



## MEDUSA

**Mini boa MEDUSA per il monitoraggio ambientale acqua**

### **Deliverable D2.a.1**

**Report su progettazione, costruzione e test funzionale dell'impedenziometro AC**

**Distribuzione riservata ai soli partner del progetto MEDUSA**



**10/03/2025**

## SOMMARIO ESECUTIVO

Il presente documento descrive accuratamente i passi fondamentali sulla progettazione e la costruzione di un sensore di impedienziometria AC riportando i vari schematici progettazioni meccaniche e elettroniche.

È composto da una sezione che mostra i risultati raggiunti suddivisi per tipologia di progettazione elettronica e meccanica: quindi una prima sezione descriverà in modo dettagliato tutta la progettazione elettronica del sensore custom, mentre una seconda sezione si occuperà della parte meccanica, quale progettazione e realizzazione mostrando non solo i cad 3D ma anche i materiali scelti per la sua realizzazione.

Al momento il progetto sta procedendo in linea con quanto pianificato nella proposta, per cui non ci sono deviazioni importanti da riportare, fermo restando che questo sensore sviluppato in modo custom per il progetto potrebbe essere migliorato con il proseguo del progetto stesso.

In conclusione si riporterà la versione finale del sensore di impedienziometria AC con le dovute conclusioni finali.

# SOMMARIO

<b>SOMMARIO.....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
<b>2. DESCRIZIONE DELLA IMPEDENZIOMETRIA AC .....</b>	<b>5</b>
<b>3. PROGETTAZIONE ELETTRONICA.....</b>	<b>6</b>
<b>4. PROGETTAZIONE MECCANICA.....</b>	<b>8</b>
<b>5. CONCLUSIONI .....</b>	<b>8</b>

## **1. INTRODUZIONE**

Il presente documento fornisce una descrizione dettagliata sulla progettazione del sensore di impedienziometria AC sviluppato appositamente per il progetto.

Il deliverable è suddiviso in diversi capitoli per permettere meglio una corretta comprensione dell'argomento in esame:

- Una prima parte che descrive in modo dettagliato la tecnica della impedienziometria AC e le sue applicazioni;
- Un capitolo (Capitolo 3) dedicato ai risultati raggiunti dal punto di vista di progettazione elettronica;
- Un capitolo (Capitolo 4) dedicato agli aspetti costruttivi del sensore, quindi progettazione meccanica, realizzazione dei pezzi e materiali utilizzati;

Infine si ha un capitolo finale per riportare le conclusioni e le prove fatte in laboratorio del sensore.

## 2. DESCRIZIONE DELLA IMPEDENZIOMETRIA AC

L'impedenziometria in corrente alternata (AC) è una tecnica di misurazione avanzata che permette di analizzare le proprietà elettriche di un materiale o di un sistema biologico attraverso l'applicazione di una corrente alternata a diverse frequenze. Grazie alla sua versatilità, trova applicazione in numerosi settori, tra cui la bio-impedenziometria, la scienza dei materiali e l'analisi delle acque. L'impedenza elettrica ( $Z$ ) è una grandezza complessa che combina resistenza ( $R$ ) e reattanza ( $X$ , che include contributi capacitivi e induttivi). È espressa matematicamente come:

$$Z = R + jX$$

Dove  $j$  è l'unità immaginaria. La misurazione dell'impedenza permette di ottenere informazioni sulla struttura interna di un materiale o di un fluido, in base al modo in cui la corrente attraversa il sistema.

A seconda della frequenza della corrente applicata, è possibile distinguere differenti fenomeni di conduzione e polarizzazione, che permettono di analizzare le caratteristiche specifiche del materiale studiato.

Nell'ambito biologico, la bio-impedenziometria (BIA) viene utilizzata per stimare la composizione corporea umana, misurando la resistenza e la reattanza dei tessuti biologici attraversati dalla corrente.

- A basse frequenze, la corrente attraversa prevalentemente i fluidi extracellulari.
- Ad alte frequenze, è in grado di penetrare all'interno delle cellule, permettendo una stima più accurata della massa magra e della massa grassa.

Questa tecnica è utilizzata anche in ambito clinico per la diagnosi e il monitoraggio di condizioni patologiche, come l'idratazione corporea, l'edema e alcune malattie metaboliche. Nell'industria e nella ricerca sui materiali, l'impedenziometria AC è applicata per studiare le proprietà dielettriche e conduttrive di materiali come polimeri, semiconduttori e membrane cellulari. La spettroscopia di impedenza elettrochimica (EIS) è una tecnica chiave per valutare le reazioni elettrochimiche in batterie, celle a combustibile e rivestimenti protettivi.

Una delle applicazioni più importanti dell'impedenziometria AC è l'analisi della qualità delle acque. Questa tecnica permette di valutare la conducibilità, la presenza di sostanze inquinanti e la composizione ionica dell'acqua in modo rapido e non distruttivo.

Nell'ambito dei parametri misurabili nell'analisi delle acque si analizzano principalmente la conducibilità elettrica (EC): misura la capacità dell'acqua di condurre elettricità, correlata alla presenza di sali disioolti (ioni come  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ). Maggiore è la concentrazione ionica, maggiore sarà la conducibilità. Inoltre un altro parametro importante di misura è la permittività dielettrica che aiuta a identificare la presenza di contaminanti non ionici (es. oli o composti organici). La misurazione della resistenza elettrica invece è utile per determinare la purezza dell'acqua, ad esempio nel caso dell'acqua deionizzata o ultra pura. Un altro parametro importante è la spettroscopia di impedenza che permette di distinguere tra diverse classi di contaminanti, come metalli pesanti, batteri e sostanze organiche.

I vantaggi dell'Impedenziometria nell'Analisi delle Acque sono: tecnica rapida e non invasiva cioè non richiede reagenti chimici o lunghe preparazioni dei campioni; alta sensibilità in grado di rilevare minime variazioni nella composizione chimica dell'acqua; monitoraggio in tempo reale utile per il controllo della qualità dell'acqua potabile, industriale e ambientale.

Alcuni studi recenti hanno dimostrato come l'uso di elettrodi impedenziometrici possa migliorare la rilevazione di contaminazioni microbiologiche (es. batteri e alghe) nelle acque destinate al consumo umano.

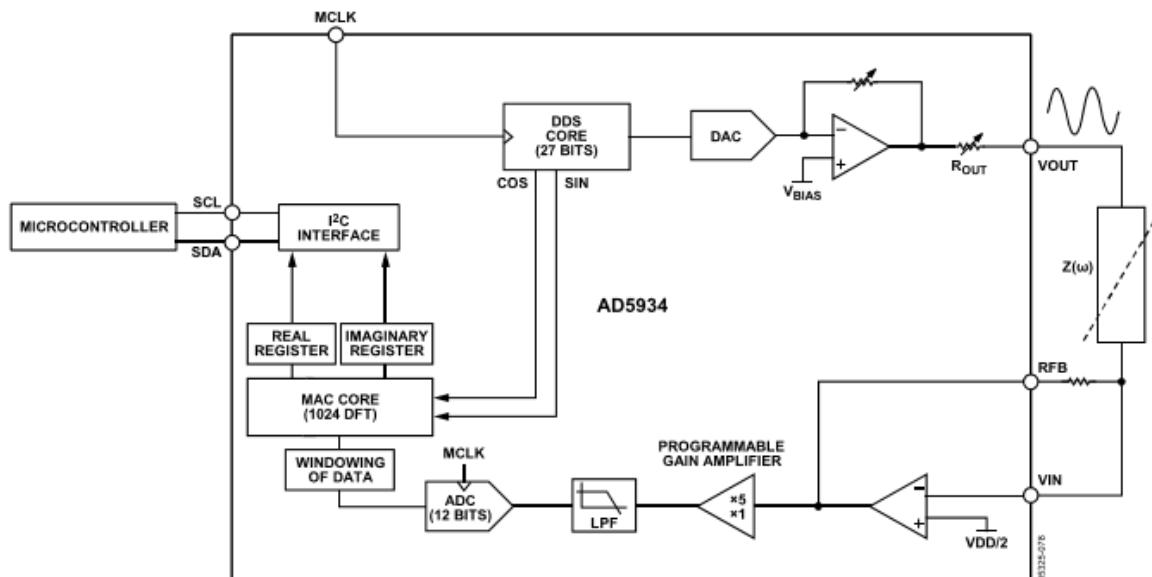
### 3. PROGETTAZIONE ELETTRONICA

La progettazione elettronica di questa parte della boa, cioè del sensore custom di impedenziometria AC, viene realizzata prendendo in considerazione un chip che riesce a leggere la variazione di impedenza e la converte in formato digitale. Per effettuare questo si è deciso di utilizzare uno componente di alta precisione quale AD5934. L'AD5934 è una soluzione di sistema di conversione di impedenza ad alta precisione che combina un generatore di frequenza con un convertitore analogico-digitale (ADC) a 12 bit e 250 kSPS. Il generatore di frequenza consente di eccitare un'impedenza complessa esterna ad esso collegata con una frequenza nota. Il segnale di risposta dall'impedenza viene campionato dall'ADC di bordo e una trasformata di Fourier discreta (DFT) viene elaborata da un motore DSP di bordo. L'algoritmo DFT restituisce una parola di dati reale (R) e immaginaria (I) a ciascuna frequenza di uscita. Una volta calibrata, la grandezza dell'impedenza e la fase relativa dell'impedenza in ogni punto di frequenza lungo la scansione sono facilmente calcolate utilizzando le due equazioni seguenti:

$$\text{Magnitudo} = \sqrt{R^2 + I^2}$$

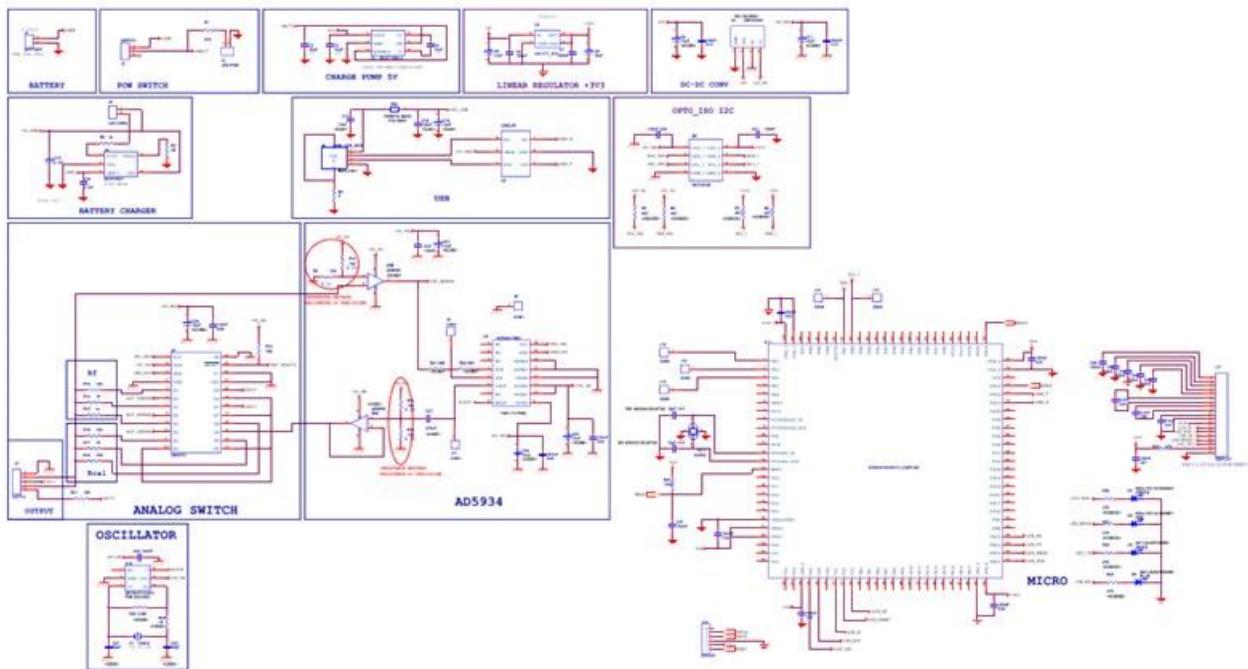
$$\text{Fase} = \tan^{-1}(I/R)$$

L'AD5934 può misurare con precisione un intervallo di valori di impedenza fino a meno dello 0,5% del valore di impedenza corretto per tensioni di alimentazione comprese tra 2,7 V e 5,5 V. Lo schema a blocchi che descrive la funzionalità del sistema è illustrato nella figura seguente.

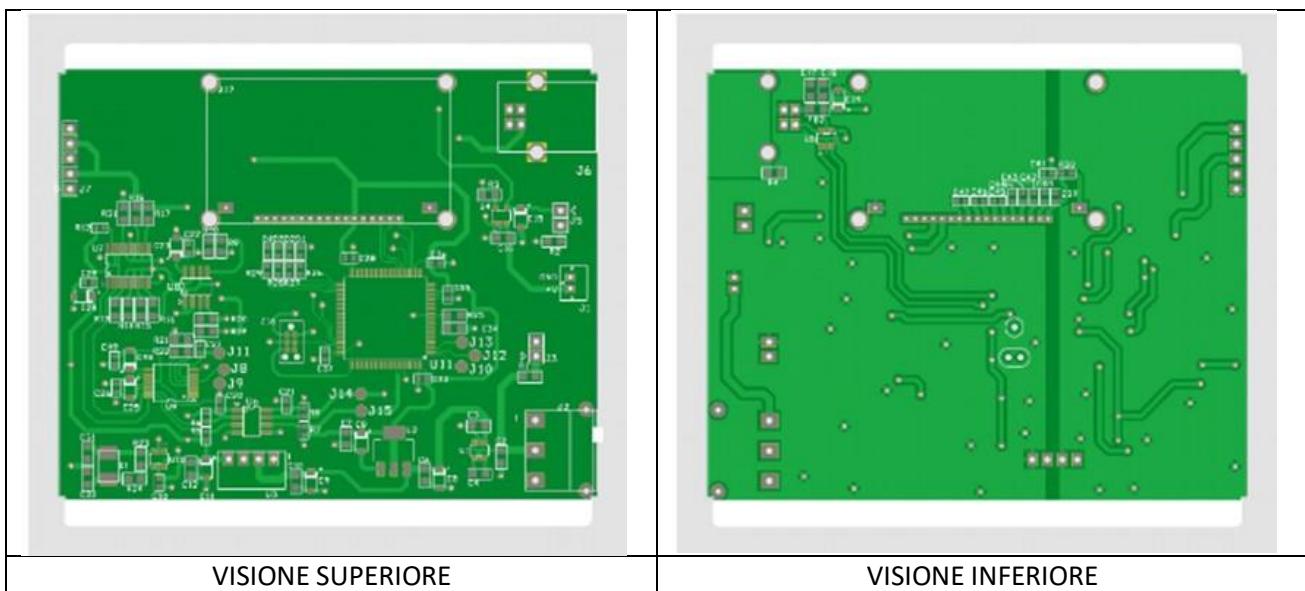


Come si vede dallo schema a blocchi, questo componente elettronico è facilmente interfacciabile con qualsiasi microcontrollore attraverso il bus di comunicazione I2C, che consente non solo di impostare le condizioni di misura quali tensione e frequenza ma anche di leggere la variazione di impedenza.

Sulla base dello schema a blocchi evidenziato in precedenza, si è costruito uno schema elettronico che interfacciasse questo componente con il microcontrollore e con gli elettrodi di misura. Di seguito riportiamo lo schematico della scheda elettronica.



Dallo schematico elettronico si passa, attraverso CAD dedicati di progettazione elettronico, alla progettazione del PCB (Printed Circuit Board). Di seguito si riportano le immagini rendering della scheda PCB di controllo degli elettrodi di impedenziometria AC.



## 4. PROGETTAZIONE MECCANICA

La costruzione di questo sensore di impedienziometria AC si sono utilizzati due elettrodi in acciaio inossidabile 316 è un acciaio inossidabile standard, il suo indice di inossidabilità (numero PREN) è infatti compreso in genere tra 25 e 28 ed è adatto all'impiego in ambienti interessati da acqua di mare e in alcune applicazioni navali non pesanti come per esempio l'utilizzo su boe di misurazioni. Questi elettrodi sono installati sulla parte della boa immersa in acqua e sono collegati alla scheda elettronica descritta in precedenza mediante la quale viene applicato un segnale sinusoidale puro sweepato in frequenza, in un intervallo di frequenze prefissato, al fine di misurare salinità e conducibilità dell'acqua. Questi elettrodi sporgono dal corpo boa di qualche centimetro in modo tale da permettere la misura ma inoltre da non risultare di intralcio per le varie operazioni di manutenzione da fare sulla boa e da non essere di intralcio per gli altri sensori. La distanza tra i due elettrodi è calcolata in modo opportuno per delle misurazioni efficaci nell'ambiente di utilizzo.

Di seguito si riporta un rendering 3D della boa in cui si evidenzia la posizione degli elettrodi per l'impedenziometria.



## 5. CONCLUSIONI

Il presente deliverable riassume l'attività di progettazione del sensore custom di impedienziometria AC dedicato all'analisi delle acque ed installato sulla boa. Al momento della stesura del deliverable questo sensore è stato completamente progettato e simulato la sua funzionalità ed è in fase di realizzazione sia dal punto di vista meccanico che elettronico. Nei successivi deliverable riguardanti la progettazione dell'elettronica e della parte meccanica della boa verranno riportate in modo complessivo tutto i vari sotto sistemi tra cui anche i sensori custom.