

**Jonathan Hare***Department of Physics,  
Sussex University, Falmer,  
Brighton, UK*

## Un semplice dispositivo con cui esplorare le onde radio generate da un telefonino

(Pervenuto il 16.4.2012, approvato il 23.10.2013)

Tradotto e pubblicato con permesso dell'autore e della Redazione della rivista da: "A simple demonstration for exploring the radio waves generated by a mobile phone" © 2010 IOP Publishing Ltd. – *Physics Education* 45 (5) 481. La versione in inglese è scaricabile dal sito <http://iopscience.iop.org/0031-9120/45/5/004>, indirizzo IP 188.152.143.24.

Traduzione a cura di Silvia Pugliese Jona, Ivrea

**ABSTRACT**

A simple low cost homemade device that converts radio wave energy from a mobile phone signal to electricity for lighting an LED is described. No battery or complex circuitry is required. The device allows a range of interesting experiments on the physics and technology of mobile phones.

**Introduzione**

Le radiazioni elettromagnetiche (REM) sono alla base del funzionamento delle moderne reti di comunicazione tramite telefoni cellulari. Per comunicare tra loro i telefoni si servono delle stazioni locali della rete (i tralicci provvisti di antenne sparsi dappertutto) utilizzando una zona in radiofrequenza dello spettro elettromagnetico<sup>(1), (2)</sup>[1]. All'accensione il telefono invia il proprio codice all'antenna più vicina tramite un messaggio digitale costituito da una veloce successione di impulsi elettromagnetici. I messaggi vocali o di testo inviati in seguito dall'utente saranno poi anch'essi trasformati in una serie di impulsi elettromagnetici e trasmessi alla rete per essere infine decodificati e resi comprensibili nel telefono del destinatario.

**Radiazione elettromagnetica e onde radio**

Per comunicare nelle due direzioni – dai telefoni alla stazione locale e dalla stazione ai telefoni – i cellulari possono servirsi di diverse bande di frequenze: le bande comprendono 900 e 1800 MHz in Europa e 850 e 1900 MHz negli Stati Uniti e in Canada<sup>(1)</sup>[2].

La lunghezza d'onda, la velocità della luce e la frequenza seguono la ben nota relazione:

$$\lambda \text{ lunghezza d'onda (in metri)} = \text{velocità/frequenza} = c \text{ (m/s)}/\nu \text{ (Hz)}.$$

Inserendo i valori numerici,

$$\lambda \text{ (m)} = 300\,000\,000/\nu \text{ (Hz)} \text{ o, approssimando, } \lambda \text{ (m)} = 300/\nu \text{ (MHz)}$$

da cui si deduce che per la frequenza di circa 1000 MHz (1 GHz) – tipica dei telefoni cellulari – la lunghezza d'onda si aggira sul valore  $\lambda = 300/1000 = 0,3 \text{ m} = 30 \text{ cm}$ .

**Un semplice circuito rivelatore di onde radio**

L'antenna del circuito rivelatore si ottiene piegando un tratto di rame lungo quanto la lunghezza d'onda (circa 30 cm) in modo da ottenere un anello quadrato o circolare (le cui dimensioni non sono critiche). I due estremi dell'anello vengono connessi a un semplice circuito in serie contenente un LED di alta luminosità e un diodo al germanio: componenti di poco prezzo reperibili presso i venditori di componenti elettronici<sup>(3)</sup>. È importante che le connessioni siano

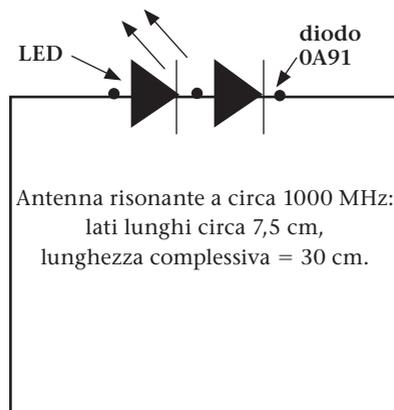


Figura 1. A sinistra l'antenna ricevente di perimetro 30 cm che risona a circa 1.000 MHz; a destra lo schema del circuito.

fatte correttamente e che il filo di rame non sia coperto di guaina isolante. Si saldano il diodo al germanio e il LED nel circuito come mostrato in figura 1 tenendo presente che l'anodo di un diodo al germanio nuovo corrisponde al suo estremo più lungo e il catodo è contrassegnato da una banda rossa.

Come indicato nello schema del circuito il LED e il diodo al germanio sono connessi in serie in modo da condurre la corrente nello stesso verso: in pratica il catodo di uno è connesso all'anodo dell'altro.

Nei miei prototipi, per motivi puramente meccanici, ho inserito tra gli estremi del tratto di rame un isolatore (il cilindretto chiaro nella foto) che senza influire sul circuito lo rende più robusto.

(Una versione molto più sensibile che utilizza un amplificatore di corrente continua è descritta nel mio sito web [2].)

### Come funziona e come utilizzarlo

Quando un'onda radio attraversa un corpo metallico i campi elettromagnetici provocano l'oscillazione degli elettroni inducendo nel metallo deboli correnti alternate di pari frequenza. Se, dopo aver accostato un telefono cellulare all'antenna risonante illustrata in figura 1 (nel seguito indicata con "anello"), si fa una chiamata o si scrive un testo<sup>(4)</sup> le onde radio emesse dal telefono l'attraversano e vi inducono una differenza di potenziale e se l'anello è molto vicino al cellulare la ddp indotta può essere sufficiente ad accendere il LED. Per la sua bassa reattanza l'anello è un buon risonatore perciò si ottiene un buon trasferimento di energia tra l'onda radio e il LED.

Il cellulare comincia automaticamente ad esplorare la rete regolando la sua potenza di emissione in modo da massimizzare la durata della batteria e minimizzare le interferenze, perciò la luminosità del LED dipenderà dall'intensità media del segnale, cioè dai dati che vengono inviati, dall'intensità del segnale di rete e dalla distanza tra il cellulare e l'antenna della rete.

Il motivo della presenza del secondo diodo è abbastanza curioso. In fin dei conti un LED emette luce ma è pur sempre un diodo e si potrebbe supporre che

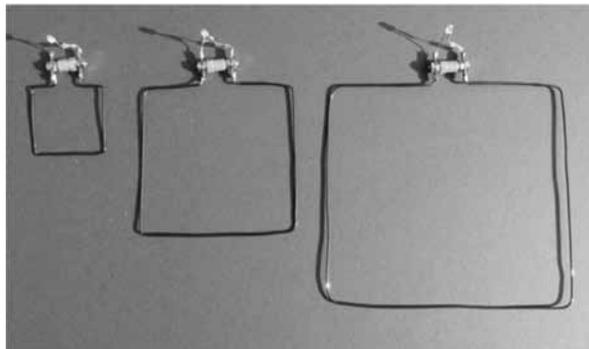


Figura 2. Tre anelli di diverse dimensioni: al centro quello descritto in questo articolo. Il più piccolo potrebbe risultare più efficace per le trasmissioni alle frequenze più alte: p.es. quelle delle reti 3G (vedi in seguito).

un altro diodo sia superfluo. Ma i miei primi esperimenti funzionarono solo dopo l'inserimento di un altro diodo perché i LED, la cui capacità elettrica è piuttosto alta, non sono in grado di seguire le alte frequenze della rete. Poiché invece nei diodi al germanio un solo cavetto molto sottile fa contatto con il germanio semiconduttore in un solo punto, la loro bassissima capacità elettrica non disturba le funzioni dell'anello.

Il diodo al germanio trasforma il segnale in alternata captato dall'antenna in una serie di impulsi in continua la cui intensità viene resa uniforme dalla capacità del LED, mentre in assenza del diodo la capacità del LED tenderebbe a mediare il segnale in alternata riducendone a zero l'intensità.

#### **Anelli di altre dimensioni**

La figura 2 mostra tre anelli di lati 3,7 – 7,5 e 15 cm. Potete controllare voi stessi con un esperimento che l'anello centrale è quello che fornisce l'accordo migliore con i segnali del telefono cellulare. Gli altri due sono adatti ad altre forme di comunicazione: il più piccolo potrebbe funzionare bene sulla rete di terza generazione (3G) e il più grande per le trasmissioni tra stazioni radio amatoriali '70 cm'.

#### **Polarizzazione**

Durante la loro propagazione nello spazio i campi elettrici e magnetici delle onde elettromagnetiche sono reciprocamente orientati a  $90^\circ$  ma le loro orientazioni rispetto al suolo dipendono da come sono stati emessi dall'antenna e possono essere le più varie.

Se il campo elettrico è parallelo al suolo, diciamo che l'onda è 'polarizzata orizzontalmente'; se è perpendicolare al suolo diciamo che è 'polarizzata verticalmente'.

La risposta dell'anello ricevente dipende da come è orientato rispetto all'onda in arrivo perciò vale la pena di cercare per tentativi l'orientazione che produce il segnale migliore e il LED più luminoso.

#### **L'antenna del telefono cellulare**

Il tuo cellulare contiene un circuito trasmittente e ricevente e un'antenna che in molti cellulari è situata nella loro zona alta ma in altri potrebbe essere in basso. La sua posizione può essere trovata ruotando il cellulare intorno al suo centro ed individuando l'angolo in cui l'emissione di luce del LED ha la massima intensità.

**Reti** Il cellulare è in grado di collegarsi con reti diverse presenti in diversi paesi ma per modificare la sua impostazione di rete in modo da ottenere il segnale che produce la migliore illuminazione del LED potrebbe essere necessario chiudere l'opzione "selezione automatica" e passare alla GSM che è attualmente la rete più importante. In luoghi serviti dalla rete 3G che opera a una frequenza più alta si può constatare che con un anello più piccolo si ottiene un funzionamento migliore.

**Segnali di prova** L'energia delle onde radio emesse dal cellulare può ovviamente essere captata solo durante l'emissione di un segnale. Per esempio:

- (1) puoi osservare che all'accensione (o nel passaggio da una rete a un'altra) il cellulare va automaticamente in trasmissione per alcuni secondi, inviando i suoi dati alla rete;
- (2) durante tutto il tempo di accensione il cellulare continua a trasmettere dati sulla sua presenza e la sua posizione;
- (3) all'inizio di ogni telefonata il cellulare trasmette molte informazioni. In seguito trasmette solo se si parla, perciò se si desidera che il LED resti acceso si deve parlare in continuazione o utilizzare qualche rumore di fondo. Su richiesta, il "voicemail" della tua rete di riferimento potrebbe fornirti un numero gratuito per aiutarti a fare i tuoi esperimenti;
- (4) per mettere in evidenza la trasmissione di energia elettromagnetica conviene fare un invio di messaggi scritti. Un messaggio lungo mantiene il LED acceso più a lungo di un messaggio breve.
- (5) Come ultimo esperimento appoggia il tuo cellulare su un anello e (per non pagare la telefonata) chiamalo brevemente da un altro cellulare. Guardando il LED vedrai che, sebbene tu non lo stia usando direttamente, il tuo cellulare trasmette dati anche in fase di ricezione.

**Altri esperimenti** *Ascoltare i dati* – Collegando una cuffia al LED i segnali elettrici vengono convertiti in acustici ed è possibile ascoltare in tempo reale i clic dei segnali digitali mentre vengono trasmessi. Si tratta degli stessi clic che vengono spesso raccolti da dispositivi elettronici come gli amplificatori stereo e i registratori, per esempio mentre si sta registrando un video, nel qual caso è consigliabile spegnere i telefoni mentre si registra.

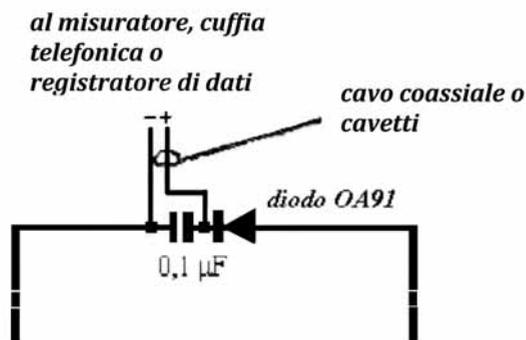


Figura 3. L'aggiunta di un condensatore e di un cavo coassiale o di due cavetti attorcigliati permette di usare un misuratore o un registratore di dati (osservare che la polarità del diodo è invertita rispetto alla figura 1).

*Registrare dati* – È possibile monitorare la radiazione elettromagnetica con il cellulare collegando un misuratore, o meglio un registratore di dati, in parallelo al LED. Si può per esempio constatare che il cellulare scambia segnali con la rete anche quando non stai telefonando. La figura 3 illustra una semplice modifica che consiste nell’inserire un condensatore allo scopo di consentire a un cavo coassiale o a due cavetti attorcigliati di ‘servire’ la cuffia, il misuratore e il registratore. Notare che il verso del diodo è invertito rispetto a quello della figura 1 per far sì che le connessioni + e – siano quelle richieste dal rilevatore unipolare dei dati in ingresso. Il condensatore ha invece lo scopo di mediare il segnale e, tramite un anello di ferrite su cui siano stati avvolti alcuni giri di cavetto, di impedire alle radiofrequenze di accedere al registratore di dati.

*All'esterno e nei dintorni* – Esaminando i dati registrati si possono scoprire le molte cose interessanti che il tuo cellulare fa senza che tu te ne accorga.

La figura 4 mostra il grafico che descrive parte di un viaggio in treno da Brighton a Londra e poi ancora in città. Il registratore di dati era semplicemente posato accanto a un cellulare acceso che non veniva usato per telefonare.

Il grafico mostra che durante il viaggio il cellulare inviava segnali alla rete per informarla della sua posizione: i tratti in cui il treno percorreva delle lunghe gallerie sono in particolare evidenza. La diversità tra le intensità dei segnali è dovuta al fatto che la potenza resa disponibile al cellulare dipende sia dall’intensità dei segnali emessi dalle reti locali, sia da come ogni pochi secondi il registratore legge l’informazione presente nel circuito.

Poiché allo scopo di assicurare le migliori condizioni d’uso il cellulare invia continuamente segnali alla rete, la rete è ovviamente sempre informata di dove ti trovi. Ladri e criminali, attenti: la polizia è sempre in grado di rintracciarvi!

*La legge dell’inverso del quadrato* – Se mentre il cellulare sta trasmettendo ci si allontana dall’antenna ricevente della rete ci si può aspettare che il segnale si indebolisca. Purtroppo, poiché entrambi i diodi hanno bisogno di un minimo di differenza di potenziale prima di cominciare a condurre, il rilevatore di segnali non è perfettamente lineare e si può vedere che all’aumentare della distanza i

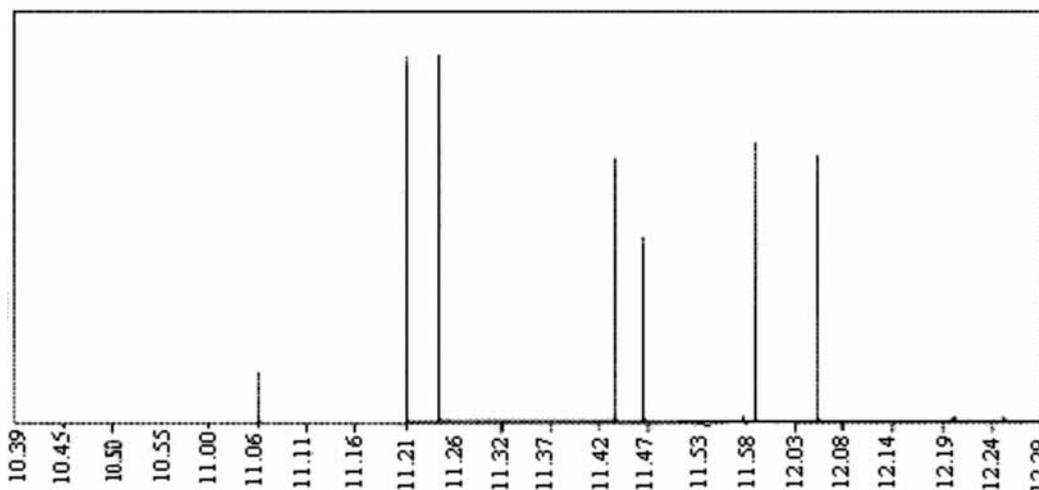


Figura 4. Un esempio dei segnali inviati da un cellulare alla rete durante i suoi spostamenti. Quelli qui illustrati furono registrati durante un viaggio in treno da Brighton a Londra e ritorno: molti di essi sono stati emessi dopo l’uscita del treno dalle lunghe gallerie percorse nel corso del viaggio.

segnali si indeboliscono e a un certo punto non sono più recepiti, ma è impossibile usare il cellulare per confermare, attraverso l'indebolimento del segnale all'aumentare della distanza, la legge dell'inverso del quadrato.

*Le Isobare* – Potresti usare il cellulare per individuare isobare, cioè rilevare le posizioni di uguale intensità dei segnali emessi in prossimità degli oggetti circostanti.

*Modificare la frequenza di risonanza dell'anello* – Potresti costruire, per esempio con un pezzo di tubo metallico, un semplice aggeggio scorrevole a forma di tromba con cui adattare l'anello risonatore ad altre frequenze. L'aggeggio può servirti, per esempio, per calcolare la lunghezza d'onda media individuando la posizione che corrisponde alla massima luminosità del LED. Misurando il perimetro dell'anello si ricava la lunghezza d'onda e supponendo che la lunghezza dell'antenna sia uguale a una lunghezza d'onda questa può essere calcolata invertendo l'equazione (1):  $v \text{ (MHz)} = 300/\lambda \text{ (m)} = 30.000/\lambda \text{ (cm)}$ , dove  $\lambda$  è il perimetro dell'anello.

Si deve notare che prima di misurare si deve dare al segnale digitale il tempo di consolidarsi, cioè aspettare alcuni secondi dopo aver fatto il numero o ricevuto il segnale di una comunicazione in entrata, dopo di che converrà emettere rumori continui – per esempio suonando o cantando o fischiando nei pressi del telefono – perché il cellulare continui a ricevere.

*Individuare cellulari accesi* – Gli insegnanti che vogliono accertarsi che gli alunni non abbiano solo messo il silenziatore ai loro cellulari ma li abbiano davvero spenti possono collegare un anello agli altoparlanti della lavagna bianca dell'aula. Qualsiasi cellulare acceso emetterà deboli segnali udibili a chi è vicino alla lavagna, fornendo – in specie durante compiti in classe ed esami, il modo di assicurarsi del loro spegnimento.

## Conclusioni

Per concludere, spero di aver mostrato che con un dispositivo così semplice e facile da costruire si possono compiere molte interessanti esplorazioni scientifiche e tecnologiche sul funzionamento dei telefoni cellulari, offrendo buone occasioni di attività esplorative durante le settimane scientifiche nelle scuole e buoni suggerimenti per le attività delle associazioni amatoriali interessate.

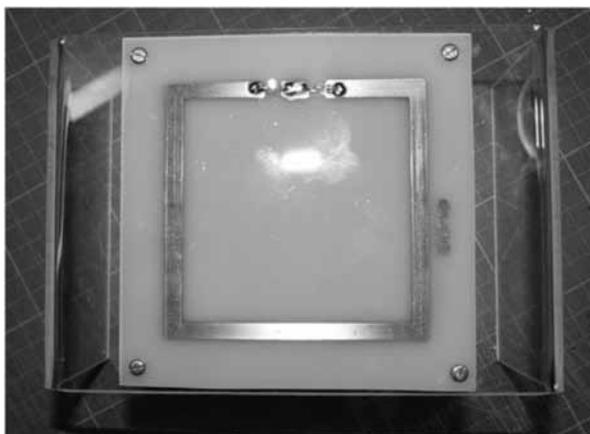


Figura 5. Il circuito stampato (pcb: *printed circuit board*) SEPNet 'deluxe', ospita un'antenna ricevente di rame, a cui sono saldati un diodo e un LED (in alto nella figura) [3, 4].

La versione 'deluxe' chiusa nella sua scatola di perspex illustrata in figura 5, di cui mi servo nelle mie lezioni sull'argomento, ha anche recentemente fatto il tour dell'Inghilterra meridionale nell'ambito del progetto SEPnet.

- Note**
- <sup>1</sup> Queste altissime frequenze (UHF >1000 MHz) rientrano nell'ambito delle micro-onde.
  - <sup>2</sup> Vedi la pubblicazione *Elektor Electronics* magazine del giugno 2005.
  - <sup>3</sup> Il diodo al germanio e il LED possono essere ordinati presso i venditori di materiale per l'elettronica.
  - <sup>4</sup> Per risparmiare ci si può servire del servizio gratuito "voicemail" che converte messaggi vocali in sms o in email.

- Bibliografia**
- [1] [http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile\\_phones](http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_phones)
  - [2] I dettagli costruttivi di un rilevatore amplificato sono descritti in [http://www.creative-science.org.uk/mobile\\_LED\\_simple.html](http://www.creative-science.org.uk/mobile_LED_simple.html)
  - [3] [www.sepnet.ac.uk/gese.php](http://www.sepnet.ac.uk/gese.php)
  - [4] I dettagli delle mie lezioni sono disponibili nel sito [www.creative-science.org.uk/tandws.html](http://www.creative-science.org.uk/tandws.html)

**L'autore** **Jonathan Hare** è professore aggregato di Comunicazione delle Scienze all'Università del Sussex in Inghilterra. Ogni anno presenta un centinaio circa di conferenze e laboratori a un pubblico che va dagli alunni delle scuole primarie a quelli delle secondarie e all'educazione degli adulti. La sua attività televisiva comprende sei serie della trasmissione *Rough Science*.

**Guido Pegna**  
Università di Cagliari

## Nota

L'articolo è certamente interessante poiché tratta di un oggetto concreto, il telefonino che oggi tutti i ragazzi possiedono e che è legato strettamente alla loro vita direi più che quotidiana, addirittura di ogni minuto. Gli esperimenti esposti sono tutti sostanzialmente qualitativi, sull'energia irradiata dall'apparec-



Due pezzi di filo di rame grosso, un diodo al centro, due saldature. Lunghezza 16 cm. Le due spiraline sono due piccole induttanze necessarie per bloccare la radiofrequenza ma non la tensione continua che si manifesta ai capi del diodo.

chio sotto forma di emissione elettromagnetica ad altissima frequenza, rivelata mediante la luce emessa da un diodo LED. Da parte dell'autore, tuttavia, segnalo un'occasione perduta. La forma scelta per l'antenna, un *loop* quadrato, non ha una connessione diretta con la lunghezza d'onda della trasmissione nelle bande GSM (per esempio le prime due: 900 Mhz, 32 cm; 1800 MHz, 16 cm) né è riconducibile alle forme delle antenne che ci sono familiari, come quelle per la ricezione delle trasmissioni TV che invadono tutti i tetti. Un semplice dipolo a mezza lunghezza d'onda o a onda intera sarebbe stato più comprensibile, e più facilmente spiegabile è la distribuzione della tensione sulla stessa antenna, che diviene sede di onde stazionarie.

L'antenna illustrata in fotografia ha richiesto un quarto d'ora per la sua costruzione. Ma ha il grande vantaggio di permettere di eseguire, oltre a tutti gli esperimenti indicati nell'articolo, anche valutazioni quantitative. È noto infatti, dalla teoria delle antenne, che un dipolo in mezz'onda o a onda intera presenta al centro una impedenza di 75 ohm. La tensione viene indicata da un comune tester analogico. Per esempio, in una prova effettuata ponendo l'antenna ad una diecina di centimetri da un telefonino mentre il proprietario stava parlando, si è misurata una tensione  $V = 1,2$  V. La potenza ricevuta è:  $P = (2V)^2/Z = 5,76 \text{ V}^2/75 \Omega = 76 \text{ mW}$  (la tensione che si misura è la metà di quella che si avrebbe in assenza del diodo).

## CITARSI ADDOSSO

Navigando in rete potreste incappare nella seguente citazione:

“Il problema delle citazioni su internet è verificarne l'autenticità.”  
Camillo Benso Conte di Cavour

E non solo su internet ... In effetti capita spesso che autori illustri (tra i più “gettonati” Galileo e Einstein) si trovino, a loro insaputa, citati per cose che non hanno mai scritto né detto; e questo non è piacevole, tanto più se uno è morto defunto e sepolto da un po' di tempo e non può, quanto meno, dichiarare alla stampa o alla televisione che «No, questo non l'ho mai detto, ... non intendo dire questo, sono stato frainteso, ... ecc». Citarsi addosso (Woody Allen, *Citarsi addosso*, Bompiani, Milano, 1976) per rafforzare le proprie tesi all'ombra di un dito importante, con l'aria di saperla lunga (Woody Allen, *Saperla lunga*, Bompiani, Milano, 1973) ... non è bello, soprattutto se le citazioni sono false!

Al massimo, alla parte offesa citata a sproposito – ahimè trapassata e quindi impossibilitata a citare a sua volta ... in giudizio – resterebbe un diritto di replica consistente nell'esibire le proprie opere scritte autentiche, diritto che si esercita e attualizza nel momento in cui un postero, a egregie cose il forte animo acceso, si prende la briga di andare a leggerle e divulgarle.

Per esempio, provate a googlare (sì, proprio *googlare*; nel dubbio semantico googlate: *googlare*) la seguente leggiadra citazione (ovviamente la fonte non risulta mai citata):

“Le cose sono unite da legami invisibili, non puoi cogliere un fiore senza turbare una stella.”

Essa viene attribuita senz'ombra di dubbio a Galileo Galilei.

Poi, consultando l'edizione digitale delle opere complete di Galileo Galilei (<http://pinakes.imss.fi.it:8080/pinakestext/home.jsf>), se non l'Edizione Nazionale, pubblicata sotto gli auspici di SUA MAESTÀ IL RE D'ITALIA, promotore il R. MINISTERO della ISTRUZIONE PUBBLICA, delle “Opere di GALILEO GALILEI” (Firenze, 1890) (<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k94893t>) non se ne trova traccia alcuna. Povero Galileo!