



Unione europea  
Fondo sociale europeo



REGIONE DEL VENETO

**Regione del Veneto  
Giunta Regionale  
Direzione Formazione e Istruzione**

**RELAZIONE CONSUNTIVA SULL'ATTIVITA' DI RICERCA  
(Assegni di ricerca)**

**DGR n. 1463 del 08/10/2019**

**Cod. Ente: 1695 Rag. Sociale Università degli studi di Verona Asse Occupabilità**

**Cod. progetto 1695-0020-1463-2019 Titolo Tessuti polimerici flessibili attivati con nanostrutture a base di metalli per schermatura di radiazioni elettromagnetiche**

**Cod. Intervento 1695/10260610-001/231/DEC/20 Titolo dell'intervento TESSUTI POLIMERICI FLESSIBILI ATTIVATI CON NANOSTRUTTURE A BASE DI METALLI PER SCHERMATURA DI RADIAZIONI ELETTROMAGNETICHE: SINTESI DEI MATERIALI E INCORPORAZIONE IN TESSUTI POLIMERICI Sede Verona**

*Il sottoscritto **Adolfo Speghini** in qualità di Referente/Tutor per la ricerca*

*con riferimento all' intervento in oggetto,*

*Il sottoscritto **Ferdinando Bassato** in qualità di Destinatario dell'intervento in oggetto,*

**DICHIARANO**

che l'intervento in oggetto nel **periodo dal 30/09/2020 al 29/09/2021** si è articolato nelle seguenti attività:

**Attività** (Descrivere le diverse attività svolte nel periodo di riferimento)

---

La grande diffusione di elettrodotti e antenne wi-fi è una presenza costante di campi

elettromagnetici (EM) nel nostro ambiente e l'interferenza elettromagnetica causata da queste sorgenti può creare problemi nell'utilizzo di apparecchiature elettriche, da cui la necessità di schermare efficacemente tutte le componenti soggette a questo tipo di disturbi.

I materiali schermanti comunemente utilizzati sono materiali elettricamente conduttivi per le alte frequenze, mentre alle basse frequenze vengono utilizzate leghe metalliche ad elevata permeabilità magnetica come il MuMetal o il MetGlas.

I materiali conduttivi (alluminio, rame, ecc .. ) sono in grado di assorbire la componente elettrica dell'onda EM incidente creando delle correnti parassite all'interno del materiale che

generano un campo in opposizione a quello incidente, il cosiddetto *flux displacing*. I materiali ferromagnetici ad elevata permeabilità invece possono deviare la componente magnetica del campo EM all'esterno dello scudo schermante: questo fenomeno è definito *flux shunting*. Dal punto di vista fisico, a frequenze  $< 1$  kHz il *flux shunting* è l'unica strategia di schermatura efficace.

Il progetto ha avuto come obiettivo la sintesi di nanocompositi polimerici addizionati con nanoparticelle magnetiche e composti carboniosi (grafene, grafite colloidale, ecc.) che possano offrire buone proprietà schermanti unite alla flessibilità e leggerezza caratteristiche dei polimeri. Durante il periodo di mobilità (29/07/2021- 29/08/2021) presso l'Institute of Low Temperature and Structural Research (Wroclaw, PL) alcune delle nanoparticelle sintetizzate sono state caratterizzate dal punto di vista magnetico in collaborazione con i gruppi del dr. Dariusz Hreniak e del prof. Dariusz Kaczorowski, mentre presso il politecnico di Wroclaw sono state effettuate alcune caratterizzazioni in collaborazione con il prof. Mariusz Hasiak. I nanocompositi sono stati testati nella schermatura di medio-basse frequenze ( $f < 15$  MHz) con un'apparecchiatura auto-costruita, mentre nel range 10 MHz-1 GHz i campioni sono stati testati presso l'azienda partner STAlab srl.

**Metodologie operative** (Esporre le metodologie applicate in funzione delle attività svolte e dei contesti operativi di riferimento)

Le nanoparticelle magnetiche sintetizzate presso l'università di Verona sono state caratterizzate inizialmente con XRD, Raman e successivamente con magnetometro SQUID-MPMS. Come matrice polimerica si è scelto di utilizzare il PVA (polivinil alcol) per via del basso costo, flessibilità, e idrosolubilità, quest'ultima caratteristica importante per ottenere una buona dispersione delle ferriti nella matrice. I nanocompositi sono stati ottenuti per *casting* di una soluzione acquosa di PVA e nanoparticelle in stampi di silicone e sono stati caratterizzati con spettroscopia Raman.

Le misure di schermatura a frequenza inferiore ai 15 MHz sono state realizzate con l'apparecchiatura schematizzata in fig. 1. Essa è costituita da un generatore di segnali (0-24 V tensione dichiarata, 3 Hz-20 MHz) collegato a una bobina primaria. Secondo la legge di Faraday-Neumann, un segnale sinusoidale che circola nella bobina primaria causa una f.e.m indotta nella bobina secondaria che viene misurata dall'oscilloscopio:

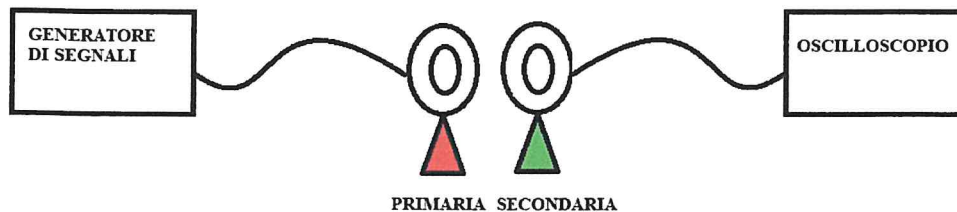


Fig.1: Schema dell'apparecchiatura per misurare la schermatura a bassa frequenza. Le bobine hanno diametro 5 cm, 200 spire cadauna e resistenza in CC pari a 28  $\Omega$ .

Inserendo un campione schermante tra le due bobine si verifica un'attenuazione della tensione indotta e, misurando il segnale con e senza il campione, si può calcolare il valore di schermatura in dB. Le misure svolte presso STAlab srl prevedono invece un setup diverso il cui schema è riportato in figura 2:

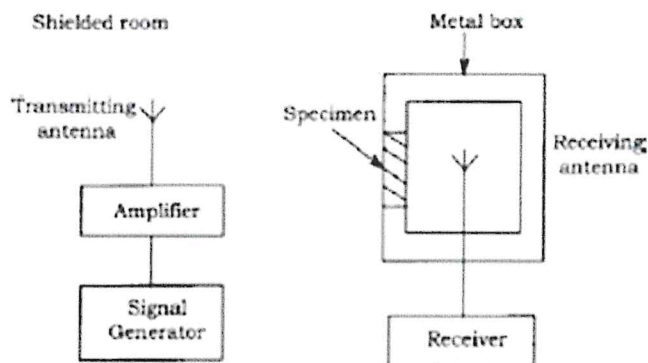


Fig.2: Setup sperimentale presso STAlab srl. Tratto da: Geetha, S., et al. "EMI shielding: Methods and materials—A review." *Journal of applied polymer science* 112.4 (2009): 2073-2086.

L'antenna ricevitrice è posta in una scatola metallica con un buco sul quale viene incollato il campione da testare e si va a misurare il valore di campo EM con e senza il campione. Le misure sono state effettuate nell'intervallo di frequenza 10 MHz-1GHz.

**Risultati** (Indicare i risultati conseguiti rapportati agli obiettivi della ricerca)

Come esposto nell'introduzione l'attività di ricerca è stata concentrata inizialmente sulla sintesi di nanoparticelle magnetiche e leghe amorfe, in particolar modo ferriti di vari metalli. Le caratteristiche delle nanoparticelle sintetizzate sono riassunte in tabella 1:

Composto	Metodo di sintesi	Dimensione dei cristalliti (nm)
CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Coprecipitazione da cloruri e calcinazione	25
MgFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Solvotermale	45
Sn <sub>0.5</sub> Mn <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Coprecipitazione da cloruri e calcinazione	9
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Microonde	20
"mu-metal" (Ni 77%, Fe 16%, Cu 5%, Mo 2%)	Riduzione chimica di cloruri	amorfo

Tab.1: Nanoparticelle magnetiche sintetizzate presso l'Università di Verona

Presso l'Institute of Low Temperature di Wroclaw (Polonia), appoggiandosi al gruppo del prof Dariusz Kaczorowski, è stato misurato con un magnetometro SQUID-MPMS il ciclo di isteresi della ferrite di cobalto, riportato in figura 3:

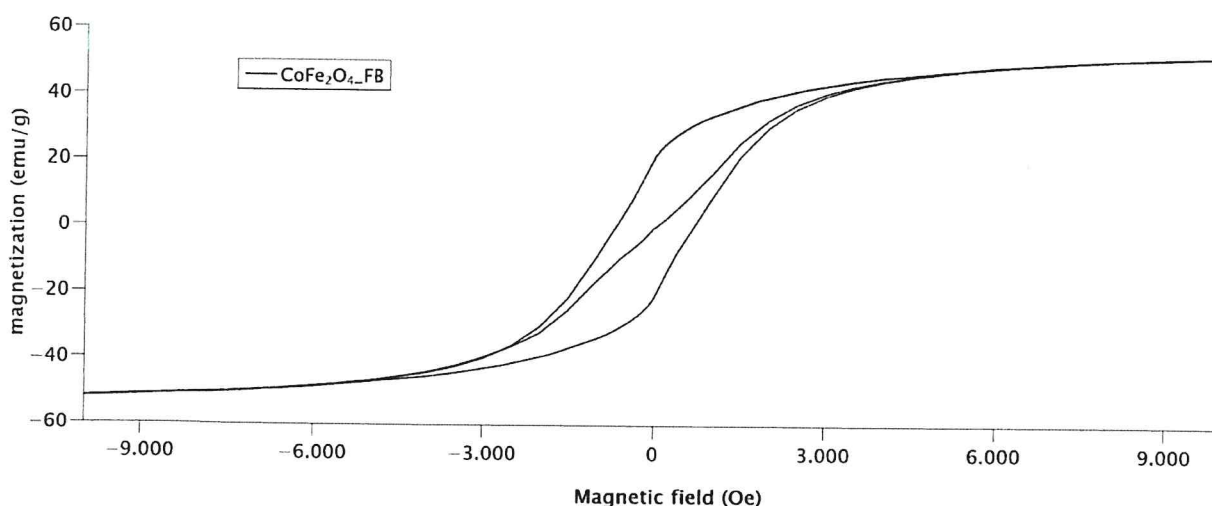


Fig.3: Ciclo di isteresi della ferrite di cobalto sintetizzata

La forma del ciclo è tipica dei magneti *hard* con un valore di campo coercitivo di 675 Oe e una magnetizzazione a saturazione pari a 52 emu/g, in buon accordo con dati di letteratura. La strategia per la preparazione dei nanocompositi è il *solution casting* il cui schema è riportato in figura 4:

### Incorporazione delle nanoparticelle in PVA (polivinil alcol)

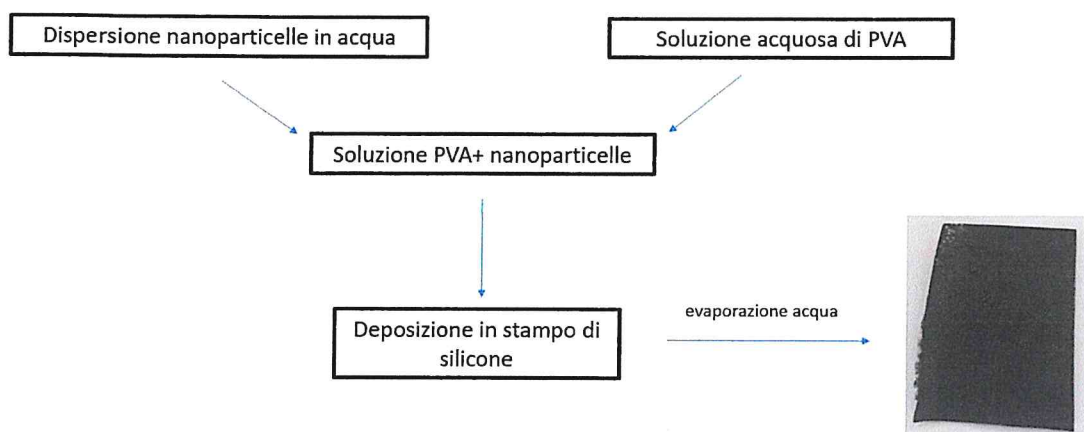


Fig.4: Metodologia di sintesi per *solution casting* dei nanocompositi polimerici

Nella sintesi dei nanocompositi, in alcuni casi, sono stati aggiunti anche grafite colloidale o GNP (*graphene nanoplatelets*) per aumentare la conducibilità del materiale in modo da estendere il range di schermatura verso le frequenze medio-alte. Le caratteristiche dei campioni sono riportati in tabella 2:

Campione	Matrice polimerica	Nanoparticelle magnetiche	Additivo	Rapporto pp% nanoparticelle: additivo
Mg GNP 20_20	PVA	Mg ferrite	GNP	20:20
Mg 20	PVA	Mg ferrite	-	20
Magnetite GNP 20_20	PVA	magnetite	GNP	20:20
Mu GNP 20_20	PVA	"mu-metal"	GNP	20:20
Co GNP 20_20	PVA	Co ferrite	GNP	20:20

Tabella 2: Nanocompositi sintetizzati e loro composizione

Tutti i campioni sono stati testati nella schermatura a basse frequenze con l'apparecchiatura auto-costruita descritta nell'introduzione e sperimentalmente non si è osservato alcun effetto schermante al di sotto di 3 MHz. I dati di schermatura del campione **Mu GNP 20\_20** sono riportati nella tabella 3 a titolo di esempio:

<b>Mu GNP 20_20</b>	Frequenza	Tensione misurata senza campione (mV)	Tensione misurata con campione (mV)	Attenuazione (dB)
	3 MHz	3.38	2.85	1.5
	5 MHz	4.25	3.53	1.6
	10 MHz	3.92	3.50	1.0

Tabella 3: Misura di schermatura a basse frequenze per il campione Mu GNP 20\_20

I valori di schermatura sono modesti ed è prevedibile data l'intrinseca difficoltà nello schermaggio delle medio-basse frequenze utilizzando materiali compositi. Le misure di schermatura a frequenza più alta svolte presso STAlab srl hanno evidenziato delle difficoltà nella riproducibilità degli esperimenti a causa di interferenze ambientali difficilmente eliminabili in alcuni intervalli di frequenza (350-400 e 700-800 MHz). Per il campione **Co GNP 20\_20** è stata comunque misurata una buona attenuazione con un picco di 12 dB a 600 MHz, come riportato in figura 5:

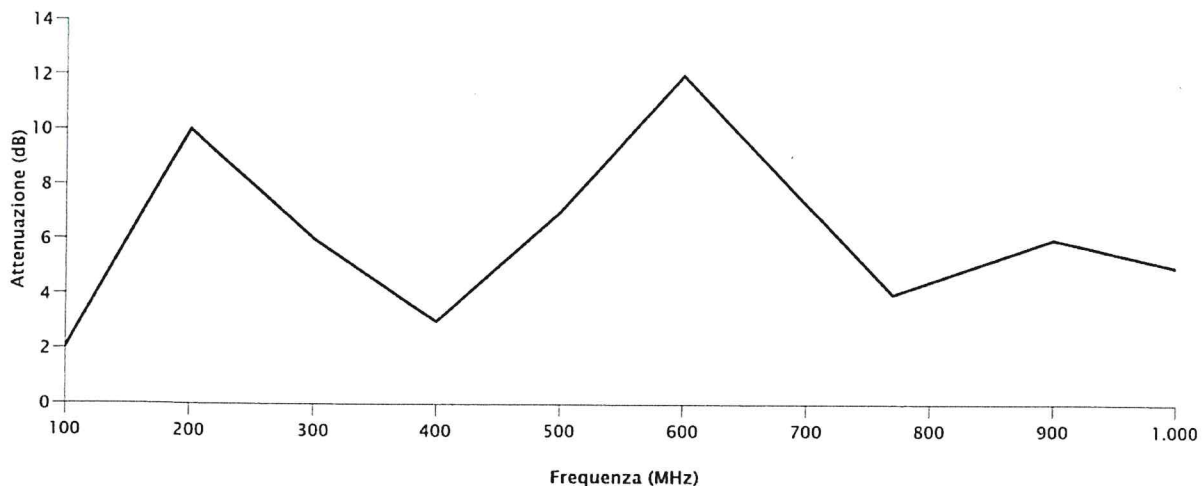


Fig.5: Andamento della schermatura per il nanocomposito Co GNP 20\_20

Le prospettive future si concentrano sulla sintesi di nuove leghe metalliche ad elevata permeabilità magnetica, eventualmente nanostrutturate, che permettano di competere efficacemente con le soluzioni già presenti sul mercato (MuMetal, Permalloy, ...) per la schermatura delle basse frequenze.

Inoltre, si potrà cercare di migliorare la distribuzione degli additivi nella matrice per ottenere dei nanocompositi il più possibile omogenei, oltre che sperimentare nuovi tipi di matrici polimeriche come elastomeri o metacrilati.

**Sede di svolgimento dell'attività** (Riportare il luogo in cui si è svolta l'attività)

**Università di Verona, Università Ca' Foscari, STAlab srl (San Martino Buonalbergo, VR), Institute of Low Temperature and Structural Research (Wroclaw, PL), Politecnico di Wroclaw (PL)**

Luogo e data Verona, 29/09/2021

Firma del Destinatario

*Gerolamo Barato*

Firma del Referente/Tutor per la Ricerca

*[Handwritten signature]*