

## Onde elettromagnetiche



Le onde elettromagnetiche sono una successione continua di impulsi elettromagnetici prodotti da una variazione del campo elettrico o del campo magnetico. Queste variazioni producono delle 'perturbazioni' elettromagnetiche che si propagano nel tempo e nello spazio secondo le leggi sviluppate da Maxwell intorno al 1860. Tali onde non necessitano di un mezzo in cui propagarsi, pertanto si diffondono anche nel vuoto con una velocità costante detta velocità della luce nel vuoto: essa è legata alla frequenza ( $f$ ) ed alla lunghezza d'onda ( $\lambda$ ) dalla seguente relazione

$$c = \lambda \cdot f \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Le onde elettromagnetiche sono classificate in termini di lunghezza d'onda e frequenza, che peraltro in funzione di ciò dipendono gli effetti che esse hanno sui corpi irradiati e il comportamento della radiazione stessa quando essa incide su particolari materiali. Nello schema sottostante è riportato lo spettro elettromagnetico con la suddivisione per frequenze e lunghezze d'onda.

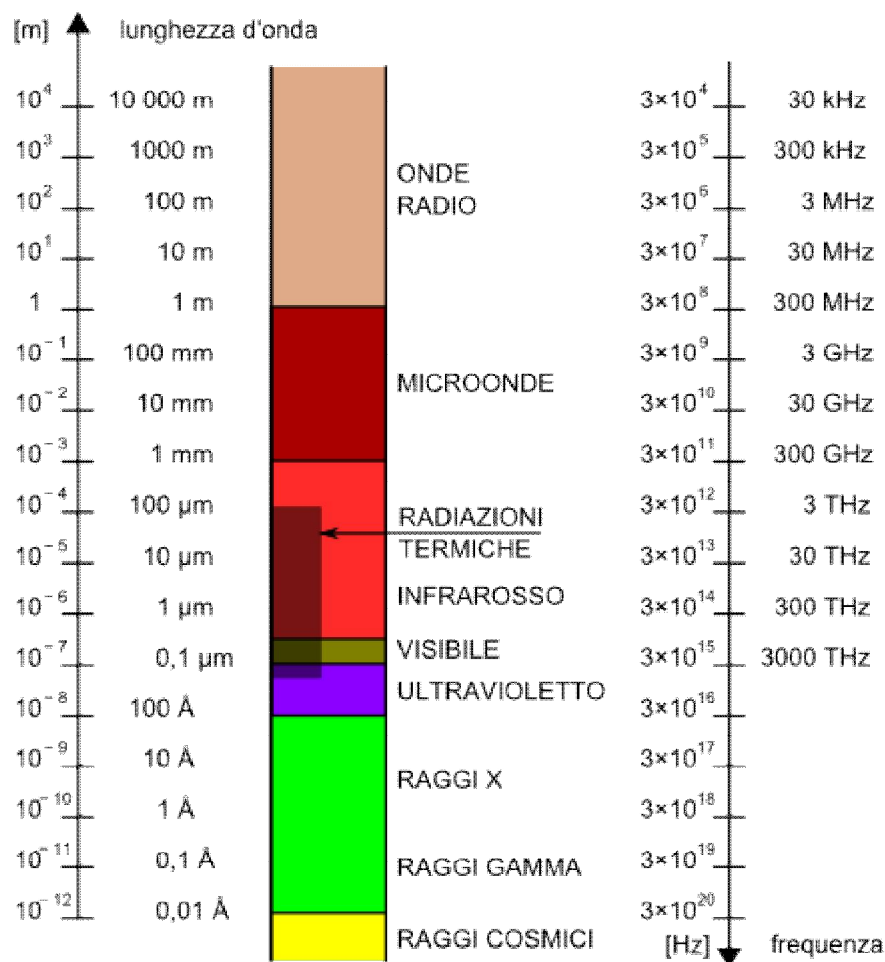


Fig. 1 - spettro elettromagnetico

Essendo legate dalla grandezza costante  $c$ , mentre la lunghezza d'onda  $\lambda$  diminuisce passando dalle onde radio ai raggi gamma, la frequenza  $f$  cresce progressivamente e con essa anche il contenuto energetico dell'onda stessa. È allora possibile distinguere una regione della lunghezza d'onda, e quindi della frequenza, in cui la radiazione è ionizzante ( $f > 3000$  THz,  $\lambda < 0,1 \mu\text{m}$ ) e una in cui non lo è: l'energia posseduta dai raggi gamma e dai raggi X è tale da interferire con la struttura atomica dei materiali che attraversano, cioè provocano la deviazione di elettroni dalla loro orbita con la conseguente

formazione di ioni. Tali radiazioni ionizzanti hanno quindi un elevato potere di penetrazione. Pur avendo analoghe proprietà e generando analoghi effetti sui materiali, queste due radiazioni differiscono nel metodo di generazione: i raggi X possono essere prodotti da macchine, i raggi gamma invece sono il risultato di una disintegrazione spontanea di radioisotopi, i quali sono atomi di un elemento chimico aventi un differente numero di neutroni nel nucleo, ma stesso numero atomico, e che si trasformano in un altro elemento con rilascio di energia mediante reazione nucleare.

Tra le radiazioni non ionizzanti ( $f < 3000$  THz,  $\lambda > 0,1$   $\mu\text{m}$ ) si hanno:

- Le **onde radio** ( $f < 0,3$  GHz,  $\lambda > 1$  m): avendo una elevata lunghezza d'onda possono aggirare e superare ostacoli non troppo grandi, come gli edifici. Sono principalmente utilizzate nelle telecomunicazioni, per le trasmissioni radio a distanza e per il servizio telegrafico;
- Le **microonde** ( $0,3$  GHz  $< f < 300$  GHz,  $1$  mm  $< \lambda < 1$  m): hanno principalmente applicazione nelle radio-trasmissioni direzionali, nelle telecomunicazioni radar, nella televisione, nelle telecomunicazioni spaziali, ecc.;
- I **raggi infrarossi** ( $300$  GHz  $< f < 400$  THz,  $0,76$   $\mu\text{m} < \lambda < 1$  mm): sono onde elettromagnetiche connesse con le oscillazioni termiche degli atomi. Esse sono dunque emesse da tutti i corpi con intensità crescente con la temperatura: le applicazioni sono principalmente termiche, come trattamento di materiali, riscaldamento, ecc.;
- La **luce visibile** ( $400$  THz  $< f < 800$  THz,  $0,38$   $\mu\text{m} < \lambda < 0,76$   $\mu\text{m}$ ): sono onde emesse da corpi aventi temperature molto elevate, come il sole e le stelle, e sono visibili all'occhio umano;
- I **raggi ultravioletti** ( $800$  THz  $< f < 30000$  THz,  $100$  Å  $< \lambda < 0,38$   $\mu\text{m}$ ): sono presenti nella radiazione solare e hanno un maggior potere di penetrazione rispetto alla luce visibile: risultano essere letali per talune cellule ed è per questo motivo che trovano applicazione nella sterilizzazione.

Particolari emissioni elettromagnetiche sono i laser, acronimo di "*light amplification by stimulated emission of radiation*", caratterizzati dall'aver una emissione di luce coerente monocromatica (anche non visibile, nell'infrarosso e nell'ultravioletto) e particolarmente collimata.

## Infrarossi (IR)



La tecnologia ad infrarossi è una tecnologia che consente il riscaldamento tramite irraggiamento. L'energia termica è generata da un emettitore e il riscaldamento è generato dall'impatto della radiazione sulla superficie del corpo che vuole essere riscaldato. Una volta riscaldata la superficie il riscaldamento avviene all'interno del corpo per conduzione.

La radiazione infrarossa (IR) è quell'emissione elettromagnetica che possiede una lunghezza d'onda che va da 1  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$  e che è compresa tra lo spettro della luce visibile e le microonde.

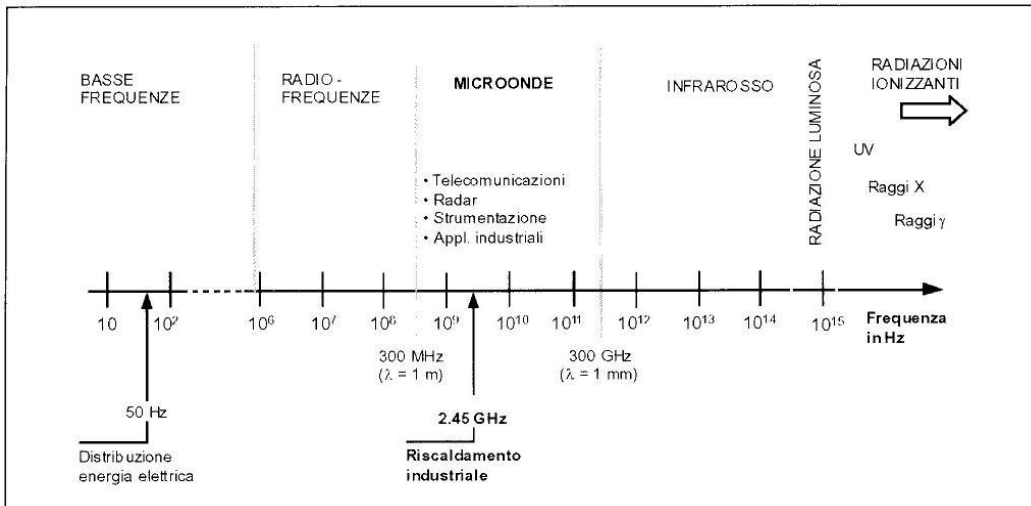


Fig 1: Spettro elettromagnetico[3]

Nei corpi che ne vengono investiti, la radiazione infrarossa si manifesta appunto come calore. Tutti i corpi emettono raggi infrarossi in funzione del materiale di cui sono costituiti e della temperatura a cui si trovano.

In campo industriale, per le sue caratteristiche di trasmissione di calore per irraggiamento, l'infrarosso viene utilizzato in diversi trattamenti termici superficiali con lunghezze d'onda che vanno per lo più da 1 a 10  $\mu\text{m}$ .

La radiazione infrarossa viene classificata a seconda della lunghezza d'onda di emissione [1] come:

Onda corta (SW): da 1 a 2  $\mu\text{m}$

Onda media (MW): da 2 a 4  $\mu\text{m}$

Onda lunga (LW): da 4 a 10  $\mu\text{m}$

A queste lunghezze d'onda corrispondono radiazioni dal debole contenuto energetico inferiore a 4.10 - 19 J che svolgono solo una funzione termica senza andare ad interferire con la struttura molecolare della materia.

Delle tre, la radiazione ad onda lunga (LWIR) è la più vantaggiosa in quanto ha una maggiore penetrabilità, una bassa potenza specifica che consente di trattare materiali più delicati e una più alta efficienza in quanto con quelle lunghezze d'onda i materiali mostrano una maggiore capacità di assorbimento.

Gli emettitori sono i principali componenti della tecnologia e il principio di funzionamento consiste nel riscaldare un filamento metallico ad una opportuna temperatura attraverso il passaggio di una opportuna corrente elettrica.

Le caratteristiche degli emettitori dipendono dalla frequenza della radiazione emessa.

Gli emettitori ad onda corta e media lavorano a temperature più elevate oltre i 2000 °C e quindi devono essere posti a distanze superiori rispetto agli oggetti trattati. Le densità di potenza arrivano oltre ai 400 kW/m<sup>2</sup>. [2]

Gli emettitori a onda lunga invece lavorando a temperature più basse, che vanno dai 100 °C ai 450 °C, non sono incandescenti e possono essere posizionati in prossimità del prodotto da trattare dando la possibilità di evitare sprechi di energia o di un eccessivo carico termico che potrebbe anche danneggiare il prodotto.

La tecnologia a infrarossi può essere utilizzata con grande efficacia nelle applicazioni quali la verniciatura industriale, la termoforazione e modellazione della plastica, la deumidificazione, l'essiccazione e l'incollaggio di superfici e di etichette.

In ambito industriale questa tecnologia viene utilizzata anche per il riscaldamento mirato delle sole zone destinate alla presenza di persone.

Nei modelli proposti l'utilizzo della tecnologia produce un incremento dei consumi elettrici finali dell'utente, tuttavia comportando un abbassamento in termini di energia primaria (in quanto va a sostituire l'uso di un altro vettore energetico).

Potenzialità nel settore articoli in gomma e plastica ([collegamento all'estratto della tabella TEC11-DH](#))

## Reference

[1] CESI, 2000, ESPLORAZIONE DEI PROCESSI PRODUTTIVI NELL'INDUSTRIA ITALIANA: INDIVIDUAZIONE DELLE ELETTROTECNOLOGIE UTILIZZABILI IN OGNI FASE DI PROCESSO Rapporto SFR-A0/021458. Pg 56

[2] [www.stalam.com/downloaddoc.php?f=all\\_123\\_1\\_LWIR\\_ITA.pdf&id=123&r=3](http://www.stalam.com/downloaddoc.php?f=all_123_1_LWIR_ITA.pdf&id=123&r=3)

[3] Il riscaldamento a microonde. Principi ed applicazioni. Autori vari. 2008 Pitagora Editrice - Bologna

## Microonde MW



La tecnologia a microonde rientra tra le tecnologie di riscaldamento dielettrico e utilizza il principio del riscaldamento mediante onde elettromagnetiche. Il termine riscaldamento dielettrico viene usato per identificare quelle tecnologie adatte a riscaldare corpi che non sono buoni conduttori di calore. Queste tecnologie effettuano un riscaldamento con una trasmissione di energia e non con una trasmissione di calore. Utilizzare un campo elettromagnetico alternato è il modo migliore per scaldare quei corpi che presentano una cattiva conduzione del calore in quanto il corpo si scalda direttamente dall'interno della materia. In particolare sono definite microonde (MO) le onde elettromagnetiche comprese tra i raggi infrarossi e le onde radio con una lunghezza d'onda che va da 1 mm a 1 m e che operano ad una frequenza che va da 300 Mhz a 300 Ghz.

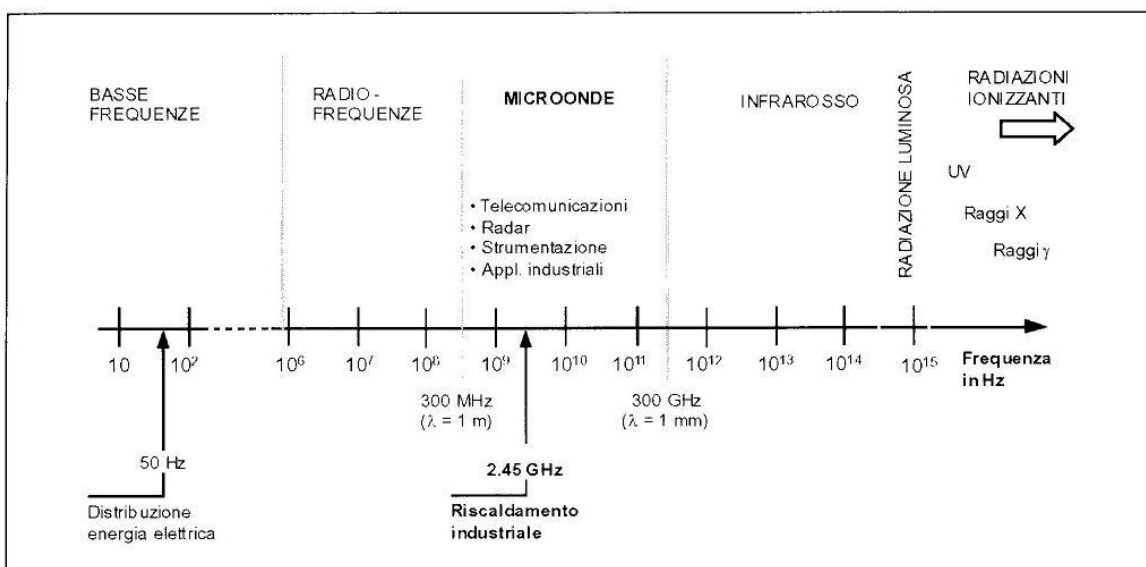


Fig 1: Spettro elettromagnetico [2]

A causa del diffuso impiego delle microonde nel campo delle comunicazioni, sono stati stipulati dei trattati internazionali che fissano le bande permesse per le altre applicazioni. È permesso quindi l'utilizzo, per scopi Industriali, Scientifici e Medici, delle sole frequenze di 433,92 2450 5800 e 24125 MHz che vengono per questo definite frequenze ISM.

I generatori di microonde sono basati sul principio della modulazione di un intenso fascio di elettroni ed i più comunemente usati nelle applicazioni sono il Klystron e il Magnetron.

Il principio di funzionamento del riscaldamento attraverso le microonde si basa sulla perdita dielettrica dovuta al movimento delle molecole dipolari (in particolare quelle dell'acqua) indotto dal campo magnetico alternato (fig. 2). L'attrito intermolecolare dovuto al movimento trasforma in calore parte dell'energia cinetica fornita dal campo applicato. In questo modo si ottiene un riscaldamento uniforme del corpo trattato. In particolare le microonde sono adatte per trattare materiali di modeste dimensioni.

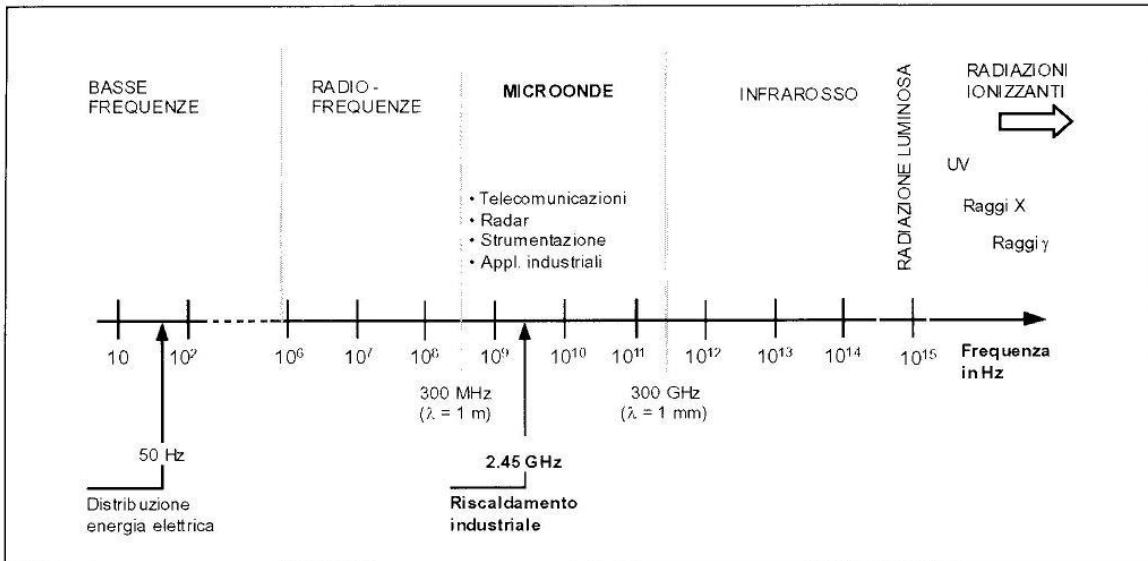


Fig 1: Spettro elettromagnetico [2]

A causa del diffuso impiego delle microonde nel campo delle comunicazioni, sono stati stipulati dei trattati internazionali che fissano le bande permesse per le altre applicazioni. È permesso quindi l'utilizzo, per scopi Industriali, Scientifici e Medici, delle sole frequenze di 433,92 2450 5800 e 24125 MHz che vengono per questo definite frequenze ISM.

I generatori di microonde sono basati sul principio della modulazione di un intenso fascio di elettroni ed i più comunemente usati nelle applicazioni sono il Klystron e il Magnetron.

Il principio di funzionamento del riscaldamento attraverso le microonde si basa sulla perdita dielettrica dovuta al movimento delle molecole dipolari (in particolare quelle dell'acqua) indotto dal campo magnetico alternato (fig. 2). L'attrito intermolecolare dovuto al movimento trasforma in calore parte dell'energia cinetica fornita dal campo applicato. In questo modo si ottiene un riscaldamento uniforme del corpo trattato. In particolare le microonde sono adatte per trattare materiali di modeste dimensioni

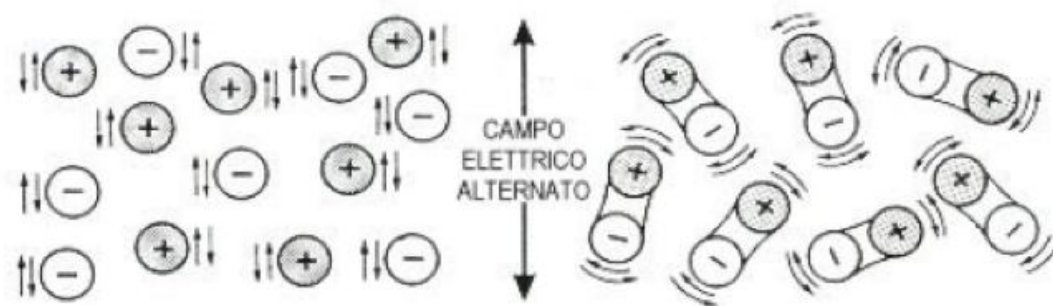


Fig 1: Meccanismo di polarizzazione

Secondo la formula :

$$W_{diss} = 2\pi f \epsilon_0 \epsilon'' E^2 / 4$$

la potenza dissipata per unità di volume  $W_{diss}$  [W/m<sup>3</sup>] è proporzionale alla frequenza  $f$ , al quadrato del campo elettrico  $E$  ed al fattore di perdita dielettrica  $\epsilon''$  dei prodotti da trattare/riscaldare.

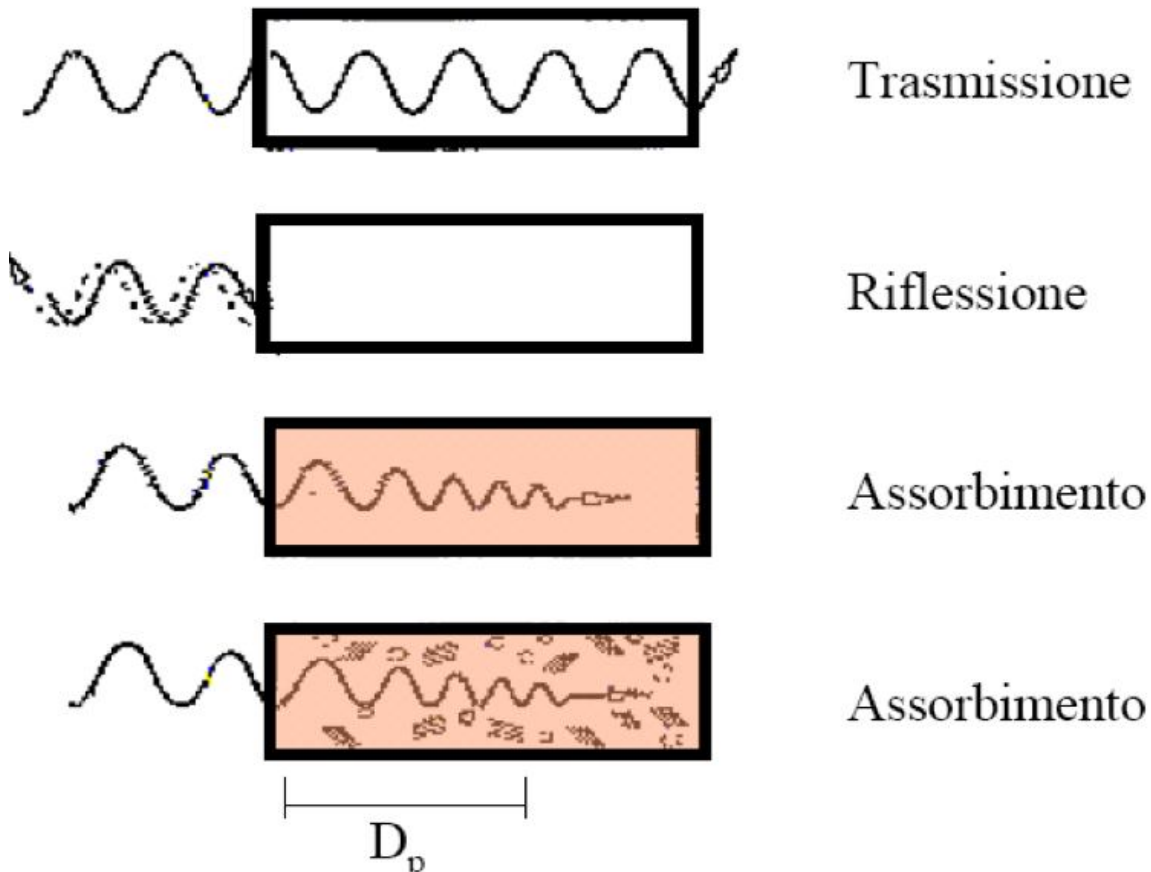


Fig 2: Penetrazione delle onde [2]

Come si vede in fig.3 i materiali possono trasmettere o riflettere l'onda elettromagnetica. L'effetto termico si ottiene solo nel caso in cui il materiale assorba l'onda, attenuandone la sua intensità. L'attenuazione dipende dalla lunghezza d'onda e dalla tangente di perdita come indicato nelle formule seguenti:

$$\lambda = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon'}$$

$$\tan \phi = \epsilon'' / \epsilon'$$

Dove  $\lambda_0$  è la lunghezza d'onda dell'aria e  $\epsilon'$  è la costante dielettrica.

La potenza trasmessa per unità di volume è direttamente proporzionale alla frequenza, al quadrato del campo elettrico ed al fattore di perdita dei prodotti da trattare. Inoltre la profondità di penetrazione delle radiazioni è inversamente proporzionale sia alla frequenza, sia al fattore di perdita dei prodotti stessi.

In ambito industriale la tecnologia a microonde ha il vantaggio rispetto ai sistemi tradizionali di riscaldare in maniera rapida, volumetrica e selettiva. Consente inoltre una uniformità di riscaldamento e un livellamento dell'umidità non raggiungibile con altre tecniche.

### **Ambiti di applicazione**

Viene utilizzata nell'industria alimentare per il tempering degli alimenti con potenze installate che vanno dai 50 ai 100 kW, per la cottura, l'essiccamento, la pastorizzazione, la sterilizzazione.

Nel processo di vulcanizzazione della gomma, consente attraverso un preriscaldamento una riduzione dei tempi di polimerizzazione.

Questa tecnologia viene inoltre utilizzata anche nel settore farmaceutico e nell'industria del legno.

E' da evidenziare comunque che la miglior efficienza energetica si trova dall'accoppiamento della tecnologia a microonde con le tecnologie tradizionali.

Per fare alcuni esempi nel settore del legno per l'essiccamento delle vernici ad acqua si passa da un tempo di trattamento di circa un'ora con sistema tradizionale (ad aria calda) da 15 kW ad un tempo inferiore ad un minuto con un sistema combinato da 3 kW (microonde) + 12 kW (aria calda).

Questa tecnologia produce dunque un aumento di energia elettrica, in quanto si pone come parziale sostituta nell'utilizzo di combustibile, ma in termini di energia primaria comporta tuttavia un beneficio.

Potenzialità nel settore alimentare ([collegamento all'estratto della tabella TEC12-DA](#))

Potenzialità nel settore legno ([collegamento all'estratto della tabella TEC12-DD](#))

Potenzialità nel settore chimico farmaceutico([collegamento all'estratto della tabella TEC12-DG](#))

### **Reference**

[1] CESI, 2000, ESPLORAZIONE DEI PROCESSI PRODUTTIVI NELL'INDUSTRIA ITALIANA: INDIVIDUAZIONE DELLE ELETTROTECNOLOGIE UTILIZZABILI IN OGNI FASE DI PROCESSO Rapporto SFR-A0/021458. Pg 56

[2] Autori vari. 2008 Il riscaldamento a microonde. Principi ed applicazioni. - Pitagora Editrice Bologna