

## Campo magnetico di un cellulare

### Introduzione

L'obbiettivo primario della nostra esperienza a casa è stato quello di cercare di mappare il più accuratamente possibile il campo magnetico generato da uno smartphone acceso e con tutte le modalità di ricezione dati attive.

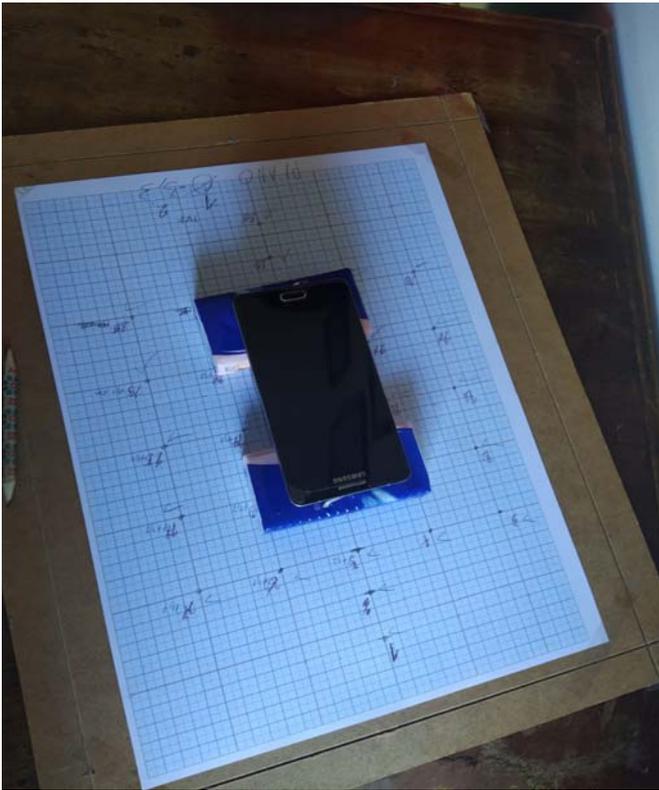
### Svolgimento

Per effettuare la mappatura del campo B del telefono abbiamo fatto misure su 3 piani orizzontali (l'orizzontale data dal piano del telefono che approssimiamo ad un parallelepipedo). I punti venivano presi alle stesse coordinate per ogni piano (anche se poi in alcuni piani abbiamo preso più misure che in altri); in totale abbiamo fatto 77 rilevamenti distribuiti in modo circa omogeneo nell'area attorno al telefono. Abbiamo fissato l'origine al centro e sotto al telefono. Da notare, che il telefono da misurare era spesso 6mm; per motivi d'ingombro del telefono che faceva le misure, alcuni punti del piano 0 sono quindi presi 6mm più su degli altri (e lo abbiamo considerato).



*Il piano con i punti in cui misurare; sono anche visibili il telefono che misura e l'area d'ingombro del telefono da misurare*

Per costruire i piani di rilevamento abbiamo utilizzato una lamina di cartone rigido di spessore trascurabile con stesa sopra (incollata) una griglia reticolata (basata su fogli di carta millimetrata) per avere una maggiore precisione nel valutare i punti usati come campione delle nostre misure. Per passare da un piano all'altro è bastato alzare o rispettivamente abbassare il livello dello smartphone relativamente alla griglia di rilevamento. Per fare ciò ci siamo serviti di vari supporti artigianali quali pacchetti di fazzoletti e libri di varie altezze.



Misurazioni sul piano sotto al telefono

Naturalmente il tutto era già immerso in un campo magnetico di base ovvero quello terrestre (già discusso durante l'esperienza delle bobine rotanti), di conseguenza, prima ancora di organizzare tutta la postazione, abbiamo provveduto a stimarlo, tramite magnetometro del telefono, e successivamente ad eliminarlo. Inoltre, per aumentare ulteriormente la purezza delle nostre misure abbiamo cercato di mantenere sempre il solito orientamento della postazione verso nord per evitare sfasamenti tra campo locale e campo terrestre.

Infatti, l'app phyphox (usata per misurare il campo magnetico) cerca di eliminare in automatico il campo del telefono usato per misurare. Quest'eliminazione però potrebbe non essere perfetta e allora avremmo un campo residuo solidale col telefono. Il campo terrestre invece varia con l'orientamento; quindi, se non avessimo

avuto l'accortezza di mantenere sempre lo stesso allineamento, avremmo potuto riscontrare un valore di campo locale (non dovuto al telefono da misurare) diverso per ogni punto. Ciò si sarebbe potuto evitare cercando (con 3 misure ad orientamenti opportuni) di distinguere campo terrestre da campo solidale col telefono, ma abbiamo ritenuto fosse più veloce tenere sempre il telefono da misurare con l'alto verso sud (e parallelo alle linee della griglia) e quello che misura con l'alto ad est. Abbiamo sempre usato la bussola del telefono per questi rilevamenti.

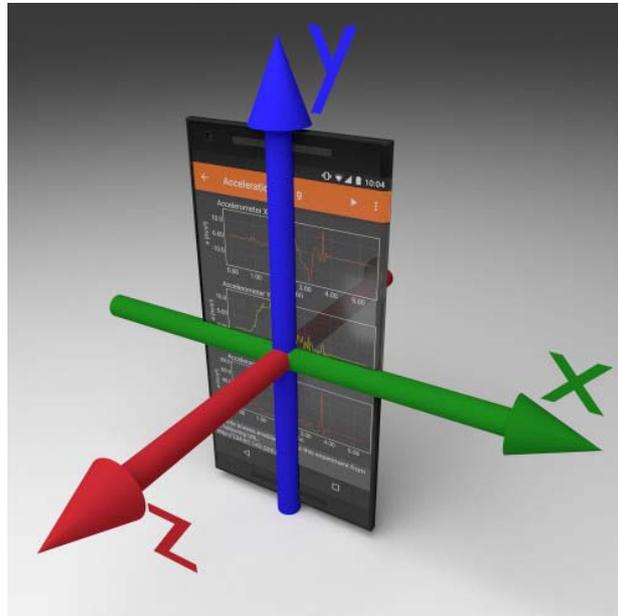


1 Misurazioni sul piano sopra al telefono (che si trova sotto all'area d'ingombro segnata)

Importante era anche che la posizione del telefono da misurare fosse sempre coerente con quanto ci aspettavamo, in particolare, questo era da verificare quando cambiavamo piano. Andava anche verificato quale fosse il punto sensibile del telefono usato per misurare il campo: infatti, le distanze sono nell'ordine dei cm, quindi non avremmo potuto considerare trascurabile la grandezza del telefono. Per fare ciò, abbiamo usato un piccolo magnete; avvicinandolo alle varie aree del telefono abbiamo identificato quella sensibile a sinistra in basso della telecamera. Abbiamo

sempre cercato di far corrispondere questo punto a quello voluto sulla carta millimetrata. Gli assi delle misure prese da phyphox sono paralleli ai lati del telefono, quindi la loro identificazione non è un problema.

Il cellulare che effettua le misure è un iPhone SE, quello misurato un Samsung Galaxy A5.



*Rappresentazione dell'app phyphox e degli assi delle misure*

Nonostante tutto, alla fine l'accuratezza delle misure sembrerà comunque abbastanza bassa; ci sono, infatti più fonti possibili d'errore (errata identificazione del nord, allineamento errato della griglia rispetto al nord o di uno dei telefono rispetto alla griglia, imperfetta corrispondenza del punto sensibile col punto sulla carta millimetrata, posizionamento errato del telefono fra un piano e l'altro) e anche la sensibilità dell'app non è alta (misura anche campi deboli, ma si vedono sempre molte fluttuazioni). In particolare, era importante tenere appoggiato il telefono con cui si misura, infatti, il magnetometro del telefono si basa sulla legge di Faraday, quindi anche piccoli movimenti danno grandi variazioni.

### Analisi dei dati

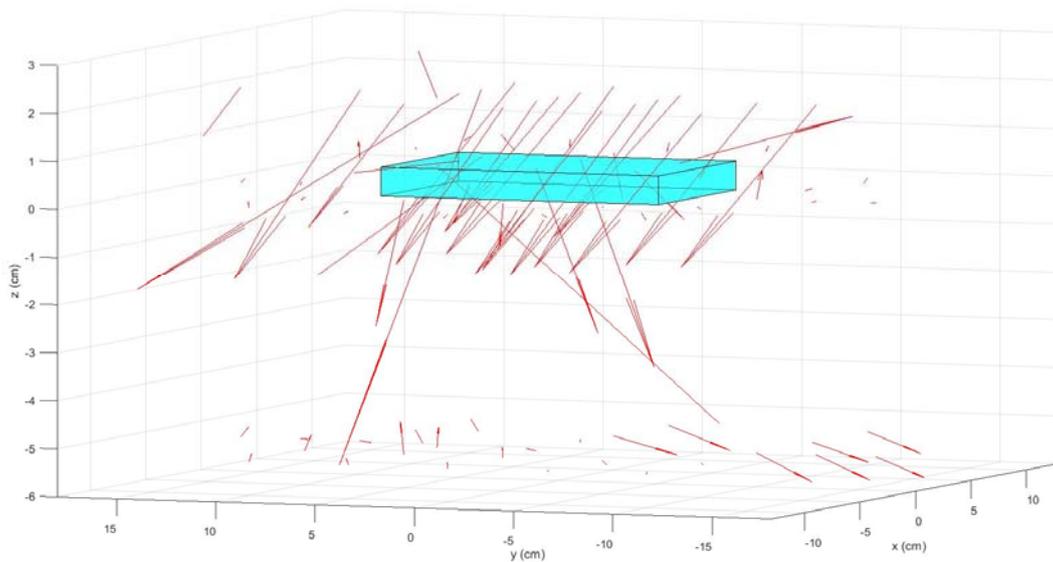
L'app phyphox fornisce dati ogni circa 0,01s, quindi ogni misura presente è in realtà il frutto della media su circa 3s di misure; in realtà il tempo di acquisizione era leggermente maggiore: abbiamo, infatti, notato che nel primo secondo circa di acquisizione si hanno valori abbastanza discordanti dai successivi (probabilmente a causa della taratura che l'app effettua). Nota: dall'app prendevamo sempre solo i valori delle componenti, il modulo del campo è calcolato, poiché (esclusa la misura del campo locale), va sempre sottratto il campo locale componente per componente.

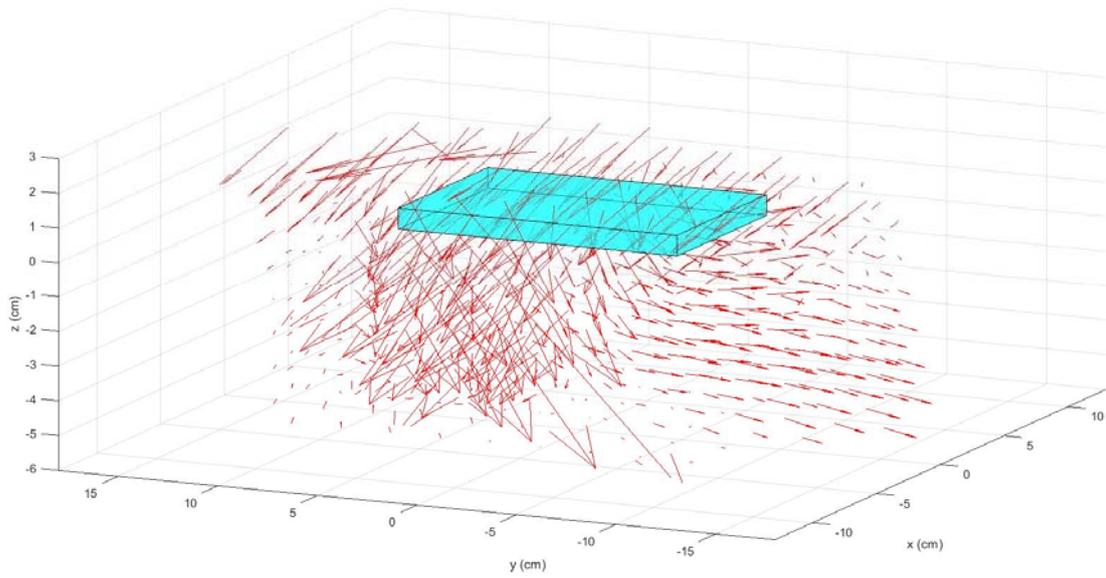
Riportiamo anzitutto le misure effettuate del campo locale (una per piano):

z (cm)	Componente x ( $\mu\text{T}$ )	Componente y ( $\mu\text{T}$ )	Componente z ( $\mu\text{T}$ )	Modulo ( $\mu\text{T}$ )
0	-25,96	-0,35	-43,51	50,67
-5,3	-26,13	0,74	-44,06	51,23
2	-28,30	0,49	-42,29	50,88
Riferimento campo terrestre	-23,00	0,00	-41,76	47,37

Osserviamo come le fluttuazioni da un piano all'altro sono nell'ordine del  $\mu\text{T}$ , mentre la discordanza col campo terrestre è di circa  $3\mu\text{T}$ : questo ci dà un'idea approssimata anche della precisione delle misure.

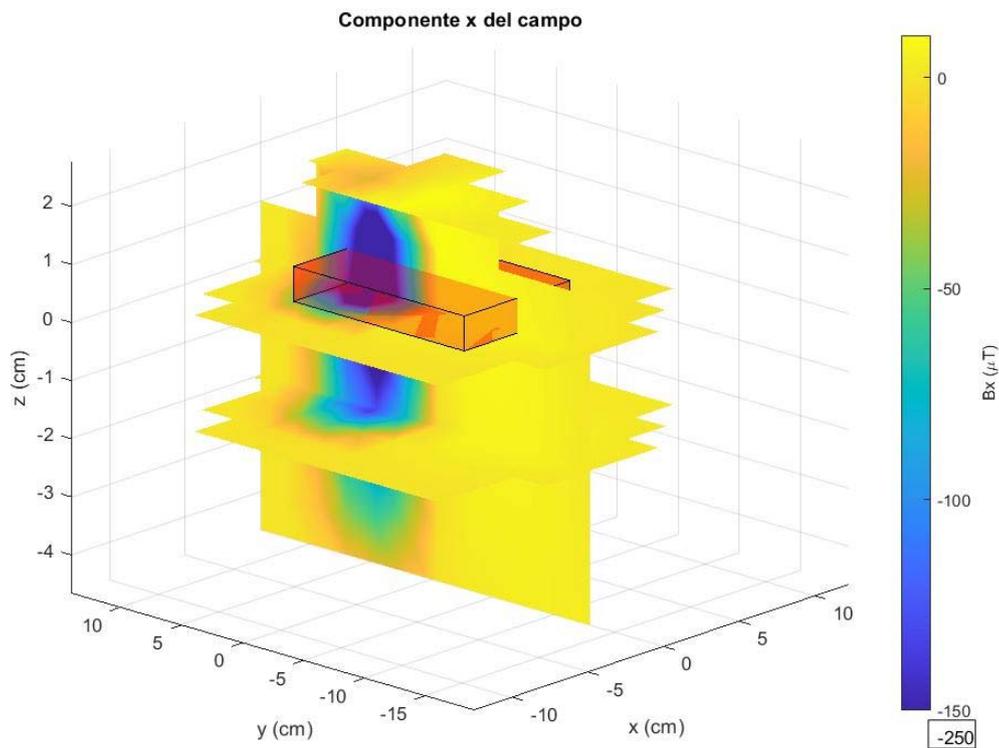
Riportiamo quindi i dati delle misure effettuate a cui è già stato sottratto il campo locale in forma di campo vettoriale: prima grezzi, poi interpolati. Nota: in tutti i grafici seguenti, il parallelepipedo semitrasparente rappresenta l'ingombro del telefono da misurare.

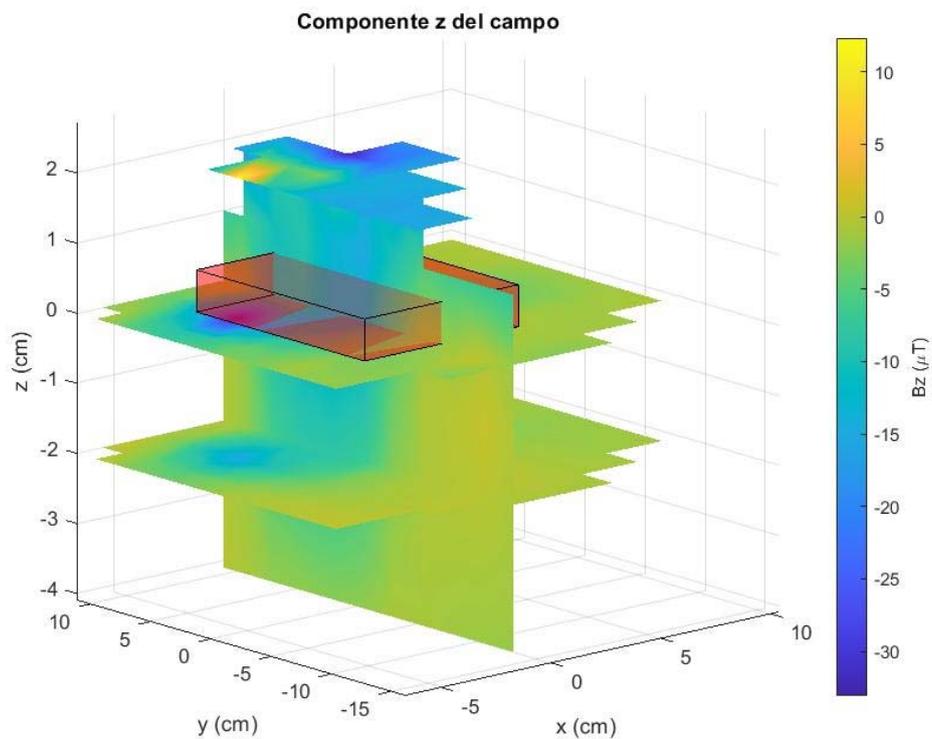
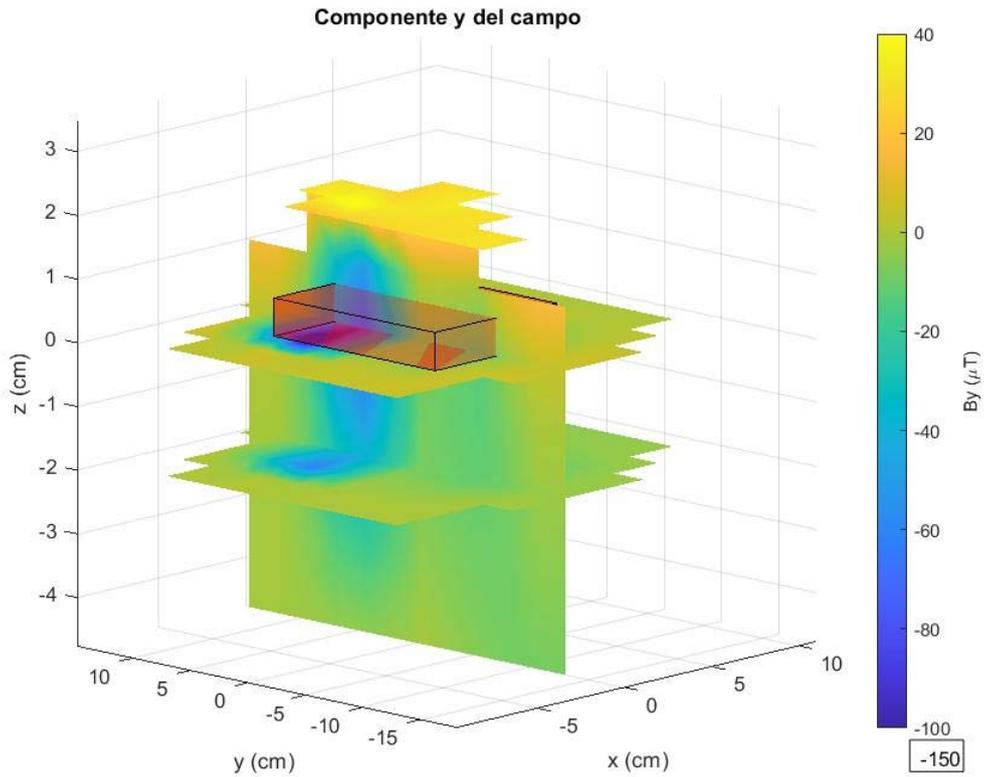




Non riscontriamo da questi grafici nessuna particolare regolarità.

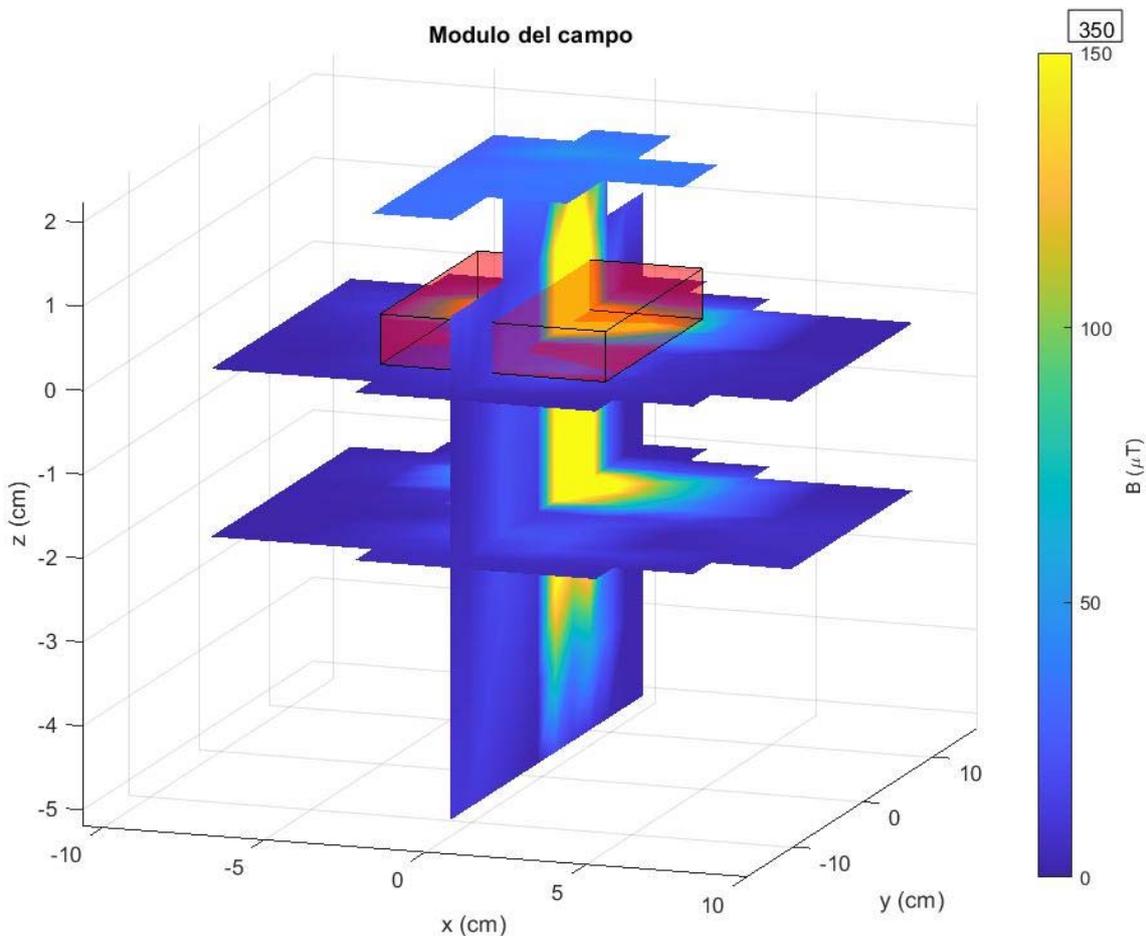
Riportiamo quindi i grafici componente per componente, tutto già interpolato (sarebbero funzioni di 3 variabili quindi le visualizziamo su alcuni piani).



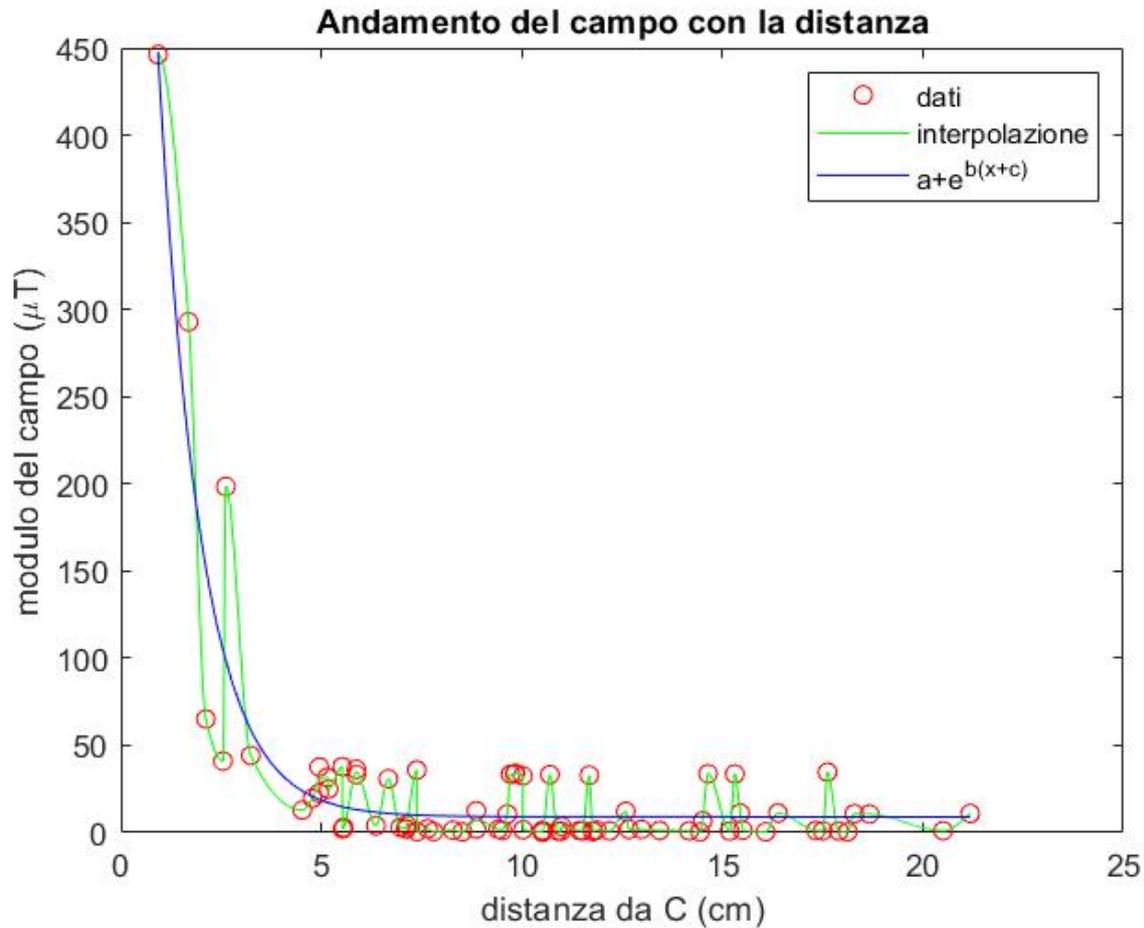


In particolare nella componente x (che è quella che raggiunge i valori più elevati) si nota come il campo sia tutto concentrato attorno ad un punto e vada poi a valori trascurabili entro 1 – 4 cm in base alla direzione; in tale area arriva a valori di circa 7 volte il campo terrestre. Nella componente y e z sembra esserci un comportamento diverso nel piano più alto, ma su questo

avevamo meno punti ed, in particolare  $z$ , ha valori più bassi e quindi risente di più degli errori. Sembrano poi essere presenti almeno due piani di simmetria ortogonali ai piani  $x$  e  $y$  e passanti per l'area in cui si hanno i valori più elevati. L'andamento con  $z$  appare invece più complicato: il campo va a 0 più velocemente verso l'alto che verso il basso, ma ciò è probabilmente dovuto al fatto che abbiamo misure a 2cm e a -5,3cm. (Lo abbiamo fatto per coprire più area, ma sarebbe probabilmente stato più efficace prendere il piano basso a -2cm). Tutto ciò risulta ben evidente anche nel grafico del modulo:



Soprattutto dalla visualizzazione vettoriale, non troviamo similitudini con alcun campo a noi noto (ad es. spira percorsa da corrente). Notiamo però un certo andamento con la distanza: non è davvero sferico, dai grafici sembra più il campo si propaghi come un ellissoide, ma abbiamo comunque provato a visualizzare l'andamento del modulo con la distanza indipendentemente dalla direzione. (Se c'erano più punti alla stessa distanza abbiamo fatto la media) In particolare, come "centro" abbiamo scelto il punto dove il campo è più elevato (nota: dove è più elevato nei dati interpolati, si vedrà poi, infatti, che nei dati sperimentali il massimo non è esattamente a 0 di distanza); tale punto è a  $(-0,5 \ 4,5 \ 0)$ cm e il modulo del campo è  $342 \ \mu T$ . Osserviamo anche che tale punto è a sinistra in basso della telecamera: così come il punto sensibile del telefono che misura.



Abbiamo provato a fare un fitting con una funzione esponenziale  $a + e^{b(x+c)}$  (abbiamo provato anche con una potenza negativa, ma i risultati erano peggiori) e il risultato è stato:  $a = 9 \pm 3 \mu\text{T}$ ,  $b = -0,94 \pm 0,08 \text{ cm}^{-1}$ ,  $c = -7,4 \pm 0,5 \text{ cm}$ .

Il  $\chi^2$  risulta molto alto: ciò è dovuto alla bassa accuratezza delle misure già discussa, ma anche al fatto che sono poche le misure significative, mentre molte sono in un'area dove la curva di fit è piatta; a posteriori sarebbe stato preferibile prendere più misure nell'area 0 – 8 cm e magari non perderne nessuna oltre i 12cm.

Comunque però la curva ci fornisce un andamento che ci fa capire il fenomeno a livello qualitativo (Nota: ovviamente è da intendersi nell'intervallo considerato e non per  $x$  che tende a 0, dove la curva divergerebbe).