# Abstract

This paper presents a fully-textile wearable antenna for pinpointing the location of firefighters in emergency scenarios. The proposed antenna is an aperture coupled microstrip antenna which mimics the coat of arms of the fire brigade of Lecce (Italy). To assess the viability of the proposed solution, a fully-textile prototype has been fabricated and characterized. Numerical and experimental results are reported and discussed.

# 1. Introduction

Nowadays, wearable antennas are gaining a growing attention among researchers having interesting potential applications in the field of health care [1], human localization [2]-[4], body sensor networks [5],[6], and so on. The basic requirement of a wearable antenna is that it has to be easy to integrate into clothes and wearable accessories. To this aim, the best choice for the fabrication materials appears to be the use of textile materials for both the conductive parts and the substrate. In this regard, the use of non-woven conductive fabrics for fabricating the conductive parts of the antenna has proven to be particularly attractive [7]-[10].

The antenna should not be visible or, at least, its shape should have a pleasant appearance. In this regard, a possible solution is to design the antenna so to be easily integrated into wearable accessories such as glasses, belts, jewels or buttons [11]-[14]. Another attractive alternative is the logo-type antenna where the radiating element reproduces a logo; however, exploiting a specific logo as the geometry of the antenna is difficult, and each logo opens up new different problems [7],[8], [15]-[18].

Additionally, the design of wearable antennas is further complicated because these devices must operate in close proximity to the human body, which represents a hostile environment for the propagation of the electromagnetic waves [19]. Accordingly, referring to wearable applications, platform tolerant designs should be preferred for the antenna. In this regard, a viable solution consists in using grounded solutions such as microstrip patch antennas.

In this paper a fully-textile Aperture Coupled MicroStrip Antenna (ACMSA) operating in the GPS L1 band is presented. A layer of pile and jeans have been used as substrates, while a non-woven conductive fabric has been employed for the conductive parts. The intended application is the localization of firefighters in emergency scenarios. Accordingly, the patch has been designed so as to reproduce the coat of arms of the fire brigade of Lecce (Italy). Numerical and experimental results are reported and discussed.

در این مقاله یک آنتن پوشیدنی کاملاً نساجی برای مشخص کردن محل آتش نشانان در شرایط اضطراری ارائه شده است. آنتن پیشنهادی یک آنتن میکرواستریپ همراه دیافراگم است که تقلید از بازوی آتش نشانی لچه (ایتالیا) است. برای ارزیابی زنده بودن راه حل پیشنهادی ، یک نمونه اولیه کاملاً نساجی ساخته و مشخص شده است. نتایج عددی و تجربی گزارش شده و مورد بحث قرار گرفته است.

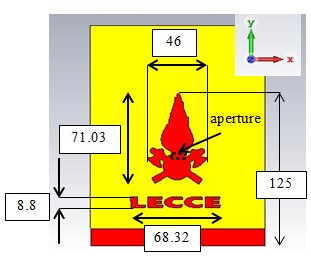
1. معرفی

امروزه ، آنتن های پوشیدنی در بین محققان با کاربردهای بالقوه جالب توجه در زمینه مراقبت های بهداشتی [1] ، بومی سازی انسان [2] - [4] ، شبکه های حسگر بدن [5] ، [6] و غیره توجه بیشتری به دست می آورند. شرط اصلی یک آنتن پوشیدنی این است که باید به راحتی در لباس و لوازم جانبی پوشیدنی ادغام شود. برای این منظور ، به نظر می رسد بهترین انتخاب برای مصالح ساختگی ، استفاده از مواد نساجی برای هر دو قسمت رسانا و بستر است. در این راستا ، استفاده از پارچه های رسانای غیر بافته برای ساخت قطعات رسانا آنتن به اثبات رسیده است که بسیار جذاب است [7] - [10].

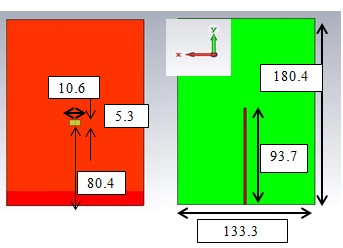
آنتن نباید قابل رویت باشد یا حداقل شکل آن باید ظاهر دلپذیری داشته باشد. در این راستا ، یک راه حل ممکن برای طراحی آنتن است تا به راحتی در لوازم جانبی پوشیدنی مانند عینک ، کمربند ، جواهرات یا دکمه ها ادغام شود [11] - [14]. جایگزین جذاب دیگر آنتن نوع آرم است که در آن عنصر تابشی یک آرم را تولید می کند. با این حال ، سوء استفاده از یک آرم خاص به عنوان هندسه آنتن دشوار است ، و هر آرم مشکلات مختلف جدیدی را ایجاد می کند [7] ، [8]، [15] - [18].

علاوه بر این ، طراحی آنتن های پوشیدنی پیچیده تر است زیرا این دستگاه ها باید در مجاورت بدن انسان کار کنند ، که نشان دهنده یک محیط خصمانه برای انتشار امواج الکترومغناطیسی است [19]. بر این اساس ، با اشاره به کاربردهای پوشیدنی ، طرح های تحمل سکوی باید برای آنتن ترجیح داده شوند. در این راستا ، یک راه حل قابل استفاده شامل استفاده از محلول های زمینی مانند آنتن های میکرواستریپ پچ است.

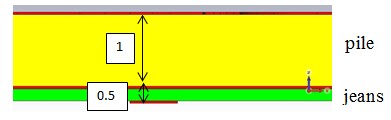
در این مقاله یک آنتن MicroStrip با دیافراگم کاملاً نساجی (ACMSA) که در باند GPS L1 کار می کند ارائه شده است. از لایه ای از شمع و شلوار جین به عنوان بستر استفاده شده است ، در حالی که از پارچه هادی غیر بافته شده برای قطعات رسانا استفاده شده است. برنامه در نظر گرفته شده محلی سازی آتش نشانان در حالات اضطراری است. بر این اساس ، این پچ به گونه ای طراحی شده است که می تواند روکش سلاح های آتش نشانی لچه (ایتالیا) را تولید کند. نتایج عددی و تجربی گزارش شده و مورد بحث قرار گرفته است.



**a.**

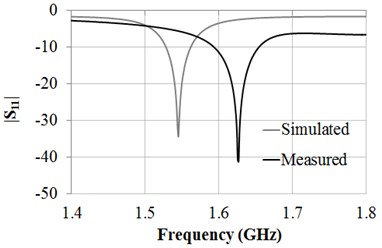


**b. c.**



**d.**

**Figure 1.** Geometry and dimensions (in millimeters) of the proposed antenna: a) front-view; b) aperture on the ground, c) microstrip feed-line; d) side-view. The red colour is used for the conductive parts.



**Figure 2.** Comparison between the numerical data and

experimental results obtained for the |S11| parameter.

شکل 1. هندسه و ابعاد (در میلی متر) آنتن پیشنهادی: الف) نمای جلوی. ب) دیافراگم روی زمین ، ج) خط خوراک میکرواستریپ؛ د) نمای جانبی. از رنگ قرمز برای قطعات رسانا استفاده می شود.

شکل 2. مقایسه داده های عددی و

نتایج تجربی به دست آمده برای | S11 | پارامتر.

v

# 2. Antenna Geometry

The geometry of the proposed antenna is illustrated in Fig. 1. The radiating element has been shaped so to mimic the coat of arms of the fire brigade of Lecce (Italy).

In order to obtain a platform tolerant behaviour, the design approach is an ACMSA. All the adopted materials are textiles; in particular, the microstrip line has been designed on a layer of jeans with a thickness of 0.5 mm and relative electric permittivity equal to 1.72; while, the patch has been designed on 1 mm-thick layer of pile with a relative electric permittivity of 1.18. The conductive parts were designed by using a non-woven conductive fabric having an electrical conductivity equal to 2.27e5 S/m and a thickness of 0.11 mm.

As aforementioned, the intended application is the localization of firefighters during emergency operations. Hence, the dimensions of the antenna have been optimized through full-wave simulations performed with CST Microwave Studio to operate at the GPS L1 band centered at 1.575 GHz. The final dimensions are summarized in Fig. 1; the antenna occupies a total area of about (18 x 13) cm2. As for the aperture position, the results of the numerical optimization are illustrated in Figs. 1a and 1b.

From full-wave simulations it has been verified that the coupling between the microstrip line and the patch is almost totally magnetic. In fact, the position of the aperture corresponds to a zero of the electric field of the operating mode of the patch.

The numerical results obtained for the reflection coefficient are illustrated in Fig. 2. The antenna operates at 1.56 GHz. In particular, the minimum of the |S11| is approximately equal to -34.5 dB and the -10 dB bandwidth is about 33 MHz.

As for the radiation properties, the numerical results illustrated in Fig. 3 demonstrate that at the frequency of interest the antenna exhibits the desired patch-like radiation pattern and a maximum directivity of about 8 dBi.

*هندسه آنتن پیشنهادی در شکل 1 نشان داده شده است. عنصر تابش به گونه ای شکل گرفته شده است که بتواند از بازوی بازوی آتش نشانی لچه (ایتالیا) تقلید کند.*

*به منظور به دست آوردن یک رفتار تحمل پذیر روی سکو ، رویکرد طراحی یک ACMSA است. تمام مواد پذیرفته شده پارچه هستند. به طور خاص ، خط میکرواستریپ بر روی لایه ای از شلوار جین با ضخامت 0.5 میلی متر و تراکم الکتریکی نسبی برابر با 1.72 طراحی شده است. در حالی که ، پچ بر روی یک لایه از ضخامت 1 میلی متر شمع با ضریب مقاومت الکتریکی نسبی 1.18 طراحی شده است. قطعات رسانا با استفاده از پارچه هادی غیر بافته شده و دارای هدایت الکتریکی برابر با 2.27e5 S / m و ضخامت 0.11 میلی متر طراحی شده است.*

*همانطور که گفته شد ، برنامه مورد نظر بومی سازی آتش نشانان در حین انجام عملیات اضطراری است. از این رو ، ابعاد آنتن از طریق شبیه سازی های کامل موج که با استودیوی مایکروویو CST انجام شده است برای به کارگیری در باند GPS L1 با محوریت 1.575 گیگاهرتز بهینه شده است. ابعاد نهایی در شکل 1 خلاصه شده است. آنتن مساحت كل در حدود (18 13 18) cm2 را اشغال می كند. در مورد موقعیت دیافراگم ، نتایج بهینه سازی عددی در شکل نشان داده شده است. 1a و 1b.*

*از شبیه سازی های موج کامل تأیید شده است که اتصال بین خط میکرواستریپ و پچ تقریباً کاملاً مغناطیسی است. در حقیقت ، موقعیت دیافراگم با صفر از میدان الکتریکی حالت عملکرد پچ مطابقت دارد.*

*نتایج عددی به دست آمده برای ضریب بازتاب در شکل 2 نشان داده شده است. آنتن در 1.56 گیگاهرتز کار می کند. به طور خاص ، حداقل از | S11 | تقریباً برابر با -34.5 دسی بل و پهنای باند -10 دسی بل حدود 33 مگاهرتز است.*

*در مورد خصوصیات تابش ، نتایج عددی نشان داده شده در شکل 3 نشان می دهد که در فرکانس مورد علاقه ، آنتن از الگوی تابش لایه ای مانند و حداکثر هدایت حدود 8 dBi برخوردار است.*

# 3. Experimental Results

To assess the feasibility of the proposed solution, a prototype of the ACMSA was fabricated and characterized by means of a VNA (R&S ZVA50). The pictures of the realized prototype are given in Figs. 4a and 4b.

For implementing all the conductive parts, a selfadhesive non-woven conductive fabric was exploited. This material has no fraying problems; therefore, a cutting plotter commonly used in the graphic industry was exploited for shaping the conductive parts of the antenna [20]. As it is evident from Figs. 4a and 4b, a good accuracy was obtained in reproducing the antenna geometry.

The antenna assembly was a crucial step of the fabrication process. Particular attention was paid to the alignment between the aperture and the radiating element. In fact, as demonstrated by full-wave simulations, it strongly influences the frequency behaviour of the antenna.

First, the microstrip feed-line and the ground plane containing the aperture were attached on the layer of jeans. Successively, the radiating element was attached on the pile layer. Finally, the two layers were sewn by hand taking care to achieve a uniform thickness and to avoid the presence of air. The measured reflection coefficient is reported and compared with numerical data in Fig. 2. As it can be seen, the antenna operates with a good matching at 1.62 GHz. By comparing numerical data with experimental results, a frequency shift of about 60 MHz of the minimum of the |S11| parameter can be observed. This shift is probably due to a slight mismatch between the electromagnetic parameters of the textile layers adopted for the fabrication and the ones adopted in fullwave simulations.

In order to verify the robustness of the performance of the fabricated antenna, measurements were performed by placing the antenna on different parts of the body. Figure 4c shows the case of placement on the chest and on the arm. The corresponding measured reflection coefficients are illustrated in Fig. 6a; as expected, due to the presence of the ground plane, the reflection coefficient of the antenna is nearly insensitive to the surface where it is applied.

Finally, the sensitivity of the antenna performance on moisture was investigated. Experimental tests were performed by exposing the antenna to different levels of relative humidity. Each measurement was performed after a 6-minutes exposure time, the achieved results are given in Fig. 6b. As expected, in view of the porosity of the textile materials, the operating frequency and the bandwidth of the antenna depends on humidity. In particular, the electric permittivity and the conductivity of the textile materials increase as the environmental humidity increases, causing the decrease of the operating frequency and the bandwidth enhancement.

3. نتایج تجربی

برای ارزیابی امکان سنجی راه حل پیشنهادی ، یک نمونه اولیه از ACMSA ساخته شده و با استفاده از یک VNA (R&S ZVA50) مشخص می شود. تصاویر نمونه اولیه تحقق یافته در شکل ها آورده شده است. 4a و 4b.

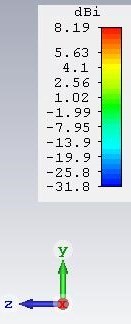
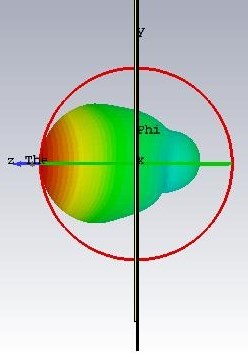
برای اجرای کلیه قسمت های رسانا ، از یک پارچه رسانای خود بافته نشده بافته شده استفاده شد. این ماده هیچ مشکلی با هم ندارد. بنابراین ، یک پلاتر برش معمولاً در صنعت گرافیک برای شکل دادن به قطعات رسانای آنتن مورد سوء استفاده قرار می گیرد. [20] همانطور که از انجیر مشهود است. 4a و 4b ، در تولید مثل هندسه آنتن دقت خوبی به دست آمد.

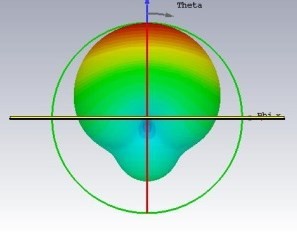
مونتاژ آنتن یک مرحله مهم در روند ساخت بود. توجه ویژه ای به تراز بین دیافراگم و عنصر پرتودهی مورد توجه قرار گرفت. در واقع ، همانطور که توسط شبیه سازی های کامل موج نشان داده شده است ، به شدت بر رفتار فرکانس آنتن تأثیر می گذارد.

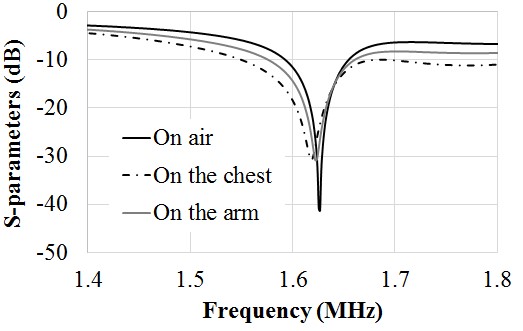
ابتدا خط تغذیه میکرواستریپ و سطح زمین حاوی دیافراگم روی لایه شلوار جین متصل شده بودند. با موفقیت ، عنصر تابش روی لایه شمع وصل شد. سرانجام ، برای دستیابی به ضخامت یکنواخت و جلوگیری از وجود هوا ، دو لایه با دست دوخته شده بودند. ضریب بازتاب اندازه گیری شده با داده های عددی در شکل 2 گزارش و مقایسه شده است. همانطور که مشاهده می شود ، آنتن با یک تطابق خوب در 1.62 گیگاهرتز کار می کند. با مقایسه داده های عددی با نتایج آزمایشی ، یک تغییر فرکانس در حدود 60 مگاهرتز از حداقل | S11 | پارامتر قابل مشاهده است. این تغییر احتمالاً ناشی از عدم مطابقت جزئی بین پارامترهای الکترومغناطیسی لایه های نساجی اتخاذ شده برای ساخت و مواردی است که در شبیه سازی های پهنای موج به کار رفته است.

به منظور بررسی استحکام عملکرد آنتن ساختاری ، با قرار دادن آنتن بر روی قسمت های مختلف بدن ، اندازه گیری هایی انجام شد. شکل 4c مورد قرار گرفتن در سینه و بازو را نشان می دهد. ضرایب بازتاب اندازه گیری شده مربوطه در شکل 6a نشان داده شده است. همانطور که انتظار می رود با توجه به وجود هواپیمای زمینی ، ضریب بازتاب آنتن تقریباً نسبت به سطحی که در آن اعمال شده غیر حساس است.

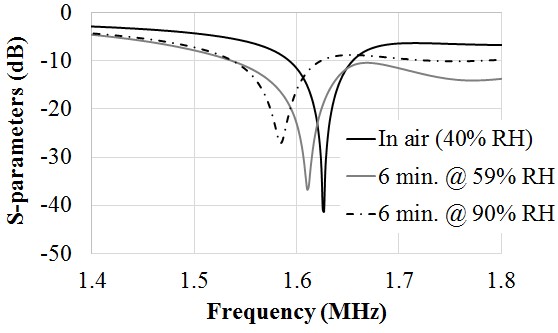
سرانجام ، حساسیت عملکرد آنتن بر رطوبت مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش های تجربی با قرار دادن آنتن در سطوح مختلف رطوبت نسبی انجام شد. هر اندازه گیری پس از مدت زمان قرار گرفتن در معرض 6 دقیقه انجام شد ، نتایج به دست آمده در شکل 6b آورده شده است. همانطور که انتظار می رود با توجه به تخلخل مواد نساجی ، فرکانس کارکرد و پهنای باند آنتن بستگی به رطوبت دارد. به ویژه ، با افزایش رطوبت محیطی ، قدرت الکتریکی و هدایت مواد نساجی افزایش می یابد و باعث کاهش فرکانس عملیاتی و تقویت پهنای باند می شود. 



**Figure 5.** Experimental setup adopted for evaluating the sensitivity of the antenna performance to humidity.



**Figure 3**. Radiation pattern calculated from full-wave **a.** simulations.





**a. b. b.**

**Figure 6.** Measurements performed: a) by placing the antenna on different parts of the body; (b) by exposing the antenna to different levels of relative humidity (RH).



# 4. Conclusion

A fully-textile wearable antenna for firefighters localization has been presented. The proposed antenna operates in the GPS L1 band centered at 1.575 GHz.

In order to guarantee a robust performance with respect to the surface of application, a grounded design has been adopted. More in detail, the presented antenna is an aperture coupled microstrip patch whose radiating element has been shaped so as to mimic the coat of arms of the fire brigade of Lecce (Italy). A careful reproduction

**c.** of the desired geometry has been achieved exploiting a

time-saving and inexpensive fabrication process based on

**Figure 4.** Pictures of the fabricated prototype: a) front the combined use of a cutting plotter and a self-adhesive

view; b) back view; c) experimental setup adopted for non-woven conductive fabric. evaluating the robustness of the performance when the prototype is placed on different parts of the human body.

Experimental tests performed on the fabricated prototype showed that the antenna is well matched to 50 , even if a slight frequency shift of the operating frequency has been observed. Experimental tests were performed on the antenna prototype in order to evaluate the robustness of its performance with respect to the operation on different parts of the human body and to various levels of environmental relative humidity. The reported results demonstrate that the operating frequency depends on the humidity. In particular, it shifts from 1.62 GHz to 1.58 GHz for a relative humidity increasing from 40% to 90%. Overall, the achieved results demonstrate the suitability of the proposed antenna for the intended application (i.e. firefighters localization in emergency scenarios).

# 6. Acknowledgements

This work was supported by ‘Fondo di Sviluppo e Coesione 2007-2013 – APQ Ricerca Regione Puglia “Programma regionale a sostegno della specializzazione intelligente e della sostenibilità sociale ed ambientale - FutureInResearch”.

4. نتیجه گیری

یک آنتن پوشیدنی کاملاً نساجی برای محلی سازی آتش نشانان ارائه شده است. آنتن پیشنهادی در باند GPS L1 با محوریت 1.575 گیگاهرتز کار می کند.

به منظور تضمین عملکرد مستحکم با توجه به سطح کاربری ، یک طرح پایه اتخاذ شده است. با جزئیات بیشتر ، آنتن ارائه شده یک پچ میکرواستریپ اتصال دیافراگم است که عنصر تابش آن به گونه ای شکل گرفته شده است که می تواند از کت سلاح های آتش نشانی لچه (ایتالیا) تقلید کند. تولید مثل دقیق

ج هندسه مورد نظر با بهره برداری از الف بدست آمده است

صرفه جویی در زمان و فرآیند ساخت ارزان بر اساس

شکل 4. تصاویر از نمونه اولیه ساخته شده: الف) استفاده ترکیبی از یک نقشه برش و یک چسب خود را در جلو قرار دهید

چشم انداز؛ ب) نمای عقب؛ ج) راه اندازی آزمایشی که برای پارچه هادی غیر بافته استفاده شده است. ارزیابی استحکام عملکرد وقتی نمونه اولیه در قسمتهای مختلف بدن انسان قرار می گیرد.

آزمایش های تجربی انجام شده بر روی نمونه اولیه ساخته نشان داد که آنتن به خوبی با 50 ched مطابقت دارد ، حتی اگر یک تغییر فرکانس جزئی از فرکانس عامل مشاهده شده باشد. به منظور ارزیابی استحکام عملکرد آن با توجه به عملکرد در قسمتهای مختلف بدن انسان و سطوح مختلف رطوبت نسبی محیط ، آزمایش های تجربی روی نمونه اولیه آنتن انجام شد. نتایج گزارش شده نشان می دهد که فرکانس عامل به رطوبت بستگی دارد. به طور خاص ، برای رطوبت نسبی از 1.62 گیگاهرتز به 1.58 گیگاهرتز تغییر می یابد و از 40٪ به 90٪ افزایش می یابد. به طور کلی ، نتایج به دست آمده نشان می دهد که مناسب بودن آنتن پیشنهادی برای برنامه در نظر گرفته شده (یعنی محلی سازی آتش نشانان در حالات اضطراری).

6. لوح سپاس

این کار توسط ‘Fondo di Sviluppo e Coesione 2007-2013 - APQ Ricerca Regione Puglia" Programma regionale a sostegno della specializzazione Intelligent e della sostenibilità social ed ambientale - FutureInResearch "پشتیبانی شده است.