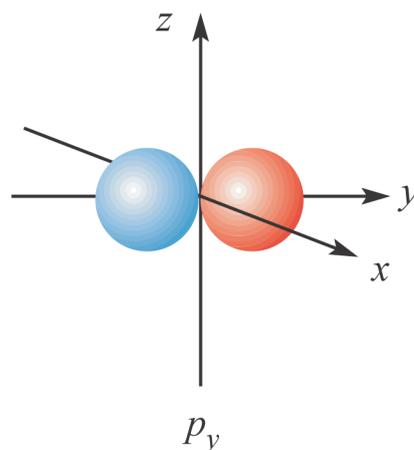
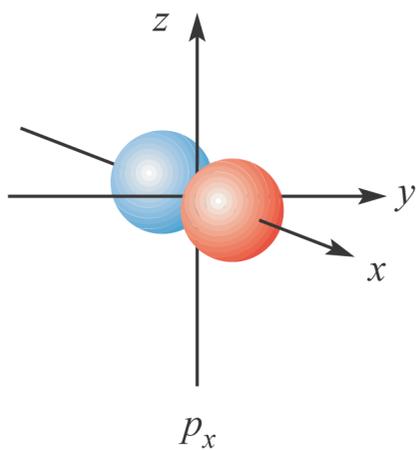
Le combinazioni di solito scelte per alcuni orbitali p e d sono la somma e la differenza dei cosiddetti fattori angolari. Per esempio, i fattori angolari p con  $m_l = +1$  e  $-1$  (funzioni complesse), normalizzati e quindi moltiplicati rispettivamente per le costanti  $1/\sqrt{2}$  e  $i/\sqrt{2}$ .

*in equazioni differenziali come quella di Schroedinger, ogni combinazione lineare di soluzioni dell'equazione, cioè somme o differenze delle funzioni, ciascuna moltiplicata per un qualunque coefficiente, è anch'essa una soluzione dell'equazione*

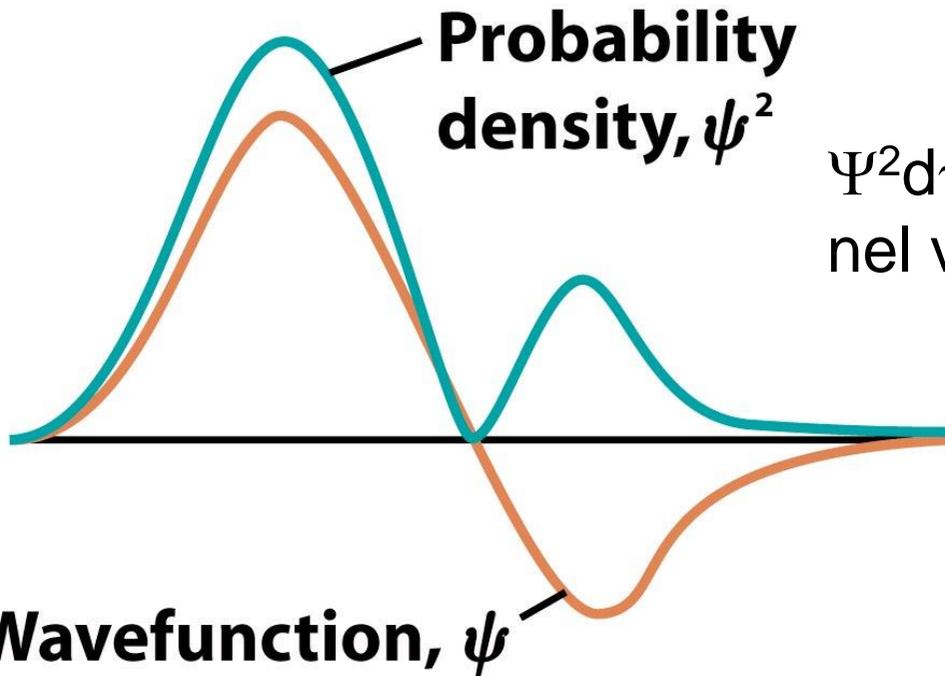
# Superfici di confine senza significato fisico, $A(\theta, \phi)$



Numero di piani nodali =  $l$



$\Psi^2$  = funzione densità di probabilità



$\Psi^2 d\tau$  = probabilità di trovare l'elettrone nel volume infinitesimo  $d\tau$

$$\int \Psi^2 d\tau = 1$$

normalizzazione

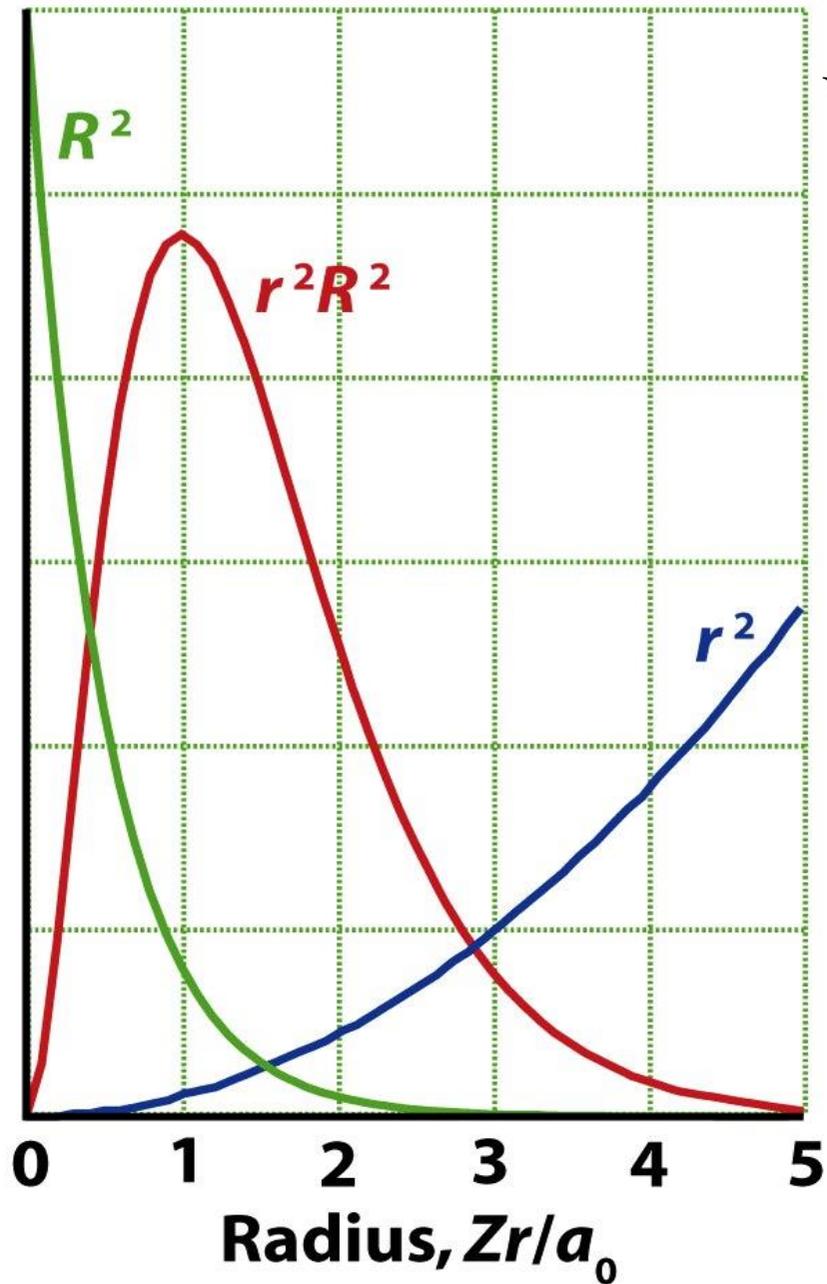
$$\Psi^2(x, y, z) = R_{n,l}(r)^2 \cdot A_{l,m}(\theta, \phi)^2$$

$$\Psi^2(x, y, z) = R_{n,l}(r)^2 \cdot A_{l,m}(\theta, \phi)^2$$

**funzione di  
distribuzione radiale**

$$P(r) = 4\pi r^2 R(r)^2$$

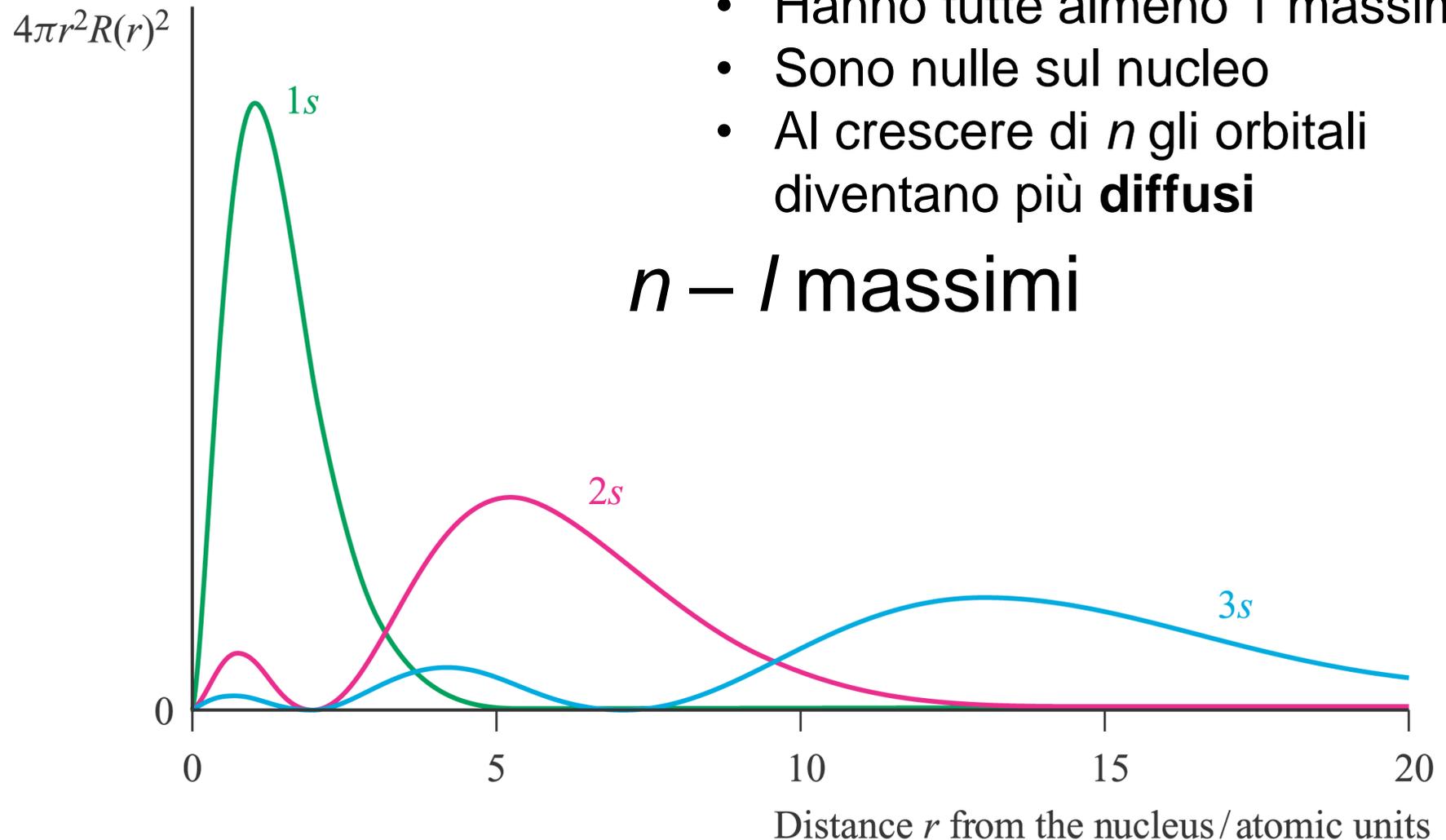
probabilità di trovare l'elettrone a una distanza  $r$  dal nucleo (in un guscio sferico di superficie  $4\pi r^2$  e di spessore  $dr$ ), indipendentemente dalla direzione. È l'integrale di  $\Psi^2 dr$  esteso su tutti gli angoli



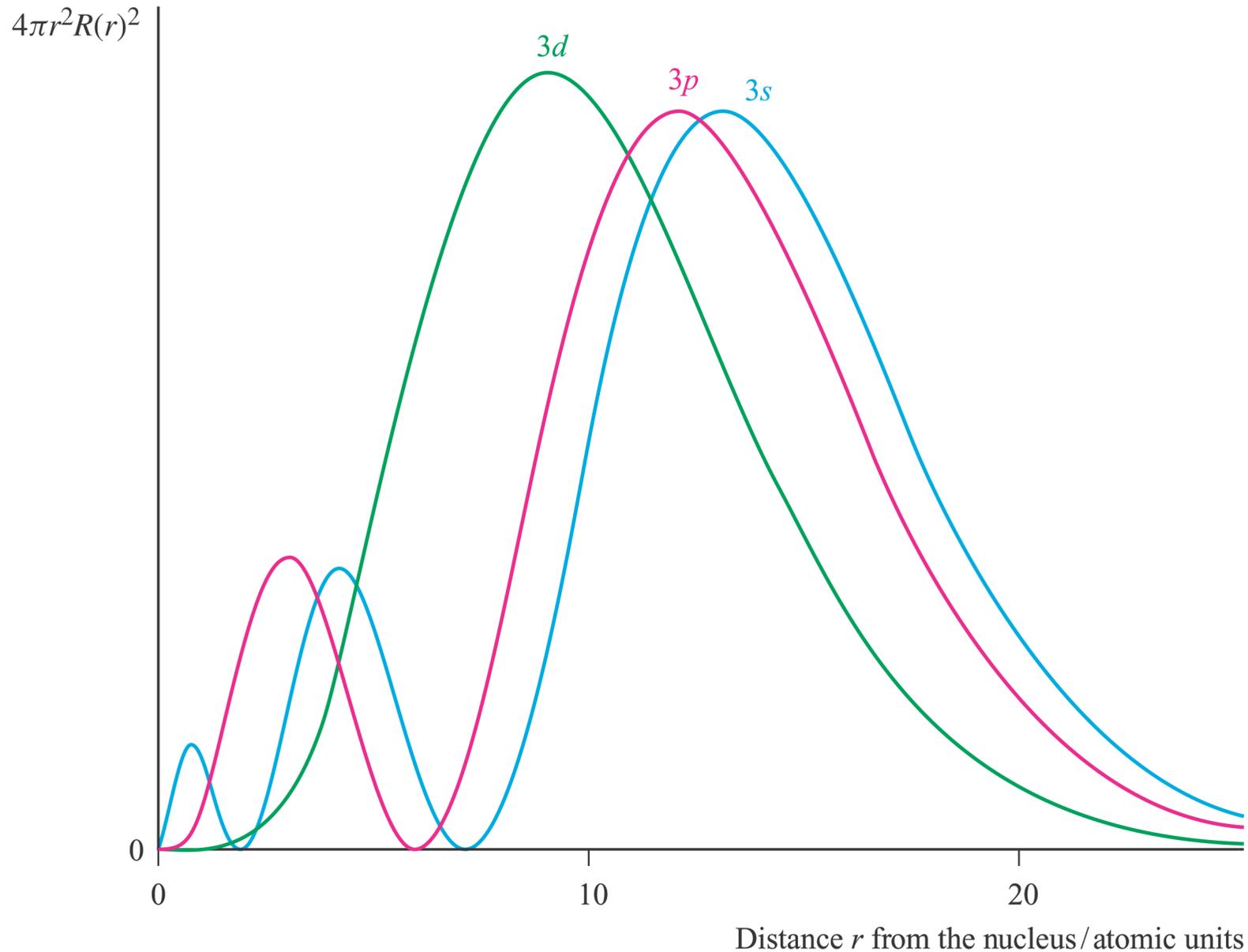
**Orbitale 1s**

$$P(r) = 4\pi r^2 \Psi^2$$

# Funzioni di distribuzione radiale

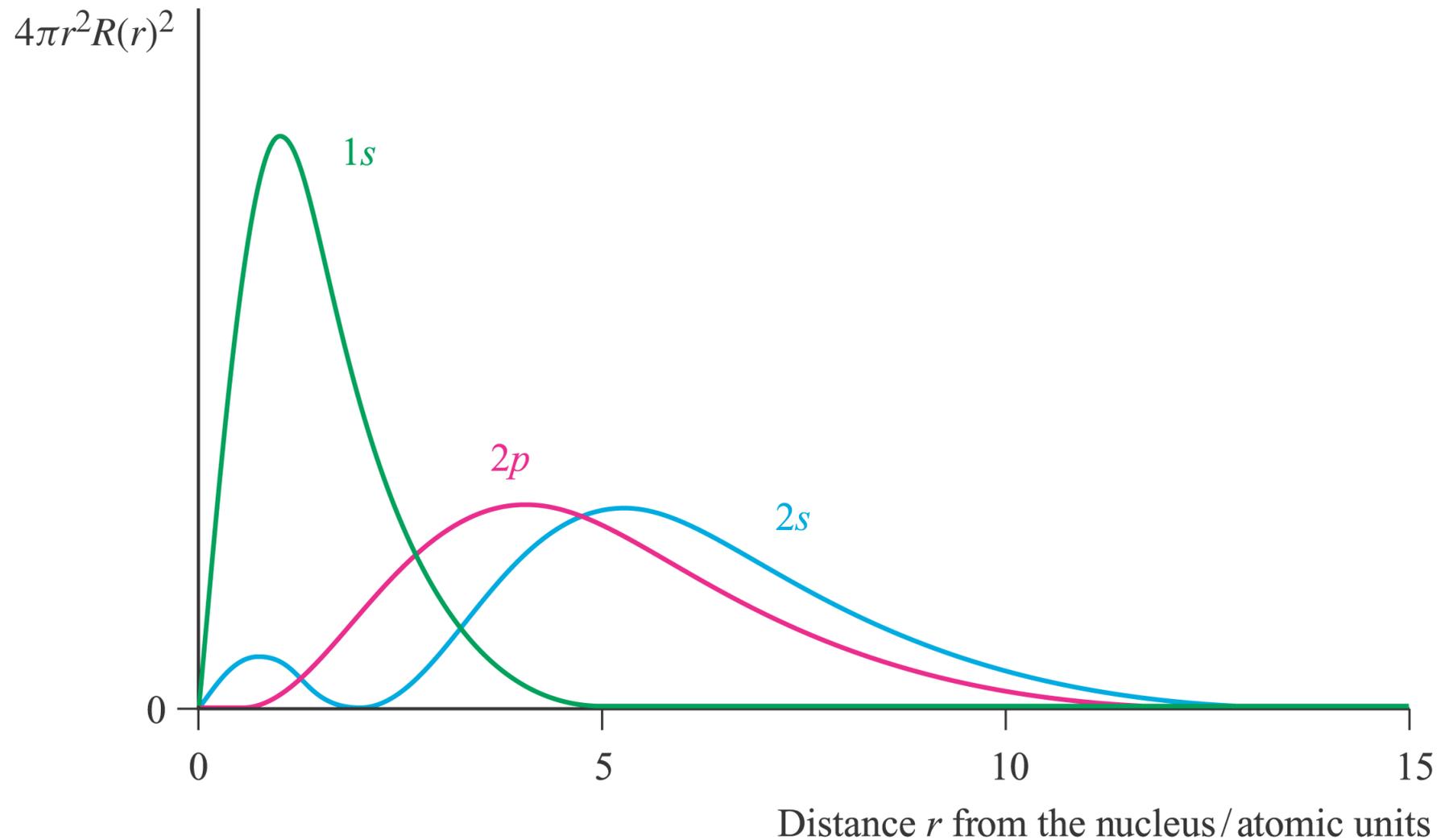


# Funzioni di distribuzione radiale



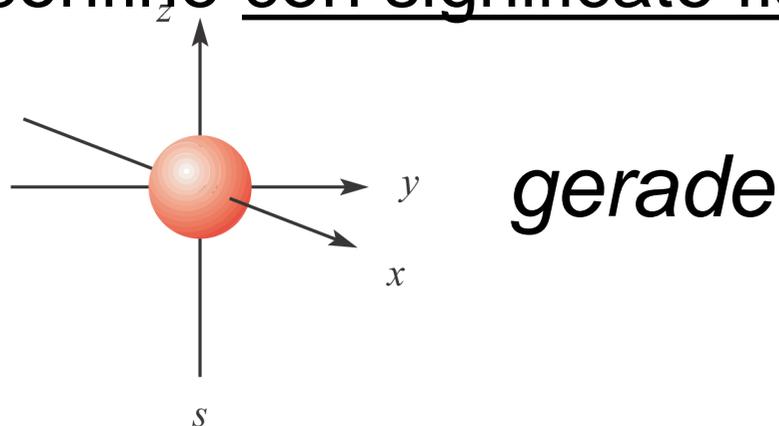
A parità di  $n$ , orbitali con  $l$  più piccolo sono più **penetranti**

# Funzioni di distribuzione radiale

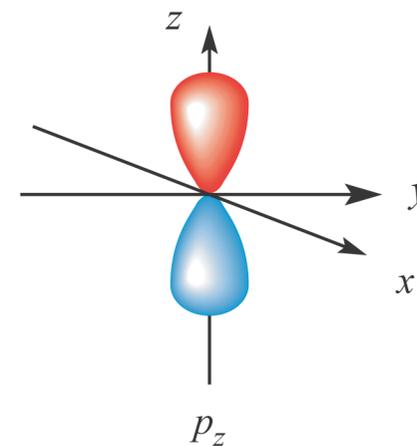
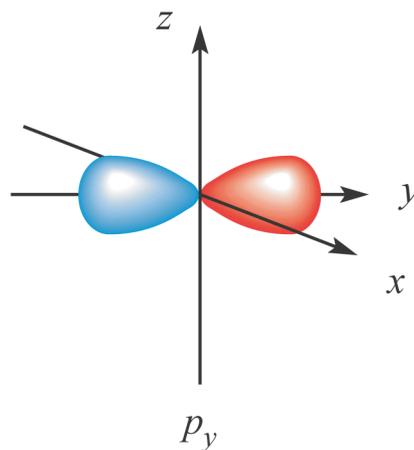
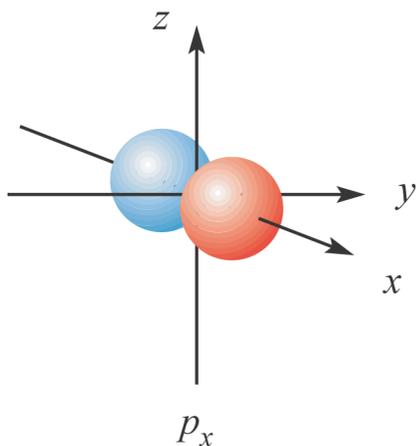


# Funzione di distribuzione angolare $A(\theta, \phi)^2$

## Superfici di confine con significato fisico

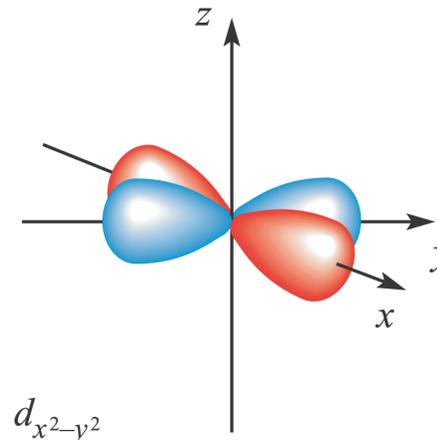
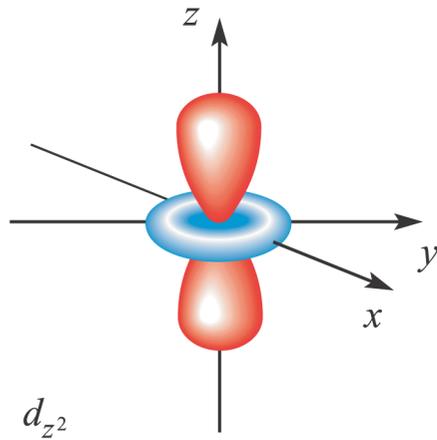
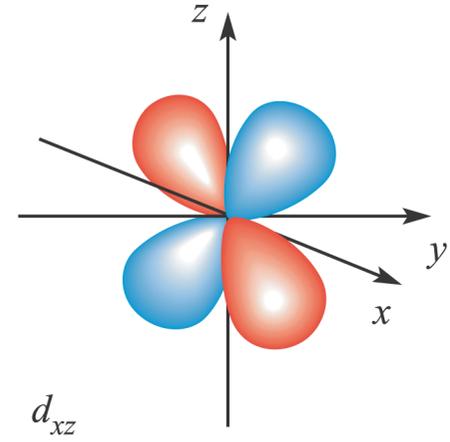
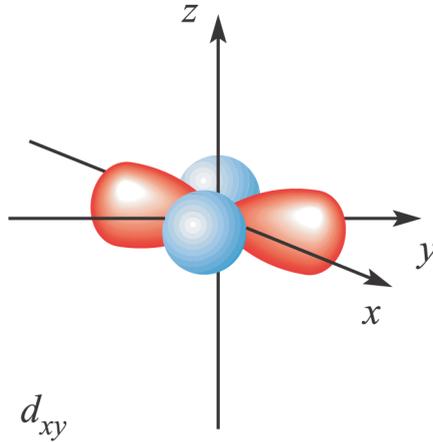
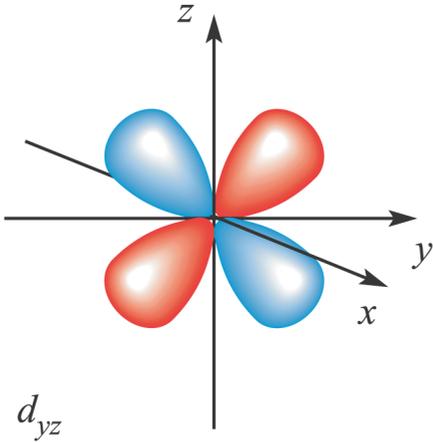


*ungerade*



$A(\theta, \phi)^2$  rappresenta la probabilità di trovare un elettrone in funzione dei due angoli  $\theta$  e  $\phi$

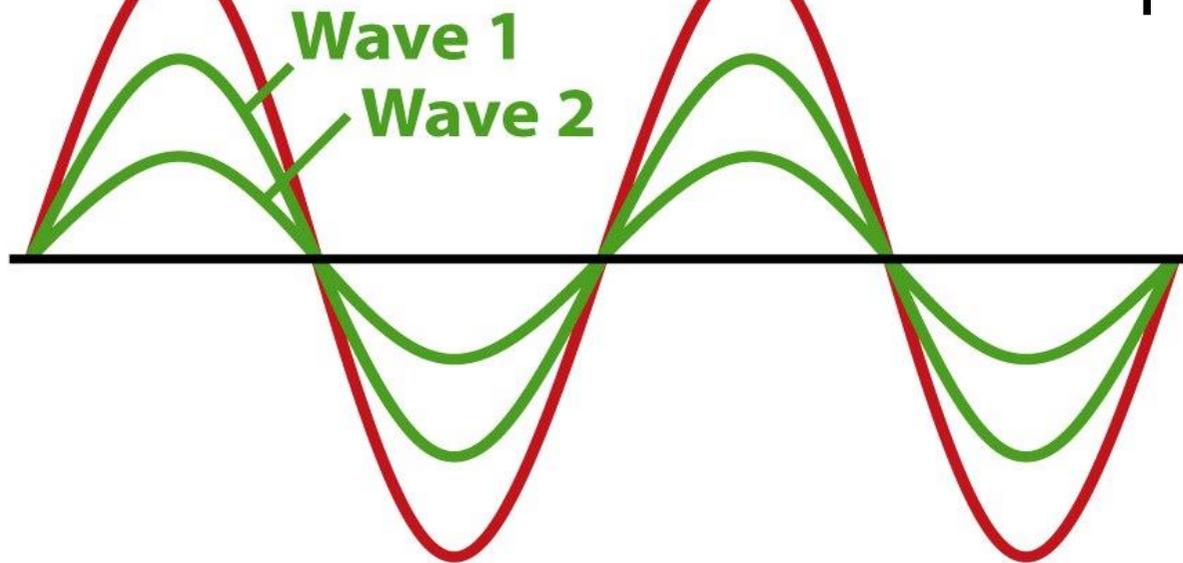
# Superfici di confine con significato fisico, $A(\theta, \phi)^2$



*gerade*

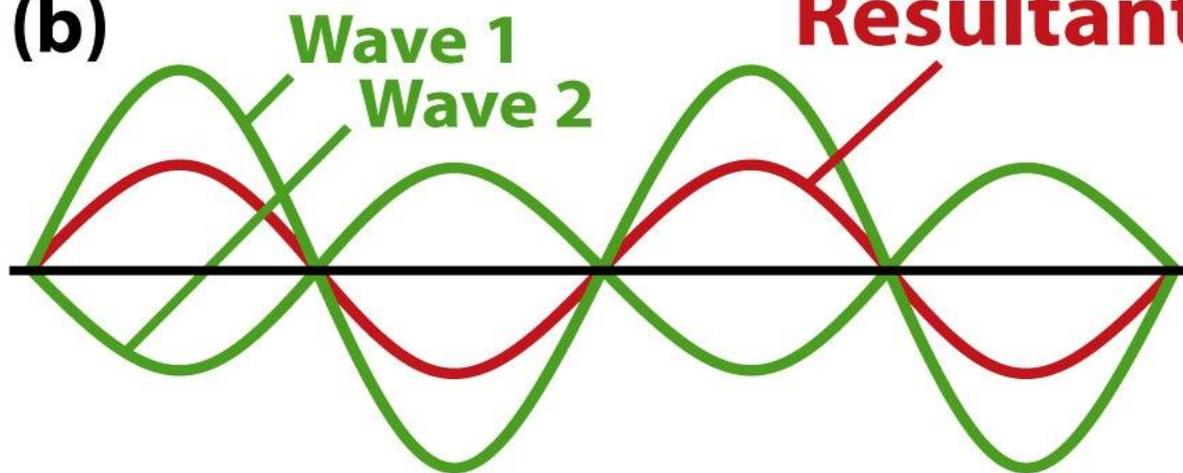
**(a) Resultant**

Importanza della fase

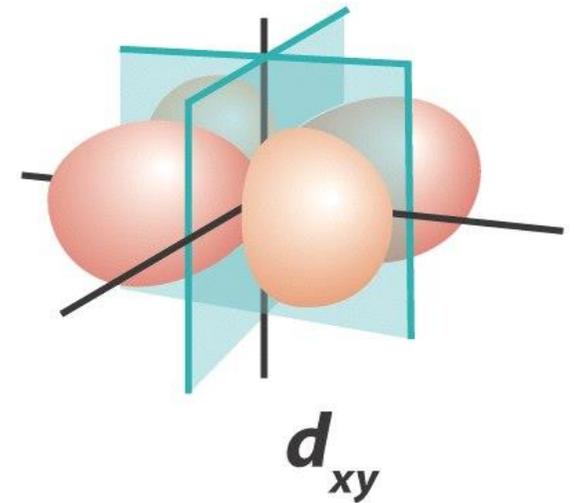
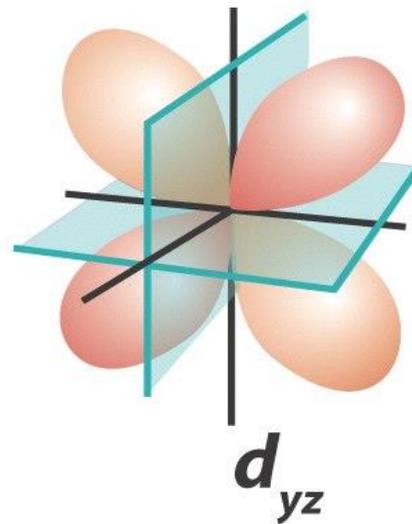
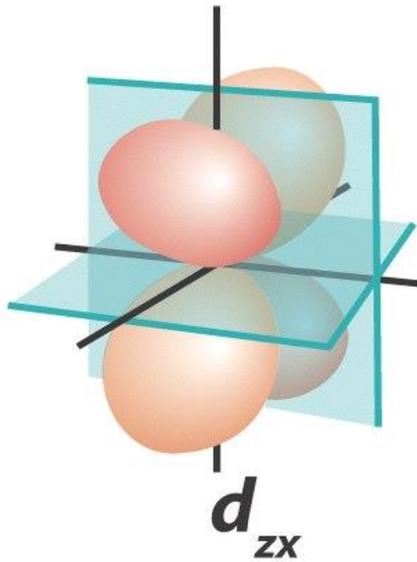
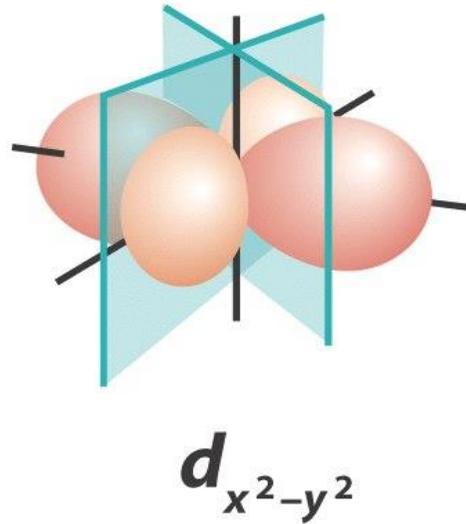
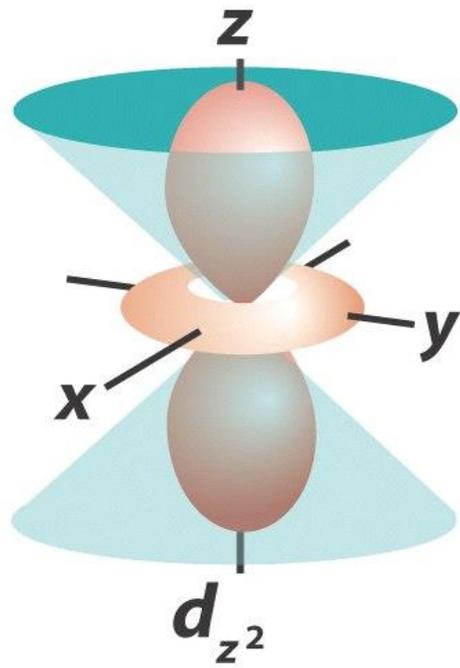


**(b)**

**Resultant**

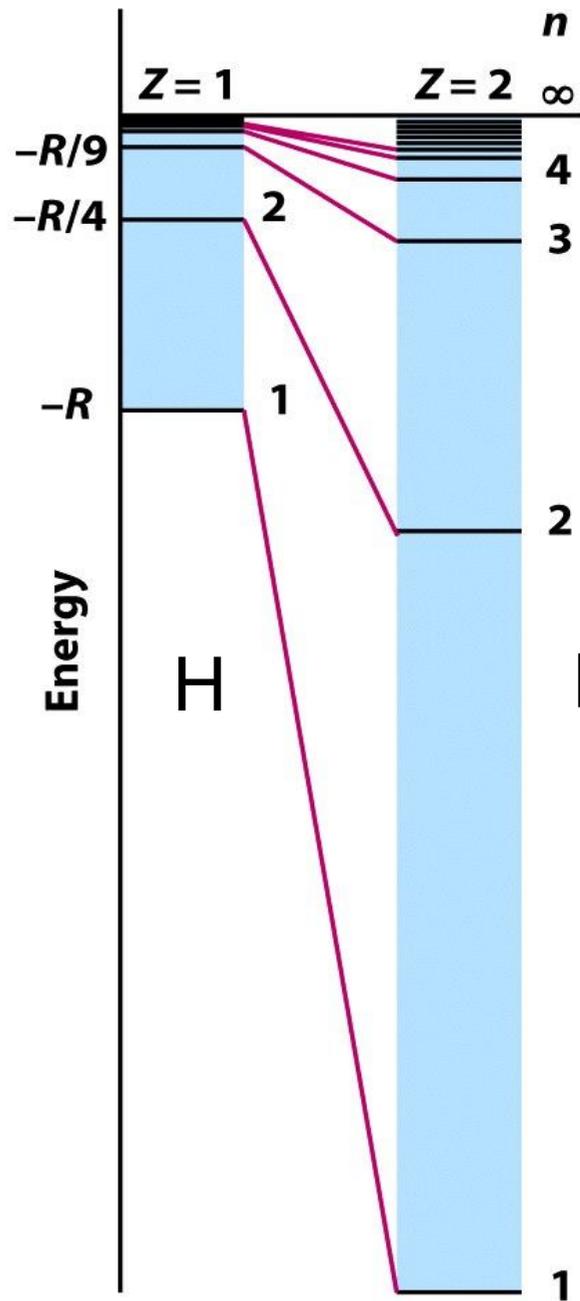


Le funzioni di distribuzione angolare hanno / piani nodali



eccellenti rappresentazioni degli orbitali si  
possono trovare sul sito:

<http://winter.group.shef.ac.uk/orbitron/>



$$E = -kZ^2/n^2$$

$$k = 1.312 \times 10^3 \text{ kJ mol}^{-1}$$

# Subshells

