

LEZIONI DI TECNOLOGIA CERAMICA

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

Dott. Giuseppe Pagliara
g.pagliara@pagliara.it

11. ELETTROCERAMICHE E ISOLATORI



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

LEGGI FONDAMENTALI DI ELETTROTECNICA

- 1ª Legge di OHM: $V = R I$
- 2ª Legge di OHM: $R = \rho \ell / s$; $\rho = 1/\sigma = \rho_0[1+\alpha(T - T_0)]$
- 3ª Legge di OHM: $P = V I$
- Trasmissione di ENERGIA: $E = P t = V I t$
- Effetto Joule: $C = R I^2$
- Quantità di calore sviluppato $Q = C t = R I^2 t$

V = Volt

R = Resistenza ohm Ω

ρ = Resistività $\Omega \text{ m}$ = resistenza specifica

α = Coefficiente di resistività

σ = Conduttività Siemens = mho = 1/ohm

P = Potenza trasmessa

E = Energia trasmessa

T = Temperatura

T_0 = Temperatura di riferimento per es. 0°C

ℓ = Lunghezza del conduttore

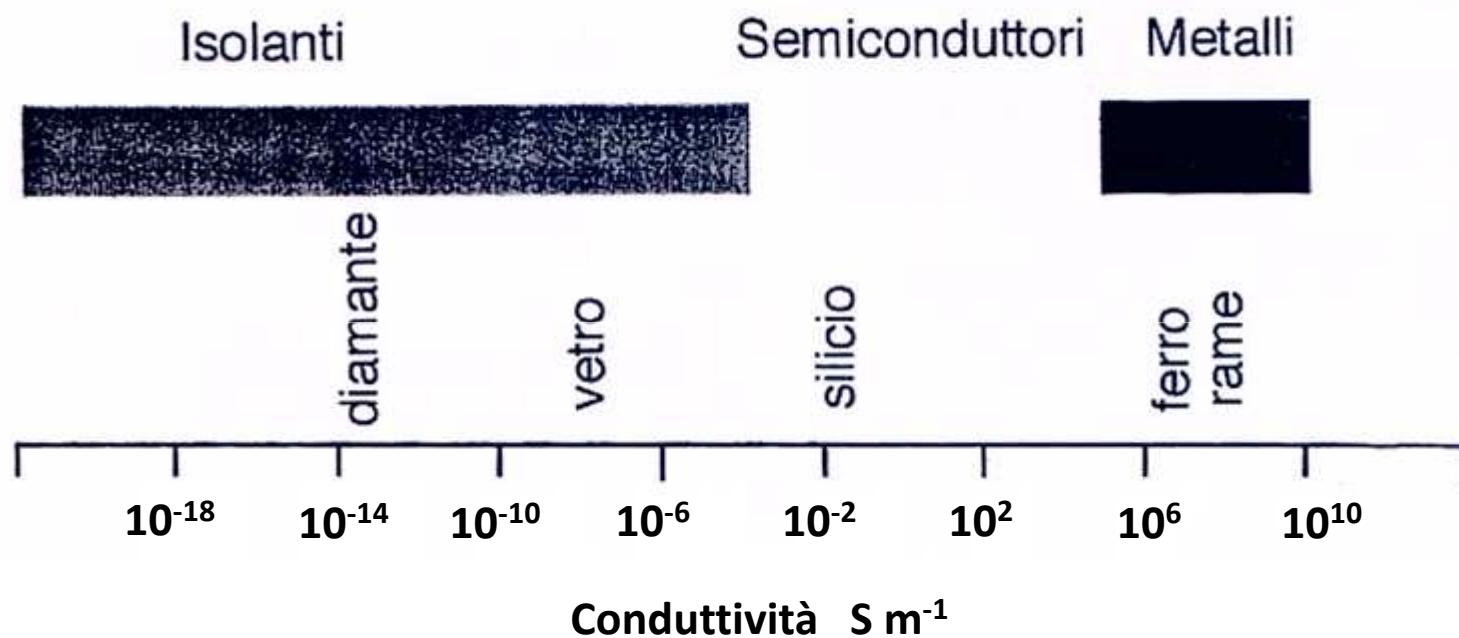
s = Area sezione del conduttore

t = tempo

C = Potenza perduta come calore

Q = Quantità di energia perduta come calore

CONDUTTIVITÀ

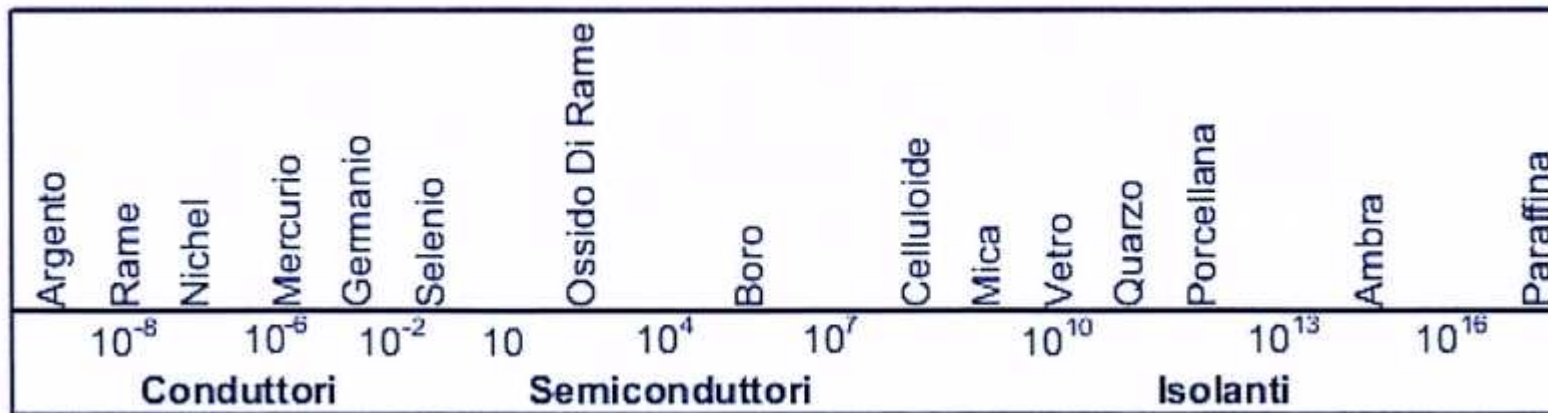


S = Siemens

RESISTIVITÀ

La resistività si misura in $\Omega \cdot m$.

Esistono buoni conduttori, semiconduttori (ad es. il silicio) che possono essere “drogati” allo scopo di modificare le proprietà elettriche del materiale e isolanti.



Resistività Ωm

	RESISTIVITÀ $\Omega \text{ m}$	CONDUTTIVITÀ S m^{-1}	RESISTIVITÀ CON LA TEMPERATURA
ISOLANTI	$\rho > 10^3$	$\sigma < 10^{-3}$	DIMINUISCE
SEMICONDUTTORI	$10^{-5} < \rho < 10^3$	$10^{-3} < \sigma < 10^5$	DIMINUISCE
CONDUTTORI	$\rho < 10^{-5}$	$\sigma > 10^5$	AUMENTA

La resistività ρ è l'inverso della conduttività σ
 $\Omega = \text{ohm}$ $\text{S} = \text{Siemens} = \text{mho} = \frac{1}{\text{ohm}}$

La **resistività** di un conduttore è la resistenza che un suo campione di lunghezza e sezione unitarie offre al passaggio della corrente.

L'inverso della resistività si chiama **conducibilità**.

Attenzione: come la resistenza anche la resistività dipende dalla temperatura.

Tabella: Resistività elettrica a temperatura ambiente (20 °C)

Sostanza	ρ (Ω m)	Sostanza	ρ (Ω m)
Metalli		Semiconduttori	
Rame	$1.72 \cdot 10^{-8}$	Carbonio	$3.57 \cdot 10^{-5}$
Argento	$1.63 \cdot 10^{-8}$	Germanio	45.4
Alluminio	$2.82 \cdot 10^{-8}$	Silicio	$6.25 \cdot 10^4$
Ferro	$6.54 \cdot 10^{-8}$		
Tungsteno	$5.50 \cdot 10^{-8}$		
Leghe		Isolanti	
		Vetro	$10^{10} \rightarrow 10^{14}$
Manganina	$4.40 \cdot 10^{-7}$	Mica	$10^{11} \rightarrow 10^{15}$
Costantina	$4.90 \cdot 10^{-7}$	Paraffina	$2.97 \cdot 10^{16}$
Nichel-cromo	$1 \cdot 10^{-6}$	Quarzo	$7.52 \cdot 10^{17}$

Come si vede, la resistività dei materiali copre uno spettro di circa 25 ordini di grandezza.

TAVOLA PERIODICA DEGLI ELEMENTI

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

GRUPPO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H 1.0079 IDROGENO																	He 4.0026 Elio
2	Li 6.941 Litio	Be 9.0122 Berillio																
3	Na 22.990 Sodio	Mg 24.305 Magnesio																
4	K 39.098 Potassio	Ca 40.078 Calcio	Sc 44.956 Scandio	Ti 47.867 Titanio	V 50.942 Vanadio	Cr 51.996 Cromo	Mn 54.938 Manganese	Fe 55.845 Ferro	Co 58.933 Cobalto	Ni 58.693 Nichel	Cu 63.546 Rame	Zn 65.38 Zinco	Ga 69.723 Gallio	Ge 72.64 Germanio	As 74.922 Arsenico	Se 78.96 Selenio	Br 79.904 Bromo	Kr 83.80 Kriptone
5	Rb 85.468 Rubidio	Sr 87.62 Stronzio	Y 88.906 Ittrio	Zr 91.224 Zirconio	Nb 92.906 Niobio	Mo 95.94 Molibdeno	Tc (98) Technetio	Ru 101.07 Rutenio	Rh 102.91 Rodio	Pd 106.42 Palladio	Ag 107.87 Argento	Cd 112.41 Cadmio	In 114.82 Indio	Sn 118.71 Stagno	Sb 121.76 Antimonio	Te 127.60 Tellurio	I 126.90 Iodio	Xe 131.29 Xenone
6	Cs 132.91 Cesio	Ba 137.33 Bario	La-Lu Lantanidi	Hf 178.49 Hafnio	Ta 180.95 Tantalio	W 183.84 Wolframio	Re 186.21 Renio	Os 190.23 Osmio	Ir 192.22 Iridio	Pt 195.08 Platino	Au 196.97 Oro	Hg 200.59 Mercurio	Tl 204.38 Tallio	Pb 207.2 Piombo	Bi 208.98 Bismuto	Po (209) Polonio	At (210) Astatio	Rn (222) Radon
7	Fr (223) Francio	Ra (226) RADIO	Ac-Lr Attinidi	Rf 104 (261) Rutherfordio	Db 105 (262) Dubnio	Sg 106 (266) Seaborgio	Bh 107 (264) Bohrio	Hs 108 (277) Hassio	Mt 109 (268) Meitnerio	Uun 110 (281) Ununnilio	Uuu 111 (272) Ununnilio	Uub 112 (285) Unbibio						

LANTANIDI

57 138.91 La Lantanio	58 140.12 Ce Cerio	59 140.91 Pr Praseodimio	60 144.24 Nd Neodimio	61 (145) Pm Prometio	62 150.36 Sm Samarco	63 151.96 Eu Eurorio	64 157.25 Gd Gadolinio	65 158.93 Tb Terbio	66 162.50 Dy Dismidio	67 164.93 Ho Olimio	68 167.26 Er Erbio	69 168.93 Tm Tulio	70 173.04 Yb Itrerio	71 174.97 Lu Lutetio
------------------------------------	---------------------------------	---------------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

ATTINIDI

89 (227) Ac Attinio	90 232.04 Th Torio	91 231.04 Pa Protattinio	92 238.03 U Urano	93 (237) Np Nettuno	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 Fermio	101 (258) Md Mendelevio	102 (258) No Nobelio	103 (262) Lr Lawrencio
----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

(1) Pure Appl. Chem., 71, No. 4, 667-681 (2009)

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: Warkentin (mailto:wk@kj-epi.it)

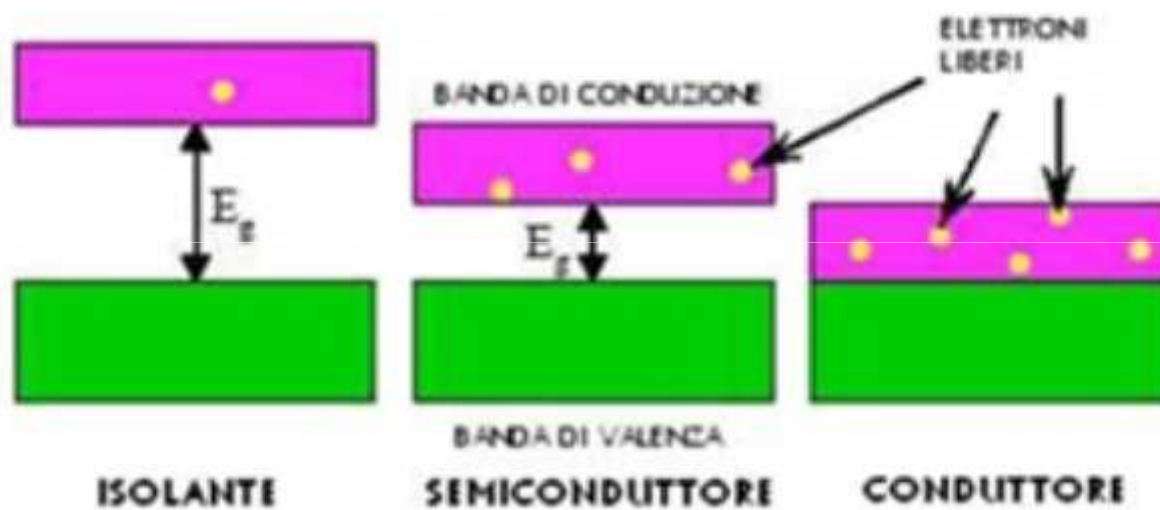
Copyright © 1998-2012 EpiG. wk@kj-epi.it

CONDUTTORI, SEMICONDUTTORI, ISOLANTI

La differenza è nella possibilità di movimento degli elettroni sulle bande energetiche che circondano il nucleo. L'ultima banda occupata totalmente da elettroni è detta banda di valenza. Quella di energia superiore è detta di conduzione perché la mobilità degli elettroni che la occupano, permette il passaggio di corrente.

Nei conduttori (per es. metalli) gli elettroni occupano normalmente anche la banda di conduzione, mentre nei semiconduttori (silicio, germanio, arseniuro di gallio ecc.) esiste un gap, detto banda proibita (per gli elettroni) perché sempre esente da elettroni, che richiede un livello energetico superiore perché gli elettroni possano accedervi. E ciò succede solo per pochi elettroni.

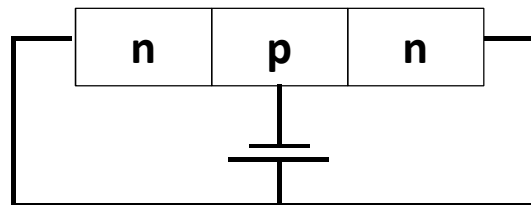
Nel caso dei materiali isolanti la banda proibita rappresenta un gap ancora maggiore e quindi rimane sempre vuota, tranne in caso di eccitazione energetica straordinaria.



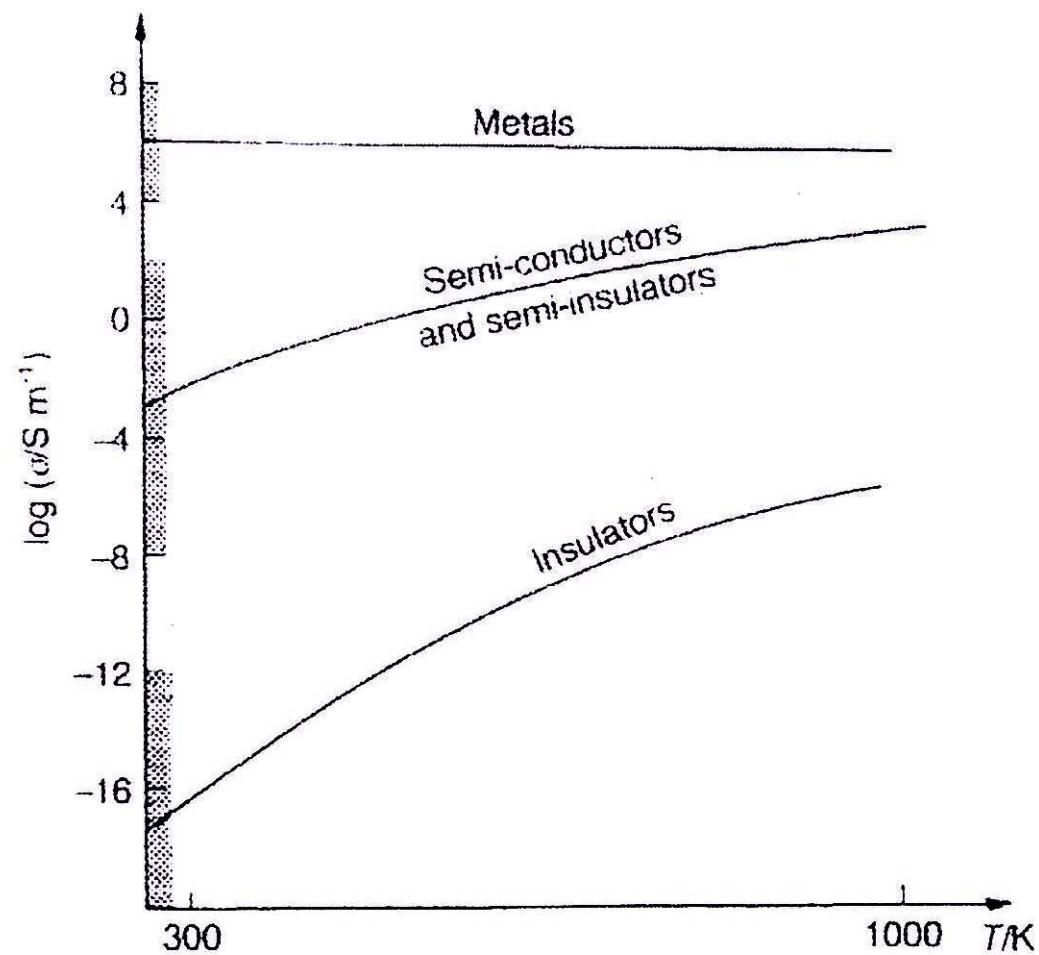
E_g = Gap energetico della banda proibita

DIODI

Le caratteristiche dei semiconduttori tipo silicio (gruppo IV della tavola Periodica) possono essere fortemente modificate aggiungendo piccole quantità di elementi del gruppo V tipo Sb, As, P, che posseggono un elettrone esterno in più, fornibile alla banda conduttiva del semiconduttore. Si produce così una conduttività di tipo “n”. In modo opposto un drogaggio di tipo “p” si realizza aggiungendo una piccola quantità di Boro o di Indio che essendo del gruppo III, possiedono un elettrone in meno del Silicio e così tendono a prenderlo dalla sua banda di valenza creando una lacuna. Il drogaggio del silicio aumenta la sua conduttività di un fattore di oltre il miliardo. Giungendo le regioni drogate p e n si crea un diodo con gli elettroni che fluiscono in una sola direzione da n a p. Nel transistor si ha una tripla giunzione p-n-p oppure n-p-n con la possibilità di controllare il flusso attraverso una differenza di potenziale variabile come da schema seguente:



Il diodo è l'elemento base dell'elettronica e dell'informatica.



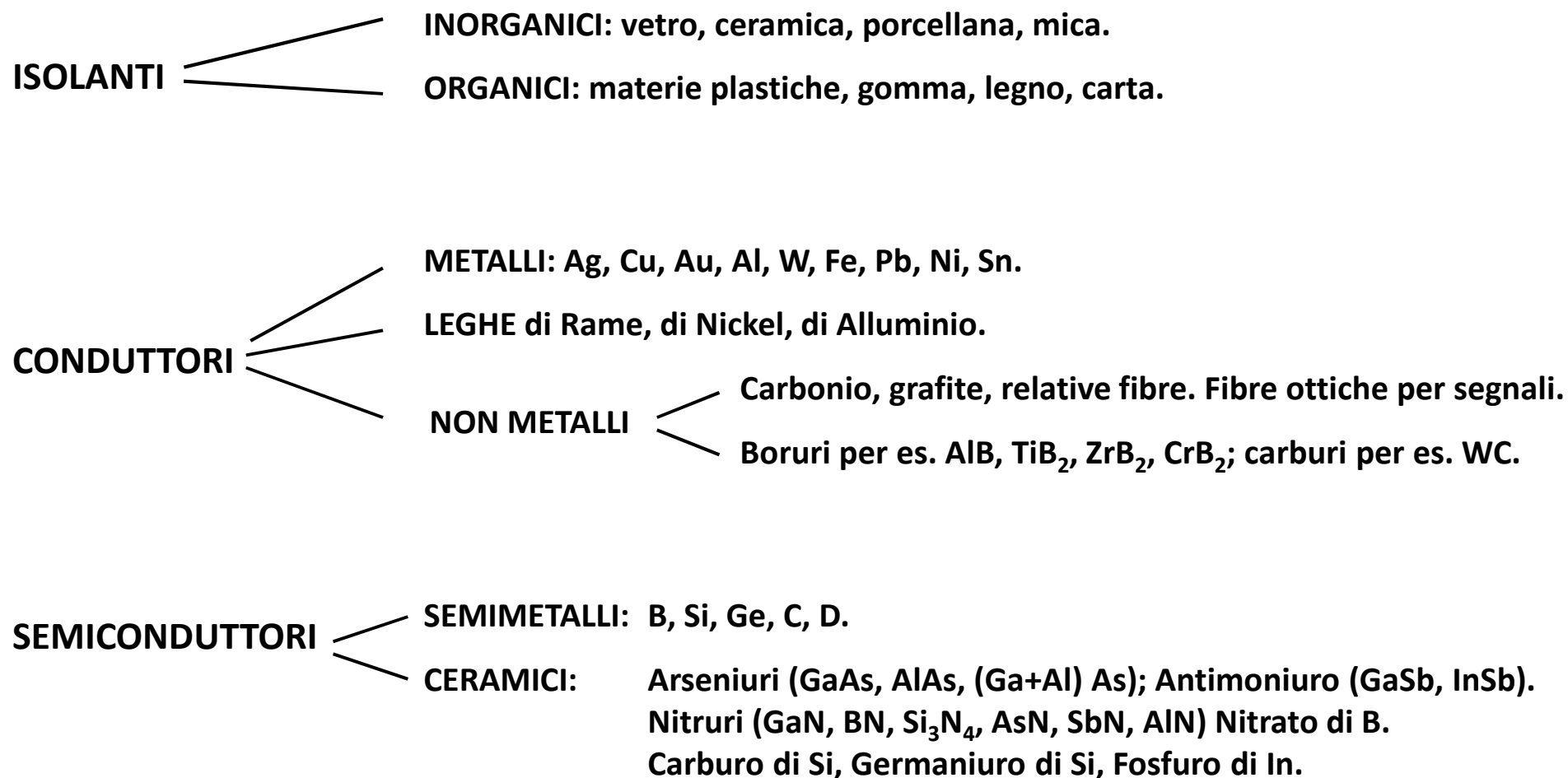
Conduttività in funzione della temperatura

Materiale		Resistività a 0°C		Coefficiente α_0 $\times 10^{-3} [^{\circ}\text{C}^{-1}]$
		$\Omega \cdot \text{m}$	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	
Buoni conduttori	Argento	$1,5 \cdot 10^{-8}$	0,015	4,0
	Rame	$1,6 \cdot 10^{-8}$	0,016	4,2
	Oro	$2,1 \cdot 10^{-8}$	0,021	3,9
	Alluminio	$2,6 \cdot 10^{-8}$	0,026	4,3
Conduttori	Tungsteno	$5 \cdot 10^{-8}$	0,05	4,5
	Ferro puro	$10 \cdot 10^{-8}$	0,10	6,0
	Ferro dolce	$13 \cdot 10^{-8}$	0,13	4,8
	Piombo	$20 \cdot 10^{-8}$	0,20	4,2
	Manganina	$40 \cdot 10^{-8}$	0,40	0,01
	Ferro-silicio (3% Si)	$50 \cdot 10^{-8}$	0,50	1,0
	Ferro-nichel (25% Ni)	$85 \cdot 10^{-8}$	0,85	0,6
	Nichel-cromo (20% Cr)	$105 \cdot 10^{-8}$	1,05	0,1
Semiconduttori	Carbone	$3000 \cdot 10^{-8}$	30	-0,4
	Germanio purissimo	0,5		negativo
	Solfuro di piombo	10		negativo
	Silicio purissimo	$2,5 \cdot 10^3$		negativo
Isolanti	Ardesia	10^6		
	Bachelite	10^9		
	Olio minerale	10^{11}		
	Porcellana	10^{12}		
	Resine epossidiche	10^{13}		
	Mica	10^{14}		
	Polistirolo	10^{16}		

Conductivity characteristics of the various classes of material

<i>Material class</i>	<i>Example</i>	<i>Conductivity level</i>	<i>dσ/dT</i>	<i>Carrier type</i>
Metals	Ag, Cu	High	Small, negative	Electrons
Semiconductors	Si, Ge	Intermediate	Large, positive	Electrons
Semi-insulators	ZrO ₂	Intermediate	Large, positive	Ions or electrons
Insulators	Al ₂ O ₃	Very low	Very large, positive	Ions or electrons, frequently 'mixed'

MATERIALI SOLIDI



IMPIEGHI

ISOLANTI

Ossia dielettrici per apparecchiature elettriche, termoelettriche, impianti elettrici domestici e industriali interni, linee elettriche esterne, candele auto, candele di accensione gas piano cottura, condensatori.

CONDUTTORI METALLICI Per cavi di trasmissione dell'energia elettrica e dei segnali. (Rame, Alluminio nudo o rivestito con guaina).

CONDUTTORI NON METALLICI impiegati per:

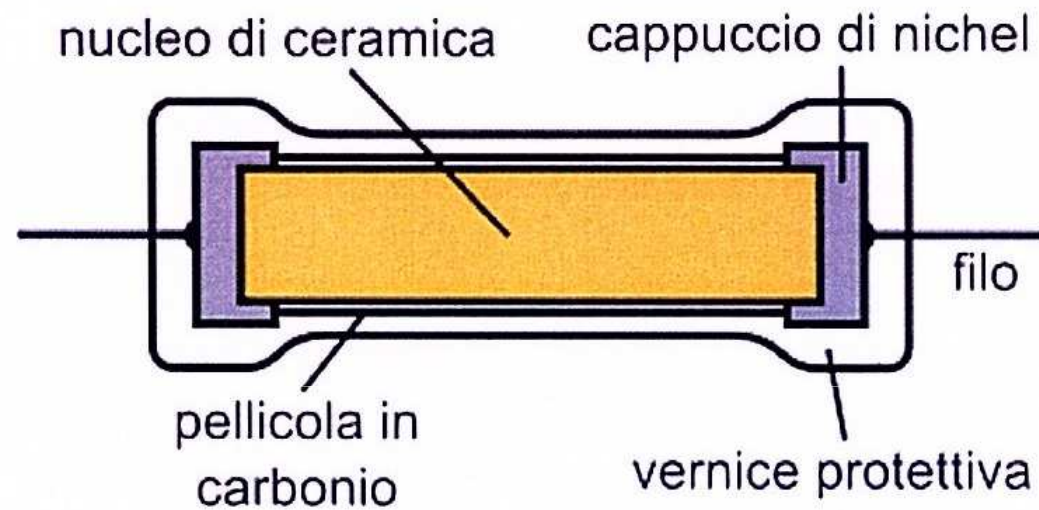
- Riduzione dei pesi.
- Resistenza ai fenomeni ossidativi e corrosivi.
- Possibilità di colorazioni.
- Resistenze riscaldanti al quarzo per emissione di IR.
- Intonaci e rivestimenti conduttori.
- Fibre ottiche per trasmissione di segnali informatici.

SEMICONDUTTORI

per diodi, transistor, microprocessori, termistori, superconduttori, led, celle fotoelettriche, celle piezoelettriche e piroelettriche, laser a semiconduttore ed altre apparecchiature elettroniche.

RESISTORE = elemento circuitale che al passaggio della corrente offre una resistenza di valore noto.

TERMISTORE = resistore il cui valore di resistenza varia in maniera significativa con la temperatura.



RESISTORE A STRATO DI CARBONE

DETTAGLI SUGLI IMPIEGHI DEI MATERIALI DIELETTRICI

- Isolatori per linee elettriche a bassa, media e alta tensione.
- Supporti per resistenze riscaldanti nude e corazzate.
- Dielettrici per macchine elettriche, elettroniche e elettromagnetiche.
- Dielettrici per interruttori ed altre apparecchiature elettriche.
- Dielettrici per impianti domestici ed industriali.
- Dielettrici per candele auto e candele di accensione fornelli e bruciatori.
- Ecc., ecc....

NOTA:

L'impiego dei materiali ceramici è preferito:

- Se è richiesta una grande stabilità all'esterno (linee elettriche esterne).
- Se l'esercizio avviene ad alta temperatura (supporti per resistenze termiche).

ELETTROCERAMICHE

La norma B.S. 6045 distingue otto classi di elettro ceramiche isolanti:

- C. 100 – PORCELLANE (silico-alluminati alcalini).
- C. 200 – STEATITE, FORSTERITE (silicati di magnesio).
- C. 300 – Ceramiche ad elevata permittività: TITANIA, TITANATI, STANNATI, NIOBATI.
- C. 400 – Silico-alluminati alcalinoterrosi.
- C. 500 – Silicati di alluminio e magnesio porosi.
- C. 600 – MULLITE.
- C. 700 – Ceramiche di alto alluminio.
- C. 800 – Ceramiche di ossidi.

ELETTROVETRI

La stessa norma B.S. 6045 distingue sei classi di vetri isolanti:

- G. 100 – Silice + alcali + calce.**
- G. 200 – Borosilicati chimicamente resistenti.**
- G. 300 – Borosilicati elettricamente resistenti.**
- G. 400 – Silico-alluminati di calcio.**
- G. 500 – Silicati di ossido di piombo e alcali.**
- G. 600 – Silicati di bario e alcali.**

La B.S. 4789 specifica le ceramiche per tubi elettronici.

ISOLATORI

ISOLATORI PER LINEE ELETTRICHE

Sono elementi dielettrici utilizzati per la separazione di un conduttore elettrico da altri materiali per evitare dispersione di energia, cortocircuiti e correnti disperse che sono dannose per il consumo di corrente, per il funzionamento delle apparecchiature e pericolose per gli utenti.

Un impiego esclusivo è per sostenere conduttori nudi sospesi sulla struttura di supporto (palo o traliccio).

In questo caso si richiede all'isolatore anche una funzione meccanica di elevato livello.

I materiali più utilizzati sono porcellana dura e vetro.

CARATTERISTICHE DEGLI ISOLATORI per conduttori nudi sospesi all'esterno

- **Resistenza meccanica in grado di sopportare gli sforzi trasmessi dai conduttori.**
- **Ottima stabilità dimensionale.**
- **Resistività elettrica di massa e di superficie elevata in modo da ridurre la corrente di dispersione.**
- **Rigidità dielettrica superficiale e di massa elevata , in modo da ridurre la possibilità di scariche superficiali e perforanti a seguito di sovratensioni.**
- **Elevato sviluppo superficiale tra conduttore e sostegno opportunamente protetto dall'acqua di pioggia.**
- **Inalterabilità all'esterno.**
- **Corrispondenza delle caratteristiche e delle prove di collaudo alle norme CEI emanate dal CT 36.**

CARATTERISTICHE DELLA “PORCELLANA” E DEL “VETRO E” PER ISOLATORI

GRANDEZZA	PORCELLANA	VETRO E
P. Sp. g/ml	2,3 -2,4	2,5
Durezza MoHs	7 – 8	6
Temp. di cottura °C	1350 – 1460	1300
Temp. di rammollimento °C	1500 - 1600	800
Resist. a trazione Kg/cm ^q	200 - 400	400
Resist. a compressione Kg/cm ^q	4000 – 5000	10000
Resist. a flessione Kg/cm ^q	400 – 900	400
Modulo E Kg/mm ^q	7000 – 8000	7500
Coeff. dilataz. termica tra 20 e 100°C mm/m°C	$3,5 \div 5 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-6}$
Calore specifico Cal/Kg °C	0,20 – 0,25	0,18
Conducibilità termica Cal/h mc°C	0,7 – 0,8	1
Rigidità-Diel. su provini di 3-4 mm KV/mm	25 - 38	60 -100
Resistività di massa a 20°C $\Omega \cdot \text{cm}$	$> 10^{14}$	$> 10^{15}$
Angolo di perdita a 50 Hz $\text{Tg } \delta \cdot 10^4$	170 - 250	40
Costante dielettrica $\epsilon = \text{F/m}$	4,5 – 6,5	6 - 8

m = metro, F = Farad = Capacità elettrica = $\frac{C}{V}$, C = Coulomb, V = Volt.

PORCELLANE QUARZOSE

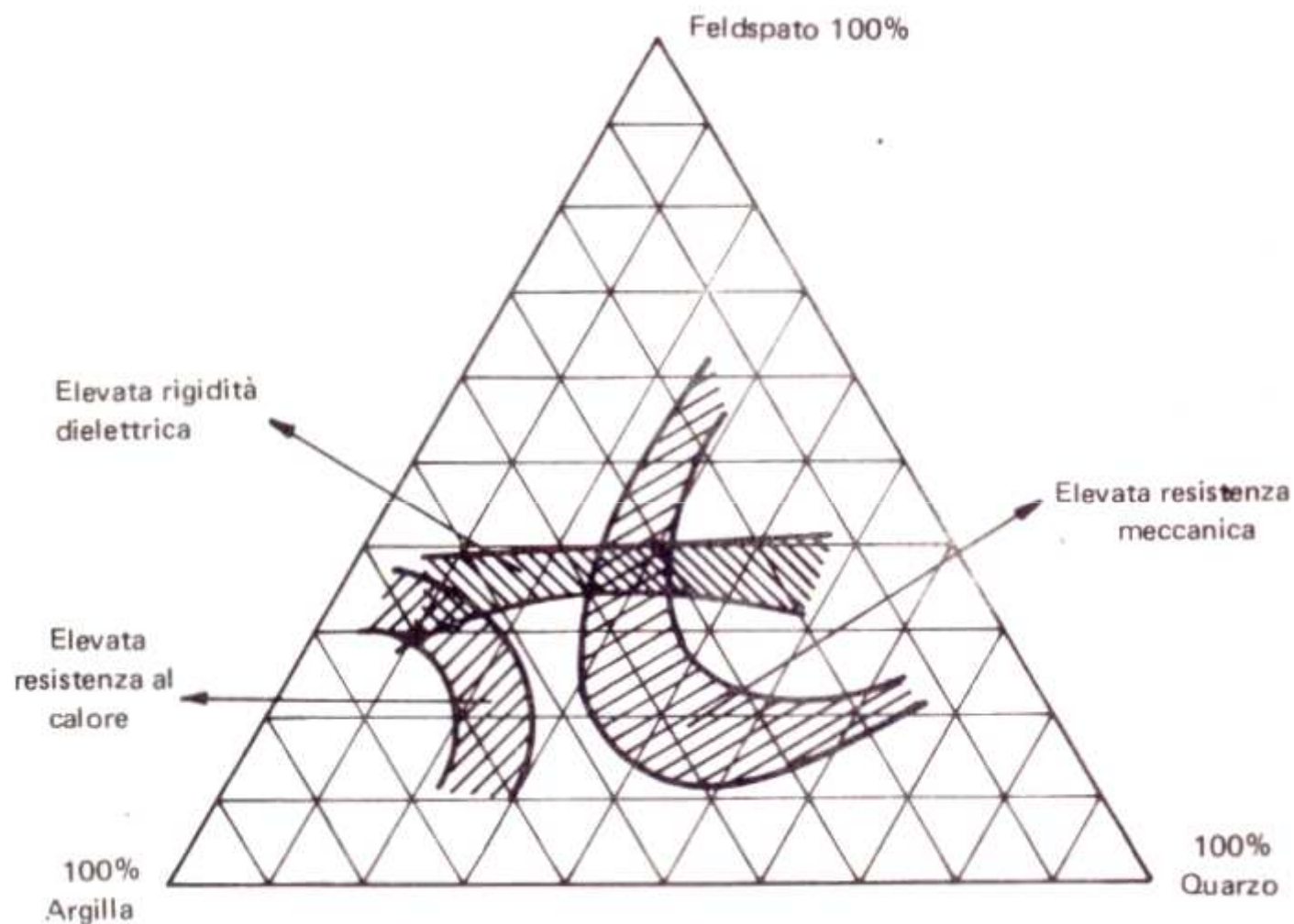


Diagramma ternario feldspato-argilla-quarzo

PROPRIETÀ DI ALCUNI ISOLANTI CERAMICI A CONFRONTO

Prodotto	Costante dielettrica	Temperatura di impiego, °C	Resist. sbalzi termici	Impieghi
Porcellana normale	6-7	1000	m. buona	isolanti per linee, interruttori
Porcellana allo Zr	8-9	1000-1300	buona	candele auto, isolanti A.T.
Allumina	8-9	1350-1600	ottima	candele auto, isol. termocoppie isol. alte frequenze
Steatite	5,5-7,5	1000-1100	debole	isolanti alte frequenze
Cordierite	4,5-5,5	1200	ottima	isolanti alte frequenze

A. T. = Alta Tensione

COMPOSIZIONE DEGLI ISOLATORI DI PORCELLANA

Le porcellane elettrotecniche si distinguono in quarzose ed alluminose:

Quarzose: molto simili a quelle domestiche a parte la sostituzione del caolino con l'argilla, badando al contenuto basso di elettroliti nelle materie prime.

Esempio:	Argilla	33	%
	Caolino	15	%
	Quarzo	16	%
	Feldspato	35	%
	Talco	1	%

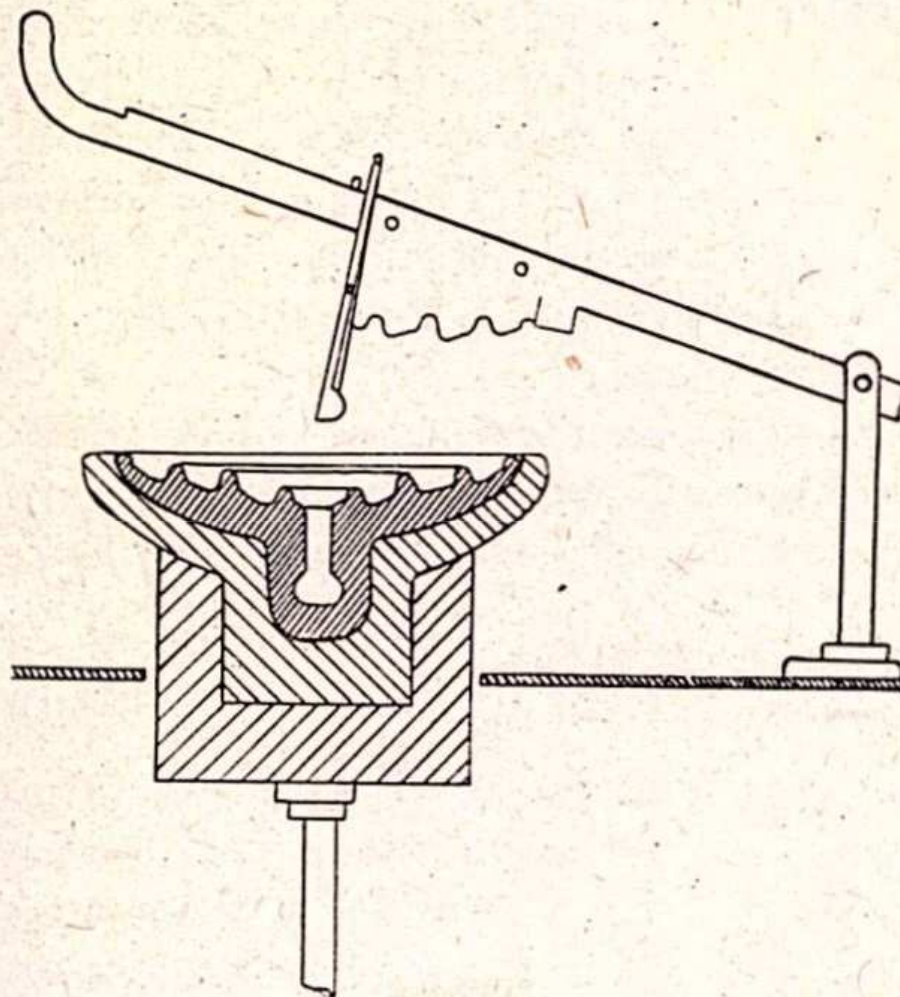
Alluminose: il quarzo è parzialmente o totalmente sostituito da allumina calcinata che porta ad una elevata formazione di mullite durante la cottura. Questo tipo ha maggiore durezza e prestazioni meccaniche.

FORMATURA E COTTURA DEGLI ISOLATORI

FORMATURA: Sono utilizzati praticamente tutti i metodi classici in dipendenza della forma e delle dimensioni e quindi: colaggio della barbottina in forma e controforma di gesso, estrusione della pasta e successiva rettifica, roller automatico, pressa monoassiale fino a pressa isostatica dell'atomizzato secco con il vantaggio di evitare l'essiccazione, sempre critica per pezzi granulari.

COTTURA: Generalmente gli isolatori sono smaltati e quindi si procede con una precottura a 900°C per la porcellana quarzosa e a 1000°C per quella alluminosa. Segue l'invetriatura e la cottura definitiva a 1300°C, rispettivamente a 1400°C. Nel caso di porcellana non smaltata, si procede direttamente a 1300°C o a 1400°C con cottura fino a porosità zero.

Ciclo di lavorazione per la fabbricazione degli isolatori di porcellana



Sagoma per la formatura interna dell'isolatore

INVETRIATURA o SMALTATURA

ESEMPI DI COPERTE PER ISOLATORI				
T. fusione	1300°C	1300°C	1320°C	1300°C
Feldspato	24	30	35	21
Quarzo	35	31	30	24
Dolomite	9	10	15	8
Fire clay	5	5		3
Caolino	5	5	13	5
Rottami vetro	22	19		29
Ocra verde		10	3	
Fe ₂ O ₃			4	
Mn ₂ O ₃		3		4
Cromite				6

ISOLATORI IN VETRO

Il vetro è molto usato per isolatori per i minori costi di fabbricazione rispetto a quelli ceramici principalmente dovuti alla pressoché assenza di scarti. L'impiego è per Bassa, Media e Alta Tensione. Il vetro utilizzato è il tipo E (bassi alcali) con la seguente composizione media:

	%
SiO_2	54,5
Na_2O	0,5
CaO	22
B_2O_3	8,5
Al_2O_3	14,5

Viene formato per colaggio in stampo del fuso a 1300°C.

TIPOLOGIA DEGLI ISOLATORI

In base alla tensione della corrente a cui possono essere sottoposti, gli isolatori si distinguono:

per basse tensioni (BT) inferiori a 1 kV - per uso civile

per medie tensioni (MT) tra 1 e 30 kV

per alte tensioni (AT) tra 30 e 150 kV

per altissime tensioni (AAT) superiori a 150 kV

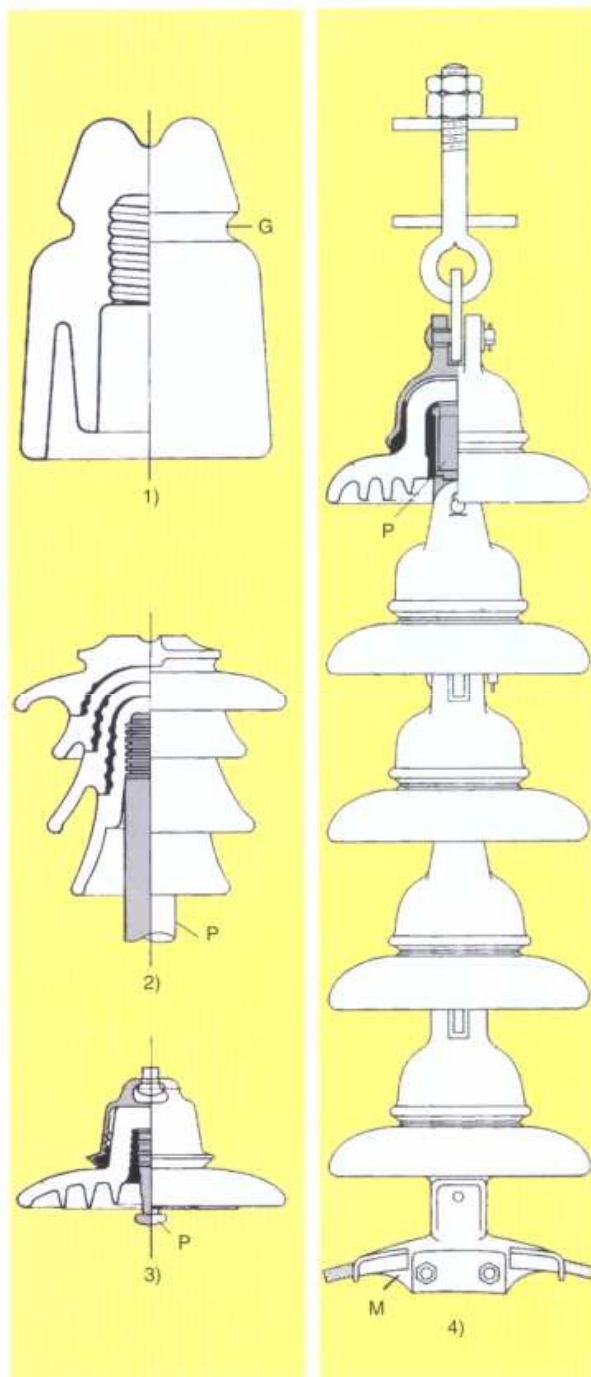
per linee di trasporto corrente
e stazioni di trasformazione

La loro forma è a bicchiere capovolto per BT, a campana multipla o a cappa e perno per MT e AT.

Quelli a BT sono rigidamente collegati ai sostegni, quelli per MT e AT sono a sospensione con un numero di elementi che è funzione della tensione. (Per ogni elemento singolo si calcola una tensione di 15 kV).

NORME DI RIFERIMENTO

	CEI	UNEL	IEC
Prove sugli isolatori portanti di interno ed esterno in materiale ceramico o vetro, destinati ad installazione di tensione nominale superiore 1000 V.	36-6	-	168
Prove e dimensioni degli isolatori per alta tensione a corrente continua.	S/473	-	438
Prove di radio-interferenza su isolatori alta tensione	S/483	-	437
Prove di contaminazione artificiale degli isolatori alta tensione destinati a sistemi a corrente alternata	S/487	-	507
Caratteristiche isolatori:			
1) Portanti per esterno con montature esterne	-	38193	273
2) Portanti per esterno con montature incassate	-	38194	273
3) Portanti per interno	-	38195	273



- 1) Per BT. Il conduttore viene fissato alla gola G
- 2) Per MT. P è il perno di sostegno
- 3) Elemento a cappa e perno
- 4) Isolatore completo a cappa e perno per AT, in M viene fissato il conduttore.



SAVAR Srl

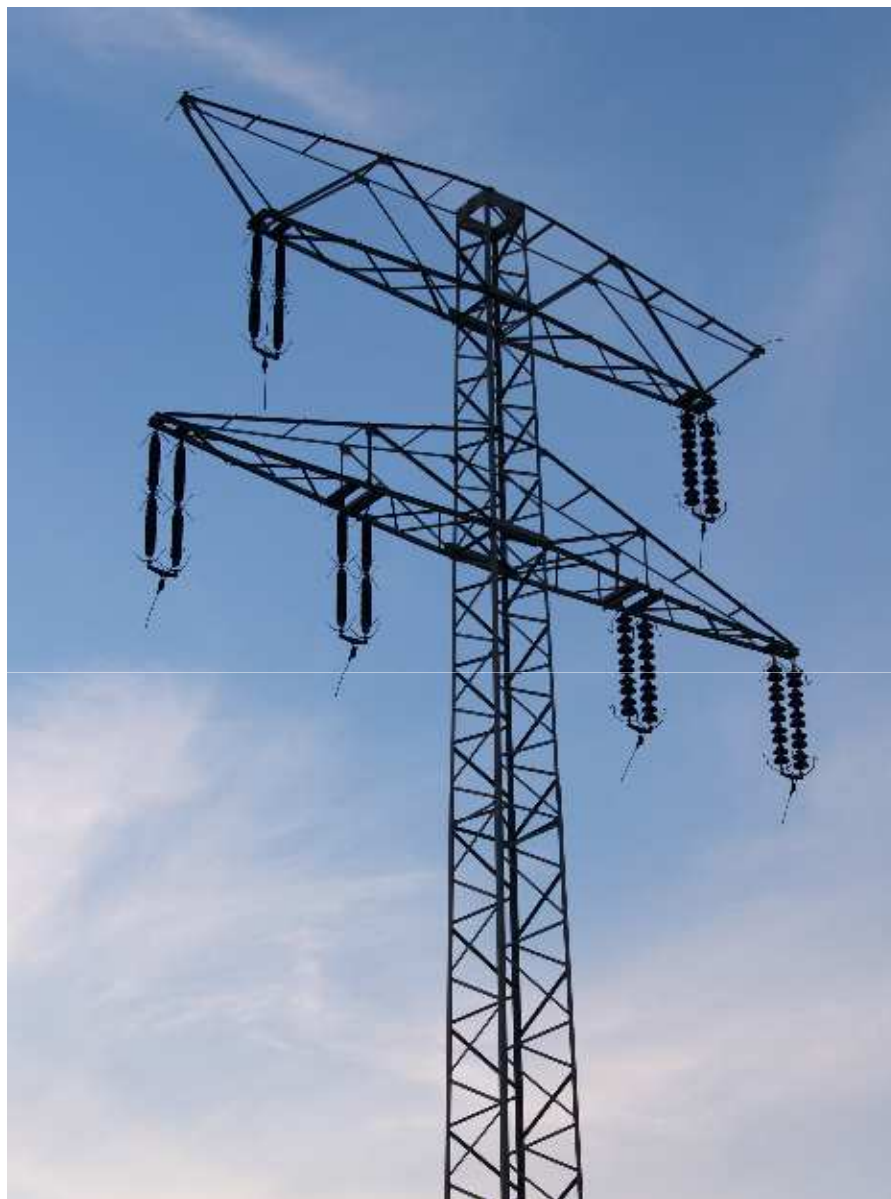
ISOLATORI



Pagliara
prodotti chimici spa



ISOLATORE PER MT



ISOLATORI CERAMICI A SOSPENSIONE IN SERVIZIO



**SERIE DI QUATTRO
ISOLATORI A SOSPENSIONE IN VETRO**



ISOLATORI IN VETRO



ISOLATORI IN VETRO

ELETTROCERAMICA

RESISTENZE ELETTRICHE RISCALDANTI

Sfruttano l'effetto Joule per il quale il calore prodotto dalla corrente elettrica è proporzionale alla resistenza del conduttore e al quadrato dell'intensità di corrente che lo attraversa:

$$P = RI^2$$

Chiaramente il conduttore dovrà essere di un materiale avente un'ottima resistenza termica e non essere soggetto ad ossidazione per azione dell'ossigeno atmosferico, anche se raggiunge l'incandescenza. Si adoperano pertanto resistenze metalliche o ceramiche.

Le resistenze metalliche sono costituite da un filo di lega di ferro, cromo, tungsteno, costantana (Cu 60% + Ni 40%), nichel-cromo (Ni 60%, Cr 40%), manganina (Cu 84%, Mn 12%, Ni 4%) avvolti su supporti ceramici.

Le resistenze ceramiche sono costituite da tubi di quarzo translucido, di allumina o di carbone e funzionano come sorgenti di infrarossi.

Leitfähigkeit und Temperaturkoeffizient des spezifischen Widerstands einiger Werkstoffe bei 20°C.

Material	Elektrische Leitfähigkeit σ (S m ⁻¹ × 10 ⁶)	Temperaturkoeffizient des spez. Widerstands α_{20} (K ⁻¹ × 10 ⁻³)
Silber	62.89	4.1
Kupfer	59.77	4.3
Gold	42.55	4.0
Aluminium	37.66	4.5
Molybdän	19.20	4.35
Wolfram	17.69	4.8
Nickel	14.60	6.8
Eisen	10.29	6.5
Platin	9.48	3.8
Blei	4.76	4.22
Konstantan	2.0	-0.035

SUPPORTI PER RESISTENZE TERMICHE

Devono essere isolanti e refrattari. Poiché la loro resistività decresce con la temperatura diventa molto importante il controllo di questo valore alla prevista temperatura di esercizio.

I materiali più utilizzati sono: steatite, cordierite, allumina e magnesia.

Le resistenze termiche possono essere a tubo di quarzo oppure a filo spiralato nudo o corazzato.

SUPPORTI PER RESISTENZE TERMICHE



RESISTENZA AL QUARZO

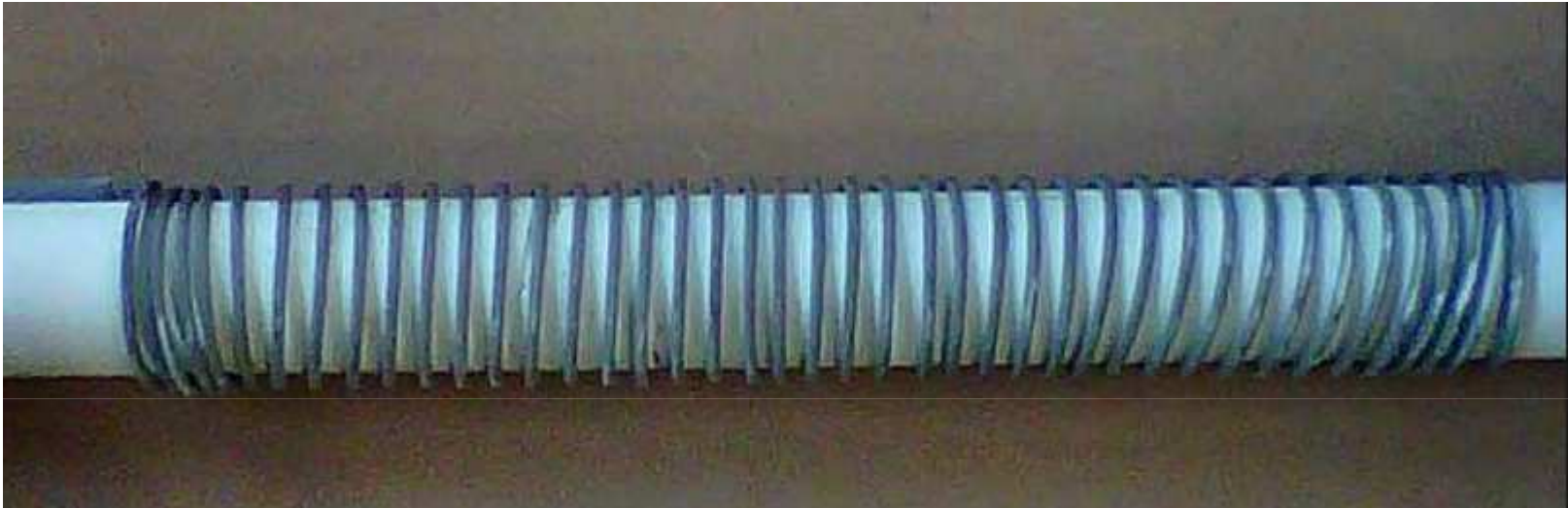
SUPPORTI PER RESISTENZE TERMICHE



RESISTENZA CORAZZATA



TERMO VENTILATORI CON RESISTENZE A FILO NUDO



SOLENOIDE SU SUPPORTO DI MgO
generatore di campo magnetico

Oxid	Dichte g/cm ³	Schmelzpunkt °C	Spez. elektr. Widerstand bei	
			225 °C	1000 °C
BeO	3,01	2570	10 ¹⁴	10 ⁸
MgO	3,57	2840	10 ¹⁴	10 ⁸
CaO	3,32	2580	10 ¹⁴	10 ⁶
Al ₂ O ₃	3,99	2050	10 ¹⁴	10 ⁷
Y ₂ O ₃	4,50	2450	---	---
ZrO ₂	5,56 mon. 6,10	2680	10 ^{11a}	10 ^a
HfO ₂	9,68 mon. 10,0	2900	---	---
ThO ₂	10,05	3220	10 ¹⁴	10 ⁵

Ulteriori caratteristiche di ossidi ceramici

Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit σ (in $\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$)
einiger keramischer Werkstoffe

Dichte feinkeramischer Werkstoffe:

Feldspatporzellan: Kurve 1
Zirkonporzellan: Kurve 2
Sondersteatit: Kurve 3

Oxidkeramische Werkstoffe:

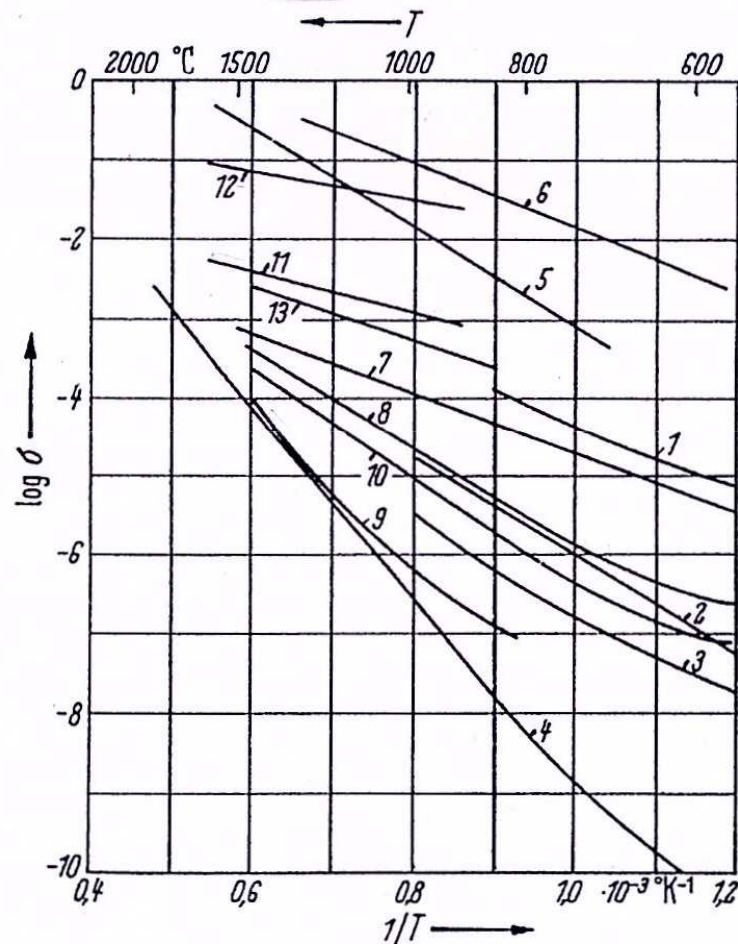
Sinterkorund: Kurve 4
 $\text{Zr}_{0,85} \text{Ca}_{0,15} \text{O}_{1,85}$: Kurve 5
 $\text{Zr}_{0,85} \text{Ca}_{0,15} \text{O}_{1,93}$: Kurve 6

Poröse feuerfeste Werkstoffe:

Schamottestein, 40 Gew.-% Al_2O_3
20 Vol.-% Porosität: Kurve 7
Silikastein, 97 Gew.-% SiO_2
26 Vol.-% Porosität: Kurve 8
Magnesitstein, 93 Gew.-% MgO
17 Vol.-% Porosität: Kurve 9
Zirkonsilicatstein, 65 Gew.-% ZrO_2
30 Vol.-% Porosität: Kurve 10

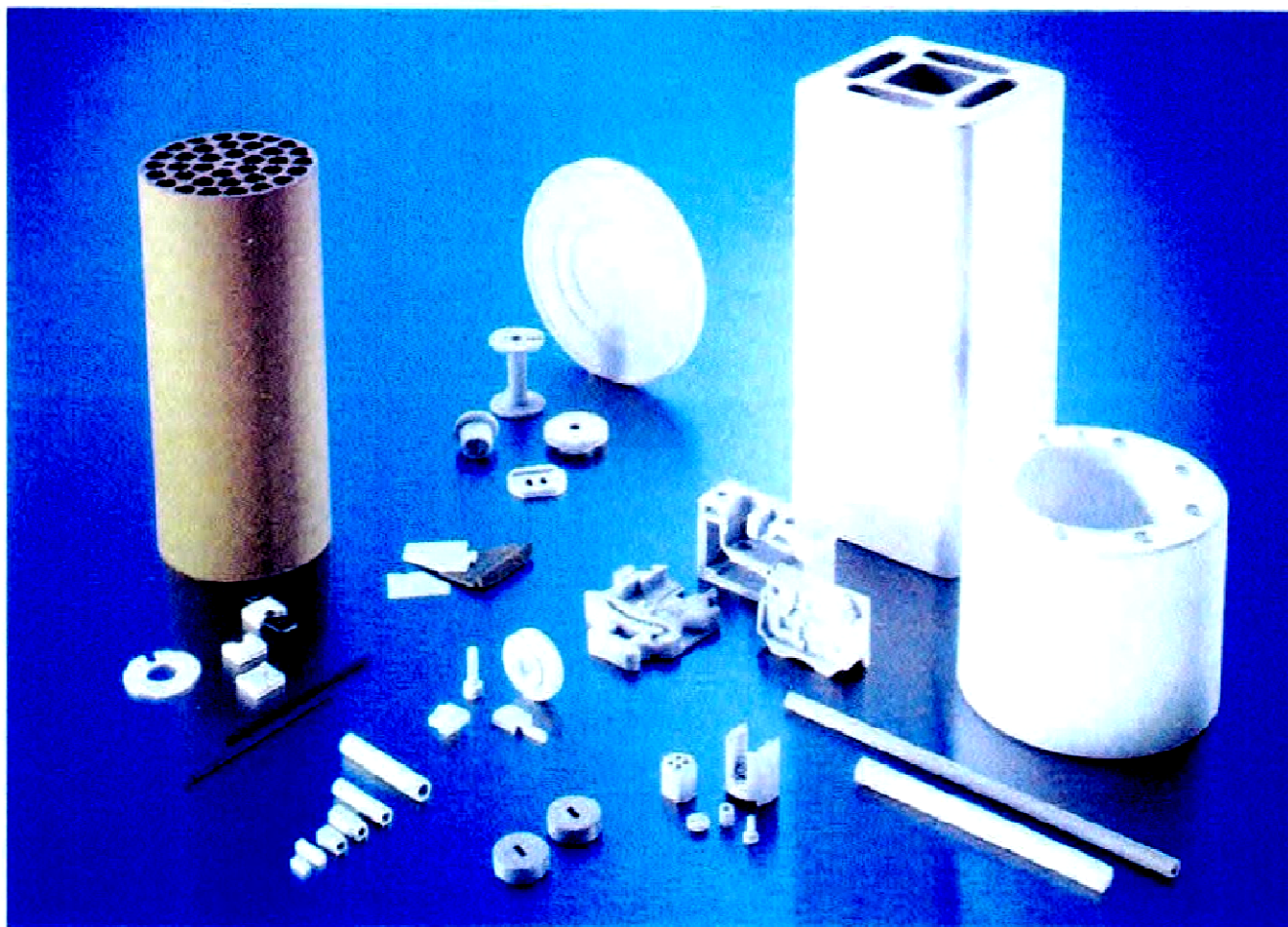
Schmelzgegossene feuerfeste Werkstoffe:

Al_2O_3 -Stein, 99,4 Gew.-% Al_2O_3
 α - Al_2O_3 : Kurve 11
 Al_2O_3 -Stein, 94,5 Gew.-% Al_2O_3
 β - Al_2O_3 : Kurve 12
 Al_2O_3 - ZrO_2 -Stein: Kurve 13





SPACCATO DI UNA CANDELA NGK DI ALLUMINA



*Keramik für die
Elektrotechnik:
Gehäuse, Röhren,
Plättchen sowie
weitere Isolations-
bauteilgeometrien*



SAVAR Srl

CORDIERITE DIELETTICA



SAVAR Srl

PORCELLANA TERMODIELETTRICA

 **Pagliara**
prodotti chimici spa





Principali proprietà dei materiali ceramici per uso elettrotecnico

Caratteristiche	Unità di misura	1° Gruppo	2° Gruppo	3° Gruppo	4° Gruppo	5° Gruppo
Denominazione		Porcellana dura	Steatite	Impasti titaniferi	Cordierite-Steatite	Steatite porosa
Composizione chimica		Silico-alluminosa-alcalina	Magnesiaca	Titanifera	Silico-alluminosa-magnesiaca	Silico-alluminosa-magnesiaca
Impiego		Isolatori alta e bassa tensione per frequenze industr.	Isolatori alta e bassa tensione per alte frequenze	Condensatori per alte frequenze	Apparecchi per alta temperatura ad alta frequenza	Supporti apparecchi termo-elettrici
Caratteristiche principali		Medie	Piccolo fatt. di perdita	Alta costante dielettrica	Piccola dilataz. termica	Resistenza termica
Peso specifico	gr/cm ³	2,3 ÷ 2,5	2,6 ÷ 2,8	3,6 ÷ 3,9	2,2	1,6 ÷ 2,5
Resistenza alla trazione	Kg/cm ²	200 ÷ 400	350 ÷ 900	300 ÷ 600	260 ÷ 360	90 ÷ 160
Resistenza alla compressione	"	4000 ÷ 5000	8500 ÷ 10000	3000 ÷ 6000	3000 ÷ 5000	500 ÷ 2000
Resistenza alla flessione	"	400 ÷ 500	1200 ÷ 1600	900 ÷ 1500	500 ÷ 850	150 ÷ 400
Modulo di elasticità	Kg/mm ²	7000 ÷ 8000	9000 ÷ 11000	9000 ÷ 13000	9000	—
Durezza	Mohs	7 ÷ 8	7 ÷ 8	7 ÷ 8	7 ÷ 8	—
Coefficiente di dilatazione termica tra 20 e 100 °C	mm/m °C	3,5 · 5 · 10 ⁻⁶	7 ÷ 9 · 10 ⁻⁶	6 ÷ 8 · 10 ⁻⁶	1,1 · 10 ⁻⁶	1,8 · 4,8 · 10 ⁻⁶
Temperatura di cottura	°C	1380 ÷ 1460	1380 ÷ 1410	1320 ÷ 1435	1380 ÷ 1410	1160 ÷ 1435
Tensione di perforazione su provini	KV/mm	25 ÷ 35	20 ÷ 45	10 ÷ 20	20	—
Costante dielettrica	ε	4,5 ÷ 6,5	5,5 ÷ 6,5	40 ÷ 80	5,0 ÷ 5,5	—
Fattore di perdita a 50 Hz.	tg δ · 10 ⁴	170 ÷ 250	10 ÷ 30	—	200	—
Fattore di perdita a 10 ⁷ Hz.	"	70 ÷ 120	70 ÷ 120	3 ÷ 15	40 ÷ 70	—
Resistività di massa in funzione della temperatura	a 20 °C	Ω · cm	> 10 ¹¹	6 · 10 ⁸	—	—
	a 200 °C	"	1,6 · 10 ⁷ ÷ 2 · 10 ⁸	6 · 10 ⁸	1,2 · 10 ⁸ ÷ 2,5 · 10 ⁸	3,2 · 10 ⁸ ÷ 7,7 · 10 ¹¹
	a 300 °C	"	1,0 · 10 ⁸ ÷ 4,0 · 10 ⁷	1,0 · 10 ⁸	6,0 · 10 ⁸ ÷ 7,0 · 10 ⁸	1,0 · 10 ⁸ ÷ 2,5 · 10 ⁸
	a 400 °C	"	1,6 · 10 ⁷ ÷ 3,4 · 10 ⁸	7,0 · 10 ⁸	5,0 · 10 ⁸ ÷ 8,6 · 10 ⁸	1,0 · 10 ⁷ ÷ 1,6 · 10 ⁸
	a 500 °C	"	3,4 · 10 ⁸ ÷ 4,5 · 10 ⁸	1,0 · 10 ⁸	7,6 · 10 ⁸ ÷ 7,6 · 10 ⁸	1,5 · 10 ⁸ ÷ 1,8 · 10 ⁷
	a 600 °C	"	1,0 · 10 ⁸ ÷ 1,0 · 10 ⁸	3,0 · 10 ⁸	2,4 · 10 ⁸ ÷ 2,3 · 10 ⁸	3,6 · 10 ⁸ ÷ 3,1 · 10 ⁸

BIBLIOGRAFIA

G. Gusmano – *ELECTROCERAMIC* – Faenza 2006

A.J. Moulson – *ELECTROCERAMICS* – Wiley 2003

A. Dodd – *DICTIONARY OF CERAMICS* – Maney 2003

B. Martinoli – *ISOLATORI DI PORCELLANA* – Hoepli 1947

SITOGRAFIA

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

Wikipedia – *SINGOLE VOCI*