

LEZIONI DI TECNOLOGIA CERAMICA

ITS NATTA Direttore Prof. I. Amboni
Via Europa, 15 - Bergamo
Tel. 035/798106

Dott. Giuseppe Pagliara
g.pagliara@pagliara.it

14. CERAMICHE AVANZATE



Pagliara
prodotti chimici spa



PAGLIARA PRODOTTI CHIMICI SPA

Via Don Comotti, 7 - 24050 LURANO (BG) ITALIA

Tel. +39 035 800050 r.a. - Fax. +39 035 800288-800133

Capitale Sociale Deliberato € 2.000.000,00 Versato € 1.600.000,00

C.F. P.IVA IT 01245920168 REA Bg N.185771 Registro Imprese Bg01245920168

www.pagliara.it - pagliara@pagliara.it - pagliaraprodottichimici@registerpec.it

CERAMICHE

CERAMICA	COMPOSIZIONE	CARATTERISTICHE	IMPIEGHI	
STANDARD (Classica)	ARGILLOSA	BASILARI Idroplasticità Sinterizzazione Fragilità	DOMESTICA	Artistica, vasi, statue, stoviglie, sanitari, laterizi, piastrelle, vetrine, smalti porcellanati, vetro piano, vetro cavo e fibre di vetro tessili.
			INDUSTRIALE	Refrattari, isolatori, porcellana tecnica, filtri e schiume ceramiche, fibre di vetro per uso tecnico.
TECNICA	NON ARGILLOSA	STRUTTURALI Durezza, Rigidità, Resistenza meccanica, chimica, elettrica, termica.	Abrasivi, componenti meccanici, corpi macinati, scudi termici, fibre tecniche inorganiche, inserti taglienti, elettroceramica, bioceramica, compositi ceramici. Adesivi e lubrificanti solidi per alte temperature.	
AVANZATA	VARIA: OSSIDICA E NON OSSIDICA	FUNZIONALI Piezo-, Piro-, Foto- -elettricità Semiconduttori drogabili	Diodi, transistor, sensori termici e crepuscolari, ultrasuoni, rivestimenti sottili, lampade LED, dischi freni, superrefrattari, ceramica per elettronica, nanoceramiche, grafene, fullerene e per teranostica.	

DEFINIZIONI

CERAMICHE INDUSTRIALI STANDARD

Sfruttano le caratteristiche basilari di idroplasticità per la formatura e di sinterizzazione per la densificazione mediante cottura ad alta temperatura.

CERAMICHE TECNICHE

Utilizzate per le loro elevate caratteristiche strutturali meccaniche ed elettriche anche in condizioni di esercizio gravoso e di pressione e temperatura estreme.

CERAMICHE AVANZATE

Per impieghi altamente ingegnerizzati che sfruttano le loro eccezionali caratteristiche funzionali che spesso hanno permesso lo sviluppo di tecnologie avanzate da esse stesse derivate: elettronica, informatica, fotonica, nanotecnologia, teranostica ecc.

CERAMICHE INDUSTRIALI STANDARD

(Tec. CLAY CERAMIC)

PRODOTTI:	Caolino, argilla, feldspati, quarzo, ecc.
CARATTERISTICHE BASILARI:	Idroplasticità, sinterizzazione, greificazione.
IMPIEGHI:	Refrattari, isolatori, ceramiche per elettrotecnica.

CERAMICHE TECNICA (NO CLAY)

- PRODOTTI:** Ossidi, ossidi misti, non ossidi, carburi, boruri, nitruri.
- CARATTERISTICHE STRUTTURALI:** Durezza elevata, resistenza meccanica, inerzia chimica, resistenza termica, alto punto di fusione, resistenza all'abrasione, dielettricità, fragilità.
- IMPIEGHI:** Abrasivi, elettroceramiche, corpi macinati, particolari di motori, turbine, elettroceramiche, dischi freni, inserti taglienti per utensili da taglio.

CERAMICA AVANZATA

CARATTERISTICHE FUNZIONALI	PRODOTTI	IMPIEGHI
Semiconduzione	Boro, Germanio, Silicio, Arseniuri, Nitruri, Csi, Cd, ecc.	Diodi, transistor per elettronica, informatica, microprocessori ecc.
Superconduzione a freddo	YBCO e simili, Grafite	Conduttori senza perdite. Levitazione magnetica di treni ultraveloci (MAGLEV) ecc.
Superdielettricità a freddo	TiN	Isolamento assoluto
Piezoelettricità Generatore	Quarzo, Piombo, zirconato = titanato (PZT)	Orologi al quarzo, accendini, microfoni, sensori sismici, amplificatori, ecc.
Piezoelettricità Motore	Perovskiti, spinelli, granati, cristalli ferroelettrici di $Sr_x Ba_x N6_2O_c$; $LiN_{b2}O_6$	Sviluppo ultrasuoni per ecografia, onde d'urto, litotrittori, sensori sismici, lavaggio industriale sonar, Allontanamento animali indesiderati, saldatura M.P. termoplastiche.
Piroelettricità	Perovskiti, GaN, $CsNO_3$	Rilevazione passaggio di persone in impianti di allarme. Termometri remoti, sensori ottici.
Fotovoltaico	Diodi al silicio	Celle e pannelli fotovoltaici
Elettroluminescenza	ZrS, InP, GaAs, GaN	Lampade a LED
Piroelettricità inversa	Perovskiti	Relé, termostati
Celle a combustione	Li_2CO_3 ; ZrO_2 grafite, ceramica	Elettrolita solido Materiali costruttivi

DEFINIZIONI

DIELETTRICO = Isolante elettrico che viene polarizzato da un campo elettrico.

FERROELETTRICO = Materiale che presenta una polarizzazione stabile derivante dalla precedente applicazione di un campo elettrico. Questo fenomeno è analogo al ferromagnetismo e si verifica per esempio nelle perovskiti.

PIEZOELETTRICO = Materiale cristallino che si polarizza quando è soggetto a una deformazione meccanica e inversamente si deforma quando è soggetto ad una differenza di potenziale.

SEMICONDUTTORE = Materiale non sufficientemente conduttore, utilizzabile per la formazione di diodi attraverso drogaggio n e p (silicio, germanio).

SUPERCONDUTTORE = Materiale con resistenza elettrica nulla quando si trova al di sotto di una certa temperatura critica generalmente molto bassa.

DEFINIZIONI (continua)

CONDUTTORE = Materiale conduttivo dell'elettricità.

CONDUTTORE IONICO = Materiale conduttivo dovuto ad una lacuna del cristallo che lascia sfuggire ioni metallici. La lacuna può essere dovuta ad impurezze.

CONDUTTORE ELETTROCROMICO = Cristallo o vetro che cambia colore e/o proprietà ottiche a seguito dell'applicazione di un campo elettrico, o dell'esposizione al calore (termocromico) o alla luce (fotocromico).

CONDUTTORE PROTONICO = Materiale ceramico leggermente conduttivo per la mobilità di ioni idrogeno. A forma di membrana si usa nelle pile a combustibile (membrana a scambio protonico).

CONDUTTORE MISTO = Alcune Perovskiti presentano delle caratteristiche conduttive dovute alle combinazioni di più fenomeni ionici, protonici, ecc.

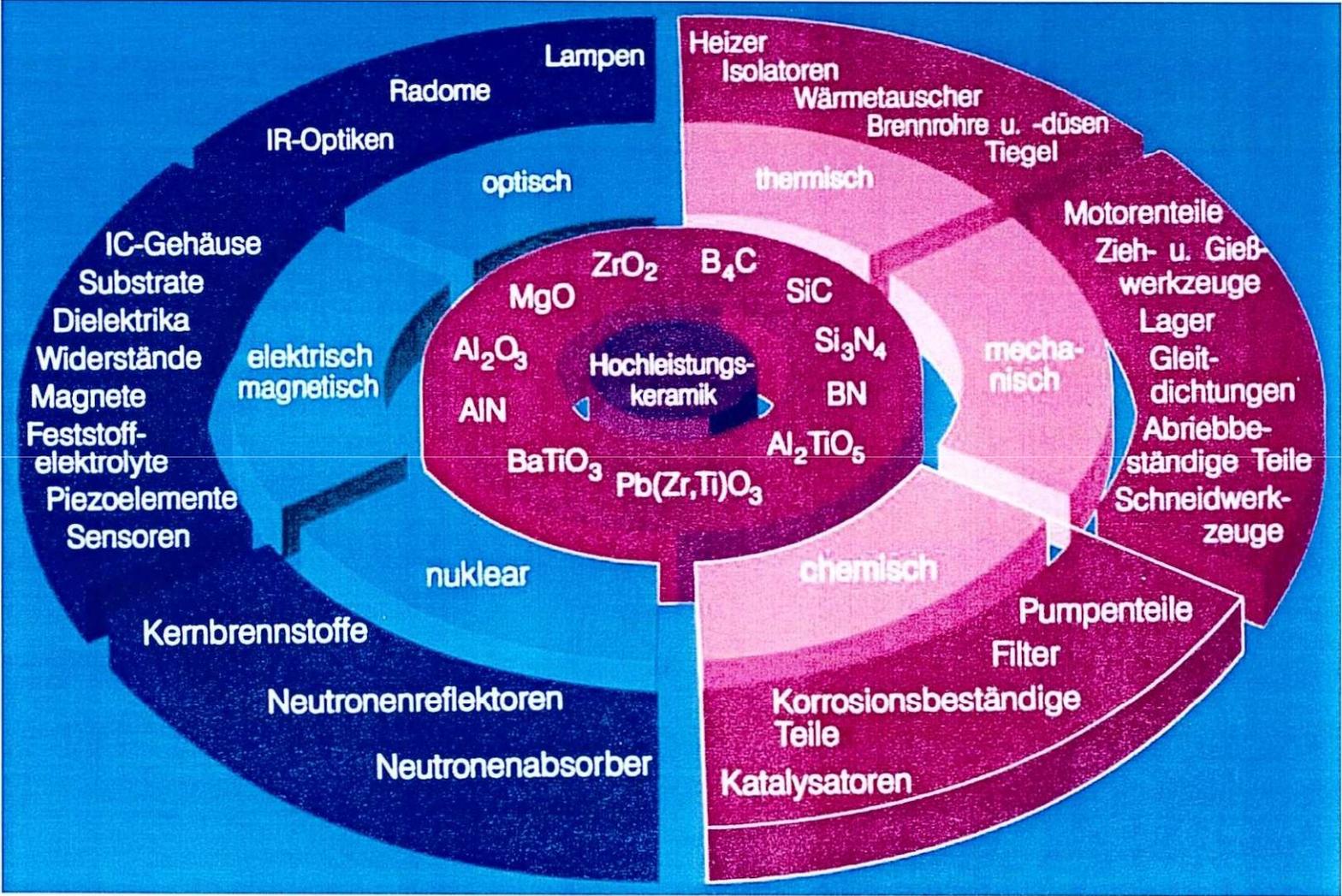
DEFINIZIONI (continua)

FERRO MAGNETICO = Materiale che in un campo magnetico si magnetizza in modo permanente. Per es. Fe, Ni, Co, Gd.

PARAMAGNETICO = Materiale che in un campo elettrico si magnetizza fintanto che perdura la sollecitazione. Per es. Al, Pt, Ti.

DIAMAGNETICO = Materiale che in un campo magnetico non si magnetizza o addirittura si magnetizza debolmente e temporaneamente con polarità opposta a quella del campo magnetico sollecitante.

Einsatzgebiete keramischer Materialien



RADOME

Da Wikipedia, l'enciclopedia libera.

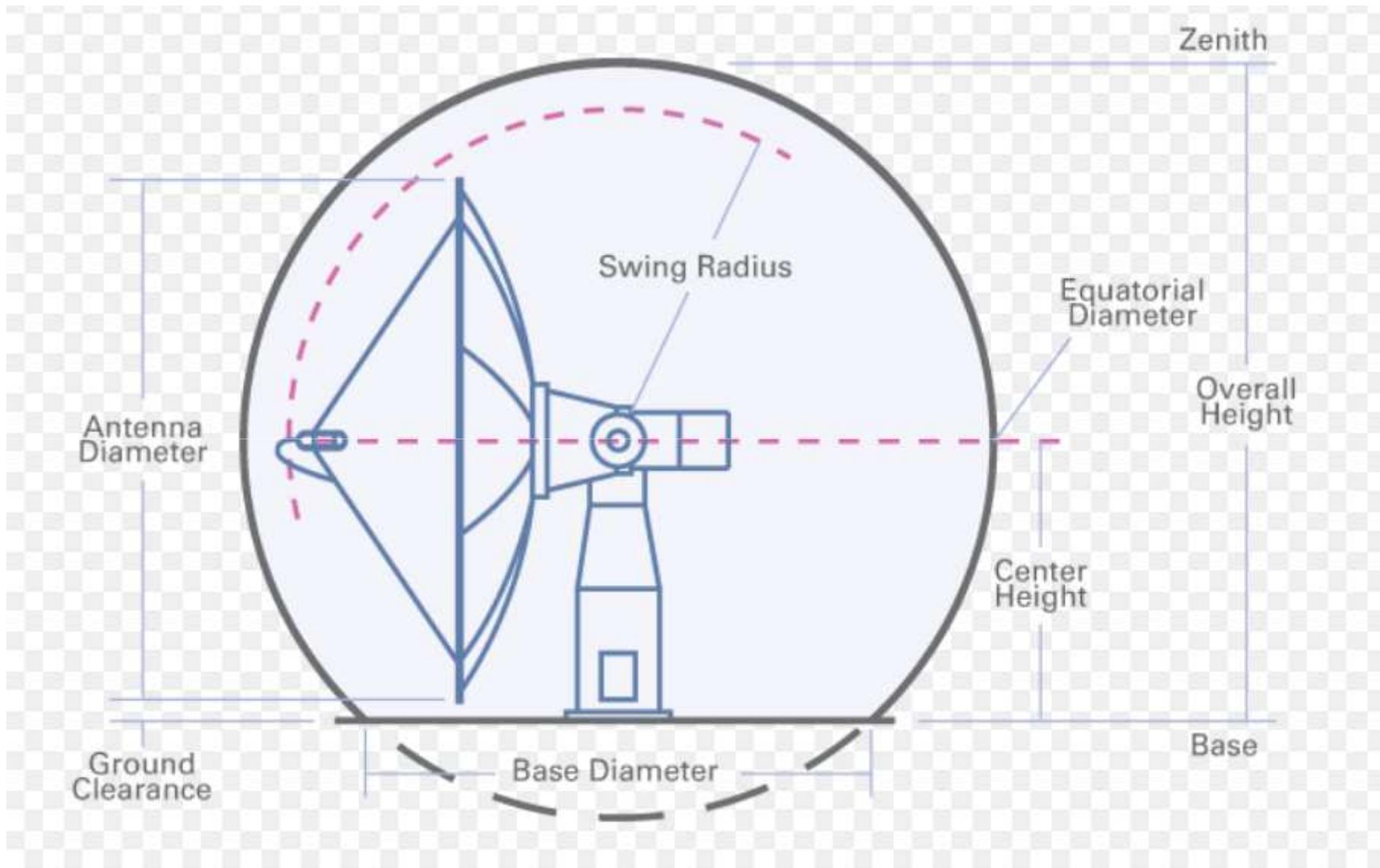
Un radome (parola composta da radar e dome) è una struttura usata per proteggere le antenne dalle condizioni meteorologiche avverse. Una struttura di tipo radome si distingue da altre strutture per il materiale usato nella costruzione (tipicamente materiali dielettrici) che permette la propagazione di segnali elettromagnetici non attenuati fra l'antenna all'interno della struttura e l'equipaggiamento esterno.

L'uso di materiale convenzionale metallico per la costruzione del radome (come acciaio, alluminio etc.) bloccherebbe infatti gran parte o interamente la propagazione del segnale da e verso l'antenna. I radome vengono usati per proteggere la superficie dell'antenna dagli effetti dell'esposizione all'ambiente (come vento, pioggia, sabbia, raggi ultravioletti, ghiaccio, etc.) e/o per nascondere l'equipaggiamento elettronico usato per l'antenna. Essi proteggono inoltre il personale che lavora nei dintorni evitando che possa essere colpito accidentalmente dall'antenna in movimento.

I radome possono essere costruiti in varie forme (sferica, a cupola geodetica, planare, etc.) e, a seconda della particolare applicazione a cui devono essere destinati, può essere impiegato vario tipo di materiale per la costruzione (fibra di vetro, PTFE, polifenilene, etc.). Se usato su UAV o altri tipi di aeromobile, oltre ad offrire tale protezione, il radome facilita il sistema di trasmissione e ricezione dell'antenna, riducendone la resistenza aerodinamica.



RADOME



RADOME - SCHEMA

ARGOMENTI TRATTATI

- SEMICONDUTTORI
- SUPERCONDUTTORI E SUPERISOLANTI
- PIEZOELETTRICI E PIEZOMOTORI
- ULTRASUONI
- PIROELETTRICI
- CELLE FOTOVOLTAICHE, ELETTROLUMINESCENTI (LED) E A COMBUSTIONE

SEMICONDUTTORI PER DIODI E TRANSISTOR

SEMICONDUTTORI

Con il termine semiconduttori si indicano alcuni elementi delle colonne III, IV e V della tavola periodica, caratterizzati da una resistività elettrica intermedia tra quella molto bassa dei conduttori e quella estremamente elevata degli isolanti, oppure possono essere combinazioni degli elementi delle colonne III e V oppure II e VI (semiconduttori composti).

	III A	IV A	V A	VI A
	5 B Boro	6 C Carbonio	7 N Azoto	8 O Ossigeno
	13 Al Alluminio	14 Si Silicio	15 P Fosforo	16 S Zolfo
IIB	30 Zn Zinco	31 Ga Gallio	32 Ge Germanio	33 As Arsenico
	48 Cd Cadmio	49 In Indio	50 Sn Stagno	51 Sb Antimonio
	80 Hg Mercurio	81 Tl Tallio	82 Pb Piombo	83 Bi Bismuto
				84 Po Polonio

	Conduttori	$\rho < 10^{-5} \Omega m$	(rame: $3 \cdot 10^{-8} \Omega m$)
	Semiconduttori	$10^{-5} < \rho < 10^3 \Omega m$	(silicio: $2300 \Omega m$)
	Isolanti	$\rho > 10^3 \Omega m$	(diamante: $10^{14} \Omega m$)

NOTA: P = Resistività (Ωm); conduttività $\sigma = \frac{1}{P}$ ($S m^{-1}$); Ω = ohm; S = Siemens

TAVOLA PERIODICA DEGLI ELEMENTI

<http://www.kj-epi.it/periodici/>

PERIODO	GRUPPO																		
	1 IA	2 IIA	3 IIIB 4 IVB 5 VIB 6 VIIB 7 VIIIB 8 9 10 11 12 IIB										13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA	
1	1 1.0079 H IDROGENO																	2 4.0026 He Elio	
2	3 6.941 Li LITIO	4 9.0122 Be BERILLIO																10 20.180 Ne NEON	
3	11 22.990 Na SODIO	12 24.305 Mg MAGNESIO																18 39.948 Ar ARGO	
4	19 39.098 K POTASSIO	20 40.078 Ca CALCIO	21 44.956 Sc SCANDIO	22 47.867 Ti TITANIO	23 50.942 V VANADIO	24 51.906 Cr CROMO	25 54.938 Mn MANGANESE	26 55.845 Fe FERRO	27 58.933 Co COBALTO	28 58.693 Ni NICKEL	29 63.546 Cu RAME	30 65.39 Zn ZINCO	31 69.723 Ga GALLIO	32 72.64 Ge GERMANIO	33 74.922 As ARSENICO	34 78.96 Se SELENIO	35 79.904 Br BROMO	36 83.80 Kr KRIPTON	
5	37 85.468 Rb RUBIDIO	38 87.52 Sr STRONZIO	39 88.906 Y ITRIO	40 91.224 Zr ZIRCONIO	41 92.906 Nb NIOBIO	42 95.94 Mo MOLEBDENO	43 (98) Tc TECNEZIO	44 101.07 Ru RUTENIO	45 102.91 Rh RODIO	46 106.42 Pd PALLADIO	47 107.87 Ag ARGENTO	48 112.41 Cd CADMIO	49 114.82 In INDIO	50 118.71 Sn STAGNO	51 121.76 Sb ANTIMONIO	52 127.60 Te TELURIO	53 126.90 I IODIO	54 131.29 Xe XENO	
6	55 132.91 Cs CESIO	56 137.33 Ba BARIO	57-71 La-Lu Lantanidi	72 178.49 Hf HAFNIO	73 180.95 Ta TANTALO	74 183.84 W WOLFRAMIO	75 186.21 Re RENEO	76 190.23 Os OSMIO	77 192.22 Ir IRIDIO	78 195.08 Pt PLATINO	79 196.97 Au ORO	80 200.59 Hg MERCURIO	81 204.38 Tl TALLIO	82 207.2 Pb PIOMBO	83 208.98 Bi BISFUTO	84 (209) Po POLONIO	85 (210) At ASTATO	86 (222) Rn RADON	
7	87 (223) Fr FRANCIO	88 (226) Ra RADIO	89-103 Ac-Lr Attinidi	104 (261) Rf RIFERFORDIO	105 (262) Db DUBNIO	106 (268) Sg SEABORGIO	107 (264) Bh BOHRIO	108 (271) Hs HASSIO	109 (268) Mt MEITNERIO	110 (281) Uun UNUNILIO	111 (272) Uuu UNUNBIO	112 (285) Uub UNUBIO		114 (289) Uuq UNUNQUADRO					

LANTANIDI

57 138.91 La LANTANO	58 140.12 Ce CERIO	59 140.91 Pr PRASEODIMIO	60 144.24 Nd NEODIMIO	61 (145) Pm PROMETIO	62 150.36 Sm SAMARIO	63 151.96 Eu EUROPIO	64 157.25 Gd GADOLINIO	65 158.93 Tb TERBIO	66 162.50 Dy DISPROSIO	67 164.93 Ho OLMIO	68 167.26 Er ERBIO	69 168.93 Tm TULIO	70 173.04 Yb ITERBIO	71 174.97 Lu LUTETIO
-----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

ATTINIDI

89 (227) Ac ATTINIO	90 232.04 Th TORIO	91 231.04 Pa PROTATTINIO	92 238.03 U URANIO	93 (237) Np NETTUNIO	94 (244) Pu PLUTONIO	95 (243) Am AMERICIO	96 (247) Cm CURIO	97 (247) Bk BERKELIO	98 (251) Cf CALIFORNIO	99 (252) Es EINSTEINIO	100 (257) Fm FERMIUM	101 (258) Md MENDELEEVIO	102 (258) No NOBELIO	103 (262) Lr LAWRENCIO
----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

(1) Pure Appl. Chem., 73, No. 4, 667-681 (2001)

Relative atomic mass is shown with five significant figures. For elements having no stable nuclides, the value enclosed in brackets indicates the mass number of the longest-lived isotope of the element.

However three such elements (Th, Pa, and U) do have a characteristic terrestrial isotopic composition, and for these an atomic weight is tabulated.

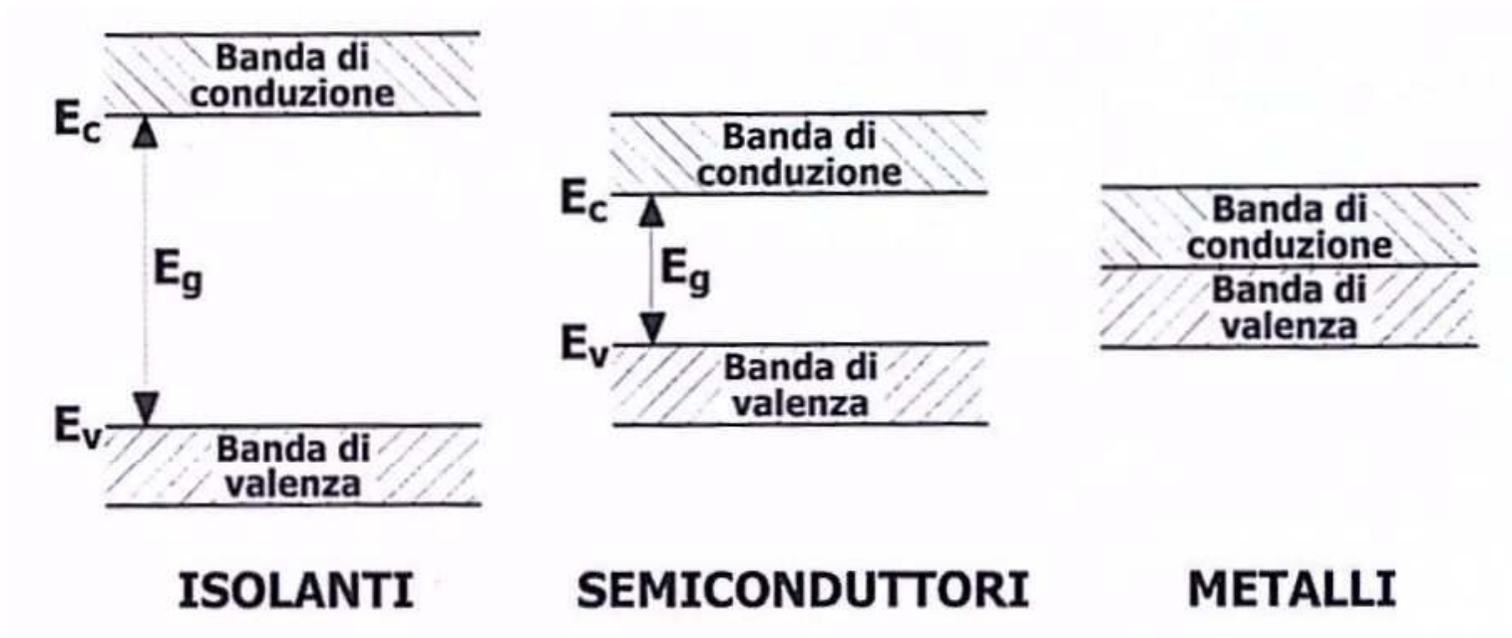
Editors wanted (mailto:en@kj-epi.it)

STRUTTURA ATOMICA A BANDE DI ENERGIA

La banda di energia degli elettroni ruotanti intorno al nucleo è composto da:

- banda di valenza : la più prossima al nucleo e di livello energetico più basso;
- banda di conduzione : a più elevato livello energetico, dove gli elettroni possono fluire dando la conduzione elettrica.
- banda proibita : rappresenta una “energy gap”, ossia la quantità di energia necessaria all’elettrone per passare dalla banda di valenza alla banda di conduzione.

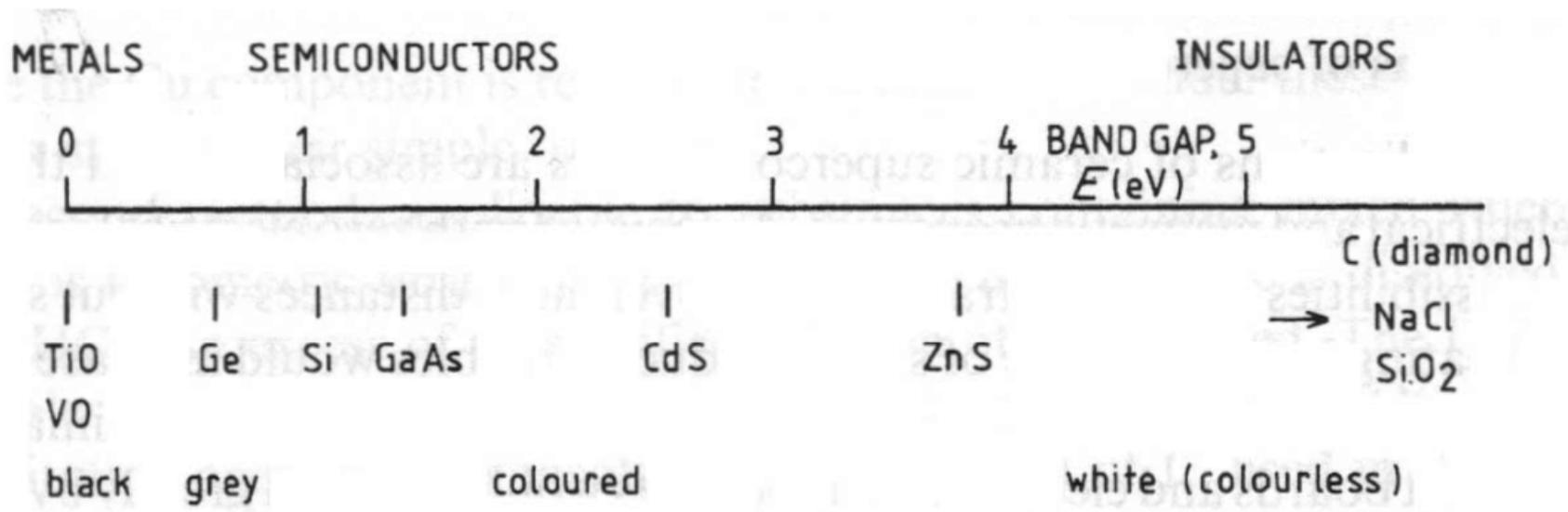
Quando l’elettrone fa ritorno dalla banda di conduzione a quella di valenza restituisce l’energia “fotonica” eccitante come differenza di potenziale e questo costituisce l’effetto fotoelettrico.



Rappresentazione schematica della struttura a bande di energia in diversi materiali

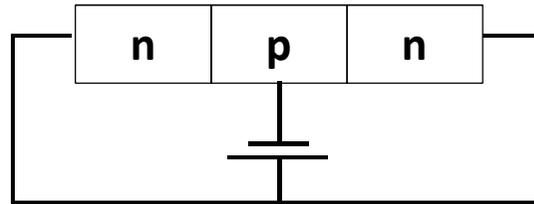
semiconduttore	<i>energy gap</i>
Silicio (Si)	1,14 eV
Germanio (Ge)	0,67 eV
Arseniuro di Gallio (GaAs)	1,4 eV
Fosfuro di Indio (InP)	1,25 eV
Fosfuro di Gallio (GaP)	2,25 eV
Tellurio di Cadmio (CdTe)	1,45 eV
Solfuro di Cadmio (CdS)	2,4 eV

Energy gap in diversi semiconduttori



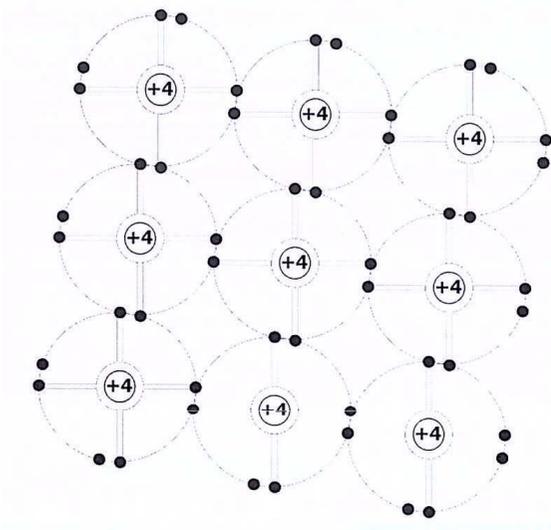
DIODI E TRANSISTOR

Il GERMANIO è stato il primo semiconduttore utilizzato per diodi, successivamente sostituito dal SILICIO. Drogando questi semiconduttori con piccole quantità di P, As, Sb si forniscono elettroni nella banda conduttiva (drogaggio n) e si aumenta così la conduttività al livello dei metalli conduttori. Drogandoli con piccole quantità di Boro si forniscono lacune in grado di accettare elettroni (drogaggio p). La giunzione p-n, tipica del DIODO, permette il fluire degli elettroni in una sola direzione cioè da n a p e quindi della corrente in senso opposto. Il transistor è un elemento con due giunzioni p-n-p oppure n-p-n:

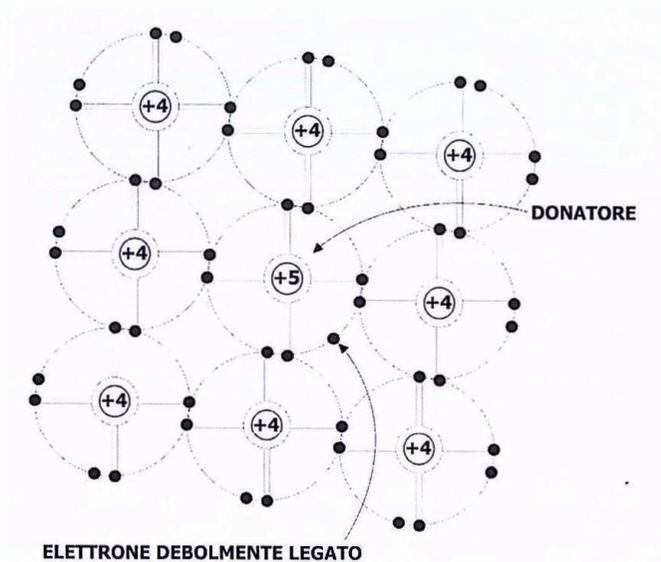


che consente la modulazione della corrente variando la differenza di potenziale applicata.

Dai transistor discende lo sviluppo della elettronica e della informatica.

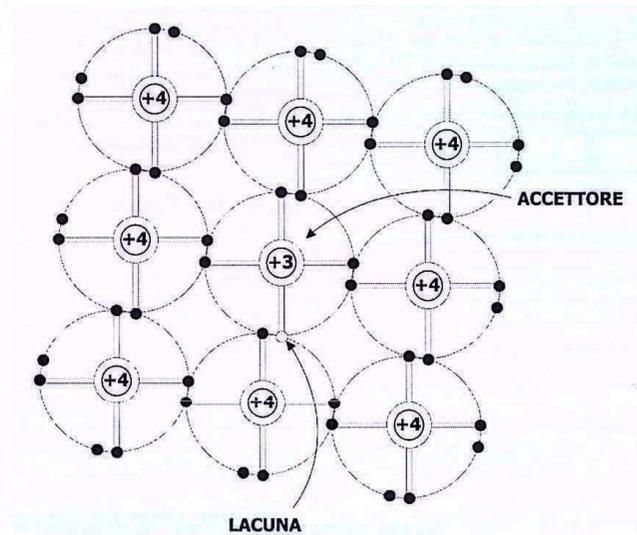


Rappresentazione schematica della struttura cristallina del silicio



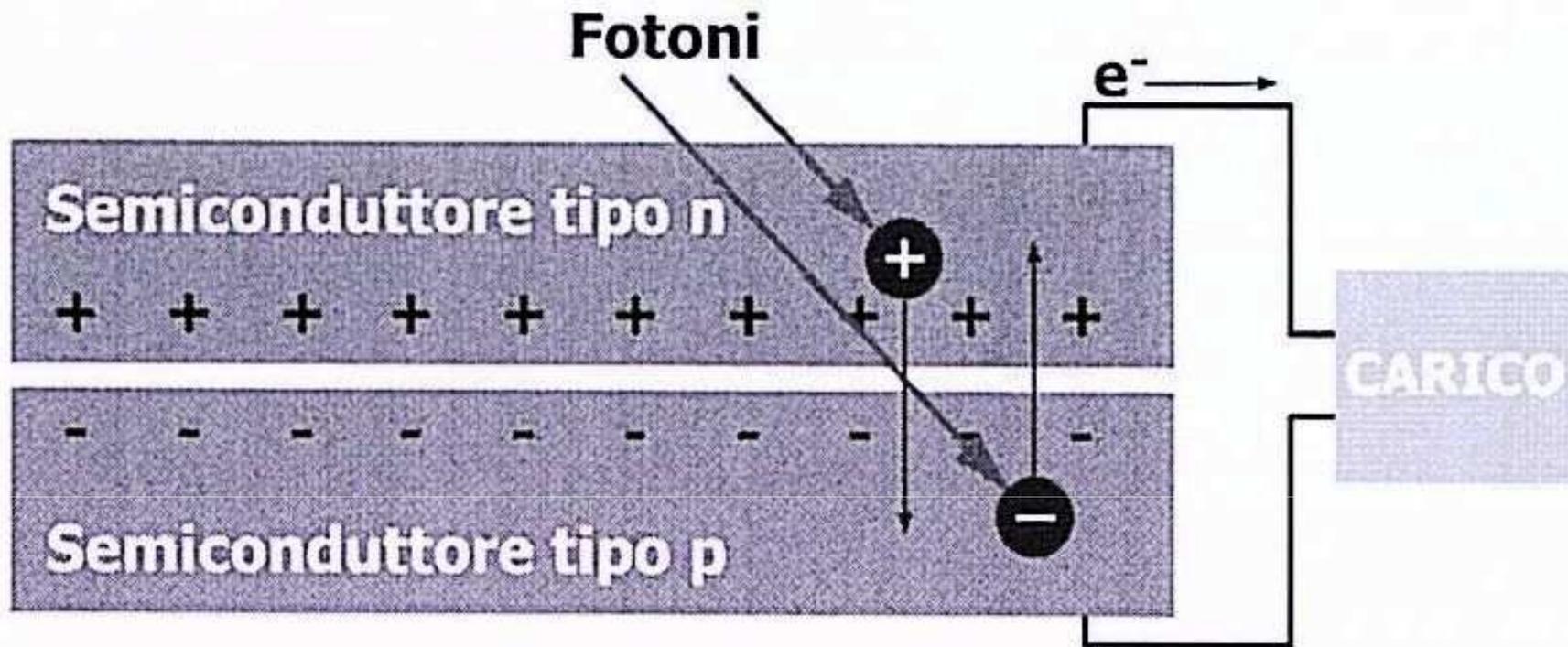
Rappresentazione schematica del processo di drogaggio del silicio con atomi di fosforo

SEMICONDUCTORE DI TIPO N



Rappresentazione schematica del processo di drogaggio del silicio con atomi di boro

SEMICONDUCTORE DI TIPO P.



Giunzione p-n

Per generare un campo elettrico e quindi una corrente elettrica ordinata, occorre l'intimo contatto di due strati di silicio p e n (giunzione p-n)

SUPERCONDUTTORI e SUPERISOLANTI

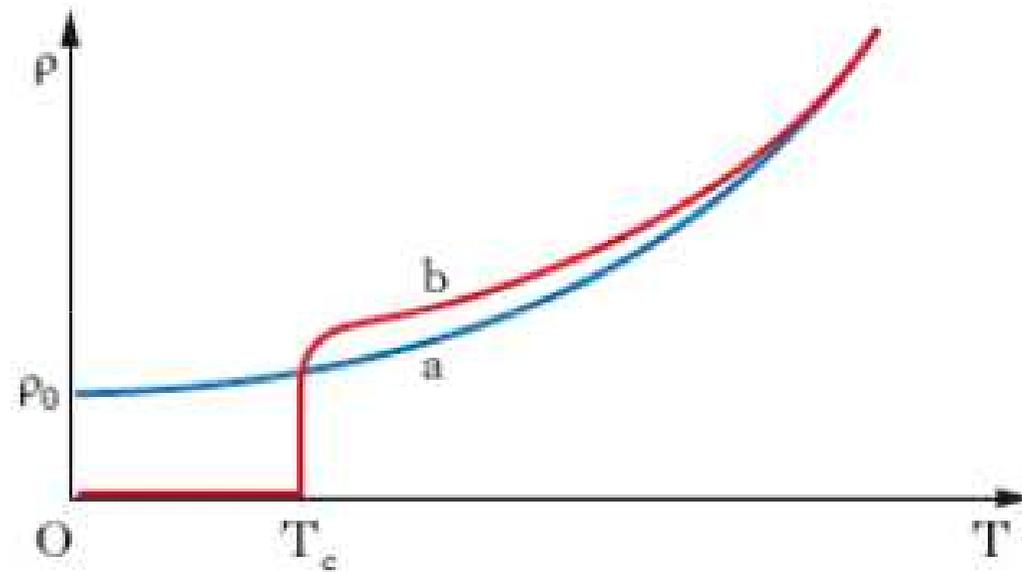
SUPERCONDUTTORI E SUPERISOLANTI

Le ceramiche avanzate sono caratterizzate da rilevanti prestazioni funzionali.

Nella vasta gamma di ceramiche ottenute dai numerosi composti ad elevato punto di fusione, si realizzano straordinarie caratteristiche tecniche non di tipo omogeneo, anzi spesso contraddittorie.

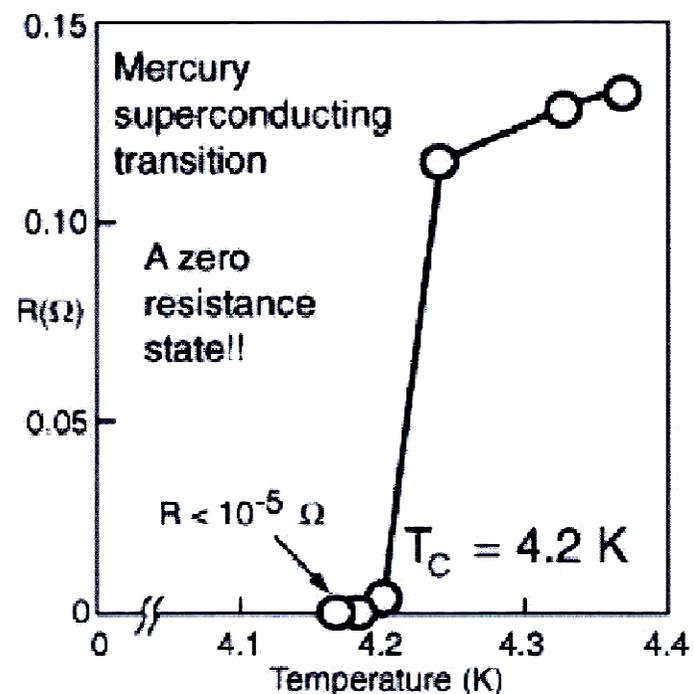
Ad esempio la ceramica ottenuta da YBCO = ossido di ittrio bario e rame ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$) è famosa per essere stato il primo superconduttore con temperatura critica $T_c = 93^\circ\text{K}$, superiore a quella di ebollizione dell'azoto liquido: $T_c = 77^\circ\text{K}$.

Di contro il nitruro di titanio (TiN) sottoposto a raffreddamento prossimo allo zero assoluto, mostra una caduta di circa 100.000 volte della sua conduttività e diventa quindi un superisolante.



SUPERCONDUZIONE – Andamento della resistività elettrica ρ in funzione della T

Il mercurio, è stato il primo metallo superconduttore scoperto. La sua temperatura critica ha lo storico valore di 4.2 K



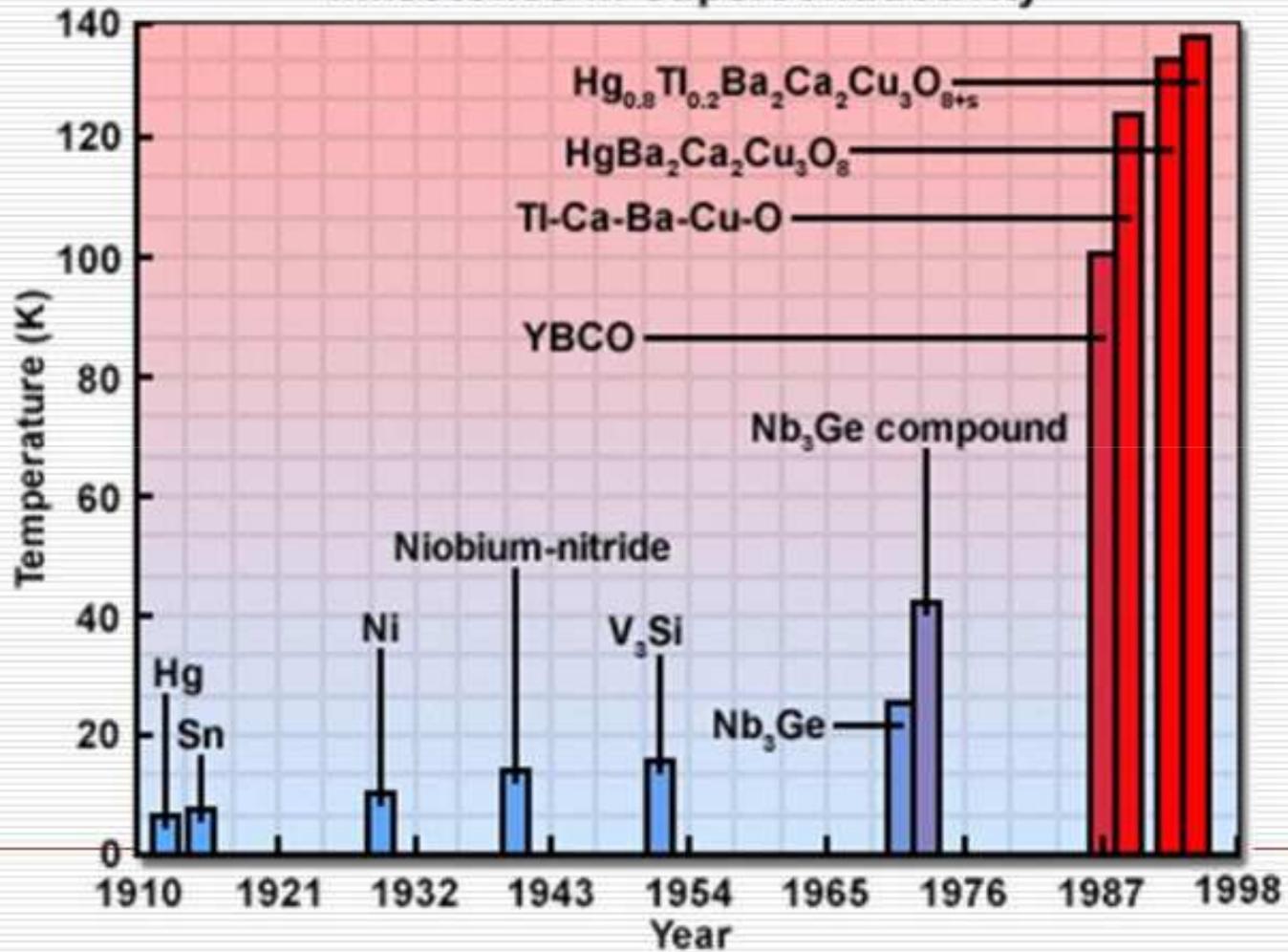
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	RE	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Bk	Cf	Es	Md	No	Lr			

La	Ce	Pr	Ne	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

 Superconducting elements
 Superconducting elements under pressure

 Superconducting elements in thin films
 Superconducting elements after irradiation

Milestones in Superconductivity

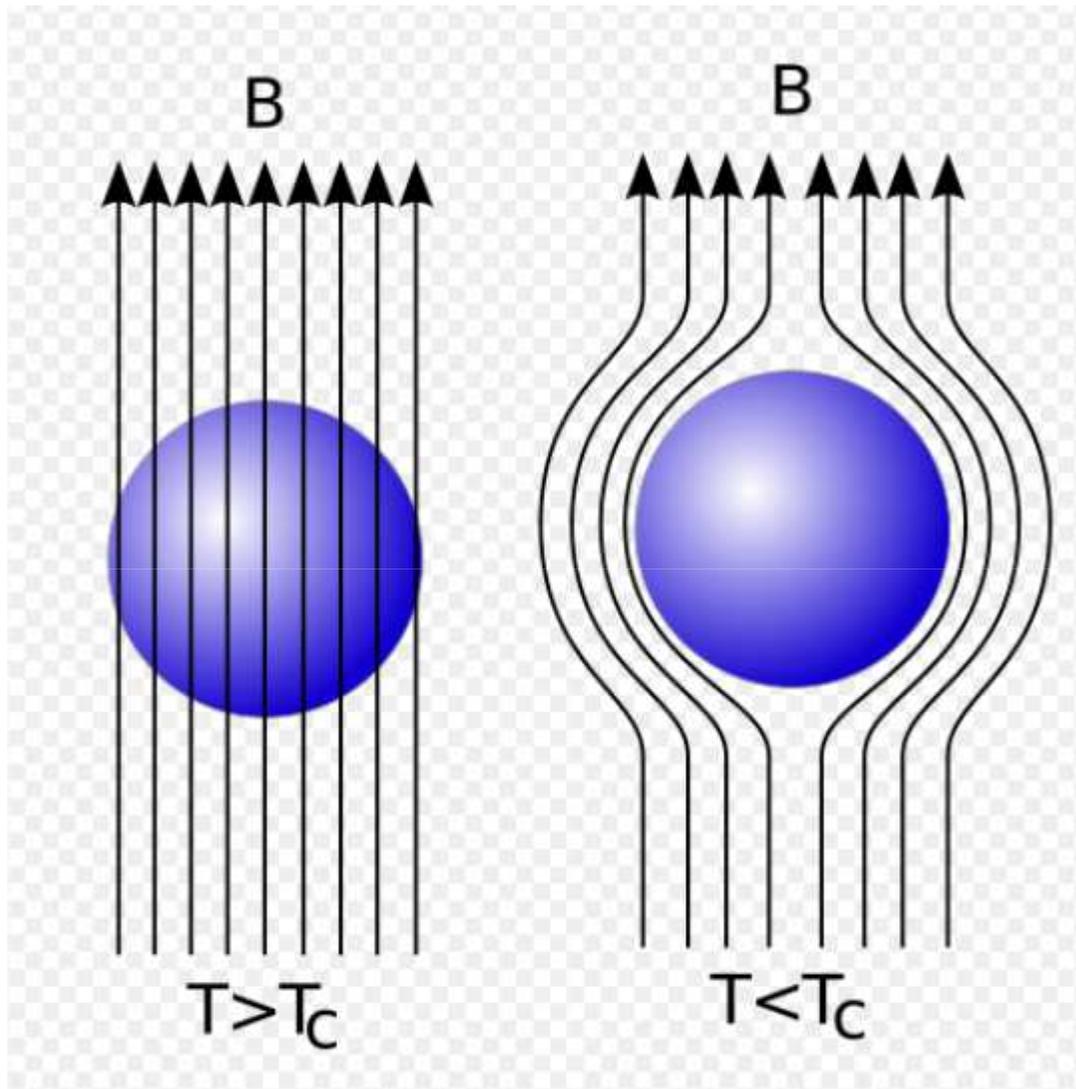


SUPERCONDUZIONE

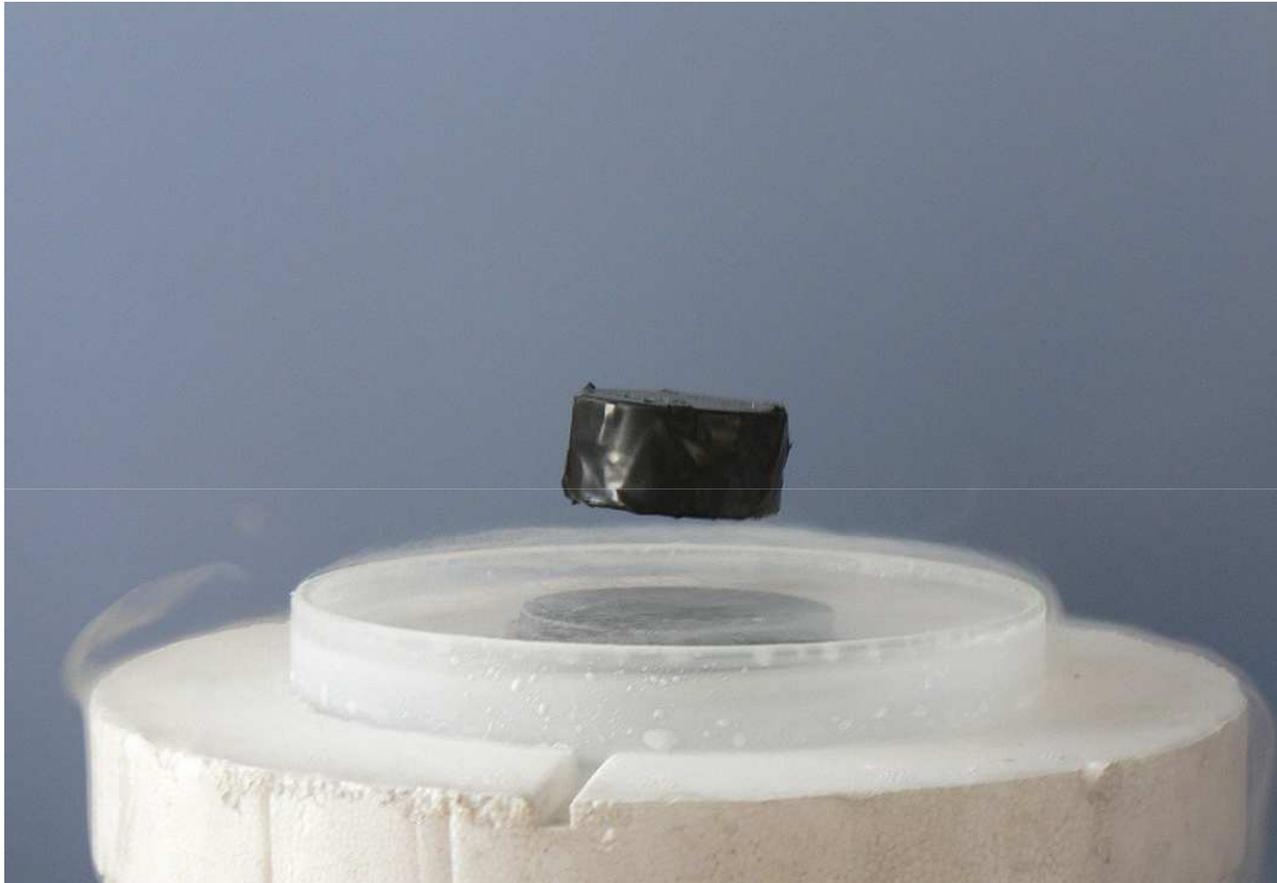
Nei superconduttori la resistenza elettrica si annulla completamente e quindi una corrente elettrica può scorrere indefinitamente in un circuito chiuso senza nessun generatore. Inizialmente i superconduttori dovevano essere tenuti sotto Elio liquido che bolle a 4,2 K. Oggi sono disponibili superconduttori ceramici con temperatura critica di ca. 160 K, quindi bene oltre quella di ebollizione dell'azoto liquido (77 K) che è un gas molto più economico dell'elio.

I metalli ottimi conduttori come Cu, Ag, Au non presentano il fenomeno della superconduttività e quindi mantengono una resistenza residua anche allo zero assoluto. Invece come abbiamo visto il fenomeno è più evidente in materiali ceramici appartenenti al gruppo delle perovskiti.

Nelle condizioni superconduttive il conduttore espelle il campo magnetico (effetto MEISSNER) realizzando la "levitazione magnetica".

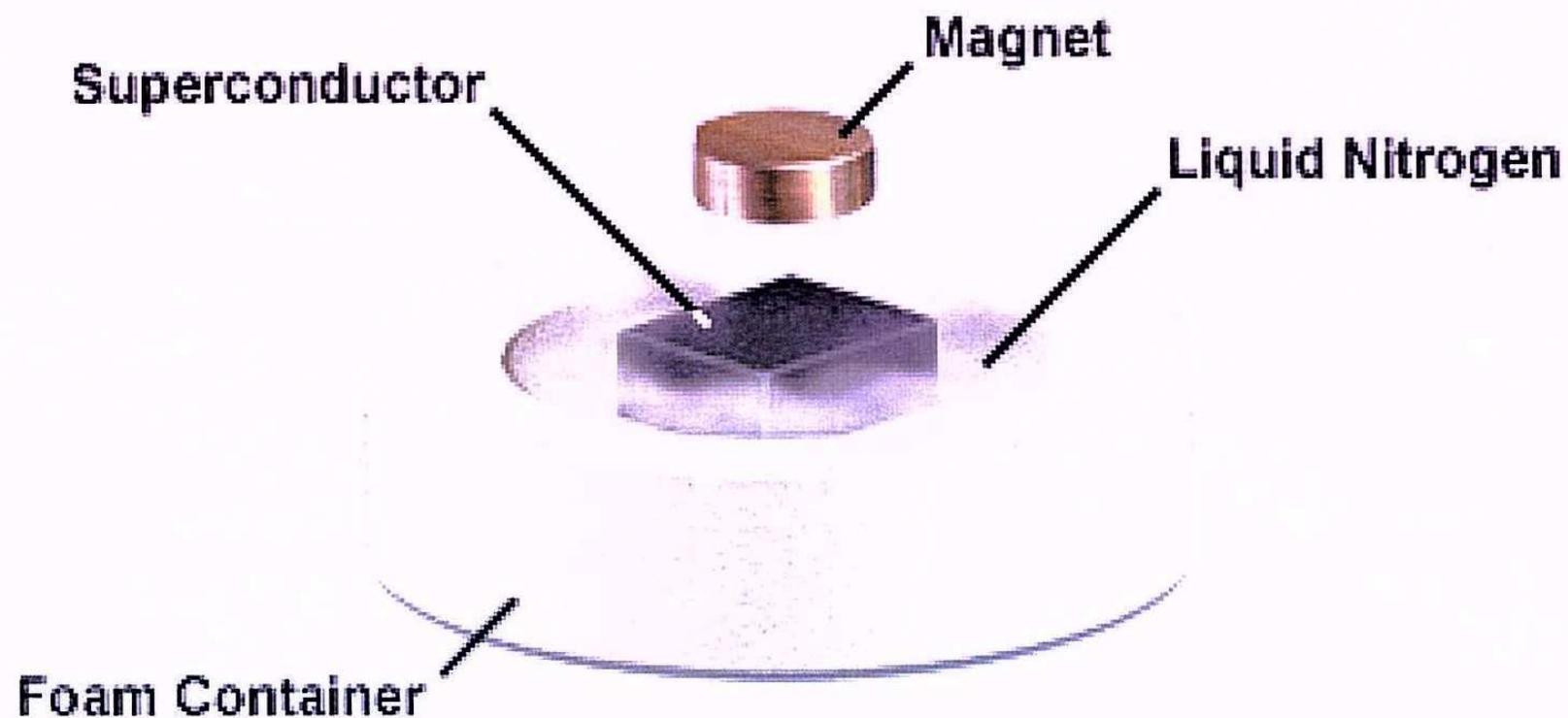


Rappresentazione dell'effetto Meissner: (a sinistra) a temperatura maggiore di T_c (stato normale) il materiale è attraversato da linee di forza del campo magnetico; (a destra) a temperatura minore di T_c (stato superconduttivo) il campo è espulso.



Un magnete che levita sopra un superconduttore a temperatura, raffreddato con azoto liquido, la levitazione avviene grazie all'effetto Meissner-Ochsenfeld.

The Meissner Effect



APPLICAZIONI DELLA SUPERCONDUTTIVITÀ

Se ho bisogno di campi magnetici molto intensi posso realizzare delle bobine magnetiche superconduttive, mantenute cioè a $T < T_c$, di dimensioni e peso molto ridotte per:

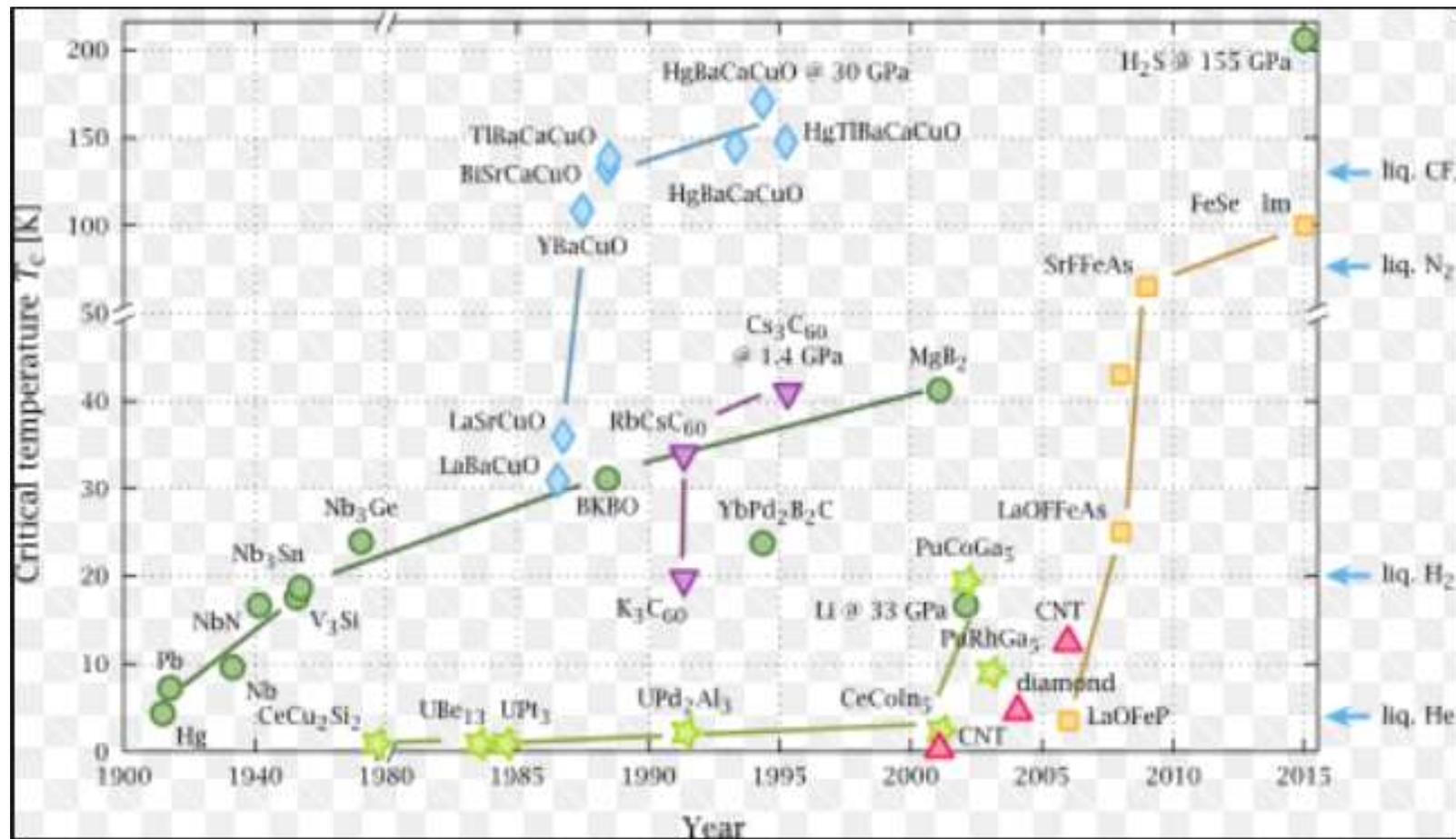
- Grandi toroidi diagnostici della RMN (Risonanza Magnetica Nucleare)
- Acceleratori nucleari del CNR
- Treni superveloci (> 600 Km/h) MAGLEV a levitazione magnetica (figura seguente).

Gli avvolgimenti di tali bobine sono di leghe Niobio-Stagno o Niobio-Titanio perché il Niobio è il metallo conduttore con il più alto punto critico $T_c = 9,25$ K come mostrato nella figura successiva.

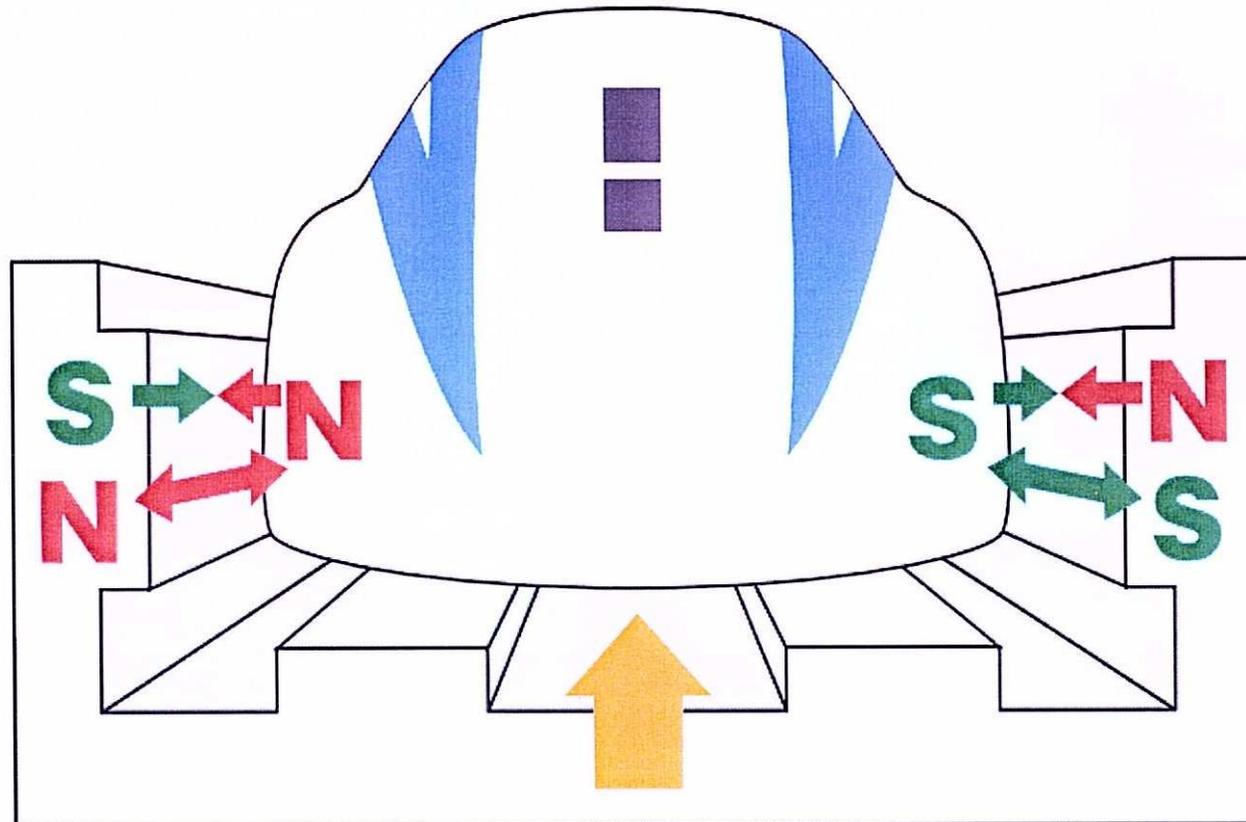
CARATTERISTICHE MATERIALI SUPERCONDUTTORI

	T _c (K)	P. Sp. (g/cm ³)	P. f.(°C)
CADMIO	0,54	8,64	321,0
GALLIO	1,1	5,90	29,7
ALLUMINIO	1,2	2,69	660,3
INDIO	3,4	7,29	156,5
STAGNO	3,7	7,28	231,9
MERCURIO	4,2	13,54	- 38,8
TANTALIO	4,47	16,67	3020
PIOMBO	7,2	11,34	327,5
NIOBIO	9,3	8,57	2477

Di maggiore interesse sono i numerosi composti metallici superconduttori (ad esempio il niobio-stagno, T_c=17,9 K (-153°C))

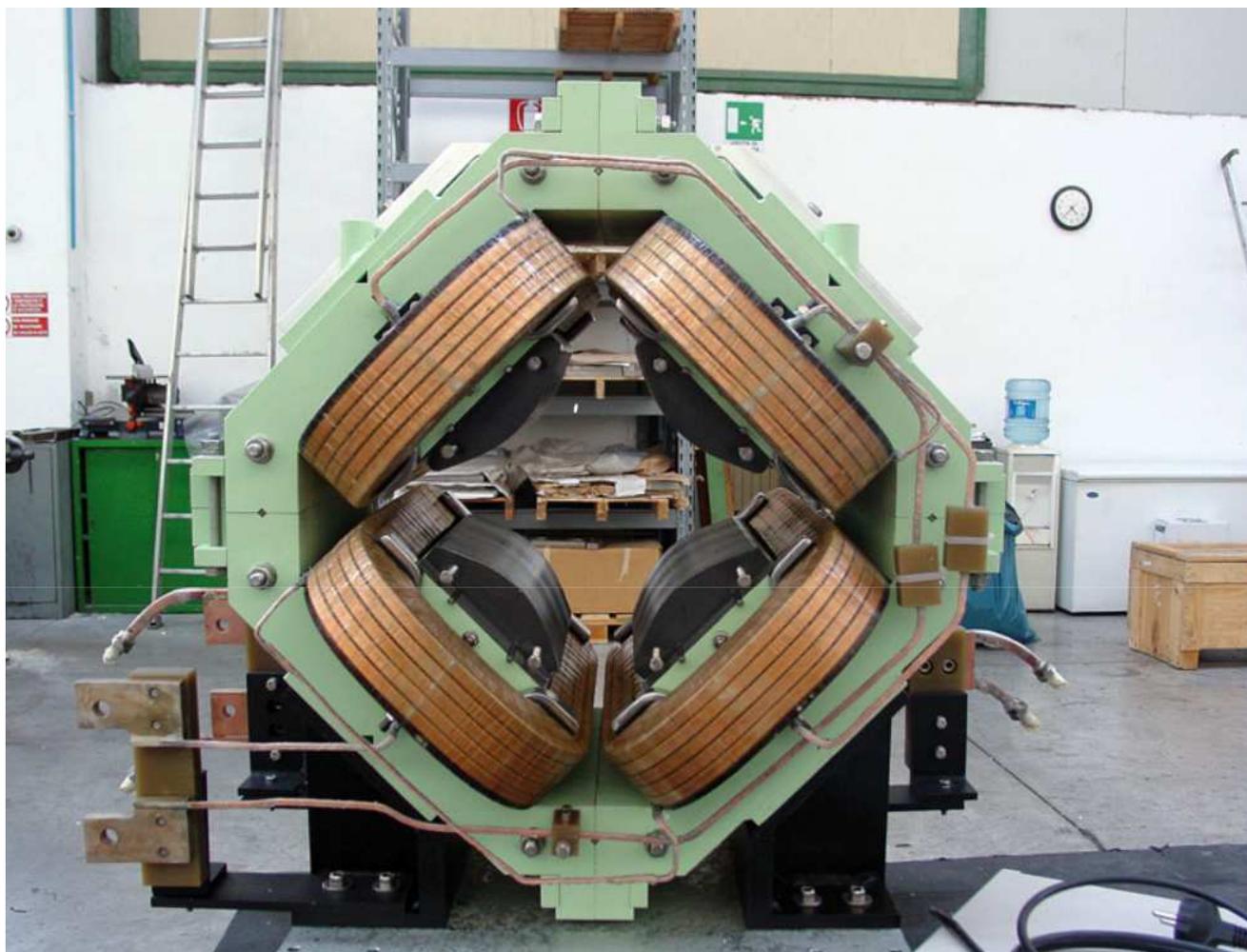


■ Levitation System





GIRADISCHI A LEVITAZIONE MAGNETICA



BOBINE SUPERCONDUTTIVE SOTTO AZOTO LIQUIDO PER RMN.



RMN

PEROVSKITI

Composizione	Proprietà del materiale
CaTiO_3	dielettrico
BaTiO_3	ferroelettrico
$\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$	ferroelettrico
$\text{Pb}(\text{Zr}_{1-x}\text{Ti}_x)\text{O}_3$ anche PZT	piezoelettrico
$(\text{Ba}_{1-x}\text{La}_x)\text{TiO}_3$ (YBCO)	semiconduttore
$(\text{Y}_{1/3}\text{Ba}_{2/3})\text{CuO}_{3-x}$	superconduttore; conduttore ionico O^{2-}
Na_xWO_3	conduttore misto (Na^+ , e^-); elettrocromico
$\text{SrCeO}_3:\text{H}$	conduttore protonico
RE TM O_{3-x}	conduttore misto (O^{2-} , e^-)
$\text{Li}_{0.5-3x}\text{La}_{0.5+x}\text{TiO}_3$	conduttore ionico Li^+

**PIEZOELETTRICI
PER GENERAZIONE DI ULTRASUONI,
ACCENDIGAS, MICROFONI, SONAR**

IL FENOMENO PIEZOELETTRICO

La piezoelettricità è il fenomeno per cui alcuni materiali con struttura cristallina, detti genericamente cristalli piezoelettrici, generano una tensione elettrica a causa di una deformazione meccanica di natura elastica e, viceversa, si deformano elasticamente se sottoposti all'azione di un campo elettrico.

I cristalli piezoelettrici sono dunque in grado di convertire energia elettrica in meccanica e viceversa:

NATURALI: Quarzo, Tormalina (Borosilicato), sale di Rochelle (Tartrato di sodio e potassio idrato), Niobato di litio (LiNbO_3), Tantalato di litio (LiTaO_3), Langasite ($\text{La}_3\text{Ga}_3\text{SiO}_{14}$), Borato di litio ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_6$), ZnO.

SINTETICI: BaTiO_3 , PbTiO_3 , PbNb_2O_6 , PZT = PbZrO_3 47%+ PbTiO_3 53% (1:1 in moli).

Sono anche disponibili Piezocompositi costituiti da un polimero (Polifluoruro di vinilidene, Trifluoro etilene, Tetrafluoro etilene) combinato con una piezoceramica.

Si usano a elevate frequenze (10^8 — 10^9 Hz), dove i piezoceramici sarebbero troppo fragili. Hanno limiti di temperatura operativa.

I MATERIALI PIEZOELETTRICI

Condizione necessaria per l'esistenza del fenomeno piezoelettrico è l'anisotropia del materiale. Tra le 32 classi cristollografiche, 20 non hanno un centro di simmetria e quindi, potenzialmente, possono mostrare il fenomeno delle piezoelettricità dopo la loro polarizzazione.

I MATERIALI PIEZOELETTRICI

Per ogni ceramica piezoelettrica, inoltre, c'è una temperatura caratteristica, detta punto di Curie. Quando la ceramica raggiunge tale temperatura, essa perde completamente e permanentemente le sue proprietà piezoelettriche.

Il punto di Curie rappresenta, dunque, il limite superiore delle temperature raggiungibili da una ceramica piezoelettrica; nella pratica, il limite massimo della temperatura operativa deve essere sensibilmente inferiore al punto di Curie.

TECNOLOGIA DELLE CERAMICHE PIEZO

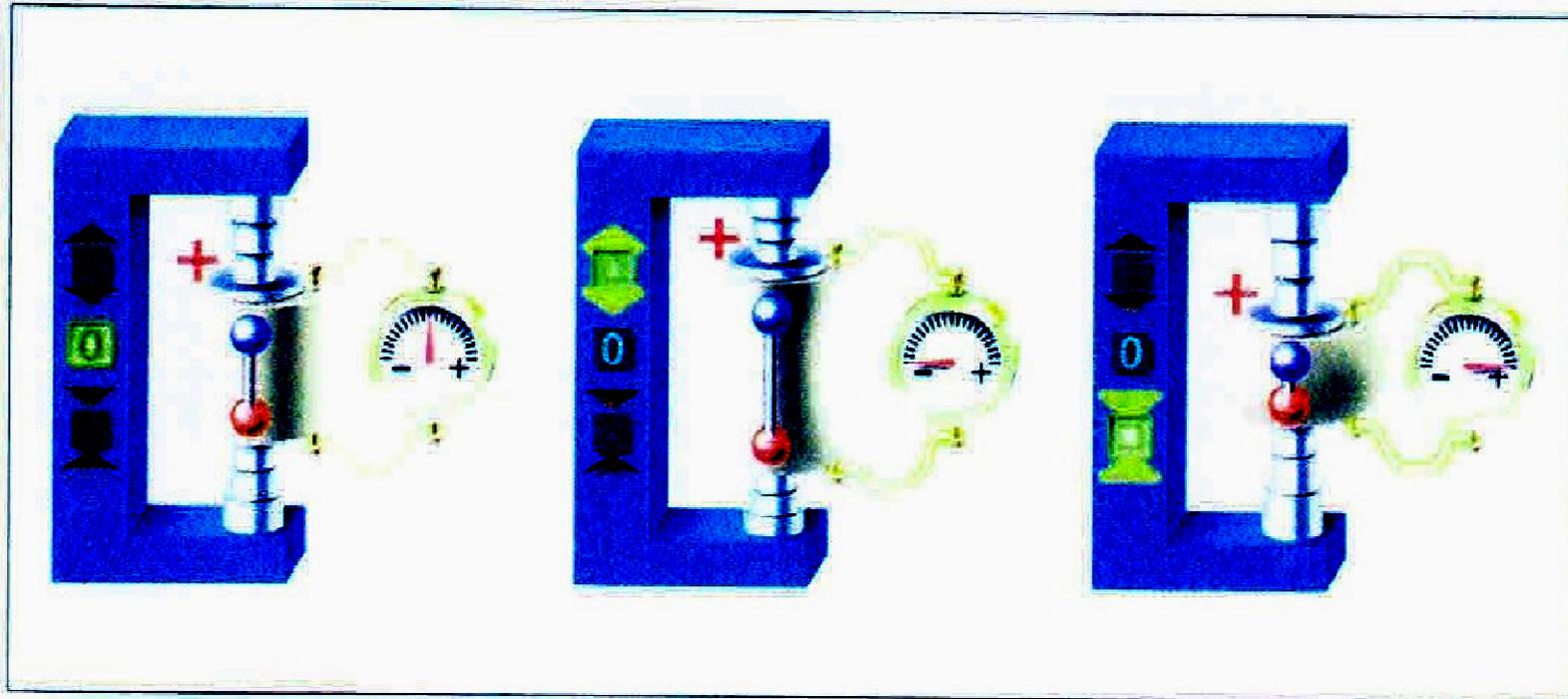
La prima ceramica piezoelettrica che è stata realizzata era basata sul Titanato di Bario (BaTiO_3) ed è ancora largamente utilizzata.

Le composizioni ceramiche attualmente più utilizzate si basano appunto su soluzioni solide di Titanato-Zirconato di Piombo Pb (Ti,ZrO_3), solitamente indicate con la sigla PZT, che vengono ottimizzate in base alle applicazioni richieste.

Military	Commercial	Medical
Hydrophones Depth sounders Range finders Security systems	Ultrasonic cleaners Ultrasonic welders Ultrasonic drilling Ultrasonic degreasers Ultrasonic probes for NDT	Ultrasonic cataract removal Ultrasonic therapy Ultrasonic transducers Insulin pumps Fetal heart detectors
Automotive	Level indicators Flaw detection Seismic sensors Geophones	Flowmeters Ultrasonic imaging Nebulizers
Knock sensor Airbag sensors Vibration control Spark ignition Keyless door entry fuel atomisation	TV and radio resonators Ink printings Alarm systems Strain gauges Ignition systems	<u>Consumer</u> Gas igniters Cigarette lighters Smoke detectors Phonograph cartridges Speakers Musical instruments
Computer	Fish finders Microphones	
Microactuators for hard disk Transformers for notebook		

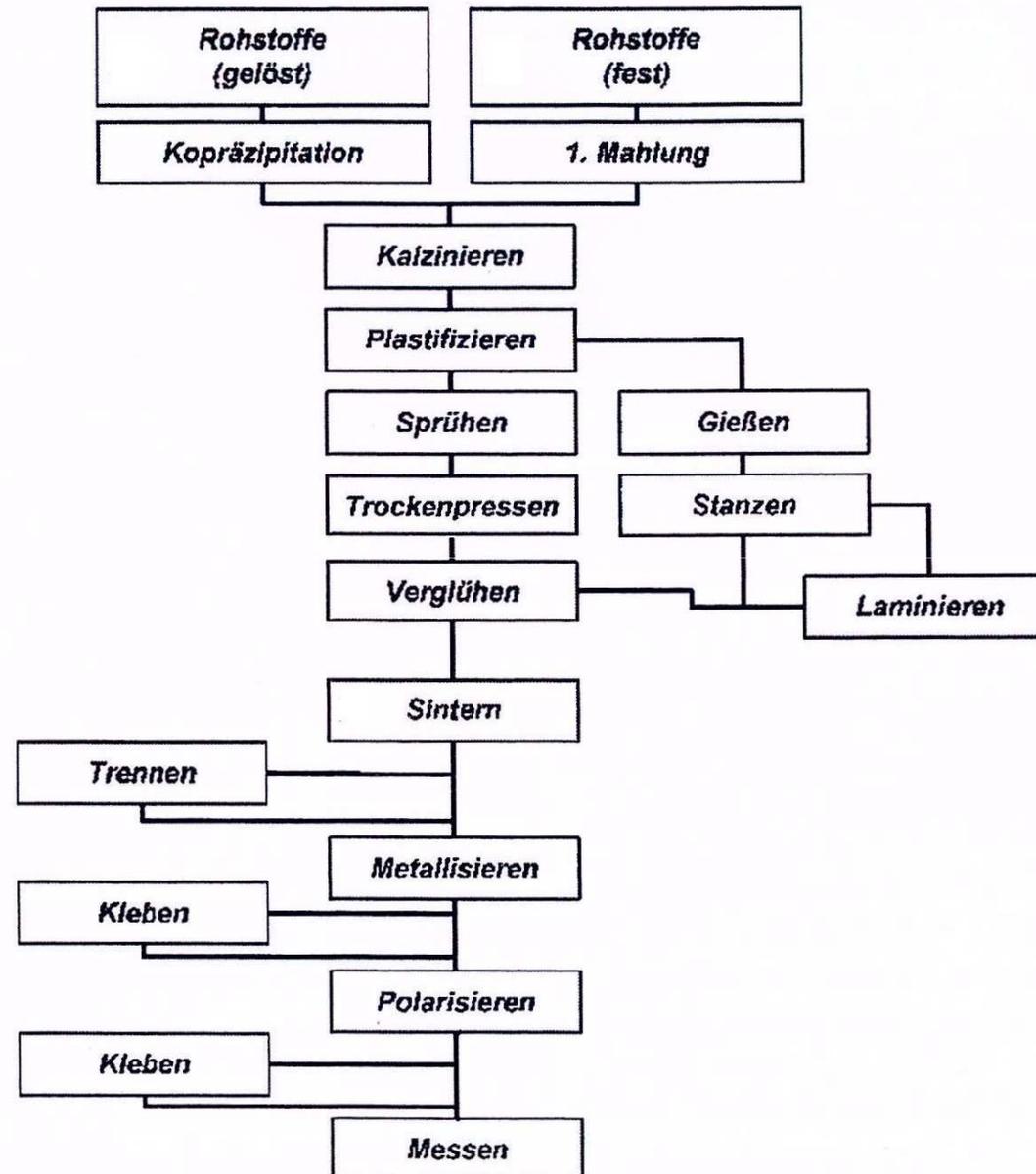
Applicazioni dei ceramici piezoelettrici

Applications of piezoelectric ceramics



Wird ein piezoelektrisches Bauteil gedehnt (Mitte), gibt es elektrische Spannung ab. Wird es gestaucht (rechts), kehrt sich die Polarität der Spannung um.

SCHEMA DI PRODUZIONE DEL PZT





Applicazioni

Sensori: sfruttano l'effetto piezogeneratore

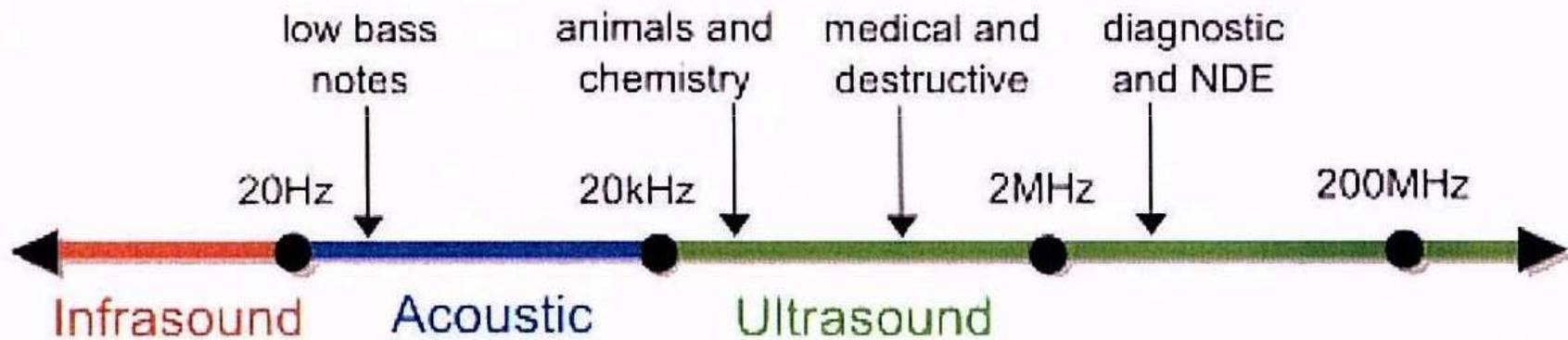
Attuatori: sfruttano l'effetto piezomotore

CAMPO	APPLICAZIONE
Automobilistico	Sensore di air bag, atomizzatori di combustibile (iniettori piezo), sensori di knocking, filtri radio, ecc.
Computer	Drive dell'hard disk, tastiera, stampanti a getto d'inchiostro, ecc.
Beni di consumo	Accendini del grill, umidificatori, rivelatori di fumo, pulitori di gioielli e lenti a contatto, orologi al quarzo.
Industriale	Accelerometri, rivelatori di inquinamento, flussimetri, rivelatori di bolle d'aria nei tubi, sensori di impatto, indicatori di livello, equipaggiamento di microposizionamento, sensori di pressione, controlli non distruttivi, pulitori ad ultrasuoni, sgrassatori ad ultrasuoni, rettificatrici ad ultrasuoni, saldatori ad ultrasuoni, ecc.
Medico	Equipaggiamenti ecografici, pulitori dentali, nebulizzatori, terapie ad ultrasuoni, ecc.
Militare	Balistica, sonar, sistemi guida, ecc.
Telecomunicazioni, ottica e acustica	Microfoni, altoparlanti, tweeter, risonatori, filtri, microscopia a scansione, videocamere, ecc.

ULTRASUONI

ULTRASUONI

Gli ultrasuoni sono onde di pressione longitudinali con frequenze superiori a 20.000 Hz. Si generano dalla vibrazione di elementi ceramici piezoelettrici e sono soggetti come tutte le radiazioni a fenomeni di riflessione, rifrazione e diffrazione.



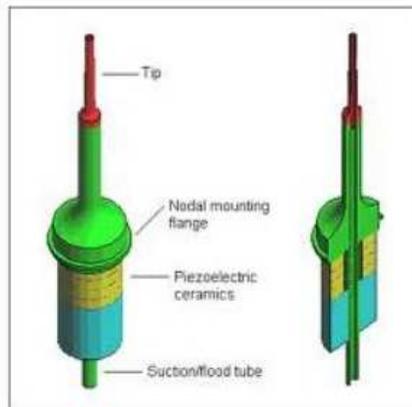
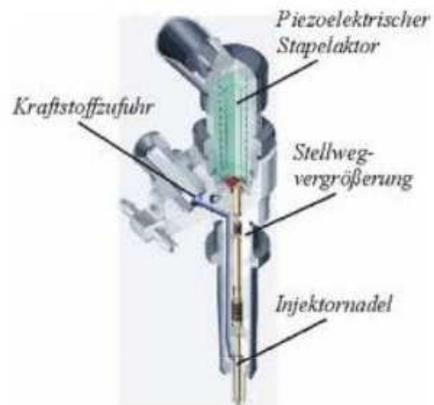
Applicazioni delle ceramiche piezo



Applicazioni (2)



Applicazioni (3)

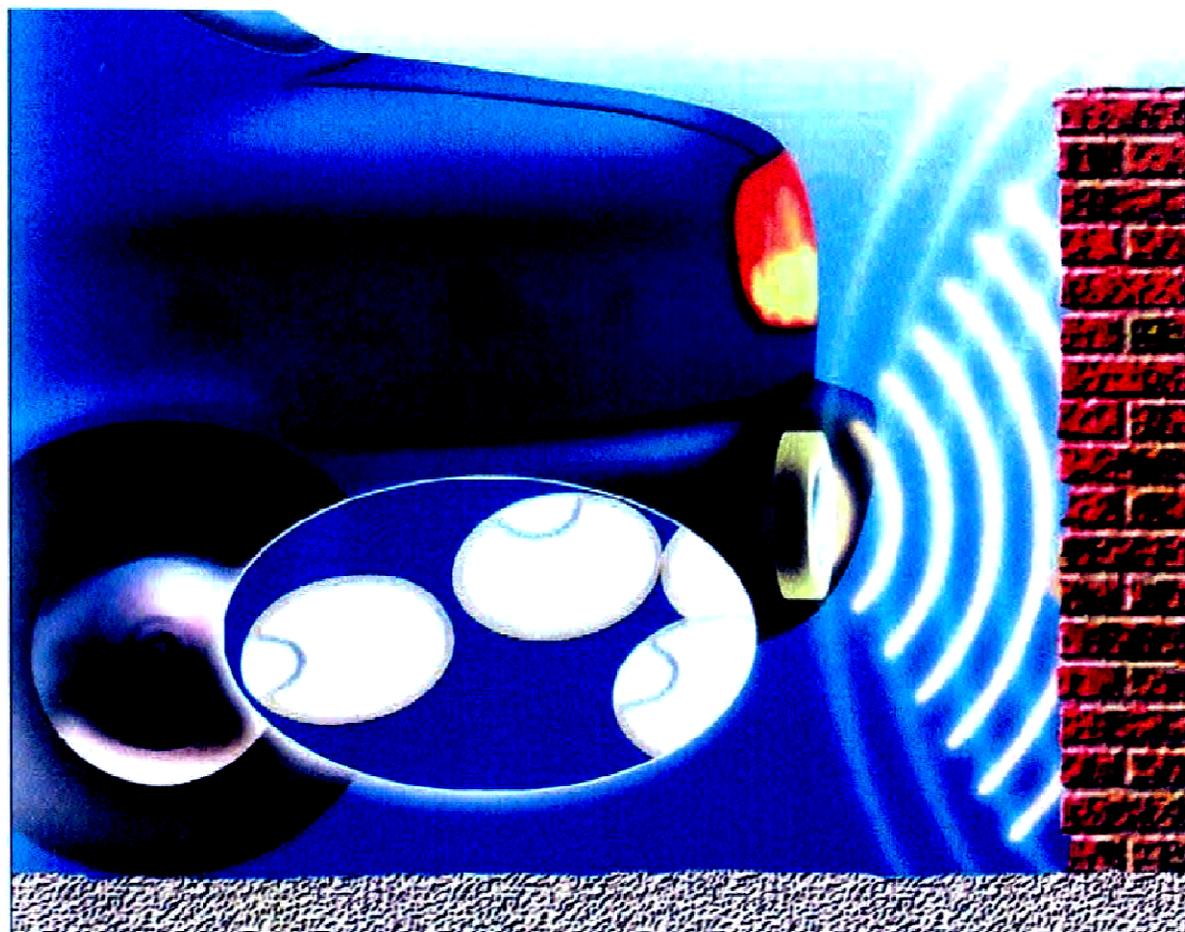


Applicazioni (4)

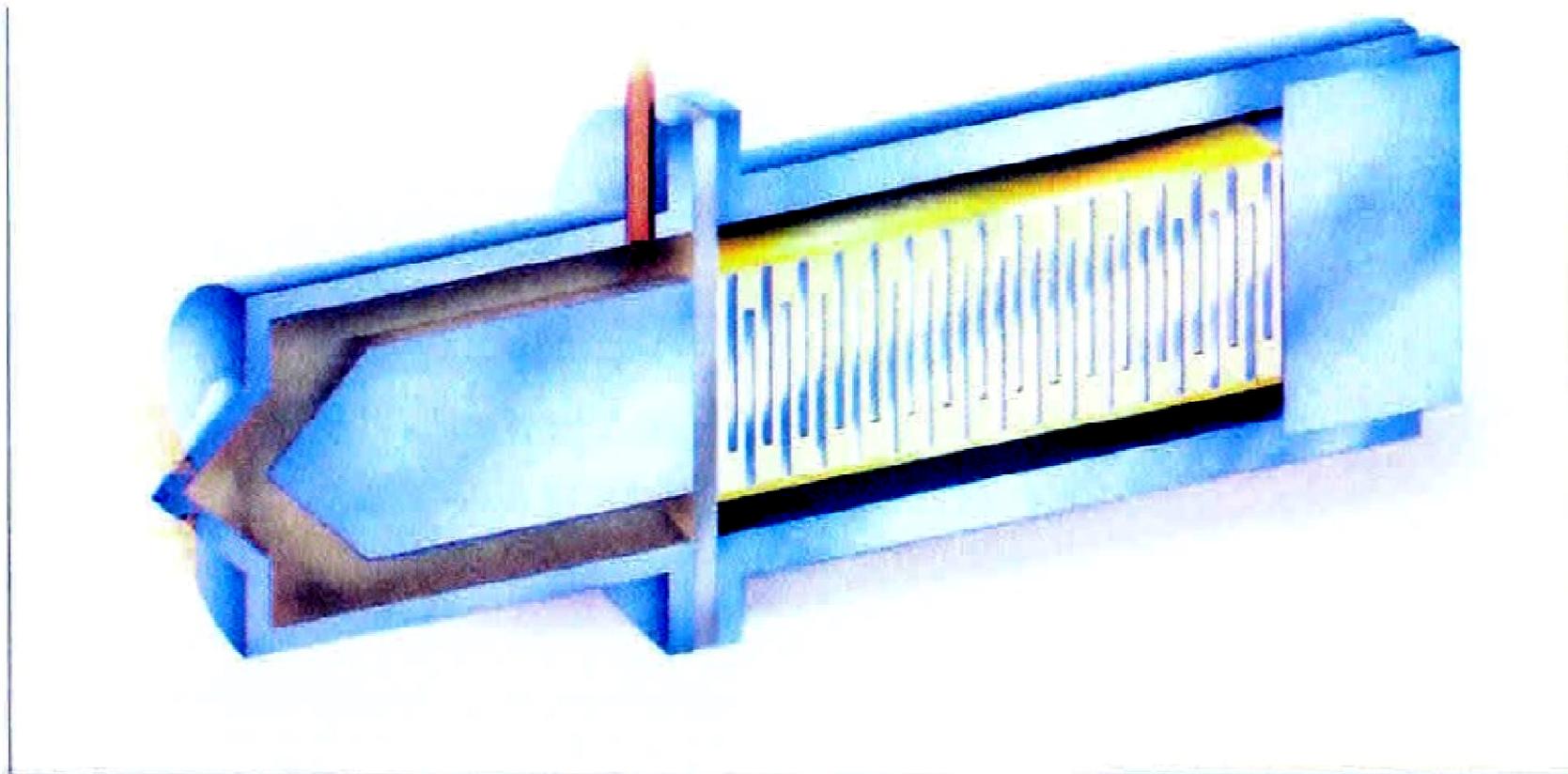
TYPICAL APPLICATIONS	SUITABLE MATERIAL	PZT TYPE
Ultrasonic Cleaning Transducers Sonar Transducers Medical Therapy Ultrasonic welding Cosmetics	PZT400 Series PZT800 Series	Hard Material High Q_m High T_c Low $\tan\delta$ $975 \leq \epsilon_{r,33}^T \leq 1475$
Sensors Material testing Medical Diagnostics Actuators Low power generators Receivers Hydrophones Gyroscopes Accelerometers Ink jet printers Bimorphs	PZT5A Series PZT5J1 PZT5H Series PZT501 - PZT508 PZT5K1 PZT700 Series PZT5R	Soft Material Low $Q_m (\leq 80)$ $d_{33} > 400 \text{ pC/N}$ $1700 \leq \epsilon_{r,33}^T \leq 6200$

Applicazioni (5)

Sono disponibili diversi tipi di materiali ceramici piezoelettrici. Ogni tipo è orientato verso le esigenze di particolari applicazioni. Ciò si ottiene modificando la sua composizione chimica in modo da migliorare la sua specifica proprietà.



*Piezokeramische
Bauteile senden
und empfangen
Schallwellen zur
Ermittlung von
Entfernungen bei
Abstandssensoren.*



*Die Steuerung
von Einspritzdüsen
erfolgt über piezo-
keramische Aktoren.*

APPLICAZIONI DEGLI ULTRASUONI IN CAMPO INDUSTRIALE

SONAR e MICROFONI

L'applicazione di una tensione alternata con una certa frequenza fa vibrare il trasduttore alla stessa frequenza generando onde acustiche e viceversa.

SENSORI DI DISTANZA e DI LIVELLO

Usati anche come contatori nelle catene di montaggio.

MISURATORI DI FLUSSO

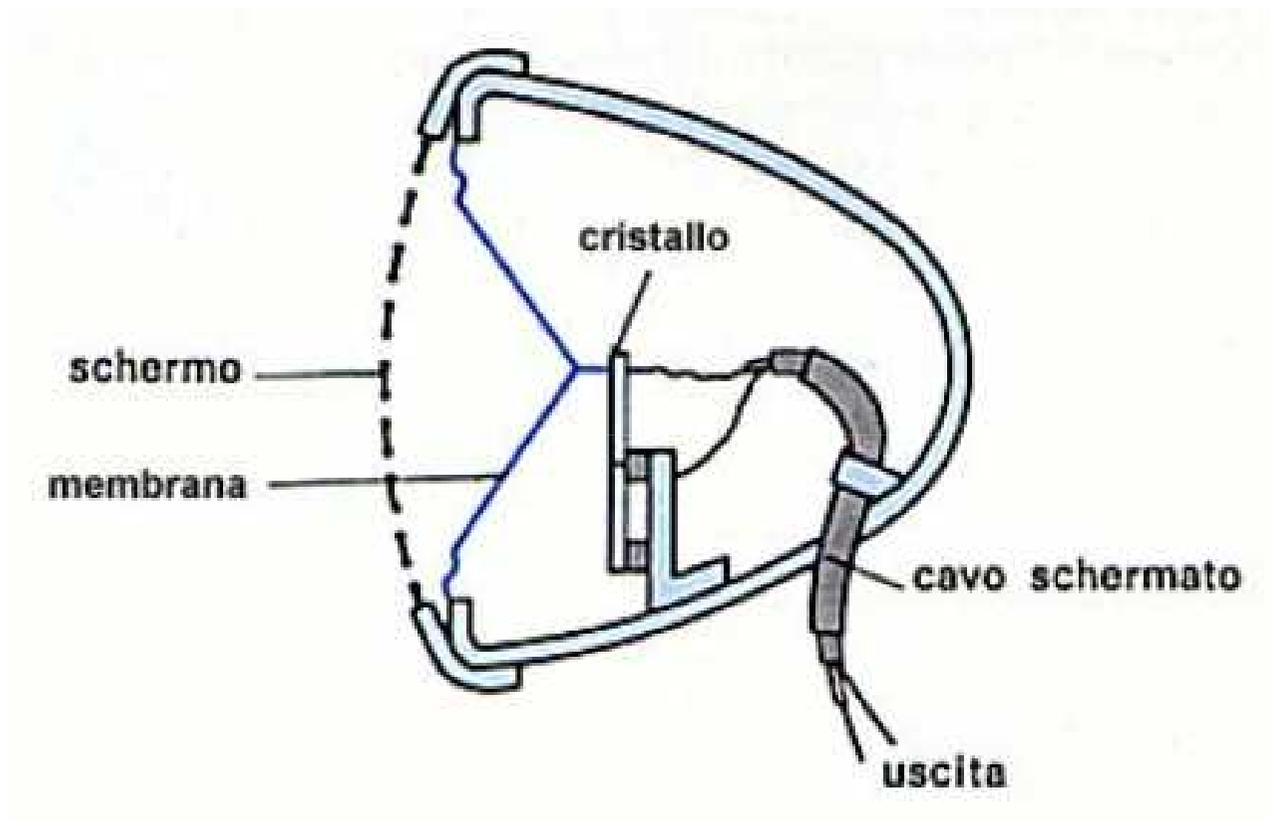
Sfruttando l'effetto Doppler misurano la frequenza di spostamento delle onde ultrasonore riflesse dalle particelle del liquido.

SALDATURA ULTRASONORA

Applicando ultrasuoni di forte potenza su due parti in contatto, esse iniziano a vibrare riscaldandosi per attrito e fondendo. Imballaggi termoplastici, attrezzature biomedicali.

PULITORI ULTRASONICI

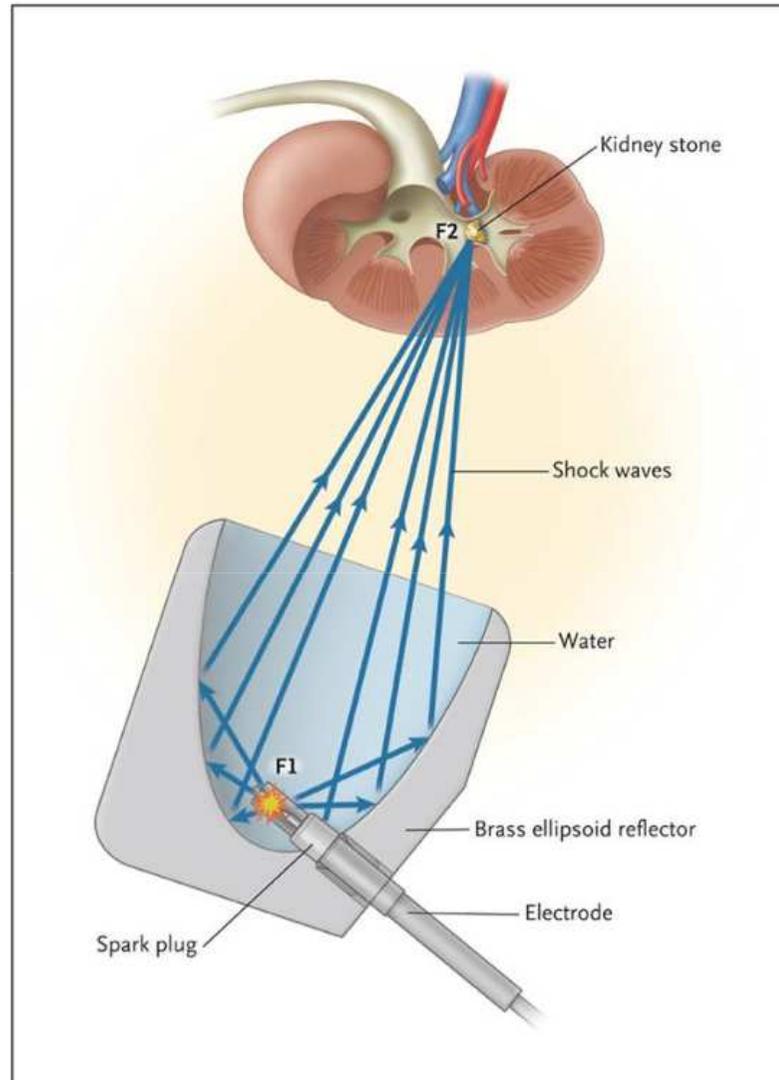
Sfruttando la potenza ultrasonora, generano cavitazione nel liquido, che assicura la pulitura di superfici anche complesse.



MICROFONO PIEZOELETTRICO

ALTRE APPLICAZIONI DEGLI ULTRASUONI

- **Generatori di ultrasuoni per diagnostica (ecografia) e di onde d'urto per terapia (litotritore, trattamento di cartilagini, articolazioni, ossa e muscoli).**
- **Ultrasuoni per sonar.**
- **Ultrasuoni per allontanare animali indesiderati.**
- **Ultrasuoni per saldatura di materiali termoplastici.**
- **Ultrasuoni per controllo non distruttivo di metalli, saldature di metalli e brasature.**



SCHEMA DEL LITOTRITTORE

MAGNETOSTRIZIONE

Oltre che con materiali piezoelettrici, è possibile generare gli ultrasuoni con la magnetostrizione: un nucleo ferromagnetico sottoposto ad un campo magnetico alternato (massimo 200 KHz) si mette in vibrazione a frequenze ultrasoniche. Questo sistema è maggiormente usato per bagni di lavaggio industriale con ultrasuoni.

**PIROELETTRICI
PER SENSORI DI PRESENZA E
TERMOMETRI REMOTI**

PIROELETTRICITÀ

Quasi tutti i materiali PIEZOELETTRICI sono anche PIROELETTRICI ossia si polarizzano se scaldati.

Esistono due tipi di piroelettricità:

Primaria: riscaldando il cristallo impedendone la dilatazione termica

Secondaria: riscaldando cristallo senza impedirne la dilatazione termica.

Esiste anche la piroelettricità inversa quando ad un cristallo si applica una differenza di potenziale e si constata una sua variazione termica.

Il primo minerale in cui è stato osservato questo fenomeno è la tormalina. Oggi per le sue applicazioni si usano le perovskiti.

UTILIZZO DELLA PIROELETTRICITÀ

SENSORI PIR – A base di GeN e CsNO_3 servono per individuare l'entrata di persone o animali nel loro raggio di azione. Insieme ai sensori a microonde (MW) e a ultrasuoni (DMT) si utilizzano per gli impianti di allarme.

TELETERMOMETRI – Si tratta di sensori pirometrici in grado di misurare la temperatura di un oggetto remoto.

SENSORI OTTICI – In effetti sono sensibili alla radiazione IR che accompagna la radiazione visibile. L'elemento piroelettrico è costituito da cristalli ferroelettrici SBN ($\text{Sr}_x\text{Ba}_x\text{Nb}_2\text{O}_6$), LiNb_2O_6 (Niobato di Litio) che, se la loro temperatura cambia si polarizzano dando luogo durante il cambiamento a un effetto transitorio di tensione elettrica: $\Delta Q = p \cdot A \cdot \Delta T$ dove p è il coefficiente piroelettrico del materiale e A è l'area del rivelatore.

PID = Passive Infrared Detector

PIR = Passive Infra Red

MW = Micro Wave

DMT = Dual Modality Tomosynthesis



CELLE FOTOVOLTAICHE
CELLE ELETTROLUMINESCENTI (LED)
CELLE A COMBUSTIONE

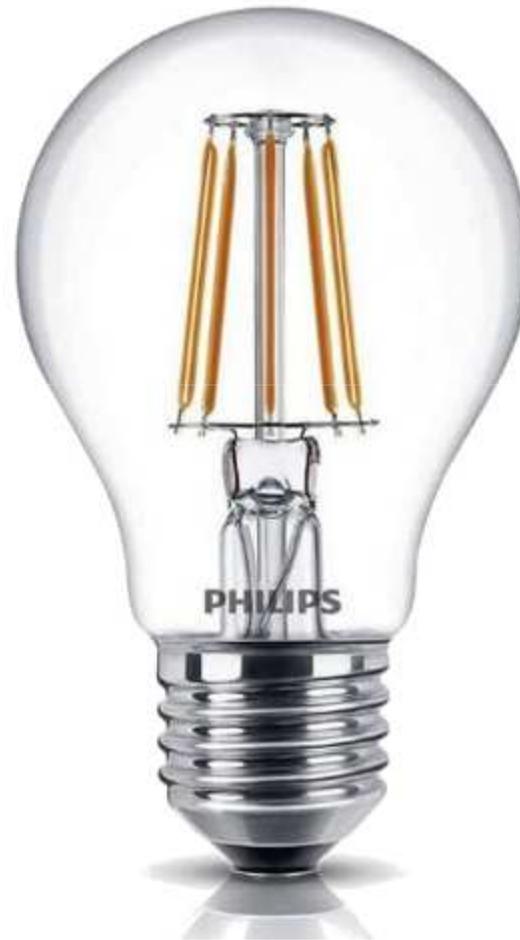
CELLE FOTOVOLTAICHE E CELLE ELETTROLUMINESCENTI

LE CELLE FOTOVOLTAICHE PER PANNELLI TRASFORMANO L'ENERGIA FOTONICA DELLA LUCE DIRETTAMENTE IN ENERGIA ELETTRICA.

DI CONTRO ABBIAMO ANCHE LE CELLE ELETTROLUMINESCENTI CHE NEI LED TRASFORMANO L'ENERGIA ELETTRICA DIRETTAMENTE IN ENERGIA FOTONICA OSSIA IN LUCE.



PHILIPS 



CELLA A COMBUSTIBILE

Si tratta di un dispositivo elettrochimico che permette di ottenere energia elettrica direttamente da reazioni chimiche. L'esempio più classico riguarda idrogeno + ossigeno che si ottengono per elettrolisi dell'acqua consumando energia elettrica. Rendendo la reazione reversibile con la pila a combustibile si può riottenere acqua da idrogeno + ossigeno producendo energia elettrica agli elettrodi.



Poiché la produzione e lo stoccaggio dell'idrogeno è molto impegnativo sono state realizzate pile a combustibile liquido e principalmente metanolo:



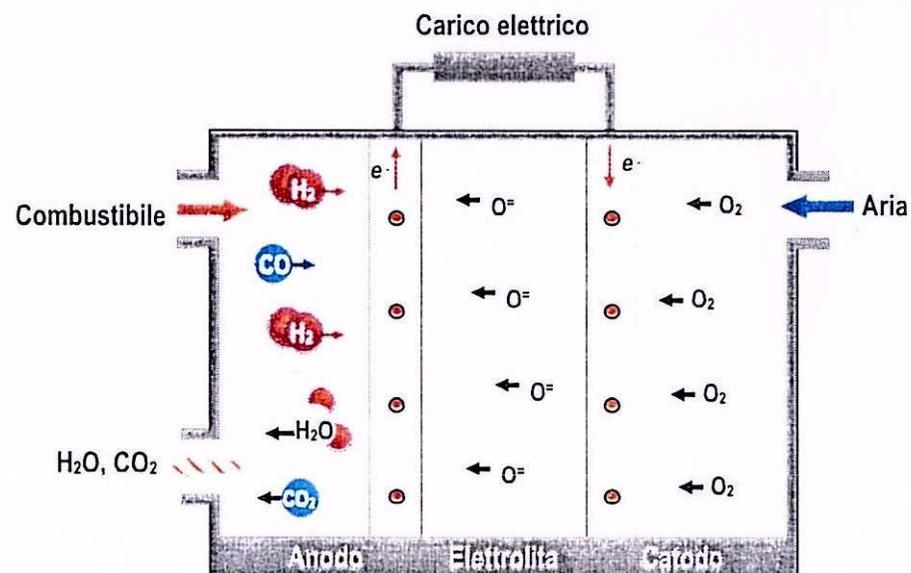
Nella tabella seguente sono riportati i tipi più utilizzati di celle a combustibile. Si nota che la ceramica svolge un ruolo importante in quasi tutti, sia come materiale costruttivo che come elettrolita.

Una nuova idea è nata con la possibilità di immagazzinare l'idrogeno sul grafene che si riduce a grafano. A 450°C il grafano perde l'idrogeno e si ritrasforma in grafene. L'idrogeno liberato può alimentare la cella a combustibile.

CARATTERISTICHE DEI DIVERSI TIPI DI CELLE

Caratteristica	AFC	PEFC	DMFC	PAFC	MCFC	SOFC
Elettrolita	Idrossido di potassio	Membrana polimerica	Membrana polimerica	Acido fosforico	Carbonato di litio e potassio	Ossido di zirconio drogato
Ione che promuove la reazione di cella	OH ⁻	H ⁺	H ⁺	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ²⁻
Temperatura, °C	60-120	70-100	70-100	160-220	600-650	800-1000
Catalizzatore	Pt/Pd, Ni	Platino Platino/Rutenio	Platino Platino/Rutenio	Platino	Nichel	Non richiesto
Materiali costruttivi	Plastica, grafite, Inconel	Materiali grafitici, metalli	Grafite	Materiali grafitici	Nichel, acciaio inossidabile	Materiali ceramici, metalli
Combustibile impianti	Idrogeno puro (99,99%)	Idrogeno Gas riformati (MeOH, GN)	Metanolo	Idrogeno Gas riformati (GN, MeOH, idrocarburi leggeri)	Idrogeno Gas riformati	Idrogeno Gas riformati Gas da carbone
Ossidante	Ossigeno (puro)	O ₂ / Aria	O ₂ / Aria	O ₂ / Aria	O ₂ / Aria	O ₂ / Aria
Efficienza elettrica (PCI), %	60	40-60	35-40	40-50	45-55	45-60
Densità di potenza, mW/cm²	300-500	300-900	200-400	150-300	150	150-270
Stato della tecnologia	Sistemi 5-80 kW	Sistemi 1-250 kW	Sistemi fino 2 kW	Impianti dimostrativi fino a 11 MW	Impianti dimostrativi fino a 2 MW	Stack 25 kW Impianti 200 kW
Tempo di avviamento	Minuti	Minuti	Minuti	1-4 h	5-10 h	5-10 h
Applicazioni	Applic. spaziali, gener. portatili, trasporto	Usi residenziali, trasporto, gener. portatile	Generatori portatili 1 W - 1 kW	Cogenerazione, potenza distribuita	Cogenerazione industriale, potenza distribuita	Cogenerazione industriale, potenza distribuita

CELLE AD OSSIDI SOLIDI



MATERIALI DEI COMPONENTI DI CELLA

Anodo	Cermet Ni-ZrO ₂ ; spessore \approx 100-150 μ m, porosit� 20 - 40 % Processo di fabbricazione: Slurry-coat, EVD o plasma spray
Catodo	La(Sr)MnO ₃ ; spessore \approx 2 mm, porosit� 30-40 % Processo di fabbricazione: Estrusione/sinterizzazione
Elettrolita	ZrO ₂ (Y ₂ O ₃); spessore \approx 30-40 μ m Processo di fabbricazione: EVD
Interconnessione	La(Mg)CrO ₃ ; spessore \approx 100 μ m Processo di fabbricazione: plasma spray



Idrogeno

Ecco Hyundai
Nexo: ha 800 km
di autonomia

Le pile a combustibile della Nexo fanno reagire l'idrogeno con l'ossigeno, ottenendo l'energia elettrica che fa muovere l'auto

La scheda

● DIMENSIONI

Lunghezza: 467 cm;
larghezza: 186 cm; altezza: 163 cm;
passo: 279 cm; altezza minima da terra: 14 cm

MOTORE

Celle di combustibile 163 cv (120 kW). Coppia massima: 395 Nm.

CAMBIO

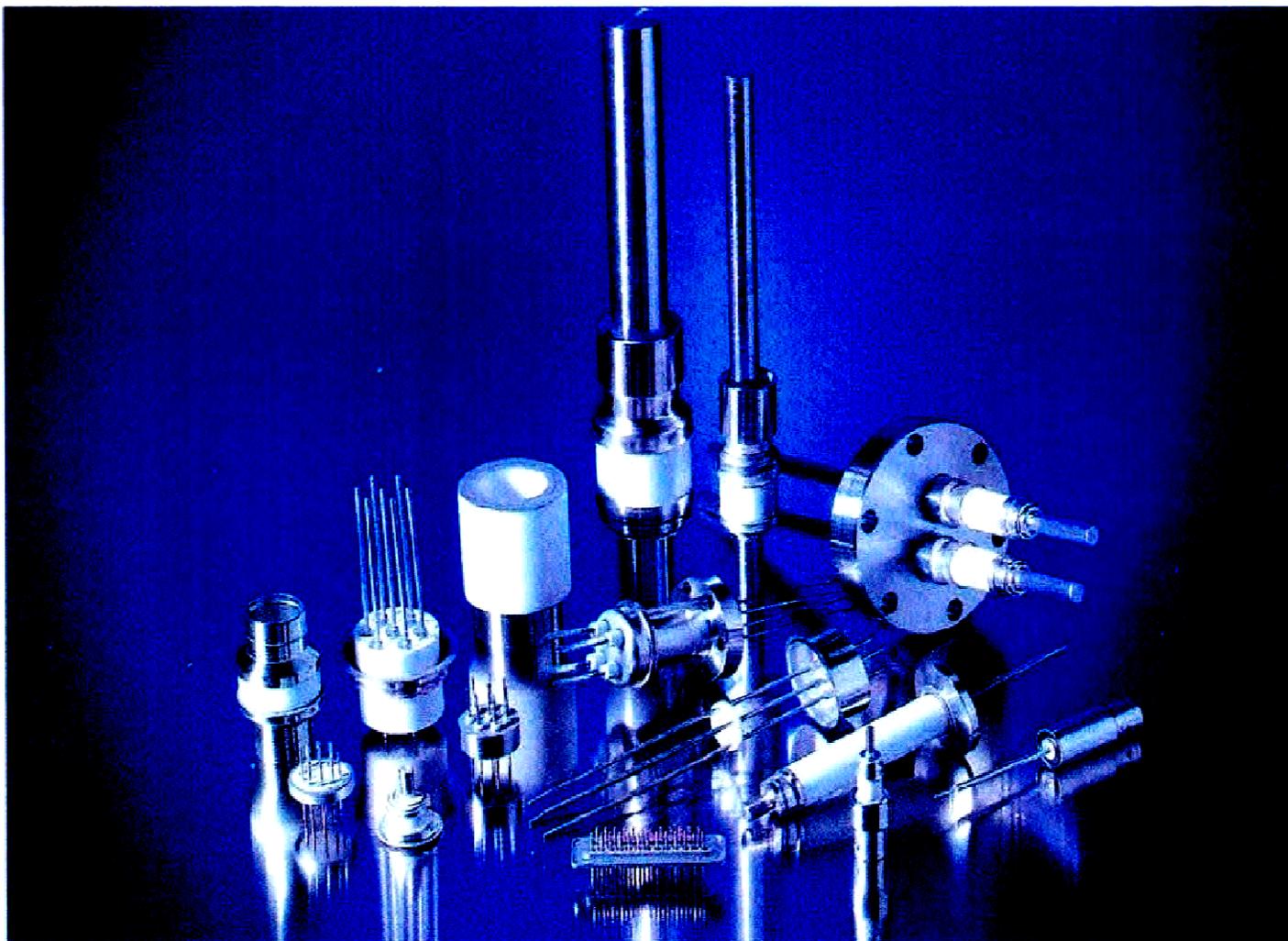
Automatico

PRESTAZIONI

Accelerazione 0-100 km/h: 9,2 secondi.
Velocità massima: 179 km/h

PREZZO

Non dichiarato



*Vakuumdichte
Keramikprodukte*

PRODOTTI CERAMICI SINTERIZZATI SOTTO VUOTO



*Überall dort, wo
starke Ströme
fließen, findet auch
Keramik Anwendung,
so zum Beispiel als
Überspannungs-
ableiter oder als
Gehäuse von Thyris-
toren und Dioden.*

Tavola Periodica degli Elementi

1 IA Nuovo Originale												18 VIIIA																							
1 H Idrogeno 1.00784	2 He Elio 4.002602											3 Li Litio 6.941	4 Be Berillio 9.012182											5 B Boro 10.811	6 C Carbonio 12.011	7 N Azoto 14.00644	8 O Ossigeno 15.999	9 F Fluoro 18.998463	10 Ne Neon 20.1797						
11 Na Sodio 22.989769	12 Mg Magnesio 24.304	3 Al Alluminio 26.9815385	4 Si Silicio 28.0855	5 P Fosforo 30.973762	6 S Zolfo 32.06	7 Cl Cloro 35.453	8 Ar Argon 39.948	19 K Potassio 39.0983	20 Ca Calcio 40.078	21 Sc Scandio 44.955912	22 Ti Titanio 47.88	23 V Vanadio 50.9415	24 Cr Cromo 51.9961	25 Mn Manganese 54.938044	26 Fe Ferro 55.845	27 Co Cobalto 58.933195	28 Ni Nichel 58.6934	29 Cu Rame 63.546	30 Zn Zinco 65.38	31 Ga Gallio 69.723	32 Ge Germanio 72.64	33 As Arsenico 74.9216	34 Se Selenio 78.96	35 Br Bromo 79.904	36 Kr Kriptone 83.801										
37 Rb Rubidio 85.4678	38 Sr Stronzio 87.62	39 Y Ittrio 88.90584	40 Zr Zirconio 91.224	41 Nb Niobio 92.90638	42 Mo Molibdeno 95.94	43 Tc Technetio 98	44 Ru Rutenio 101.07	45 Rh Rodio 101.07	46 Pd Palladio 106.3675	47 Ag Argento 107.8682	48 Cd Cadmio 112.411	49 In Indio 114.818	50 Sn Stagno 118.710	51 Sb Antimonio 121.757	52 Te Tellurio 127.6	53 I Iodio 126.90545	54 Xe Xeno 131.29	55 Cs Cesio 132.90545	56 Ba Bario 137.327	57 to 71 Lantanidi	72 Hf Hafnio 178.49	73 Ta Tantalio 180.9478	74 W Tungsteno 183.84	75 Re Reniolo 186.207	76 Os Osmio 190.23	77 Ir Iridio 192.222	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 208.98038	84 Po Polonio 209	85 At Astatio 210	86 Rn Radon 222
87 Fr Francio 223	88 Ra Raffaio 226	89 to 103 Attinidi	104 Rf Rutherfordio 261	105 Db Dubnio 262	106 Sg Seaborgio 263	107 Bh Bohrio 264	108 Hs Hassium 265	109 Mt Meitnerio 266	110 Ds Darmstadtio 271	111 Rg Roentgenio 272	112 Uub Ununbium 285	113 Uut Ununtrio 284	114 Uuq Ununquadio 289	115 Uup Ununpentio 288	116 Uuh Ununsestio 288	117 Uus Ununseptium 289	118 Uuo Ununoctium																		

Le masse atomiche tra sono quelle degli isotopi più stabili o più comuni.

Nota: il sotto gruppo di numeri 1-10 è stato adottato nel 1984 dalla International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). I nomi degli elementi 112-118 sono gli equivalenti italiani di quei nomi.

BIBLIOGRAFIA

H. SALMANG – *Die Keramik* – Springer Ver. 1968

CERAMTEC – *Technische Keramik* – Verlag Moderne Industrie – 2010

IZTK – *Brevier Technische Keramik* – Think Ceramics – 2003

L.L. HENCH – *Principles of Electronic Ceramics* – John Wiley & Sons – 1989

M. DELLA ROCCA – *Piezolettricità* – Il Rostro Ed. – 1939

C. ALIPRANDI – *Introduzione ai Ceramici Avanzati* – Vol.I e II – Enea Ed. – 1989

AMATO – *Lezioni dal Corso di Scienze e Tecnologia dei Materiali Ceramici* – Vol. I, II, III – Ed. Cortina - 2000

G. P. REGGIORI – *Ceramica Industriale* – Hoepli Ed. – 1958

W.F. SMITH – *Scienza e Tecnologia dei Materiali* – McGraw – Hill Ed. – 2012

J.F. SHACKELFORD – *Materials Science for Engineers* – Pearson Ed. – 2005

A. VINCENTI – *Fisica della conversione fotovoltaica* – IESL - 2015

SITOGRAFIA

A. Licciulli – Prof. Unile – *SINGOLE VOCI SPECIFICHE*

Wikipedia – *SINGOLE VOCI*