

# POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica



**Politecnico  
di Torino**

Tesi di Laurea Magistrale

## **Robot di campionamento automatico per i processi di vinificazione**

**Relatore**

Prof. Giuseppe Quaglia

**Candidato**

Pietro Vitrano

**Correlatore**

Prof.ssa Daniela Maffiodo

Dicembre 2024



# SOMMARIO

L'elaborato ha l'obiettivo di presentare una possibile soluzione per automatizzare un processo che fino ad oggi è sempre stato eseguito manualmente: la raccolta di campioni di vino all'interno delle cantine di produzione. L'idea è quella di realizzare un sistema completamente autonomo che possa muoversi all'interno di una cantina e raggiungere le varie botti da cui spillare il vino che poi andrà portato in un luogo adatto ad effettuare tutte le analisi e i test necessari per monitorare il corretto processo di vinificazione. Tale sistema dovrebbe essere costituito da una piattaforma mobile che gli permetta di muoversi liberamente, da un braccio robotico che gli permetta di raggiungere tutti i punti necessari e da un end-effector (ossia la mano vera e propria del robot) che gli permetta di interfacciarsi e di agire su tutti gli organi utili al fine ultimo della raccolta del campione di vino. La tesi in questione si concentrerà proprio su quest'ultimo aspetto, ovvero sui componenti di cui il sistema robot dovrà disporre per interfacciarsi con le botti di una cantina e per portare correttamente a termine le operazioni di raccolta del vino. Verranno prese in analisi le attività che l'end-effector dovrà necessariamente saper svolgere e verranno proposte le soluzioni più efficaci per farlo; il tutto sarà supportato da un'estesa raccolta di dati e da un'approfondita attività di laboratorio che fornirà una stima di quelle che saranno, o perlomeno dovranno essere, le caratteristiche e le capacità specifiche del sistema finale. Il lavoro svolto e presentato nel corso di questo elaborato vorrà essere una base di appoggio su cui proseguire gli studi e le sperimentazioni con l'obiettivo di realizzare in futuro un prototipo perfettamente funzionante.



# Indice

Indice delle figure .....	6
Indice delle tabelle .....	8
<b>1</b> Introduzione .....	11
<b>2</b> Requisiti .....	15
2.1 Ambiente di lavoro.....	15
2.2 Test di coppia su rubinetto assaggiavino .....	21
2.2.1 Banco prova .....	21
2.2.2 Risultati .....	24
2.3 Test di portata su rubinetto assaggiavino.....	31
2.3.1 Banco prova .....	32
2.3.2 Risultati sperimentali .....	35
2.3.3 Analisi dei dati e modello teorico.....	44
<b>3</b> Circuito idraulico.....	57
3.1 Imbutto di raccolta.....	61
3.1.1 Test di pulizia .....	63
3.2 Caratterizzazione pompe .....	71
3.2.1 Pompa di scarico .....	71
3.2.2 Pompa di mandata dell'acqua pulita .....	77
3.3 Caratterizzazione sensore di pressione .....	87
3.4 Prototipo di circuito completo e test sperimentali .....	97
<b>4</b> Conclusioni.....	105
Bibliografia .....	109

# Indice delle figure

Figura 1 - tipica struttura di una cantina vinicola .....	15
Figura 2 - vasca in acciaio per vino.....	16
Figura 3 - rubinetto assaggiavino .....	17
Figura 4 - manopola del rubinetto.....	18
Figura 5 - corpo del rubinetto.....	18
Figura 6 - rubinetto assaggiavino completo.....	19
Figura 7 - cella di carico .....	21
Figura 8 - schema funzionale dell'integrazione del rubinetto nella cella di carico .....	22
Figura 9 - rubinetto fissato alla cella di carico.....	23
Figura 10 - anello stampato in 3D ed utilizzato per fissare la manopola del rubinetto .....	24
Figura 11 - andamento della coppia applicata per svitare il rubinetto (prova generica) .....	25
Figura 12 - andamento della coppia applicata per svitare il rubinetto (prova con basso attrito).....	26
Figura 13 - andamento della coppia applicata per svitare il rubinetto (prova con alto attrito).....	27
Figura 14 - vista in sezione dall'alto della manopola che scorre assialmente all'interno del corpo del rubinetto .....	31
Figura 15 - tanica con rubinetto integrato.....	33
Figura 16 - caraffa graduata al di sotto del rubinetto integrato alla tanica.....	34
Figura 17 - andamento della portata in funzione del numero di giri della manopola del rubinetto.....	42
Figura 18 - tempo necessario per raccogliere un volume di 300 ml.....	43
Figura 19 - confronto tra curva sperimentale e curva teorica di fitting ottenuta per h=100mm.....	47
Figura 20 - confronto tra curva sperimentale e curva teorica di fitting ottenuta per h=70mm.....	48
Figura 21 - confronto tra curva sperimentale e curva teorica di fitting ottenuta per h=130mm.....	48
Figura 22 - confronto tra curva sperimentale e curva polinomiale (h=100mm) .....	51
Figura 23 - confronto tra curva sperimentale e curva polinomiale (h=70mm) .....	52
Figura 24 - confronto tra curva sperimentale e curva polinomiale (h=130mm) .....	53
Figura 25 - schema del circuito idraulico per la raccolta dei campioni di vino .....	58
Figura 26 - disegno tecnico quotato dell'imbuto di raccolta.....	61
Figura 27 - imbuto di raccolta ottenuto tramite stampa 3D.....	62
Figura 28 - schema del circuito di mandata dell'acqua per la pulizia .....	63
Figura 29 - schema di una vista in sezione dall'alto di un canale di distribuzione dell'acqua.....	65
Figura 30 - modello CAD dell'anello forato per simulare i diversi canali di distribuzione dell'acqua .....	66
Figura 31 - vista in sezione dall'alto dei diversi canali di distribuzione dell'acqua.....	66
Figura 32 - imbuto con anello di distribuzione dell'acqua .....	67
Figura 33 - modello CAD del nuovo anello di distribuzione dell'acqua.....	69
Figura 34 - vista in sezione dall'alto dei canali di distribuzione dell'acqua posti a 90° .....	69
Figura 35 - imbuto con nuovo anello di distribuzione dell'acqua .....	70
Figura 36 - schema del circuito della pompa di scarico.....	72
Figura 37 - pompa peristaltica usata per lo scarico dell'imbuto .....	73
Figura 38 - circuito per testare la pompa di scarico .....	73
Figura 39 - tempo necessario a scaricare un determinato volume contenuto nell'imbuto .....	77

Figura 40 - schema del circuito di mandata dell'acqua pulita .....	78
Figura 41 - pompa a membrana per la mandata dell'acqua pulita .....	79
Figura 42 - circuito per testare la pompa di mandata .....	80
Figura 43 - portata erogata dalla pompa di mandata in funzione della sua tensione di alimentazione .....	85
Figura 44 - schema del sensore di pressione integrato sul fondo dell'imbuto .....	87
Figura 45 - sensore di pressione .....	88
Figura 46 - sensore di pressione integrato all'imbuto.....	88
Figura 47 - circuito per testare il sensore di pressione .....	89
Figura 48 - schema geometrico dell'imbuto di raccolta.....	90
Figura 49 - caratteristica p-V del sensore di pressione integrato all'imbuto .....	95
Figura 50 - schema del prototipo di circuito completo.....	98
Figura 51 - circuito idraulico completo realizzato in laboratorio.....	99

# Indice delle tabelle

Tabella 1 - coppia massima registrata in 15 differenti prove .....	28
Tabella 2 - valore medio della coppia massima con relativa deviazione standard e valore massimo .....	28
Tabella 3 - coppia stazionaria registrata in 15 differenti prove.....	30
Tabella 4 - valore medio della coppia stazionaria con relativa deviazione standard.....	30
Tabella 5 - portata ricavata dal volume raccolto in un certo intervallo di tempo (prova 1 con h=70mm).....	36
Tabella 6 - portata ricavata dal volume raccolto in un certo intervallo di tempo (prova 2 con h=70mm).....	36
Tabella 7 - portata ricavata dal volume raccolto in un certo intervallo di tempo (prova 3 con h=70mm).....	37
Tabella 8 - portata ricavata dal volume raccolto in un certo intervallo di tempo (prova 1 con h=100mm).....	37
Tabella 9 - portata ricavata dal volume raccolto in un certo intervallo di tempo (prova 2 con h=100mm).....	38
Tabella 10 - portata ricavata dal volume raccolto in un certo intervallo di tempo (prova 3 con h=100mm).....	38
Tabella 11 - portata ricavata dal volume raccolto in un certo intervallo di tempo (prova 1 con h=130mm).....	39
Tabella 12 - portata ricavata dal volume raccolto in un certo intervallo di tempo (prova 2 con h=130mm).....	39
Tabella 13 - portata ricavata dal volume raccolto in un certo intervallo di tempo (prova 3 con h=130mm).....	40
Tabella 14 - portata in funzione del numero di giri della manopola del rubinetto (h=70mm).....	40
Tabella 15 - portata in funzione del numero di giri della manopola del rubinetto (h=100mm).....	41
Tabella 16 - portata in funzione del numero di giri della manopola del rubinetto (h=130mm).....	41
Tabella 17 - differenza tra portata sperimentale e portata teorica di fitting (h=70mm).....	49
Tabella 18 - differenza tra portata sperimentale e portata teorica di fitting (h=100mm).....	50
Tabella 19 - differenza tra portata sperimentale e portata teorica di fitting (h=130mm).....	50
Tabella 20 - differenza tra portata sperimentale e modello polinomiale (h=70mm).....	54
Tabella 21 - differenza tra portata sperimentale e modello polinomiale (h=100mm).....	54
Tabella 22 - differenza tra portata sperimentale e modello polinomiale (h=130mm).....	55
Tabella 23 - confronto errori percentuali ottenuti con i due diversi modelli di fitting.....	55
Tabella 24 - portata misurata a partire dal volume raccolto in un determinato intervallo di tempo	75
Tabella 25 - valore medio di portata e relativa deviazione standard .....	75
Tabella 26 - tempo misurato per scaricare un determinato volume d'acqua.....	76
Tabella 27 - portata ricavata dal volume raccolto in un determinato intervallo di tempo (prova 1)	81
Tabella 28 - portata ricavata dal volume raccolto in un determinato intervallo di tempo (prova 2)	82
Tabella 29 - portata ricavata dal volume raccolto in un determinato intervallo di tempo (prova 3)	83
Tabella 30 - portata in funzione della tensione di alimentazione.....	84
Tabella 31 - volume misurato dal sensore di pressione (prova 1).....	92



Tabella 32 - volume misurato dal sensore di pressione (prova 2).....	93
Tabella 33 - volume misurato dal sensore di pressione (prova 3).....	93
Tabella 34 - volume in funzione della lettura di pressione del sensore.....	94
Tabella 35 - differenza tra volume reale e volume ottenuto dalla misura del sensore.....	96
Tabella 36 - differenza media e differenza massima tra volume reale e volume misurato.....	96
Tabella 37 - confronto dati stimati e dati misurati nelle prove sul circuito completo.....	102



# 1 Introduzione

Le cantine di produzione vinicola, e in generale tutto il settore agroalimentare, hanno subito negli ultimi anni un forte processo di ammodernamento e di innovazione tecnologica. Non sorprende più imbattersi in aziende agricole che hanno a disposizione sofisticate macchine automatiche o intelligenti software di gestione che supportano e migliorano la produzione. All'interno delle cantine più sviluppate è ormai possibile vedere l'impronta della tecnologia e dell'automazione in quasi ogni fase della produzione vinicola: si passa dalle macchine che supportano le fasi di vendemmia [1] e di pigiatura [2] alle macchine automatiche utilizzate per l'imbottigliamento [3], passando per software che sono in grado di raccogliere centinaia di dati al secondo e tenere continuamente sotto controllo ogni fase produttiva dalla raccolta fino alla vendita [4].

Nonostante questa massiccia innovazione, alcune attività richiedono ancora il lavoro di operatori umani che talvolta si ritrovano a svolgere mansioni piuttosto meccaniche o comunque certamente lunghe, noiose e ripetitive. Tra queste viene senz'altro da sottolineare l'attività degli enologi deputati a testare ed analizzare i vini che stanno attraversando la fase di fermentazione o che stanno semplicemente invecchiando all'interno delle loro botti; questi operatori devono raccogliere manualmente da ciascuna botte un campione di vino da assaggiare o da trasportare in un secondo luogo in cui verrà analizzato tramite altri strumenti. Sicuramente una macchina non potrà mai sostituire l'esperienza e il tatto che un esperto possiede nel giudicare un vino, ma certamente si può pensare ad un sistema che aiuti e supporti l'enologo togliendogli l'incombenza delle operazioni meccaniche e ripetitive (quali la raccolta dei campioni) e lasciando che egli si concentri sull'aspetto qualitativo del suo lavoro (ovvero sui test e sugli assaggi). Per questo motivo si è pensato alla realizzazione di un sistema automatico che lavori all'interno delle cantine e che raccolga autonomamente campioni di vino direttamente dalle botti in cui viene stoccato per poi trasportarlo nei luoghi adibiti ad effettuare tutte le analisi necessarie; l'obiettivo di questo lavoro di tesi è proprio quello di ideare il sistema che svolga quanto appena descritto nella maniera più efficace possibile.

Tale sistema deve essere costruito in modo tale che possa muoversi liberamente all'interno di una cantina così da poter raggiungere qualsiasi botte e che riesca a raggiungere e interfacciarsi con i rubinetti/valvole delle stesse in modo da spillarne il vino.

L'idea è quella di realizzare un sistema che sia dotato di:

- Una piattaforma mobile che permetta il libero movimento lungo tutti gli spazi della cantina e il raggiungimento di ciascuna botte.
- Un braccio robotico che permetta di raggiungere i punti di interesse quali i rubinetti delle botti e che permetta di movimentare e sistemare i campioni raccolti o qualsiasi altro organo utile alle attività da svolgere.
- Un end-effector che rappresenta la vera e propria "mano" del braccio robotico e che permetta di agire sui rubinetti, raccogliere fisicamente il vino spillato e manipolare qualsiasi oggetto utile alle attività da svolgere.

La parte più caratterizzante di tutto il sistema è senza dubbio l'end-effector: esso rappresenta l'unica vera interfaccia tra il robot e l'ambiente circostante ed è lui il responsabile di tutte le attività necessarie a completare le operazioni di raccolta dei campioni.

L'end-effector deve sostanzialmente essere in grado di svolgere due attività: aprire e chiudere il rubinetto della botte e raccogliere il vino che ne esce fuori. Per fare ciò si è pensato di dotare tale appendice di una pinza rotante che sia in grado di afferrare la manopola di un rubinetto e ruotarla in un senso e nell'altro per aprire e chiudere il flusso di vino in uscita; porre poi al di sotto di questa un imbuto che sarà pronto a raccogliere il vino in caduta diretta dal rubinetto.

L'elaborato in questione si concentrerà in particolar modo sull'imbuto e sul circuito idraulico che lo segue (di questo se ne parlerà approfonditamente nei capitoli a seguire). Come accennato, l'imbuto sarà l'organo responsabile di raccogliere fisicamente il vino che fuoriuscirà dal rubinetto aperto e indirizzarlo poi alla sua destinazione finale che sarà un contenitore adatto a stoccarne un volume adeguato ma che, allo stesso tempo, sia facilmente trasportabile e non eccessivamente ingombrante: verosimilmente si tratterà di un insieme di provette che potranno essere radunate e sistemate in un unico portaprovette per poter poi essere trasportate tutte insieme in laboratorio una volta terminato il giro di raccolta di tutti i campioni. È chiaro, dunque, che l'imbuto rappresenta soltanto il primo anello di una lunga catena di operazioni e strumenti necessari per finalizzare correttamente la raccolta; tali strumenti, incluso il portaprovette, saranno tutti integrati alla piattaforma mobile in modo che il sistema possa sempre muoversi nella sua interezza e lavorare in maniera continuativa e iterativa una raccolta dopo l'altra.

L'obiettivo di questa tesi è realizzare e ottimizzare l'imbutto di raccolta e ideare il circuito idraulico a seguire in modo che provveda allo smistamento del vino nella maniera più efficiente possibile. Nei prossimi capitoli verrà dapprima preso in analisi l'ambiente di lavoro in cui il robot dovrà operare, ossia una cantina di produzione vinicola, con un importante approfondimento sui rubinetti delle botti da cui fuoriesce il vino da spillare; successivamente l'elaborato si concentrerà sulla raccolta vera e propria del campione di vino focalizzando l'attenzione sull'imbutto e su tutte le operazioni che seguono a partire da esso.



## 2 Requisiti

### 2.1 Ambiente di lavoro

Il sistema robot che si sta progettando lavorerà all'interno degli ambienti in cui le aziende vinicole decideranno di sistemare le loro botti. Generalmente si tratta di luoghi chiusi che presentano una serie di botti disposte in fila l'una accanto all'altra anticipate da lunghi corridoi: nella figura mostrata in seguito si può osservare una classica cantina [5] caratterizzata dalle file di botti intervallate ai corridoi utilizzati per raggiungerle. Questi corridoi solitamente si presentano piuttosto ampi e, per quanto possibile, completamente lisci e privi di ostacoli quali gradini o ripidi saliscendi; questo perché la maggior parte delle cantine sono già abituate a lavorare con diversi macchinari che usano tali corridoi come vie di passaggio. Tutto ciò si adatta perfettamente alle caratteristiche della piattaforma mobile del robot che si ritroverà ad operare in un ambiente già adattato e congeniale alle sue capacità.



Figura 1 - tipica struttura di una cantina vinicola

Vista la struttura generale di una cantina, è opportuno adesso concentrare l'attenzione su ciò che è davvero importante all'interno di una cantina: le botti. Queste possono essere di diversi tipi, di diversi materiali e di diverse dimensioni ma, al giorno d'oggi, si può affermare che quelle diventate di uso più comune siano quelle in acciaio, ed è proprio questa tipologia di botte che verrà presa come riferimento principale per tutte le considerazioni a seguire. Una botte in acciaio, che per correttezza andrebbe chiamata vasca, presenta generalmente una forma cilindrica e poggia su tre o quattro gambe, può avere un'altezza che arriva anche oltre i 5 metri e una capacità che, nel caso delle grandi cantine industriali, arriva e addirittura supera i 10000 litri. Nella figura sottostante viene mostrato un esempio di vasca in acciaio inox dalle medie dimensioni e dalla capacità di 1000 litri [6].



Figura 2 - vasca in acciaio per vino



Al di là delle varie caratteristiche che una botte può avere, ciò su cui è indispensabile focalizzarsi è il rubinetto dal quale spillare il vino: è questo l'unico organo con il quale il sistema robot andrà davvero ad interagire ed è quindi fondamentale conoscerne le caratteristiche, il funzionamento e qualsiasi peculiarità che possa essere utile prevedere per garantire poi la corretta raccolta del campione. Ciascuna vasca ha tipicamente due "uscite": una valvola dalla grossa portata utilizzata quando si vuole svuotare completamente la vasca e un rubinetto più piccolo utilizzato quando si vuole estrarre una moderata quantità di vino per effettuare test o assaggi. Quest'ultimo prende per l'appunto il nome di "rubicetto assaggiavino" (figura 3) ed è, in accordo con i temi e gli obiettivi di questo elaborato, la componente di interesse principale riguardo ad una vasca per il vino.



Figura 3 - rubinetto assaggiavino

Relativamente ai rubinetti assaggiavino non esiste un vero e proprio standard, se ne possono incontrare di diverse forme e tipologie che, tuttavia, possono essere tutte ricondotte al medesimo meccanismo di funzionamento. Quello mostrato qui sopra è un tipico esempio di rubinetto assaggiavino [7], si tratta di uno dei modelli più comuni nonché il rubinetto che è stato fisicamente utilizzato per condurre in laboratorio numerose prove i cui risultati verranno esposti nei paragrafi a seguire.

Tale rubinetto è costituito da:

- Un corpo cilindrico cavo che presenta ad un'estremità un attacco filettato che andrà integrato alla vasca e sul fianco un beccuccio verticale da cui fuoriuscirà il vino.
- Una manopola cilindrica filettata che ha sede all'interno del corpo cavo e proprio lungo il suo asse è libera di scorrere avanti e indietro.

Il suo funzionamento è molto semplice: la traslazione assiale della manopola all'interno del corpo cilindrico favorisce l'apertura di una sezione parziale del beccuccio verticale da cui sarà libero di fuoriuscire il vino. Quando la manopola è completamente inserita all'interno del corpo cilindrico, copre interamente la sezione verticale del beccuccio di uscita (rubinetto chiuso); ruotandola nel senso opportuno, questa inizia a scorrere lungo l'asse del cilindro e scopre man mano una sezione sempre maggiore del beccuccio lasciando libero il passaggio per il vino (rubinetto aperto). A seguire le immagini delle due componenti del rubinetto e dello stesso nella sua interezza.



Figura 4 - manopola del rubinetto



Figura 5 - corpo del rubinetto



Figura 6 - rubinetto assaggiavino completo

Come già accennato in precedenza, questo rubinetto assaggiavino è di fondamentale importanza per tutto il sistema che si sta progettando, poiché rappresenta l'unica vera e propria interfaccia tra la vasca che contiene il vino e il robot che dovrà occuparsi di raccoglierne dei campioni. Durante l'introduzione è stato spiegato come l'end-effector abbia sostanzialmente due attività da svolgere: aprire e chiudere il rubinetto e raccogliere il vino che ne viene fuori; entrambe le operazioni sono per forza di cose legate alle caratteristiche del rubinetto assaggiavino. Da quest'ultimo dipenderà il dimensionamento della pinza che lo dovrà azionare e dipenderanno le portate di vino che il circuito dovrà essere in grado di gestire. Lo studio di questo rubinetto e delle sue caratteristiche è, dunque, indispensabile per conoscere meglio i requisiti che il robot di campionamento dovrà soddisfare.

Per questo motivo si è reso necessario dotarsi di un vero rubinetto assaggiavino e condurre su di esso una serie di prove che avrebbero fornito una panoramica delle sue principali caratteristiche. Queste saranno poi un'importante base teorica su cui progettare e realizzare quelle che dovranno essere le reali specifiche del sistema di campionamento finale.

Nei prossimi paragrafi verranno descritte nel dettaglio le prove condotte in laboratorio sul rubinetto assaggiavino mostrato in figura 6 e verranno discussi i risultati ottenuti. In particolare, sono state realizzate due tipologie di prove:

- Prove di coppia utili per individuare lo sforzo necessario ad aprire e chiudere la manopola del rubinetto.
- Prove di portata per avere un'idea quantitativa dei volumi di vino che il rubinetto è in grado di erogare.

## 2.2 Test di coppia su rubinetto assaggiavino

Come è stato già spiegato, il rubinetto è completamente chiuso quando la manopola a vite si trova all'interno del corpo cilindrico premuta fino in fondo alla sua estremità. A partire da questa posizione, se si vuole aprire il flusso di vino, occorre ruotare la manopola in modo che questa inizi a traslare assialmente. Tale operazione sarà deputata alla pinza dell'end-effector che, ovviamente, andrà dimensionata in maniera opportuna; per questo motivo sono state condotte sul rubinetto una serie di prove con l'intento di individuare la coppia che è necessario applicare per svitare la manopola. Nei paragrafi seguenti verrà descritto nel dettaglio il banco prova allestito per effettuare tali test e verranno riportati e discussi i risultati ottenuti.

### 2.2.1 Banco prova

Per realizzare questi test di coppia è stata utilizzata una cella di carico (mostrata nella figura seguente) piuttosto sofisticata che permette la misurazione di tutte le forze agenti su un determinato oggetto lungo i 6 principali assi (3 lineari e 3 di rotazione).



Figura 7 - cella di carico

Viene presentato adesso uno schema funzionale di come il rubinetto assaggiavino è stato integrato alla suddetta cella di carico per permettere la raccolta delle misurazioni.

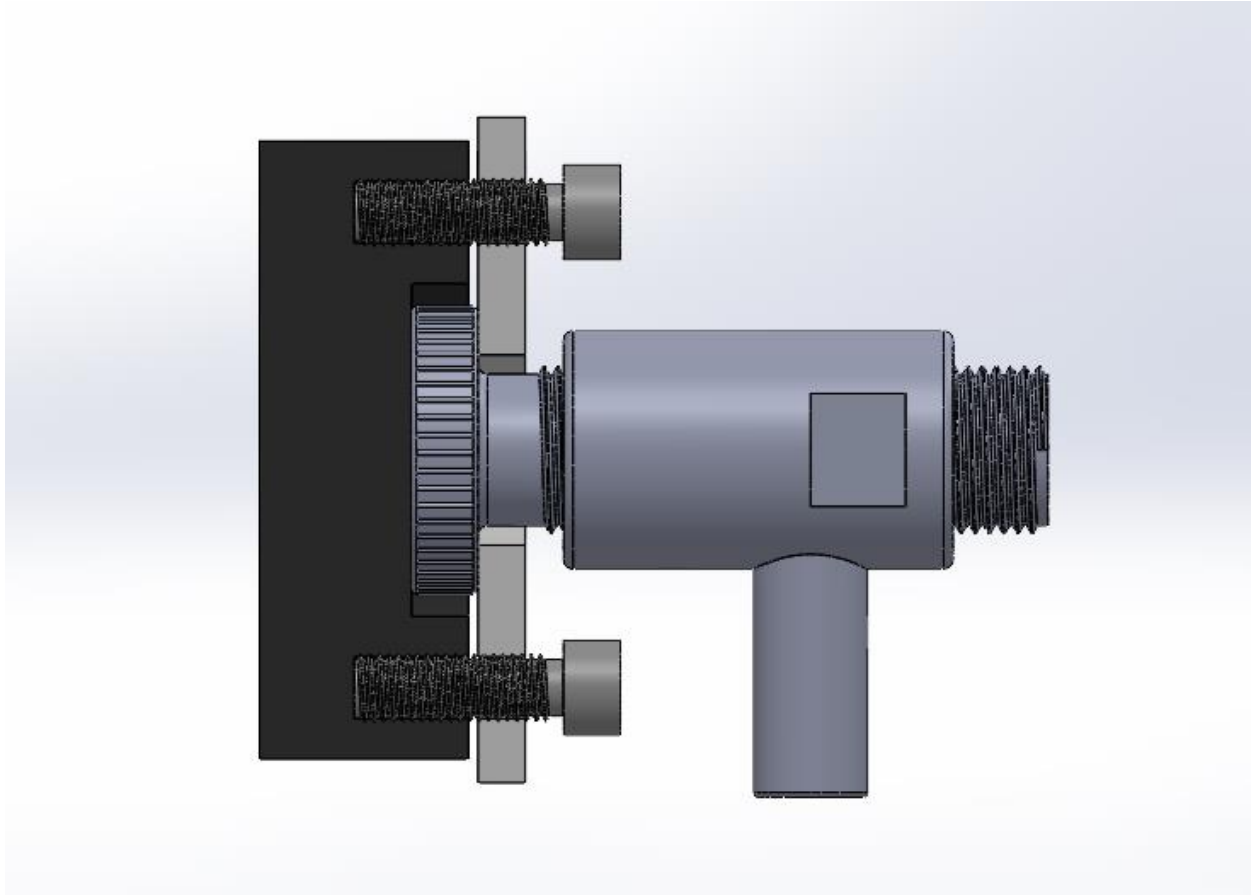


Figura 8 - schema funzionale dell'integrazione del rubinetto nella cella di carico

Quella rappresentata in nero sulla sinistra è la cella di carico vista in sezione e il rubinetto è stato posizionato nella sua sede dalla parte della manopola; questa è stata poi fissata tramite un anello di supporto (rappresentato in bianco e anch'esso visto in sezione) appositamente modellato e stampato in 3D e ancorato alla cella mediante delle viti. In questo modo, al contrario di quanto dovrebbe avvenire normalmente, la manopola è stata fissata e mantenuta ferma mentre il corpo del rubinetto poteva essere ruotato liberamente. Le misurazioni sono state interamente processate grazie ad un codice Matlab che comunicava direttamente con la cella di carico e venivano eseguite secondo le seguenti modalità: il corpo del rubinetto veniva avvitato fino in fondo alla sua manopola, dopodiché si faceva partire il codice che per prima cosa attuava una calibrazione automatica; successivamente, al momento opportuno, si iniziava a svitare il corpo del rubinetto dal resto della manopola e il

sensores registrava la coppia applicata nell'arco di tutto il processo (la durata di acquisizione dei dati era fissata a 5 secondi). Terminata l'acquisizione, il software restituiva una curva che mostrava l'andamento della coppia nel tempo; da tale curva si poteva poi estrapolare la coppia massima applicata.

Qui di seguito viene mostrata la realizzazione in laboratorio dello schema funzionale presentato poc'anzi e viene mostrato il dettaglio dell'anello di supporto stampato in 3D ed utilizzato per fissare la manopola del rubinetto alla cella di carico.



Figura 9 - rubinetto fissato alla cella di carico

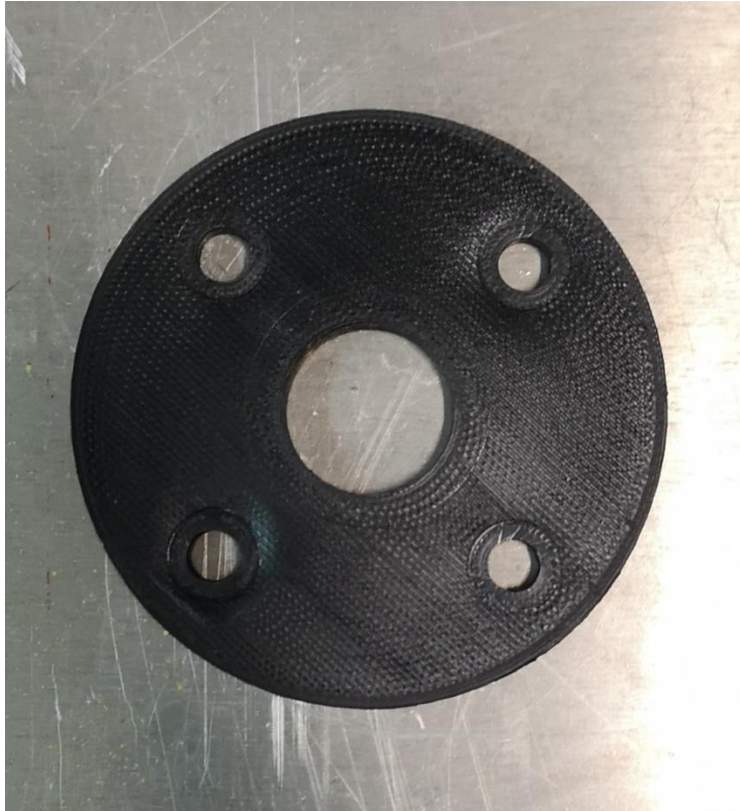


Figura 10 - anello stampato in 3D ed utilizzato per fissare la manopola del rubinetto

### 2.2.2 Risultati

Sono state eseguite diverse prove a ripetizione con l'intento principale di individuare la coppia massima necessaria ad aprire e chiudere il rubinetto assaggiavino. Ciò che ci si aspetta dalle curve risultanti è un andamento che presenti un picco in corrispondenza di quella che si potrebbe definire la "coppia di stacco", ovvero la coppia necessaria a far muovere la manopola e farla iniziare a ruotare; dopodiché ci si aspetta una coppia costante e decisamente più bassa che rappresenta la coppia necessaria per continuare a svitare la manopola.

Effettivamente, in accordo con le previsioni, l'andamento della coppia applicata al rubinetto è risultato il seguente:



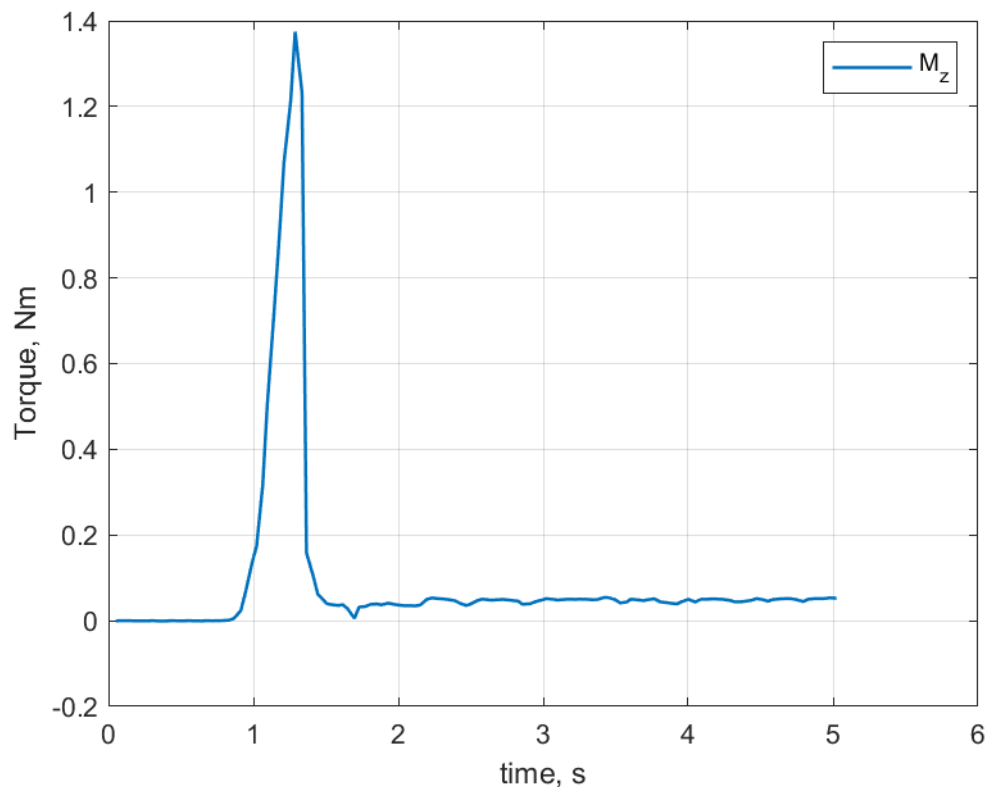


Figura 11 - andamento della coppia applicata per svitare il rubinetto (prova generica)

Si può osservare come la coppia presenti subito un picco elevato (poco al di sotto di 1,4 Nm) che rappresenta lo sforzo che è necessario applicare per iniziare a svitare il rubinetto; dopodiché, per continuare a ruotare la manopola, è evidente come sia sufficiente mantenere una coppia costante di poco superiore allo 0 e, quindi, quasi trascurabile.

È doveroso, però, fare delle osservazioni: effettuando una serie di prove l'una dietro l'altra, il rubinetto veniva periodicamente aperto e richiuso con una forza manuale che poteva variare leggermente da prova a prova. La diversa coppia applicata ogni volta per chiudere il rubinetto influenzava per forza di cose la successiva coppia che si doveva applicare per riaprirlo. Serrando la vite della manopola del rubinetto con una forza più o meno elevata, si poteva, inoltre, dare vita a delle deformazioni più o meno accentuate dell'anello di supporto in plastica o della guarnizione del rubinetto (che consisteva sostanzialmente in un anello di gomma che si interponeva tra le due superfici di battuta della manopola e del corpo del rubinetto). A queste seguivano dei fenomeni di strisciamento relativo, osservabili durante lo svitamento, tra le superfici della manopola e la superficie dell'anello in plastica da una parte e la superficie della cella di carico dall'altra (dove, tra l'altro, è stato interposto un disco in tessuto per non rovinare il metallo dei due corpi).

Effettuando diverse prove è stato confermato che i fattori appena descritti influenzassero i valori di coppia necessari ad aprire il rubinetto e la causa madre di tutto ciò era la diversa “manualità” con cui venivano eseguiti i vari test. Riflettendoci bene, il fenomeno ha perfettamente senso ed è facilmente comprensibile: ogni volta che si richiudeva il rubinetto lo si faceva applicando una differente forza che voleva dire poi dover applicare una determinata coppia per poter riaprire il rubinetto precedentemente serrato. Il tutto era osservabile notando le deformazioni dell’anello di supporto e lo strisciamento tra la sua superficie e quella della manopola quando si andava a svitare il rubinetto. Il concetto di base è che la coppia necessaria per aprire il rubinetto è, ovviamente, proporzionata alla coppia che si è applicata precedentemente per chiuderlo; quindi, variando quest’ultima da prova a prova, è normale che si siano registrati differenti valori della coppia massima (ovvero della cosiddetta coppia di stacco).

Di seguito viene mostrato il grafico risultante di una prova dove il rubinetto è stato chiuso con una forza modesta e la deformazione e lo strisciamento relativo tra le parti sono stati quasi del tutto trascurabili.

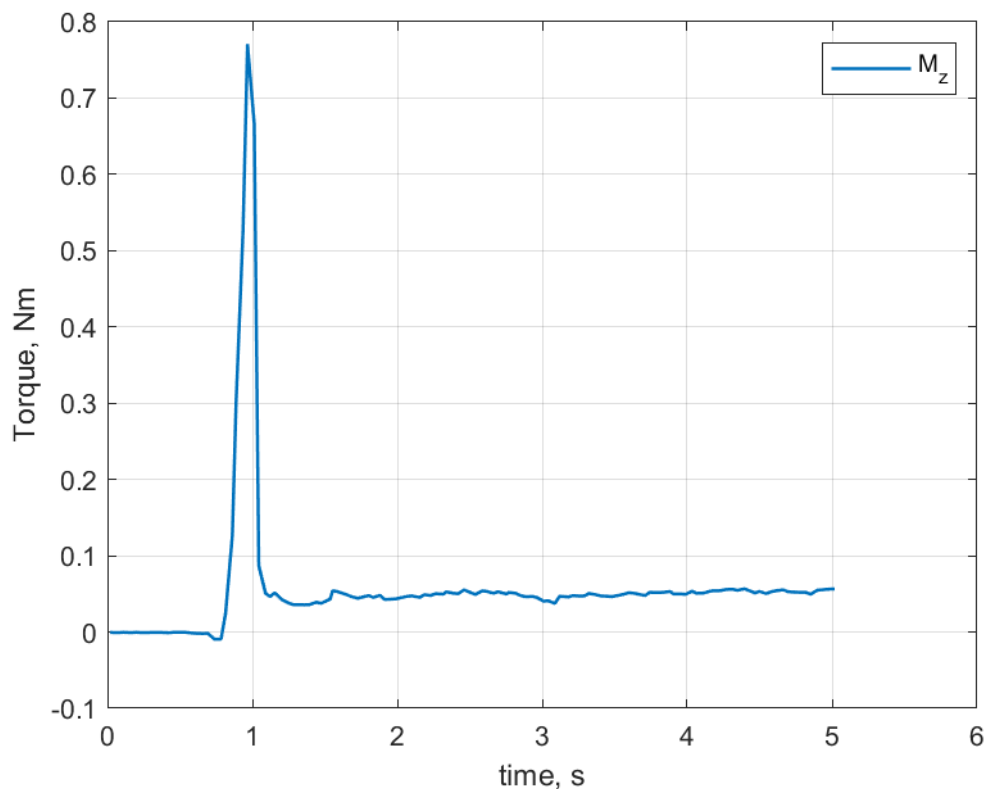


Figura 12 - andamento della coppia applicata per svitare il rubinetto (prova con serraggio blando)

Si può ben notare come il picco di coppia massima sia decisamente più basso rispetto al caso generico precedente (quasi 0,8 Nm contro gli 1,4 Nm di prima).

Altre prove, al contrario, sono state registrate in seguito ad un serraggio piuttosto robusto del rubinetto dove si è osservata una notevole deformazione e, soprattutto, un evidente fenomeno di strisciamento tra la superficie della manopola e le due superfici che le premono contro (nella curva seguente si raggiungono quasi i 2 Nm di coppia massima):

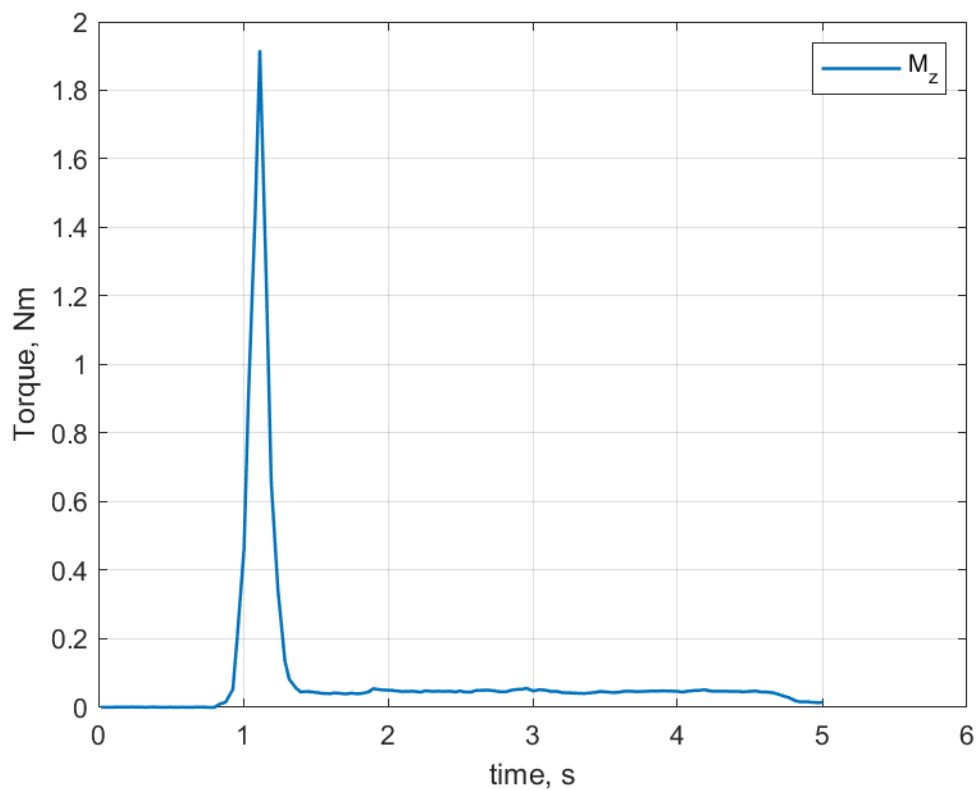


Figura 13 - andamento della coppia applicata per svitare il rubinetto (prova con serraggio robusto)

I risultati mostrati fino a questo momento sono piuttosto variegati e rappresentativi di un ampio ventaglio di condizioni: è stata fornita quella che si potrebbe definire una panoramica delle possibili richieste di coppia in fase di esercizio reale del robot e del suo end-effector. Da tali risultati, tuttavia, non è semplicissimo individuare quella che potrebbe essere davvero la coppia necessaria ad aprire e chiudere il rubinetto. Per questo motivo è stato indispensabile effettuare una serie di prove ripetute e raccogliere quanti più dati possibili sui quali poter calcolare una media quanto più realistica possibile. Per farlo sono state eseguite 15 diverse prove e si è cercato di simulare tutte le possibili situazioni a cui ci si potrebbe trovare di fronte in fase di esercizio in una reale cantina. Tutte le prove

eseguite con condizioni di partenza differenti (vale a dire con diverse forze applicate per chiudere il rubinetto) sono state prese in considerazione per simulare quello che potrebbe essere il tipico ciclo di utilizzo reale di un rubinetto assaggiavino nelle attività di tutti i giorni: esso potrebbe essere stato azionato e richiuso da diversi operatori con diverse forze e il sistema che si vuole progettare deve essere pronto a saper rispondere ad ogni evenienza.

Qui di seguito viene riportata la tabella contenente tutti i valori della coppia massima registrata sulle 15 differenti prove; successivamente è stata calcolata la media e la sua deviazione standard.

Tabella 1 - coppia massima registrata in 15 differenti prove

Prova	Cmax (Nm)	Prova	Cmax (Nm)	Prova	Cmax (Nm)
1	1,443	6	1,918	11	1,453
2	1,755	7	1,788	12	1,110
3	1,833	8	1,165	13	0,771
4	1,868	9	1,379	14	0,973
5	1,882	10	1,269	15	0,878

Tabella 2 - valore medio della coppia massima con relativa deviazione standard e valore massimo

<b>Valore medio di Cmax (Nm)</b>	1,432
<b>Deviazione standard</b>	0,394
<b>Valore massimo di Cmax (Nm)</b>	1,918

I risultati mostrano che, per aprire e chiudere il rubinetto assaggiavino, di media possa essere necessaria una coppia di 1,432 Nm. Nella realtà, volendo progettare adeguatamente la pinza, il dato medio ha poco significato; per garantire che la pinza sia in grado di aprire e chiudere il rubinetto in qualsiasi possibile situazione occorre ragionare in maniera conservativa e considerare lo scenario più critico. Per questo motivo risulta necessario che la pinza sia in grado di sviluppare almeno 2 Nm di coppia massima, poiché il massimo valore registrato durante le prove è stato proprio poco al di sotto di tale limite (1,918 Nm per la precisione). Applicando un dovuto coefficiente di sicurezza che

garantisca un certo margine di confidenza, si può in definitiva affermare che la pinza debba essere dimensionata per poter erogare una coppia massima di **2,5 Nm**. È importante sottolineare il fatto che la cella di carico utilizzata per queste prove aveva una risoluzione di 0,003 Nm e ciò assicura una buonissima precisione dei risultati ottenuti. Per quanto riguarda invece il valore della deviazione standard, questo è relativamente alto ma del tutto prevedibile considerando che le prove, come già accennato prima, sono state eseguite volendo simulare diverse condizioni di lavoro.

È giusto evidenziare che, in condizioni di esercizio reale (ossia considerando il rubinetto ancorato ad una vasca tramite la parte filettata del corpo cilindrico e svitato normalmente tramite la manopola), la coppia necessaria per aprire il rubinetto sarà certamente più bassa di quella indicata precedentemente. Come già spiegato, in queste prove ha avuto un ruolo determinante la forza di pressione esercitata, di volta in volta, dall'avvitamento più o meno stretto della manopola del rubinetto. Si sono eseguite di proposito delle prove in cui si faceva in modo di serrare in maniera più robusta la chiusura del rubinetto e altre, probabilmente più realistiche, in cui si chiudeva il rubinetto applicando una forza modesta che chiunque sarebbe in grado di replicare. Quest'ultime hanno sicuramente fornito risultati che si avvicinano maggiormente alle condizioni reali di lavoro del rubinetto; resta, tuttavia, buona norma sovradimensionare (non eccessivamente) l'organo che si occuperà dell'apertura e chiusura del rubinetto anche solo per avere la certezza che esso porterà sempre a termine il proprio compito. Come anticipato, non si possono mai prevedere le condizioni del rubinetto prima di volerlo aprire e, inoltre, va considerato che esso potrebbe, con il tempo, diventare meno agevole a causa dell'usura o di piccole deformazioni. La pinza deputata all'apertura e alla chiusura dovrà essere preparata ad affrontare qualsiasi situazione nell'arco di tutta la vita del rubinetto.

Successivamente la medesima indagine statistica è stata condotta sulle medesime prove per valutare anche la coppia stazionaria necessaria a continuare a ruotare la manopola una volta che la si è "sbloccata" applicando la coppia massima individuata prima. I valori di questa coppia stazionaria sono stati individuati tracciando una retta orizzontale che approssimasse il meglio possibile l'andamento della coppia lungo il tratto costante successivo al picco della coppia massima. I risultati sono riportati nella tabella alla pagina successiva e anche in questo caso se ne è calcolata la media e la deviazione standard.

Tabella 3 - coppia stazionaria registrata in 15 differenti prove

Prova	Cstaz (Nm)	Prova	Cstaz (Nm)	Prova	Cstaz (Nm)
1	0,055	6	0,054	11	0,059
2	0,057	7	0,054	12	0,056
3	0,055	8	0,056	13	0,058
4	0,058	9	0,057	14	0,052
5	0,056	10	0,054	15	0,058

Tabella 4 - valore medio della coppia stazionaria con relativa deviazione standard

<b>Valore medio di Cstaz (Nm)</b>	0,056
<b>Deviazione standard</b>	0,002

Come si era potuto osservare già dai primi grafici mostrati, una volta applicata la coppia massima e aperta la manopola, diventa piuttosto semplice continuare a ruotarla per svitarla sempre di più. Dalle curve era evidente che la coppia stazionaria fosse molto bassa e i risultati numerici confermano tale osservazione: si è calcolata in media una coppia stazionaria pari a **0,056 Nm**. Un aspetto interessante da notare ma allo stesso tempo piuttosto prevedibile è che, indipendentemente dalle condizioni di partenza della prova, la coppia stazionaria rimane sempre pressoché invariata e il valore bassissimo della deviazione standard conferma questa grande omogeneità dei dati (di contro si poteva notare come il valore della deviazione standard calcolata per i dati di coppia massima fosse sensibilmente più alto).

## 2.3 Test di portata su rubinetto assaggiavino

Una volta studiate le fasi di apertura e chiusura del rubinetto, occorre spostare il focus sulla portata che esso è in grado di erogare. Riuscire a caratterizzare con precisione le curve di portata del rubinetto sarebbe fondamentale per poter poi costruire analisi e previsioni dell'intero circuito idraulico che sarà a disposizione della raccolta dei campioni di vino. Si è già parlato della struttura del rubinetto e del fatto che esso è costituito da un corpo cilindrico e da una manopola filettata che gli può scorrere dentro; è proprio il movimento assiale avanti e indietro di questa manopola che determina l'apertura di una sezione più o meno ampia del beccuccio di uscita da cui potrà fuoriuscire il vino contenuto nella vasca. L'immagine seguente mostra una vista in sezione del rubinetto dall'alto in cui si può osservare meglio tale meccanismo.

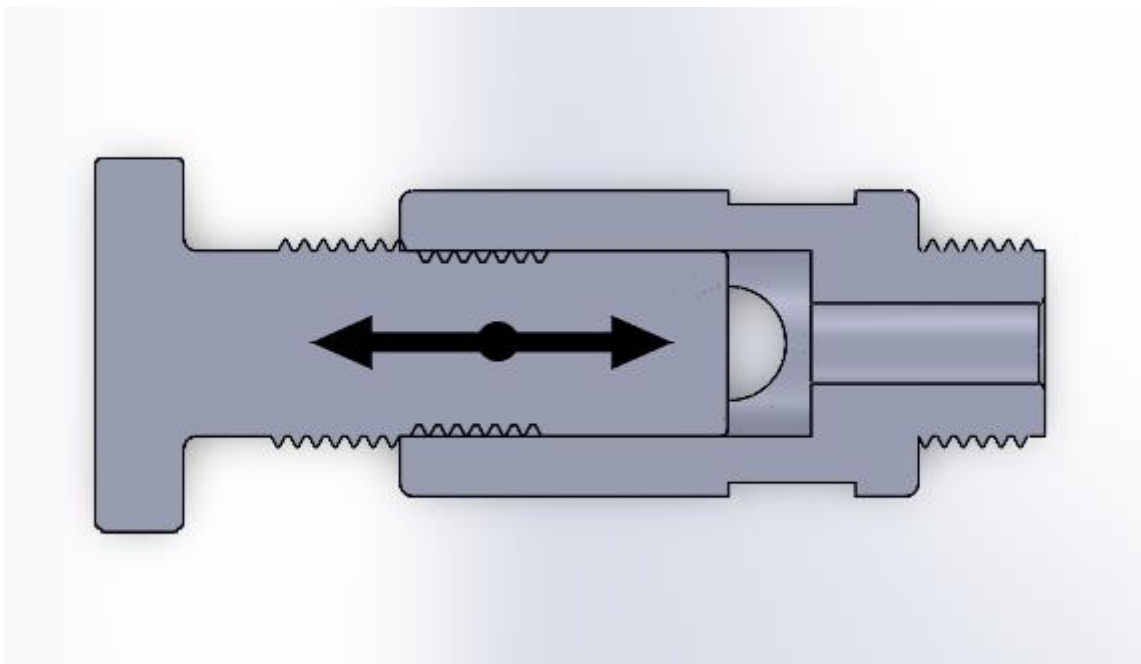


Figura 14 - vista in sezione dall'alto della manopola che scorre assialmente all'interno del corpo del rubinetto

Sostanzialmente, svitando la manopola, questa trasla assialmente e scopre man mano una porzione di superficie sempre maggiore da cui potrà essere erogata una portata sempre più consistente fino a giungere alla completa apertura del rubinetto quando la manopola ha scoperto del tutto la sezione circolare del beccuccio verticale. Da tale meccanismo del rubinetto si evince il fatto che la portata di vino in uscita è intrinsecamente legata al numero di giri compiuti dalla vite della manopola e per

questo motivo l'obiettivo di questo paragrafo è proprio quello di costruire la curva caratteristica della portata in funzione del numero di giri della manopola del rubinetto. Per giungere a tale obiettivo sono state condotte numerose prove di cui vengono ora descritti i procedimenti e presentati i risultati; il tutto sarà seguito da un ulteriore paragrafo in cui si tenterà di ricavare un modello teorico a partire da quello sperimentale ottenuto in laboratorio.

### **2.3.1 Banco prova**

Il rubinetto assaggiavino che si sta analizzando è generalmente integrato a delle grosse vasche in acciaio da cui poter spillare il vino da assaggiare; per le prove in questione la vasca è stata sostituita da una semplice tanica in plastica il cui tappo è stato appositamente forato per fare spazio al rubinetto sotto test (nella pagina seguente verrà mostrata tale tanica con il rubinetto integrato). Qui si apre subito un importante spunto di riflessione: la portata erogata da un rubinetto dipende anche dalla differenza di pressione tra l'ambiente a monte e quello a valle del rubinetto stesso; nel caso in questione tale differenza di pressione è sostanzialmente data dal carico idraulico a monte del rubinetto, ovvero dall'altezza della colonna di fluido al di sopra della quota a cui è posto quest'ultimo. In una cantina reale una vasca può arrivare ad altezze anche di diversi metri (oltre i 5 quelle più grandi) e, dunque, la pressione del vino sull'imbocco a monte del rubinetto può essere notevole; in laboratorio, invece, potendo usufruire solo di una tanica, l'altezza della colonna di fluido al di sopra del rubinetto raggiunge al massimo qualche decina di centimetri e, quindi, ci si aspetterà per forza di cose una pressione decisamente minore.

Tenendo conto di ciò, occorrerà analizzare con cautela i risultati ottenuti dalle prove in laboratorio ed essere consapevoli che in una situazione reale le portate potrebbero essere ben diverse da quelle stimate durante i test. Proprio per questo motivo, riprendendo le parole introduttive, costruire nel migliore dei modi la caratteristica di portata del rubinetto sarà indispensabile per future previsioni e analisi: una volta che si conosce il comportamento del rubinetto a determinate condizioni, si potrà prevedere il suo comportamento anche in altre situazioni non direttamente replicabili in laboratorio.





Figura 15 - tanica con rubinetto integrato

La raccolta dei dati in laboratorio è avvenuta seguendo un procedimento piuttosto semplice: si apriva la manopola del rubinetto fino ad un certo numero di giri prefissato e parallelamente si faceva partire un cronometro, si lasciava il rubinetto aperto nella sua posizione fissa per un certo intervallo di tempo e infine lo si richiudeva stoppando il cronometro. Fatto ciò, si misurava il volume d'acqua raccolto e lo si rapportava al tempo totale registrato dal cronometro per ottenere una misura di portata. Ottenuta tale misura, si rimetteva l'acqua raccolta all'interno della tanica e si poteva ripartire con una nuova misurazione (rimettere l'acqua dentro la tanica permetteva di partire sempre con la stessa altezza della colonna di fluido). Nella pagina successiva un'immagine che mostra la tanica e la caraffa graduata che raccoglieva l'acqua e permetteva di misurarne il volume.



Figura 16 - caraffa graduata al di sotto del rubinetto integrato alla tanica

### 2.3.2 Risultati sperimentali

Come già spiegato poche righe fa, le misure di portata sono state ottenute semplicemente raccogliendo un certo volume d'acqua e rapportandolo al tempo necessario per raccoglierlo (intervallo di tempo misurato dall'inizio dell'apertura del rubinetto fino alla sua completa chiusura). Il rubinetto presenta un tratto iniziale caratterizzato da un certo gioco per cui ad una rotazione della manopola non corrisponde un'effettiva erogazione di acqua, tale gioco consiste in circa un quarto di giro e successivamente inizia a fuoriuscire una certa portata. Per le prove seguenti si è scelto di partire con il rubinetto aperto a metà di giro continuando poi a raccogliere dati ogni mezzo giro. Poc'anzi si è spiegato inoltre come l'altezza della colonna di fluido a monte del rubinetto possa influire sulla portata erogata dallo stesso e per questo motivo le prove sono state ripetute con diversi volumi di partenza all'interno della tanica: in particolare si sono condotte tre prove partendo con un'altezza della colonna d'acqua rispettivamente di 70 mm, 100 mm e 130 mm. Per ciascuna di queste quote la medesima prova è stata ripetuta tre volte così da ottenere una più ampia gamma di dati da poter mediare e individuare una misura finale quanto più attendibile possibile.

Si vuole infine sottolineare che, per ovvie ragioni, è stata utilizzata acqua invece che vino, ma le proprietà fisiche dei due fluidi si possono considerare del tutto identiche.

A partire dalla pagina seguente vengono riportate le tabelle contenenti i dati di tutte le prove condotte in laboratorio: il volume d'acqua raccolto in un certo intervallo di tempo e la relativa misura di portata con il suo errore. Gli errori sono stati valutati considerando che la caraffa graduata presentava una tacchetta ogni 20 ml e, perciò, l'errore massimo che si poteva commettere nella lettura del volume era di  $\pm 10$  ml.

Tabella 5 - portata ricavata dal volume raccolto in un certo intervallo di tempo (prova 1 con h=70mm)

<b>h = 70 mm (prova 1)</b>				
<b>Nr. giri</b>	<b>t (s)</b>	<b>V±10 (ml)</b>	<b>Q (l/min)</b>	<b>±err (l/min)</b>
0,25	-	-	0,000	0,000
0,5	59	250	0,254	0,010
1	25	300	0,720	0,024
1,5	25	420	1,008	0,024
2	22	500	1,364	0,027
2,5	20	510	1,530	0,030
3	20	600	1,800	0,030
3,5	16	510	1,913	0,038
4	17	610	2,153	0,035
4,5	17	620	2,188	0,035

Tabella 6 - portata ricavata dal volume raccolto in un certo intervallo di tempo (prova 2 con h=70mm)

<b>h = 70 mm (prova 2)</b>				
<b>Nr. giri</b>	<b>t (s)</b>	<b>V±10 (ml)</b>	<b>Q (l/min)</b>	<b>±err (l/min)</b>
0,25	-	-	0,000	0,000
0,5	54	250	0,278	0,011
1	26	320	0,738	0,023
1,5	23	410	1,070	0,026
2	21	490	1,400	0,029
2,5	22	590	1,609	0,027
3	19	570	1,800	0,032
3,5	17	530	1,871	0,035
4	16	550	2,063	0,037
4,5	17	630	2,224	0,035

Tabella 7 - portata ricavata dal volume raccolto in un certo intervallo di tempo (prova 3 con h=70mm)

<b>h = 70 mm (prova 3)</b>				
<b>Nr. giri</b>	<b>t (s)</b>	<b>V±10 (ml)</b>	<b>Q (l/min)</b>	<b>±err (l/min)</b>
0,25	-	-	0,000	0,000
0,5	62	250	0,242	0,010
1	24	300	0,750	0,025
1,5	24	440	1,100	0,025
2	21	490	1,400	0,029
2,5	21	570	1,629	0,029
3	20	610	1,830	0,030
3,5	17	580	2,047	0,035
4	16	580	2,175	0,038
4,5	16	610	2,288	0,038

Tabella 8 - portata ricavata dal volume raccolto in un certo intervallo di tempo (prova 1 con h=100mm)

<b>h = 100 mm (prova 1)</b>				
<b>Nr. giri</b>	<b>t (s)</b>	<b>V±10 (ml)</b>	<b>Q (l/min)</b>	<b>±err (l/min)</b>
0,25	-	-	0,000	0,000
0,5	50	250	0,300	0,012
1	19	320	1,011	0,032
1,5	18	420	1,400	0,033
2	17	490	1,729	0,035
2,5	15	480	1,920	0,040
3	16	550	2,063	0,037
3,5	15	600	2,400	0,040
4	15	620	2,480	0,040
4,5	15	630	2,520	0,040

Tabella 9 - portata ricavata dal volume raccolto in un certo intervallo di tempo (prova 2 con h=100mm)

<b>h = 100 mm (prova 2)</b>				
<b>Nr. giri</b>	<b>t (s)</b>	<b>V±10 (ml)</b>	<b>Q (l/min)</b>	<b>±err (l/min)</b>
0,25	-	-	0,000	0,000
0,5	53	250	0,283	0,011
1	20	330	0,990	0,030
1,5	18	410	1,367	0,033
2	18	510	1,700	0,033
2,5	17	520	1,835	0,035
3	15	560	2,240	0,040
3,5	16	640	2,400	0,037
4	15	610	2,440	0,040
4,5	15	640	2,560	0,040

Tabella 10 - portata ricavata dal volume raccolto in un certo intervallo di tempo (prova 3 con h=100mm)

<b>h = 100 mm (prova 3)</b>				
<b>Nr. giri</b>	<b>t (s)</b>	<b>V±10 (ml)</b>	<b>Q (l/min)</b>	<b>±err (l/min)</b>
0,25	-	-	0,000	0,000
0,5	53	250	0,283	0,011
1	19	320	1,011	0,032
1,5	18	430	1,433	0,033
2	18	500	1,667	0,033
2,5	16	520	1,950	0,038
3	16	580	2,175	0,038
3,5	16	610	2,288	0,038
4	16	630	2,363	0,038
4,5	15	600	2,400	0,040

Tabella 11 - portata ricavata dal volume raccolto in un certo intervallo di tempo (prova 1 con h=130mm)

<b>h = 130 mm (prova 1)</b>				
<b>Nr. giri</b>	<b>t (s)</b>	<b>V±10 (ml)</b>	<b>Q (l/min)</b>	<b>±err (l/min)</b>
0,25	-	-	0,000	0,000
0,5	42	250	0,357	0,014
1	19	380	1,200	0,032
1,5	18	480	1,600	0,033
2	16	490	1,838	0,037
2,5	16	560	2,100	0,038
3	15	580	2,320	0,040
3,5	15	610	2,440	0,040
4	15	670	2,680	0,040
4,5	15	680	2,720	0,040

Tabella 12 - portata ricavata dal volume raccolto in un certo intervallo di tempo (prova 2 con h=130mm)

<b>h = 130 mm (prova 2)</b>				
<b>Nr. giri</b>	<b>t (s)</b>	<b>V±10 (ml)</b>	<b>Q (l/min)</b>	<b>±err (l/min)</b>
0,25	-	-	0,000	0,000
0,5	46	250	0,326	0,013
1	18	360	1,200	0,033
1,5	17	450	1,588	0,035
2	17	510	1,800	0,035
2,5	16	560	2,100	0,038
3	15	580	2,320	0,040
3,5	15	650	2,600	0,040
4	14	660	2,829	0,043
4,5	15	670	2,680	0,040

Tabella 13 - portata ricavata dal volume raccolto in un certo intervallo di tempo (prova 3 con h=130mm)

<b>h = 130 mm (prova 3)</b>				
<b>Nr. giri</b>	<b>t (s)</b>	<b>V±10 (ml)</b>	<b>Q (l/min)</b>	<b>±err (l/min)</b>
0,25	-	-	0,000	0,000
0,5	45	250	0,333	0,013
1	17	340	1,200	0,035
1,5	17	440	1,553	0,035
2	17	510	1,800	0,035
2,5	16	540	2,025	0,038
3	15	600	2,400	0,040
3,5	15	640	2,560	0,040
4	15	660	2,640	0,040
4,5	15	680	2,720	0,040

Adesso vengono riportate le tabelle definitive con i risultati ottenuti dalla semplice media aritmetica tra le tre diverse prove condotte per le tre diverse altezze della colonna di fluido di partenza. Tali risultati rappresentano piuttosto fedelmente la portata erogata dal rubinetto in funzione del numero di giri della manopola e verranno d'ora in poi presi come unico riferimento per tutti i calcoli e le considerazioni successive.

Tabella 14 - portata in funzione del numero di giri della manopola del rubinetto (h=70mm)

<b>h = 70 mm</b>		
<b>Nr. giri</b>	<b>Q (l/min)</b>	<b>±err (l/min)</b>
0,25	0,000	0,000
0,5	0,258	0,006
1	0,736	0,014
1,5	1,059	0,014
2	1,388	0,016
2,5	1,589	0,017
3	1,810	0,018
3,5	1,943	0,021
4	2,130	0,021
4,5	2,233	0,021



Tabella 15 - portata in funzione del numero di giri della manopola del rubinetto (h=100mm)

<b>h = 100 mm</b>		
<b>Nr. giri</b>	<b>Q (l/min)</b>	<b>±err (l/min)</b>
0,25	0,000	0,000
0,5	0,289	0,007
1	1,004	0,018
1,5	1,400	0,019
2	1,699	0,020
2,5	1,902	0,022
3	2,159	0,022
3,5	2,363	0,022
4	2,428	0,023
4,5	2,493	0,023

Tabella 16 - portata in funzione del numero di giri della manopola del rubinetto (h=130mm)

<b>h = 130 mm</b>		
<b>Nr. giri</b>	<b>Q (l/min)</b>	<b>±err (l/min)</b>
0,25	0,000	0,000
0,5	0,339	0,008
1	1,200	0,019
1,5	1,580	0,020
2	1,813	0,021
2,5	2,075	0,022
3	2,347	0,023
3,5	2,533	0,023
4	2,716	0,024
4,5	2,707	0,023

Viene ora mostrato il grafico con l'andamento delle curve di portata finora descritte solo numericamente.

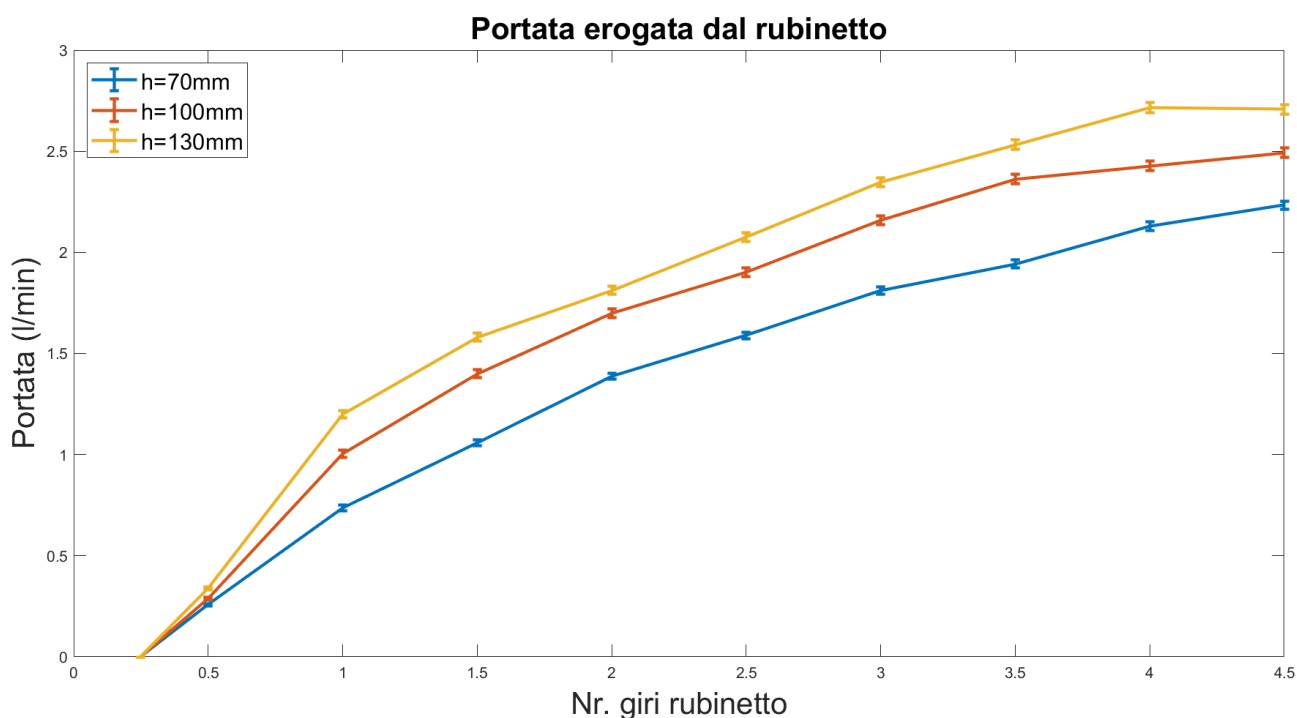


Figura 17 - andamento della portata in funzione del numero di giri della manopola del rubinetto

Come da previsioni, la prima cosa che si può notare è che, a parità di apertura del rubinetto, la portata erogata è maggiore quando è più alta la colonna d'acqua al di sopra del rubinetto stesso. L'aspetto interessante è che in laboratorio è stato possibile ripetere le prove partendo da tre diverse altezze della colonna d'acqua tutte relativamente vicine tra loro e, nonostante ciò, si possono apprezzare differenze notevoli nella portata. Questo deve far riflettere su quanto le portate possano essere variabili quando si lavora con vasche alte diversi metri e, soprattutto, come già anticipato, non ci si dovrebbe sorprendere più di tanto se in una situazione di esercizio reale in una reale cantina ci si dovesse ritrovare a gestire portate ingenti. Un'altra caratteristica che si può osservare è che le curve sono piuttosto pendenti all'inizio mentre tendono a diventare sempre più orizzontali con l'aumentare del numero di giri, ciò è facilmente spiegabile dal fatto che la portata aumenti molto durante i primi giri della manopola e poi si assesti ad un valore quasi costante quando il rubinetto raggiunge la sua massima apertura.

Per dare un riscontro pratico ai dati appena presentati si può ipotizzare di essere in una situazione reale in cui occorre raccogliere un certo campione di vino. Si immagini di voler raccogliere un campione da 300 ml e si vuole individuare qual è la miglior configurazione in cui far lavorare il rubinetto per ottenere il risultato nella maniera più efficiente possibile. L'efficienza, in questo caso, consiste nel riuscire a raccogliere il campione nel minor tempo possibile minimizzando però i movimenti richiesti alla pinza che deve aprire e chiudere il rubinetto. Qui di seguito vengono graficati i tempi calcolati per ottenere un volume di 300 ml in funzione dei diversi gradi di apertura della manopola del rubinetto.

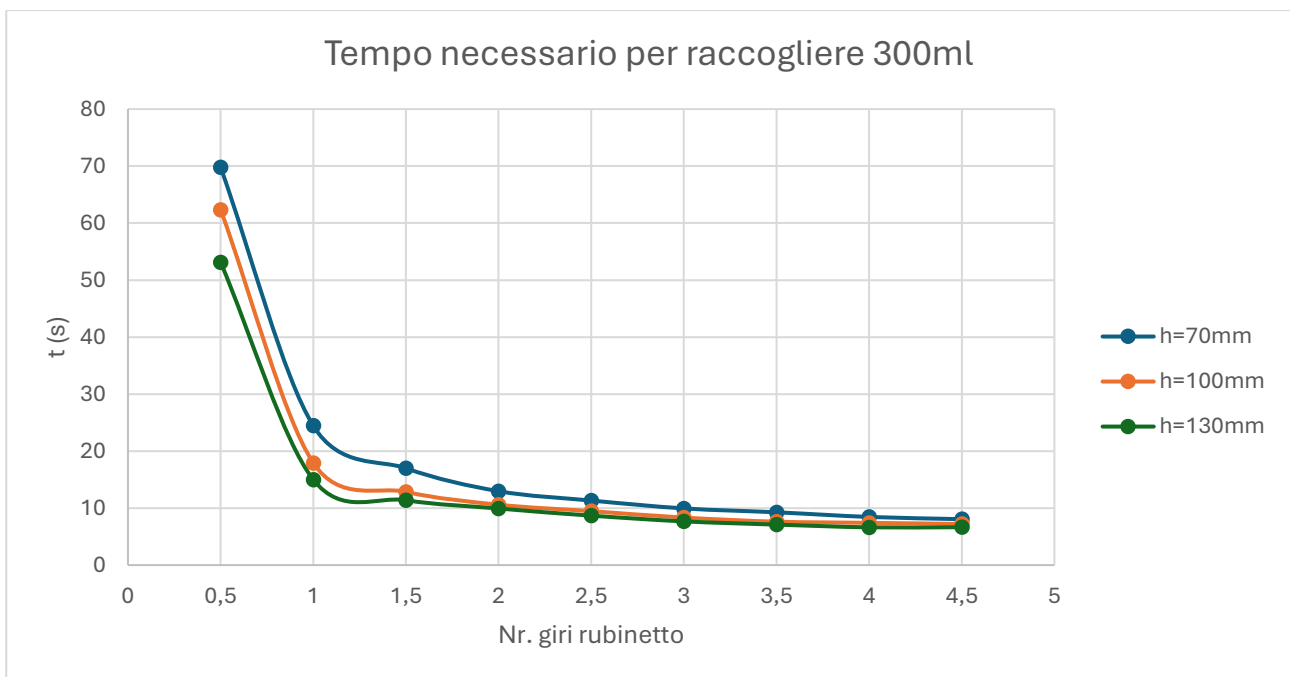


Figura 18 - tempo necessario per raccogliere un volume di 300 ml

Ovviamente più si apre il rubinetto, maggiore è la portata erogata e minore sarà il tempo necessario per raccogliere il volume desiderato. Tuttavia, si può osservare come, dopo un certo grado di apertura, il risparmio di tempo non è più così determinante. In conclusione, si può affermare che la configurazione più conveniente è aprire il rubinetto intorno al primo giro di manopola: in questo modo si riducono i tempi necessari all'apertura e chiusura del rubinetto e si garantisce comunque un tempo ciclo di esercizio piuttosto basso. Ridurre le fasi transitorie di apertura e chiusura non rappresenta solo un risparmio di tempo (che a dire la verità è quasi del tutto trascurabile) ma rappresenta soprattutto un fattore di sicurezza. Come già spiegato, la manopola scorre avanti e

indietro all'interno del corpo cilindrico del rubinetto e, raggiungendo un certo numero di giri, può essere addirittura completamente svitata e staccarsi del tutto lasciando il rubinetto scoperto. Questa è chiaramente una situazione da evitare in ogni modo e lavorare con piccoli giri della manopola permette di allontanarsi da una tale pericolosa condizione di instabilità.

### **2.3.3 Analisi dei dati e modello teorico**

Come già annunciato, l'obiettivo di questi test di portata non è soltanto quello di presentare dei dati ma, proprio a partire da questi ultimi, si vuole provare a costruire un modello matematico che possa descrivere il comportamento del rubinetto al variare dei principali parametri di processo. Nel caso in analisi questi parametri sono fondamentalmente due: l'altezza della colonna di fluido a monte del rubinetto e il numero di giri della manopola.

Nelle pagine successive verranno prese in analisi le curve di portata ricavate in laboratorio e si proverà a sostituirle con delle curve ricavate analiticamente che le approssimino nel modo più fedele possibile. Questo sarà estremamente utile per costruire un modello matematico che possa prevedere il comportamento del rubinetto anche in situazioni che non possono essere replicate in laboratorio. Per portare a termine tale compito si seguiranno due differenti approcci che verranno, infine, messi a confronto:

- Modello teorico ricavato a partire dall'equazione che descrive la portata che attraversa una valvola.
- Modello numerico che approssima le curve sperimentali con dei semplici polinomi.

### Modello teorico (equazione di portata)

In generale, la portata che attraversa una valvola o un rubinetto può essere espressa dalla seguente equazione:

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

Dove:

- $Q$  è la portata;
- $C_d$  è il cosiddetto coefficiente di scarico che tiene conto di diversi parametri, quali la geometria, le perdite del circuito, ecc...
- $A$  è la sezione di passaggio attraverso cui il fluido può fuoriuscire;
- $\Delta P$  è la differenza di pressione a monte e a valle del rubinetto;
- $\rho$  è la densità del fluido;

Considerando che la differenza di pressione a monte e a valle del rubinetto è data sostanzialmente dalla sola colonna d'acqua, ovvero  $\Delta P = \rho gh$ , l'equazione precedente si può riscrivere come:

$$Q = C_d A \sqrt{2gh}$$

Da qui si inizia a intravedere il fatto che la portata dipende quasi esclusivamente dall'altezza della colonna di fluido e dalla sezione di passaggio; quest'ultima, nel caso del rubinetto in questione, dipende a sua volta dal numero di giri della manopola. Perciò, l'equazione precedente si può suddividere in due termini: uno legato al numero di giri della manopola del rubinetto e un altro legato all'altezza della colonna di fluido.

Prendendo una delle curve sperimentali mostrate in precedenza, in quel caso si è fissato un determinato valore di  $h$  e si può osservare come la curva abbia un andamento che ricorda un ramo di parabola con asse orizzontale. Questo permette di ipotizzare che il termine dell'equazione di portata legato alla sezione di passaggio, e quindi al numero di giri della manopola, possa essere scritto come una funzione radicale del tipo:  $Q = a\sqrt{N} + b$ ; dove  $N$  è proprio il numero di giri della manopola del rubinetto, mentre  $a$  e  $b$  sono due coefficienti numerici da ricavare analiticamente.

In definitiva, si può ragionevolmente supporre che la portata erogata da un rubinetto assaggiavino in funzione del numero di giri della vite della manopola e dell'altezza della colonna di fluido a monte si possa esprimere con la seguente relazione matematica:

$$Q = (a\sqrt{N} + b)\sqrt{2gh}$$

Ricordando che il rubinetto inizia ad erogare portata soltanto dopo aver compiuto un quarto di giro, si può imporre tale condizione per ricavare uno dei due parametri. In particolare, si ottiene quanto segue:

$$Q(N = 0,25) = 0 \quad \rightarrow \quad b = -a\sqrt{0,25}$$

Perciò l'equazione precedente si può riscrivere in funzione del solo coefficiente  $a$  nel seguente modo:

$$Q = a(\sqrt{N} - \sqrt{0,25})\sqrt{2gh}$$

Per ricavare il coefficiente  $a$  è stata presa come riferimento la curva sperimentale ottenuta in laboratorio con un'altezza della colonna d'acqua pari a 100 mm. I calcoli sono stati ripetuti per ogni coppia di punti e, infine, se ne è calcolata la media; il risultato finale restituisce  $a = 2,06 \cdot 10^{-5} m^2$ .

In conclusione, il modello matematico ricavato a partire dall'equazione di portata si può descrivere con la seguente espressione:

$$Q = 2,06 \cdot 10^{-5} \cdot (\sqrt{N} - \sqrt{0,25})\sqrt{2gh}$$

Nella pagina successiva viene mostrato il grafico con il confronto tra la curva sperimentale ottenuta in laboratorio con altezza pari a 100 mm e la curva teorica (definita "curva di fitting") ottenuta con l'equazione qui sopra e imponendo sempre  $h = 100 mm$ .

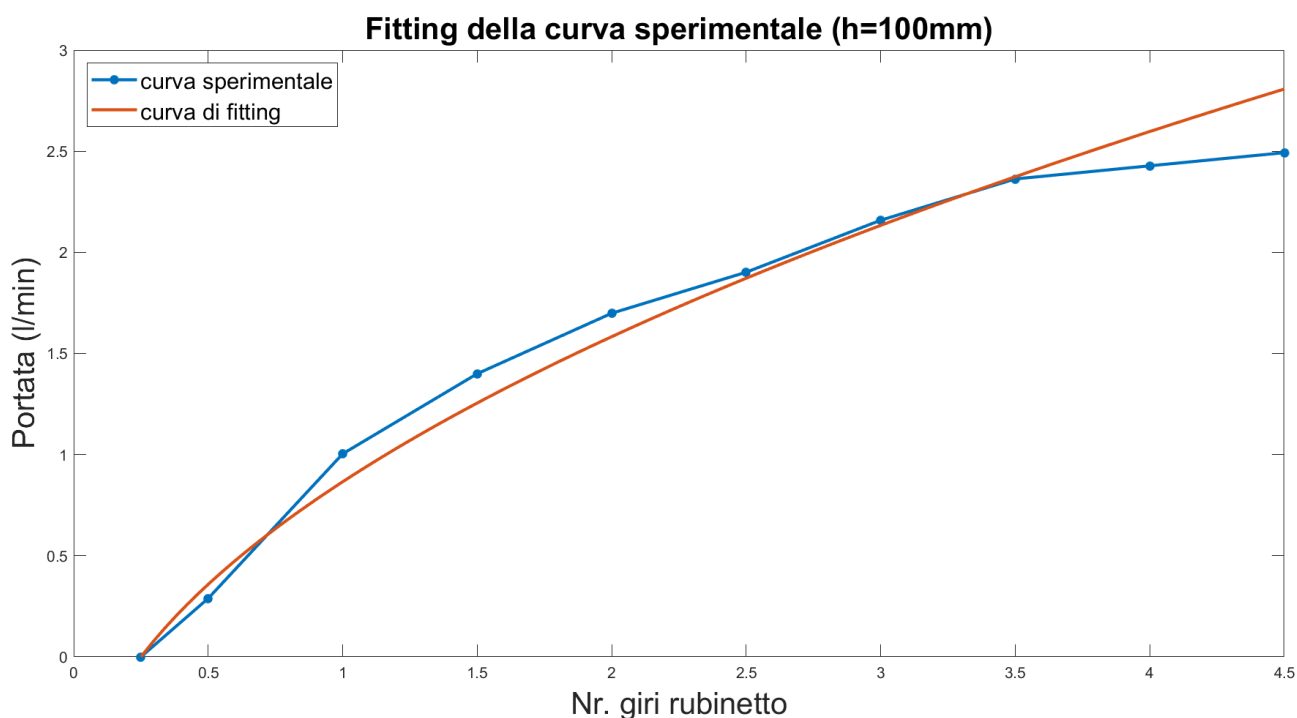


Figura 19 - confronto tra curva sperimentale e curva teorica di fitting ottenuta per  $h=100\text{mm}$

Dal grafico si può notare come le due curve siano molto simili, sintomo del fatto che l'approssimazione teorica della curva sperimentale è ben riuscita e restituisce un risultato affidabile. Per suffragare ulteriormente questa ipotesi di successo si può provare a costruire le curve di fitting anche per le altre curve sperimentali ottenute in laboratorio con  $h = 70\text{ mm}$  e  $h = 130\text{ mm}$ . Il parametro  $a$  dell'equazione teorica di portata è stato ricavato prendendo come riferimento la curva ottenuta con  $h = 100\text{ mm}$ , quindi, se l'approssimazione dovesse funzionare anche per le altre curve si confermerebbe in pieno la bontà del modello teorico ricavato analiticamente.

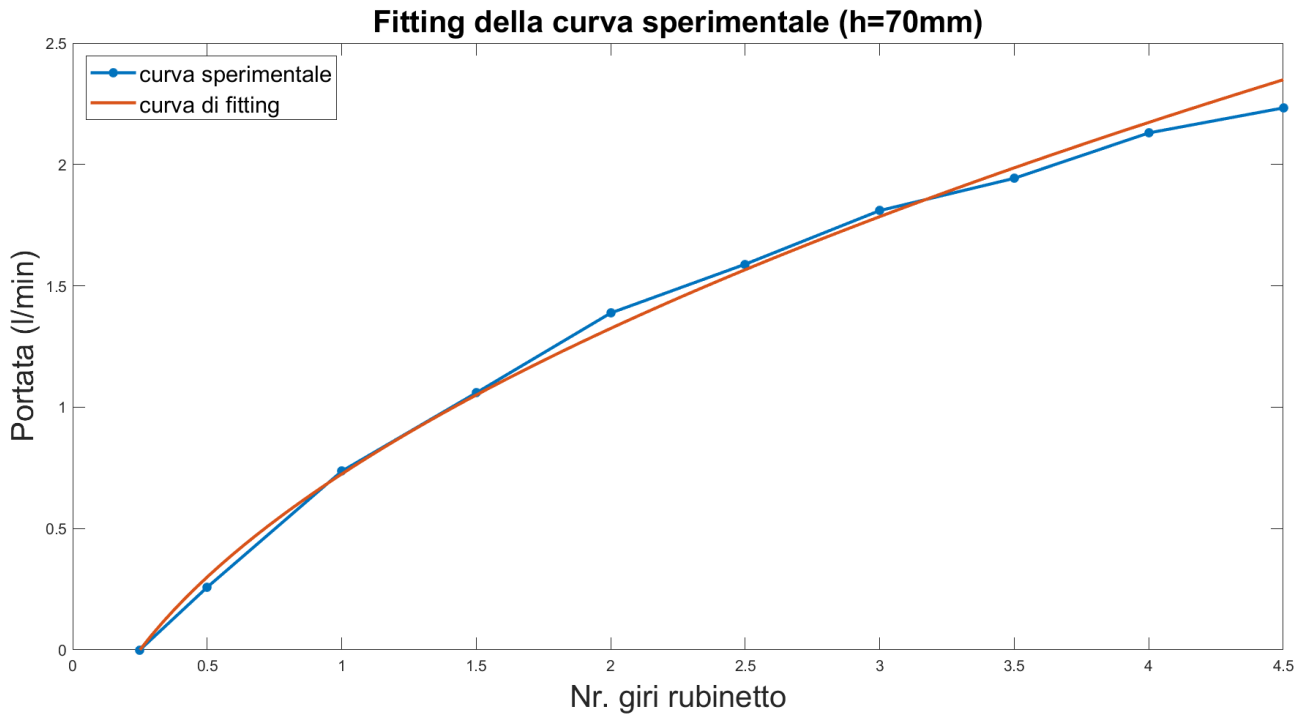


Figura 20 - confronto tra curva sperimentale e curva teorica di fitting ottenuta per h=70mm

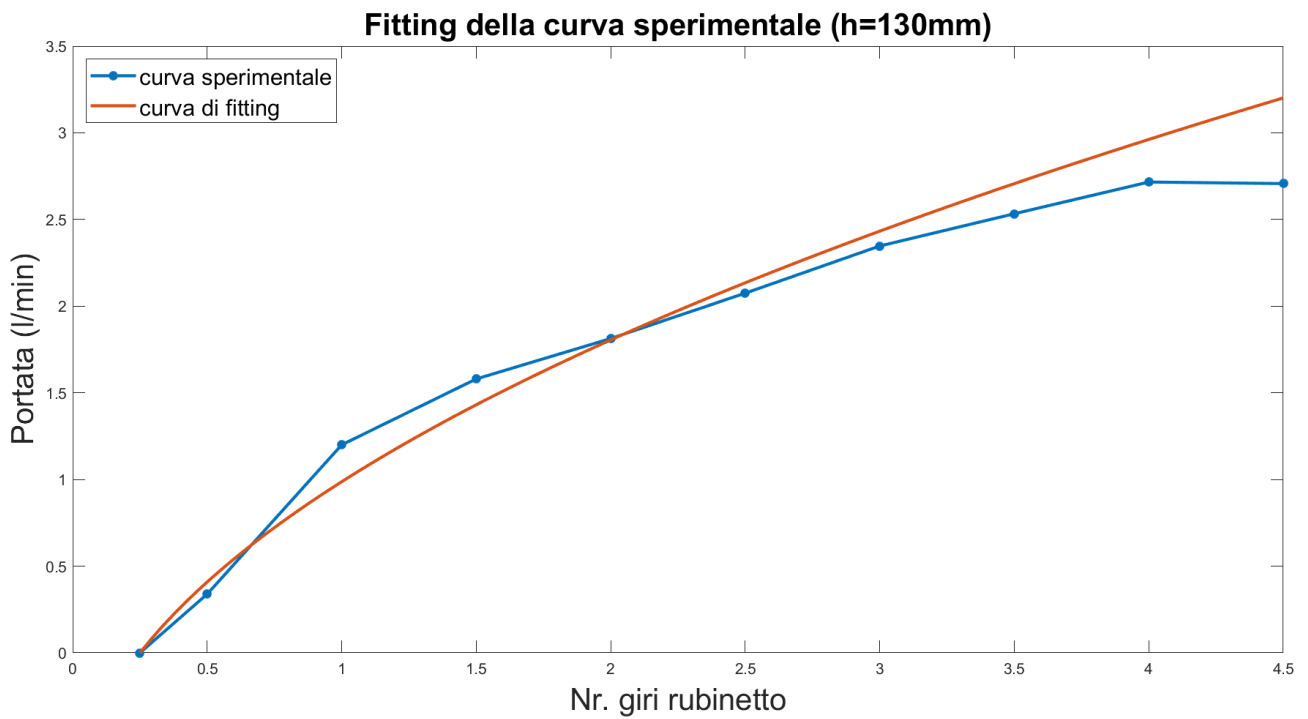


Figura 21 - confronto tra curva sperimentale e curva teorica di fitting ottenuta per h=130mm



Anche in questi casi il modello teorico sembra avvicinarsi molto alle curve sperimentali e ciò permette di acquisire ancora più confidenza sulla bontà dei risultati ottenuti. Per approfondire ulteriormente il confronto e provare ad analizzare più nel dettaglio alcuni aspetti potrebbe essere utile andare a valutare numericamente l'errore che la curva di fitting commette nell'approssimare la curva sperimentale. Qui di seguito viene riportata in tabella la differenza punto per punto tra l'approssimazione eseguita dalla curva di fitting e il valore di portata sperimentale misurato in laboratorio; tale valore restituisce un'idea di quanto il modello teorico si possa allontanare dalla realtà sperimentale.

Tabella 17 - differenza tra portata sperimentale e portata teorica di fitting (h=70mm)

<b>h = 70 mm</b>			
<b>Nr. giri</b>	<b>Q sper. (l/min)</b>	<b>Q fit (l/min)</b>	<b><math>\Delta Q</math> (l/min)</b>
0,25	0,000	0,000	0,000
0,5	0,258	0,300	0,042
1	0,736	0,724	0,012
1,5	1,059	1,050	0,009
2	1,388	1,325	0,063
2,5	1,589	1,566	0,023
3	1,810	1,785	0,025
3,5	1,943	1,986	0,043
4	2,130	2,173	0,043
4,5	2,233	2,349	0,116

Tabella 18 - differenza tra portata sperimentale e portata teorica di fitting (h=100mm)

<b>h = 100 mm</b>			
<b>Nr. giri</b>	<b>Q sper. (l/min)</b>	<b>Q fit (l/min)</b>	<b><math>\Delta Q</math> (l/min)</b>
0,25	0,000	0,000	0,000
0,5	0,289	0,359	0,070
1	1,004	0,866	0,138
1,5	1,400	1,255	0,145
2	1,699	1,583	0,116
2,5	1,902	1,872	0,030
3	2,159	2,134	0,025
3,5	2,363	2,374	0,011
4	2,428	2,598	0,170
4,5	2,493	2,808	0,315

Tabella 19 - differenza tra portata sperimentale e portata teorica di fitting (h=130mm)

<b>h = 130 mm</b>			
<b>Nr. giri</b>	<b>Q sper. (l/min)</b>	<b>Q fit (l/min)</b>	<b><math>\Delta Q</math> (l/min)</b>
0,25	0,000	0,000	0,000
0,5	0,339	0,409	0,070
1	1,200	0,987	0,213
1,5	1,580	1,431	0,149
2	1,813	1,805	0,008
2,5	2,075	2,135	0,060
3	2,347	2,433	0,086
3,5	2,533	2,707	0,174
4	2,716	2,962	0,246
4,5	2,707	3,201	0,494

In conclusione, osservando i risultati numerici, si può dire che il modello teorico ricavato dal ramo di parabola restituisce un'approssimazione accettabile del reale comportamento del rubinetto assaggiavino. La differenza tra le due curve è sempre abbastanza contenuta e il modello teorico pare funzionare sufficientemente bene nell'intorno del punto ideale di funzionamento (ovvero intorno ad 1 giro di manopola).

### Modello numerico (approssimazione polinomiale)

Un altro metodo molto efficace per approssimare delle curve sperimentali è quello di ridurle a dei semplici polinomi. Il software Matlab permette di approssimare qualsiasi curva con un polinomio di grado  $n$  a piacere; più è alto il grado del polinomio e più l'approssimazione sarà precisa, allo stesso tempo però si rende il modello sempre più complicato e quindi, anche a livello puramente computazionale, non ha senso spingersi troppo in alto con il grado del polinomio. Dopo aver condotto numerose prove si è giunti alla conclusione che la soluzione ideale sia quella di approssimare le curve sperimentali con un polinomio di grado  $n = 5$ . Qui di seguito viene mostrato il confronto tra la curva sperimentale ricavata ad  $h = 100$  mm e il polinomio di grado 5 con cui il software approssima tale curva.

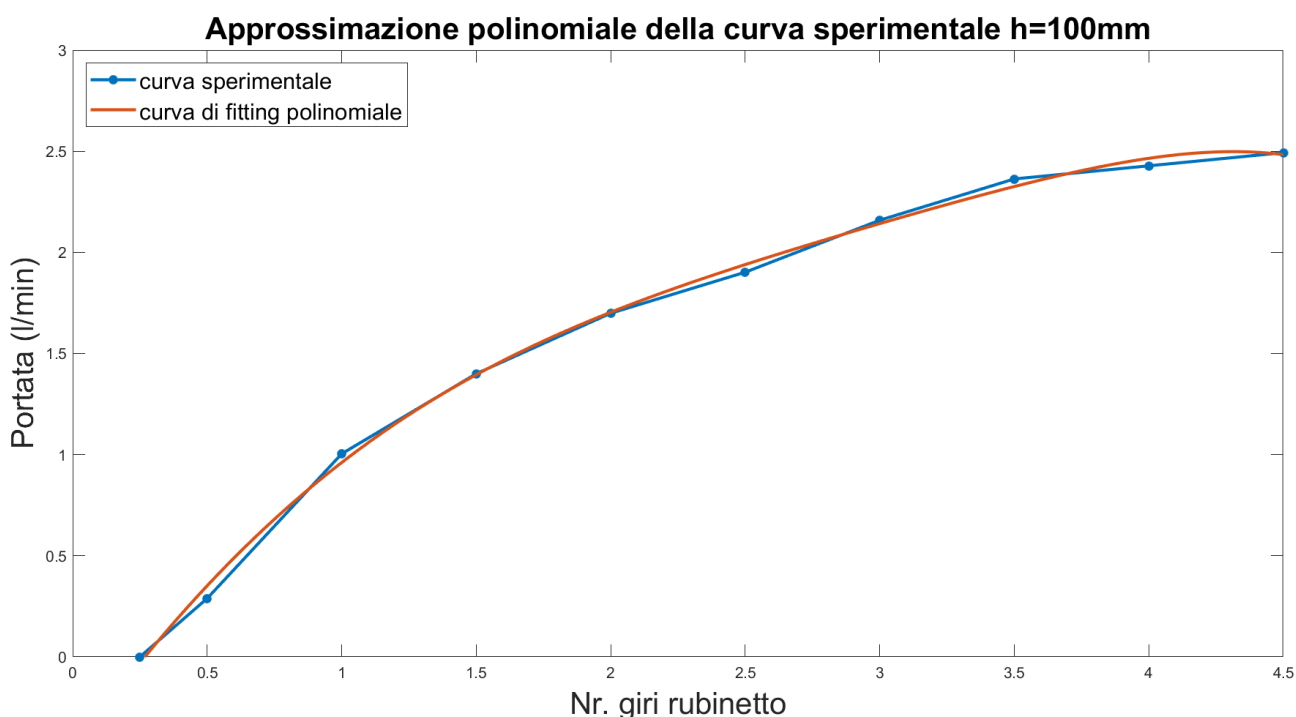


Figura 22 - confronto tra curva sperimentale e curva polinomiale ( $h=100$ mm)

Come si può notare le due curve sono molto simili e per lunghi tratti quasi perfettamente sovrapposte; questo sta ad indicare la grande efficacia dell'approssimazione polinomiale che il software è in grado di elaborare. Da qui non resta altro che estrapolare una funzione matematica da poter replicare e che vari in funzione del numero di giri  $N$  della manopola del rubinetto e dell'altezza  $h$  della colonna di fluido.

A partire dall'approssimazione effettuata dal software Matlab (riferita alla curva sperimentale ottenuta per  $h = 100$  mm) si è riusciti a ricavare il polinomio interpolante e si può in definitiva scrivere la legge che lega la portata erogata dal rubinetto alla sua apertura e all'altezza della colonna di fluido.

$$Q = (-0,0026N^5 + 0,0203N^4 - 0,0115N^3 - 0,3129N^2 + 1,3263N - 0,3335)\sqrt{2gh}$$

Per stabilire definitivamente l'affidabilità del modello matematico appena ricavato lo si può confrontare con le altre due curve sperimentali ottenute in laboratorio per  $h = 70$  mm e  $h = 130$  mm. Qui di seguito vengono riportati i grafici con le curve sperimentali e le curve teoriche ottenute dall'equazione sopra imponendo il valore dell'altezza  $h$ .

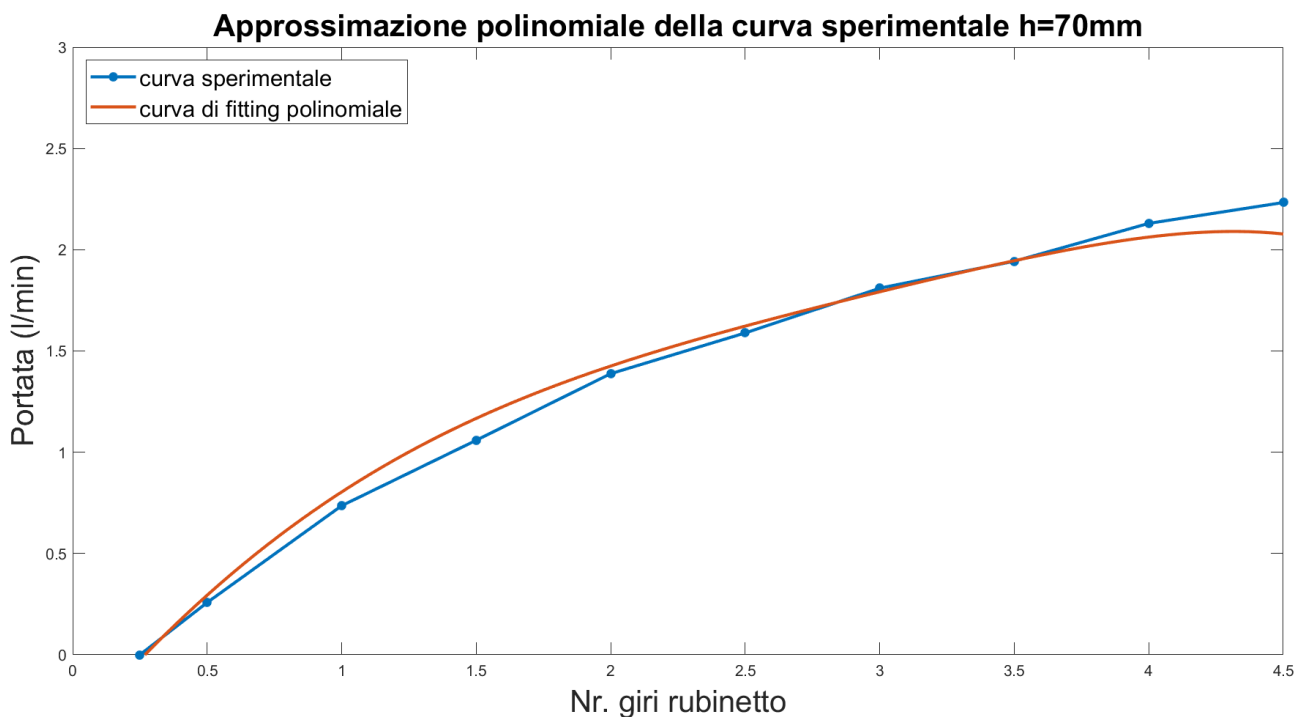


Figura 23 - confronto tra curva sperimentale e curva polinomiale ( $h=70$ mm)

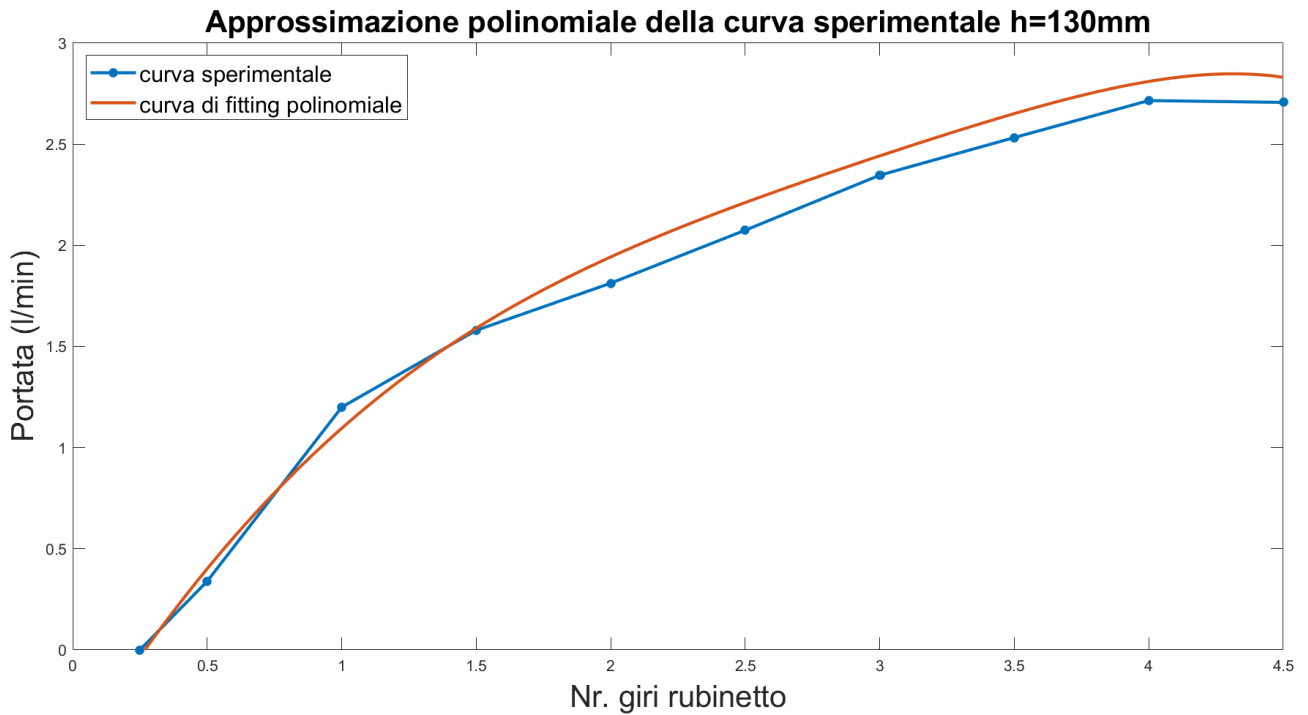


Figura 24 - confronto tra curva sperimentale e curva polinomiale (h=130mm)

Il modello teorico polinomiale sembra approssimare piuttosto bene anche le altre curve sperimentali da cui non è stato direttamente ricavato. Questo conferma la sua affidabilità e permette di stabilire definitivamente la sua validità generale.

Come ulteriore (e ultima) prova della bontà dei risultati ottenuti, si può nuovamente riproporre il calcolo degli errori che la curva teorica commette nell'approssimare la curva sperimentale.

Tabella 20 - differenza tra portata sperimentale e modello polinomiale (h=70mm)

<b>h = 70 mm</b>			
<b>Nr. giri</b>	<b>Q sper. (l/min)</b>	<b>Q pol. (l/min)</b>	<b><math>\Delta Q</math> (l/min)</b>
0,25	0,000	-0,025	0,025
0,5	0,258	0,294	0,036
1	0,736	0,804	0,068
1,5	1,059	1,167	0,108
2	1,388	1,426	0,038
2,5	1,589	1,624	0,035
3	1,810	1,795	0,015
3,5	1,943	1,949	0,006
4	2,130	2,067	0,063
4,5	2,233	2,083	0,150

Tabella 21 - differenza tra portata sperimentale e modello polinomiale (h=100mm)

<b>h = 100 mm</b>			
<b>Nr. giri</b>	<b>Q sper. (l/min)</b>	<b>Q pol. (l/min)</b>	<b><math>\Delta Q</math> (l/min)</b>
0,25	0,000	-0,030	0,030
0,5	0,289	0,352	0,063
1	1,004	0,961	0,043
1,5	1,400	1,395	0,005
2	1,699	1,705	0,006
2,5	1,902	1,941	0,039
3	2,159	2,145	0,014
3,5	2,363	2,330	0,033
4	2,428	2,470	0,042
4,5	2,493	2,489	0,004

Tabella 22 - differenza tra portata sperimentale e modello polinomiale (h=130mm)

<b>h = 130 mm</b>			
<b>Nr. giri</b>	<b>Q sper. (l/min)</b>	<b>Q pol. (l/min)</b>	<b><math>\Delta Q</math> (l/min)</b>
0,25	0,000	-0,034	0,034
0,5	0,339	0,401	0,062
1	1,200	1,096	0,104
1,5	1,580	1,591	0,011
2	1,813	1,944	0,131
2,5	2,075	2,214	0,139
3	2,347	2,446	0,099
3,5	2,533	2,656	0,123
4	2,716	2,817	0,101
4,5	2,707	2,838	0,131

Come si può notare dalle tabelle, la differenza tra il risultato numerico e quello sperimentale è piuttosto bassa e, soprattutto, è mediamente più bassa dell'errore di approssimazione che si commetteva utilizzando il modello teorico basato sul ramo di parabola. Per conferma vengono riportati qui di seguito gli errori percentuali medi commessi dai due diversi modelli teorici rispetto alle curve sperimentali che intendono approssimare.

Tabella 23 - confronto errori percentuali ottenuti con i due diversi modelli di fitting

	<b>fitting ramo di parabola</b>	<b>fitting polinomiale</b>
<b>h = 70 mm</b>	3,95%	5,49%
<b>h = 100 mm</b>	8,65%	3,64%
<b>h = 130 mm</b>	9,88%	6,58%

Questa tabella mostra dei dati piuttosto grezzi e che non hanno sicuramente una valenza assoluta dal punto di vista statistico, tuttavia, mettono in luce quanto un'approssimazione polinomiale elaborata da un software possa essere mediamente più precisa di un'approssimazione puramente

teorica ricavata analiticamente. La causa principale della discrepanza tra i due modelli è probabilmente legata al fatto che è molto difficile descrivere il comportamento del rubinetto assaggiavino con delle precise leggi fisiche. In particolare, la sezione del beccuccio verticale che viene man mano scoperta dalla traslazione della manopola non è certamente riconducibile ad una semplice legge matematica: essa, oltre ad avere una forma particolare (non approssimabile con nessuna figura piana), dipende in larga parte da trafiletti o da altre imprecisioni geometriche nella costruzione del rubinetto. In conclusione, è chiaro che risulta complicato ottenere un perfetto modello matematico basato su leggi fisiche se il rubinetto stesso non è facilmente descrivibile da esse; più semplice risulta invece rifarsi a metodi numerici che approssimano le curve sperimentali con un elevato grado di precisione. Ad ogni modo, in definitiva, si può affermare che si è riusciti a ricavare un modello matematico che ben descrive il comportamento del rubinetto e tale modello, di natura polinomiale, potrebbe essere di grande aiuto nel prevedere l'analisi di situazioni d'esercizio non direttamente sperimentabili in laboratorio.



### 3 Circuito idraulico

Ben compreso l'ambiente che circonda il robot e conclusa la disamina sull'unico organo con cui quest'ultimo andrà ad interfacciarsi (il rubinetto), è bene spostare l'attenzione sul reale protagonista della raccolta dei campioni di vino: il circuito idraulico. Come anticipato in fase introduttiva, una volta aperto il rubinetto occorre che qualcosa raccolga il vino che ne fuoriesce e lo smisti correttamente verso un prestabilito punto di raccolta dove possa momentaneamente essere stoccato in attesa di raggiungere il luogo in cui verrà analizzato. Si è pensato che la raccolta possa essere deputata ad un semplice imbuto e che da quest'ultimo parta poi un piccolo circuito che assolva a tutte le funzioni necessarie (smistamento degli scarti, raccolta del campione, pulizia, ...). L'imbuto in questione sarà solidale all'end-effector e sarà cura del braccio robotico posizionarlo correttamente al di sotto del beccuccio di uscita del rubinetto; da lì in poi tutta la strumentazione necessaria sarà integrata alla piattaforma mobile in modo che si possa spostare ovunque insieme a tutto il resto del sistema.

Nella pagina successiva viene mostrato uno schema del circuito idraulico ideato per portare a termine tutte le operazioni necessarie al fine ultimo della raccolta del campione, successivamente la descrizione dei suoi componenti e del suo funzionamento.

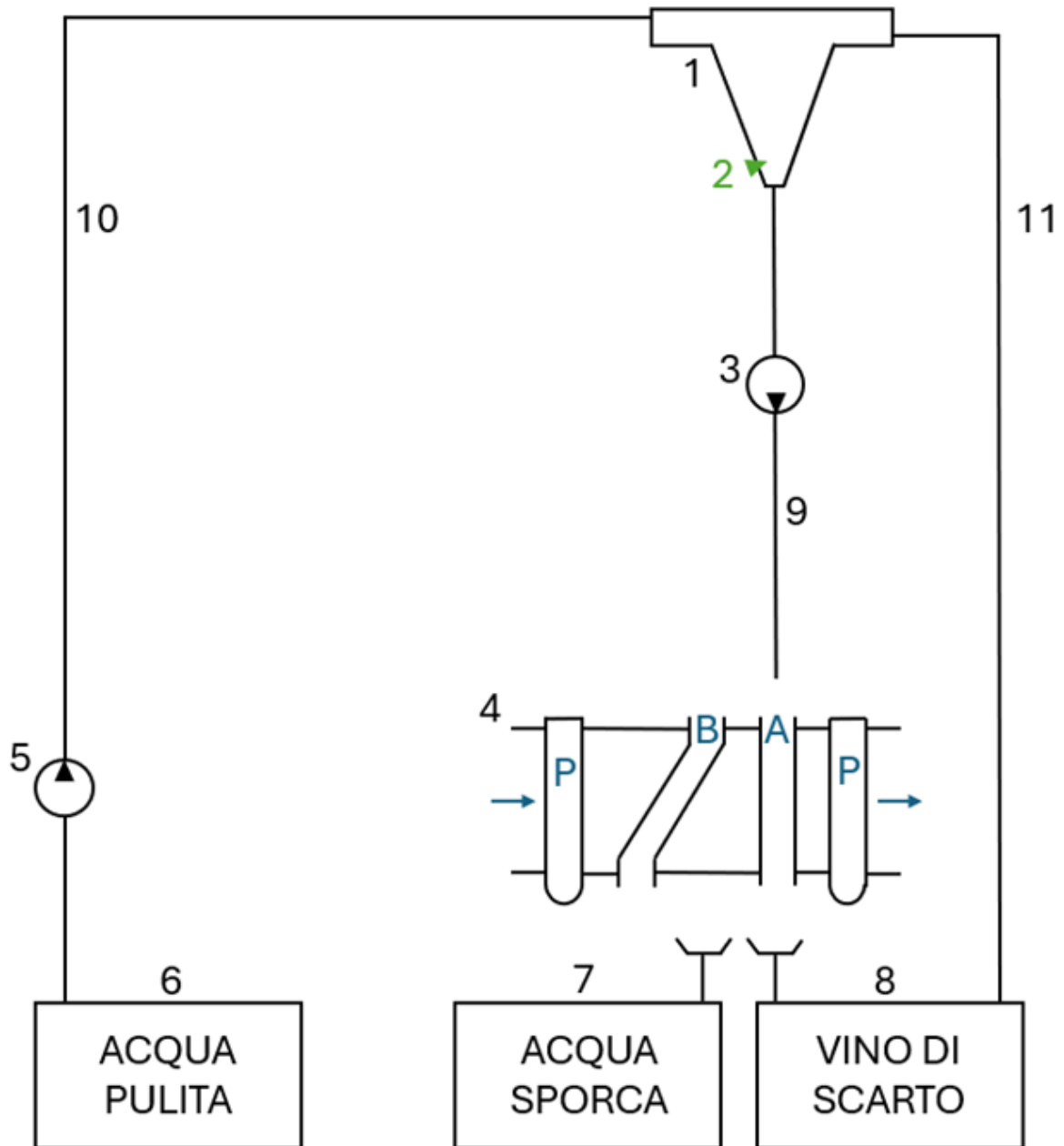


Figura 25 - schema del circuito idraulico per la raccolta dei campioni di vino

Il circuito è composto da:

1. Imbutto di raccolta.
2. Sensore di pressione.
3. Pompa di scarico.
4. Portaprovette rotante.
5. Pompa di mandata dell'acqua pulita.
6. Serbatoio dell'acqua pulita.
7. Serbatoio di raccolta dell'acqua sporca.
8. Serbatoio di raccolta del vino di scarto.
9. Linea di scarico.
10. Linea di mandata dell'acqua pulita.
11. Linea di scarico del troppopieno (sistema di emergenza).

La raccolta di un campione di vino si articola in tre differenti fasi: scarto del vino non buono per essere analizzato, raccolta del campione vero e proprio, pulizia del circuito. Il circuito idraulico appena mostrato dovrebbe funzionare nel seguente modo: l'imbutto (1) raccoglie il vino in caduta dal rubinetto e il sensore di pressione integrato sul fondo (2) ne monitora il volume e fornisce un segnale quando questo raggiunge un determinato valore; questo avviene grazie al fatto che, misurando la pressione della colonna di liquido al di sopra del sensore, si può risalire alla sua altezza e, conoscendo la geometria dell'imbutto, al suo volume. Superata una certa soglia, viene fatta partire la pompa di scarico (3) che convoglia il vino accumulato nell'imbutto all'interno di un serbatoio adibito alla raccolta degli scarti (8). Terminata questa prima fase di raccolta dello scarto, si procede ripetendo le medesime operazioni salvo questa volta scaricare il vino all'interno di una provetta: è così compiuta anche la fase di raccolta del campione vero e proprio che ora si trova stoccato al sicuro. Svuotato dunque l'imbutto, si fa partire la pompa di mandata (5) che permette all'acqua pulita di risalire a partire dal suo serbatoio (6) fino all'imbutto per poi essere scaricata lungo lo stesso circuito percorso precedentemente dal vino e terminare nel suo serbatoio di raccolta (7). In questo modo si è conclusa la terza e ultima fase, ovvero quella di pulizia del circuito: quest'ultimo è stato attraversato da acqua pulita in modo da rimuovere qualsiasi residuo di vino e poter proseguire così con una nuova raccolta senza il rischio che il nuovo campione venga contaminato dal vino precedente. Le prime due fasi della raccolta (scarto e campione) sono del tutto analoghe ma differiscono per la

destinazione finale del vino; la fase di pulizia vede l'acqua condividere parte del circuito in cui è passato il vino per poi avere una terza destinazione differente dalle prime due. La gestione e la separazione di queste tre fasi è dovuta esclusivamente alla posizione del portaprovette rotante (4) che è appunto in grado di ruotare e quindi cambiare la sua posizione rispetto al punto di sbocco della linea di scarico (9) che invece è fisso. Il portaprovette è quasi interamente occupato da provette tranne che per due spazi che vengono appositamente lasciati liberi per fare in modo che passino due canali che conducono a due differenti serbatoi: nello schema sono rappresentati arbitrariamente due spazi occupati da provette (indicate dalla lettera P) e due canali indicati con le lettere A e B che conducono rispettivamente al serbatoio di raccolta del vino di scarto e al serbatoio di raccolta dell'acqua sporca. Vino e acqua condividono sempre la linea di scarico del circuito idraulico e la loro differente destinazione finale è soltanto dovuta alla posizione del portaprovette: durante la prima fase esso si sposta in corrispondenza del canale A in modo che il vino finisca nel serbatoio degli scarti, nella fase successiva si sposta in corrispondenza di uno spazio occupato da una provetta vuota in modo che questa possa accogliere il vino buono che verrà analizzato e, infine, nella fase di pulizia il portaprovette si sposta in corrispondenza del canale B in modo da convogliare l'acqua sporca nel suo serbatoio di raccolta.

In conclusione, pare che il circuito appena mostrato abbia tutti i requisiti per portare efficacemente a termine il compito per cui è stato progettato. Si vuole anche evidenziare un tanto semplice quanto utile sistema di sicurezza: la linea di scarico del troppopieno (11). In caso di malfunzionamento del sensore di pressione o della pompa di scarico, è stato ricavato sulla sommità dell'imbuto un canale che collega quest'ultimo direttamente al serbatoio degli scarti; in questo modo l'imbuto non potrà mai riempirsi oltre un certo livello e si evita così un eventuale strabordare di liquido con conseguente danneggiamento di tutta la strumentazione nei dintorni.

Terminata questa breve introduzione su come dovrebbe teoricamente funzionare il circuito idraulico nella sua interezza, si passa ad analizzare più nello specifico i singoli componenti. Nei prossimi paragrafi, in particolare, si prenderanno in analisi l'imbuto di raccolta, le pompe di scarico e di mandata dell'acqua pulita, il sensore di pressione e si dedicherà infine una sezione ai test sperimentali effettuati su un prototipo del circuito intero.

### 3.1 Imbuto di raccolta

L'imbuto ha il compito di raccogliere il vino in caduta dal rubinetto e accumularlo finché non verrà scaricato alla sua destinazione finale. Esso rappresenta il primo step di una catena di strumenti e operazioni che lavorano affinché al termine dell'esercizio del robot ci si ritrovi una serie di campioni di vino stoccati in provetta e pronti ad essere analizzati.

Per condurre tutte le dovute prove in laboratorio è stato necessario stampare un imbuto tramite stampa 3D; qui di seguito viene mostrato il disegno tecnico dell'imbuto con le relative quote e successivamente il modello reale ottenuto dalla stampa (si tenga conto che le dimensioni del modello reale saranno leggermente diverse dalle quote teoriche per via del restringimento del materiale durante il processo di stampaggio).

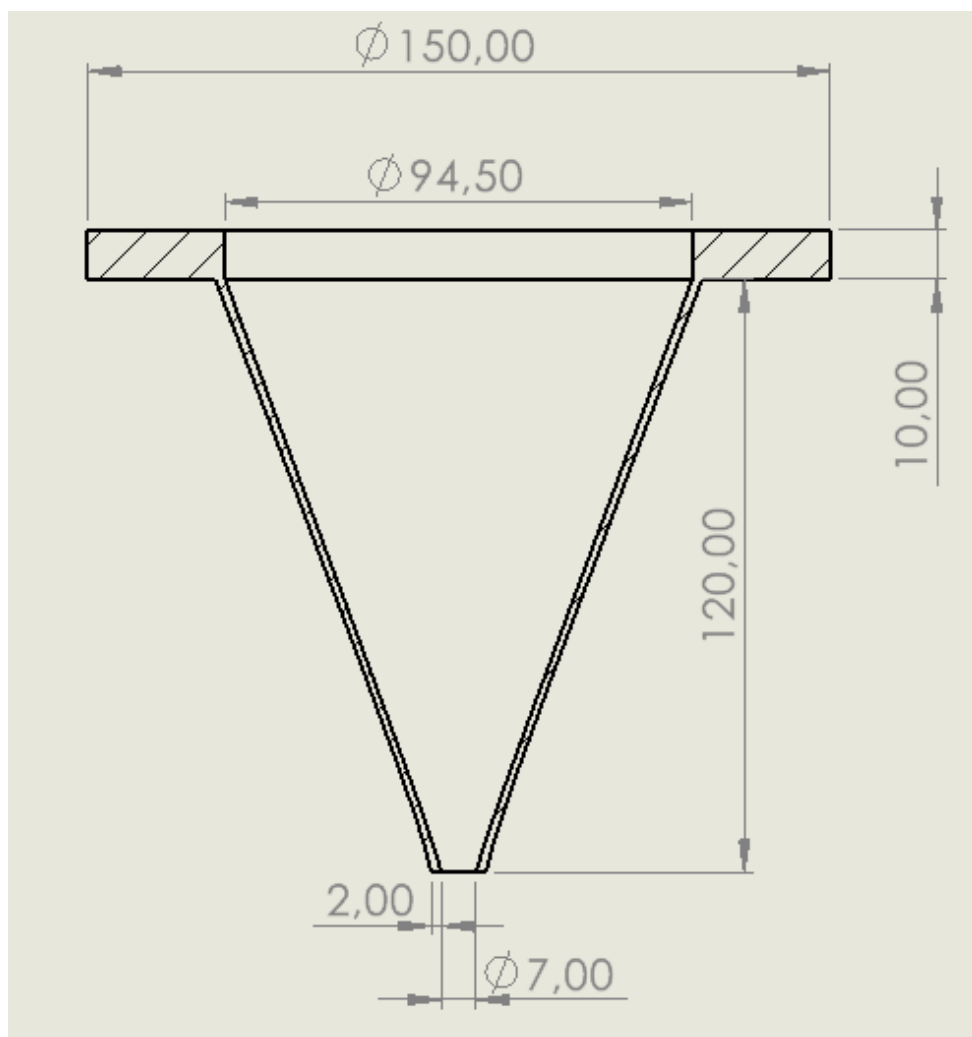


Figura 26 - disegno tecnico quotato dell'imbuto di raccolta



Figura 27 - imbuto di raccolta ottenuto tramite stampa 3D

L'imbuto in questione non è altro che un tronco di cono che ha diametro della base maggiore (ovvero la bocca di ingresso) pari a poco più di 90 mm e diametro della base minore (ovvero il foro di uscita) pari a 6 mm mentre l'altezza è di 120 mm. Tale parte conica è poi sormontata da una breve parte cilindrica che ha lo stesso diametro di circa 90 mm e altezza pari a 10 mm; la sua principale utilità è quella di fare da supporto per l'intero imbuto ma, soprattutto, per uno speciale anello che andrà integrato proprio sulla sommità del cono (a breve se ne parlerà approfonditamente). Il volume complessivo utile di tale imbuto è di circa 360 ml e ciò lo rende abbondantemente in grado di raccogliere qualsiasi campione di vino, i quali hanno generalmente volumi che variano dai 150 ai 200 ml. Realizzare l'imbuto con una capacità superiore a quella richiesta permette di non doverlo riempire completamente ogni volta e dunque non rischiare che il vino strabordi al di fuori; è vero che si è previsto il canale del troppopieno, ma si vorrebbe comunque evitare di scartare vino inutilmente.

### 3.1.1 Test di pulizia

Come accennato durante la descrizione del funzionamento del circuito idraulico, una fase fondamentale della raccolta del campione di vino è la pulizia del circuito stesso. Questa è necessaria per fare in modo che la raccolta di un certo campione di vino non possa contaminare le raccolte successive, è indispensabile lavare tutte le vie che il vino percorre prima che le stesse possano essere percorse dai vini successivi. Le parti interessate dalla questione sono l'imbuto di raccolta e la linea di scarico; per farle attraversare da acqua pulita si è pensato ad un circuito esterno che parta da un serbatoio e arrivi a sgorgare sulla sommità dell'imbuto. Tale percorso esterno è stato precedentemente definito "linea di mandata dell'acqua pulita" e viene ora mostrato nella sua individualità separato dal resto del circuito idraulico.

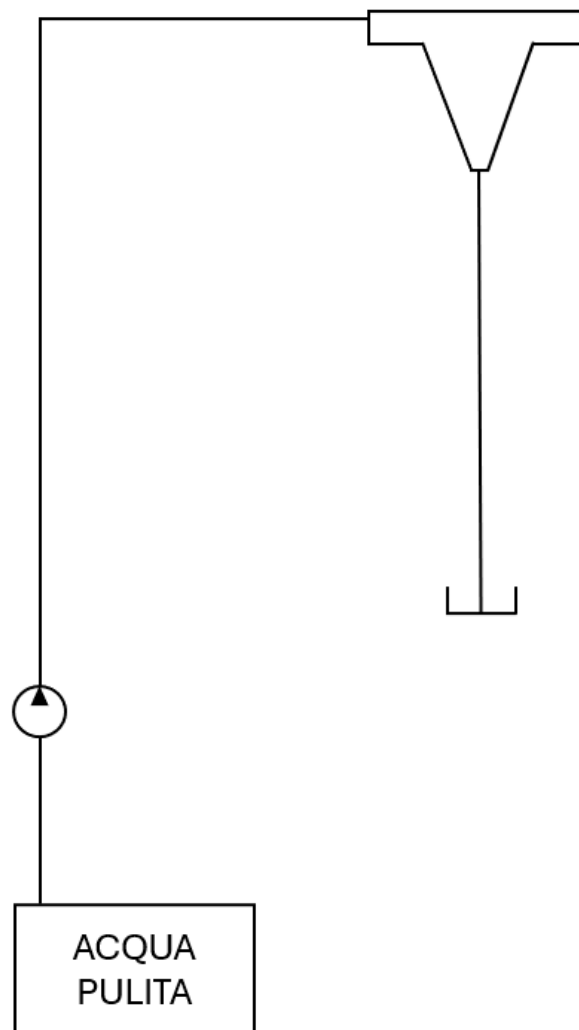


Figura 28 - schema del circuito di mandata dell'acqua per la pulizia

Come viene schematicamente mostrato nella figura precedente, questo percorso esterno conta semplicemente di un serbatoio d'acqua pulita da cui viene pescato un certo volume che, tramite una pompa, viene portato a sboccare sulla sommità dell'imbuto di raccolta; da qui l'acqua pulisce le pareti interne dell'imbuto e prosegue poi attraversando lo stesso circuito del vino (il circuito mostrato in figura 28 è quello riprodotto poi in laboratorio e per comodità la linea di scarico è stata fatta semplicemente terminare in un contenitore di raccolta). L'obiettivo di tale sistema è molto semplice: ottenere una pulizia completa di tutto l'imbuto e di tutti i tubi del circuito evitando schizzi e utilizzando la minor quantità di acqua possibile.

Tralasciando momentaneamente il consumo, ci si concentra adesso sulla sola risalita dell'acqua e sul suo punto di ingresso all'interno dell'imbuto. La capacità di pulire ogni superficie e la possibilità di evitare schizzi dipendono dalle condizioni di sbocco dell'acqua, in particolare dalla sua pressione e dalla sua direzione di incidenza rispetto alle pareti dell'imbuto.

La pressione con cui l'acqua arriva all'ingresso dell'imbuto dipende dalle caratteristiche della pompa che l'ha pescata e che la spinge per farla risalire (di questo se ne parlerà in seguito). Tenere sotto controllo tale pressione è fondamentale per ottenere una pulizia adeguata: una pressione troppo bassa darebbe origine ad un getto non abbastanza vigoroso da lambire tutta la superficie conica dell'imbuto, mentre una pressione eccessiva causerebbe un getto d'acqua troppo potente con conseguenti schizzi che potrebbero uscire dall'imbuto e bagnare tutto l'ambiente circostante. In conclusione, la pressione del getto d'acqua deve essere sufficiente per raggiungere tutte le superfici interessate ma non eccessiva così da evitare possibili danneggiamenti della strumentazione nell'intorno dell'imbuto.

Oltre alla pressione di sbocco, un altro aspetto fondamentale del getto d'acqua è il suo angolo di incidenza rispetto alle pareti dell'imbuto. Nella pagina successiva viene mostrata una vista in sezione dall'alto di un canale di ingresso che passa attraverso le pareti dell'imbuto.



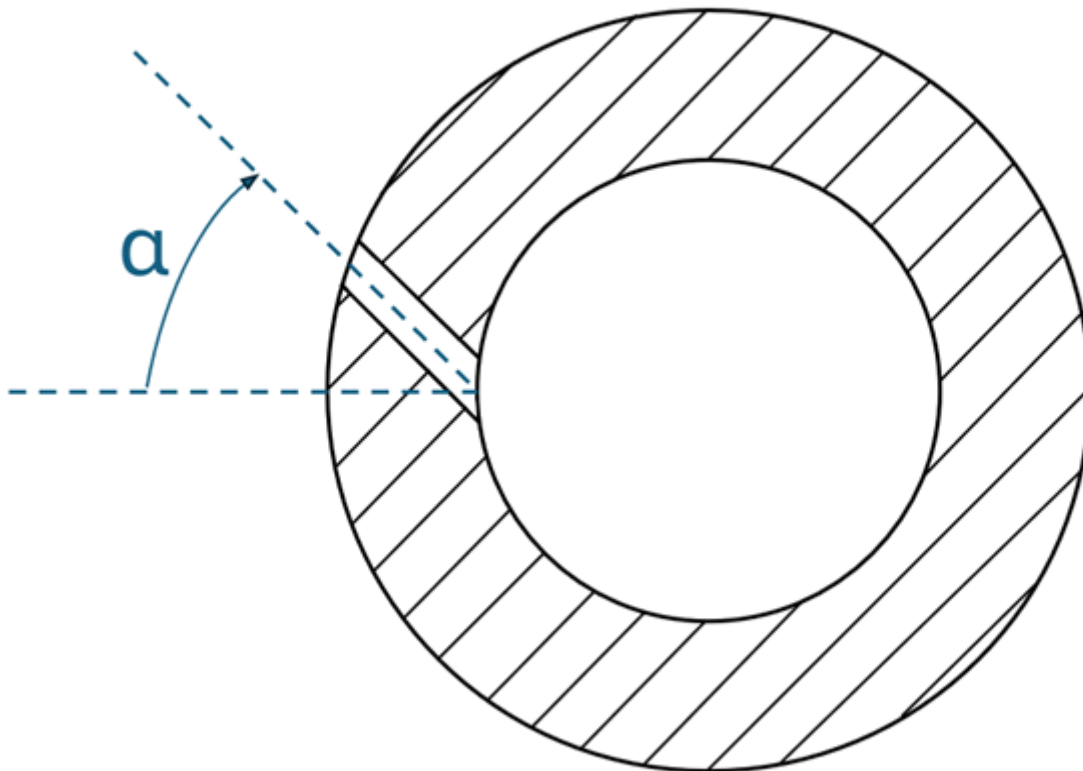


Figura 29 - schema di una vista in sezione dall'alto di un canale di distribuzione dell'acqua

Per ottimizzare la pulizia si è pensato ad un getto d'acqua che non entra nell'imbuto in maniera perfettamente radiale, ma lo fa seguendo un certo angolo di inclinazione ( $\alpha$  nel disegno). In questo modo si vuole ricreare una sorta di "effetto vortice" che permette al getto di lambire l'intera superficie interna del cono proseguendo poi da cima a fondo per tutta l'altezza dell'imbuto.

Per individuare la configurazione ideale e il miglior angolo di incidenza possibile per il canale di ingresso dell'acqua, sono state condotte in laboratorio una serie di prove utilizzando un particolare anello forato che simulasse tanti diversi canali ciascuno con una diversa inclinazione. Tale anello è stato realizzato tramite stampa 3D ed è stato modellato in modo da essere perfettamente concentrico rispetto all'imbuto e poter essere integrato sulla sua sommità. Nelle immagini successive viene mostrato il CAD di questo anello e una sua vista in sezione che evidenzia tutti i diversi canali con le diverse inclinazioni.

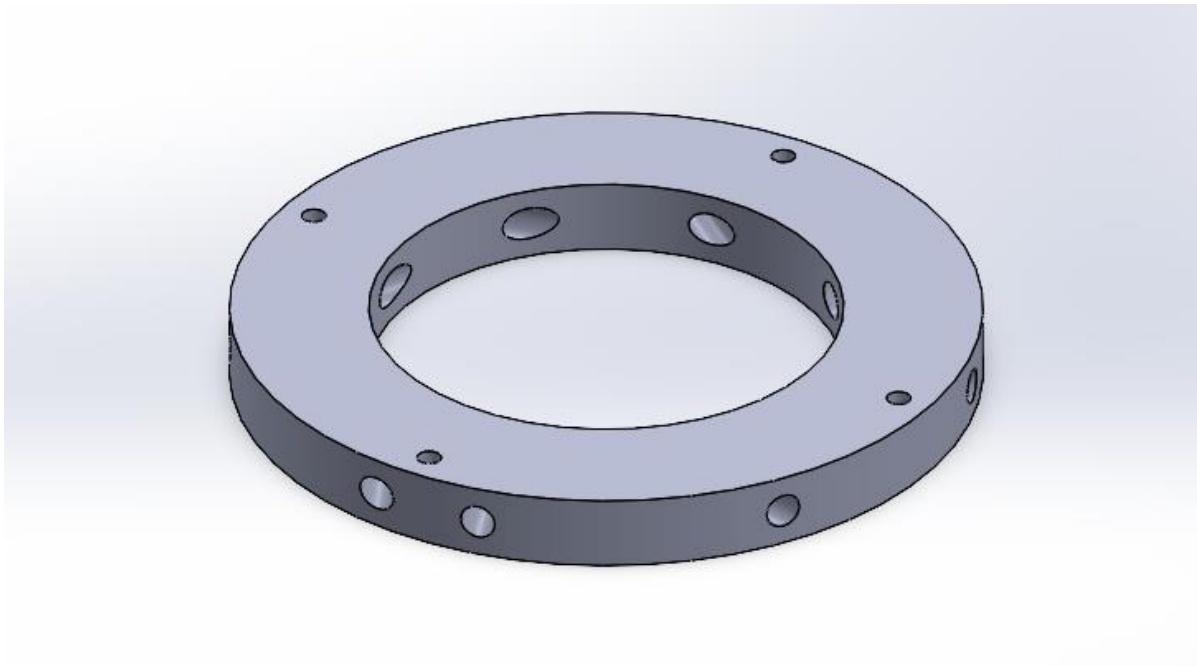


Figura 30 - modello CAD dell'anello forato per simulare i diversi canali di distribuzione dell'acqua

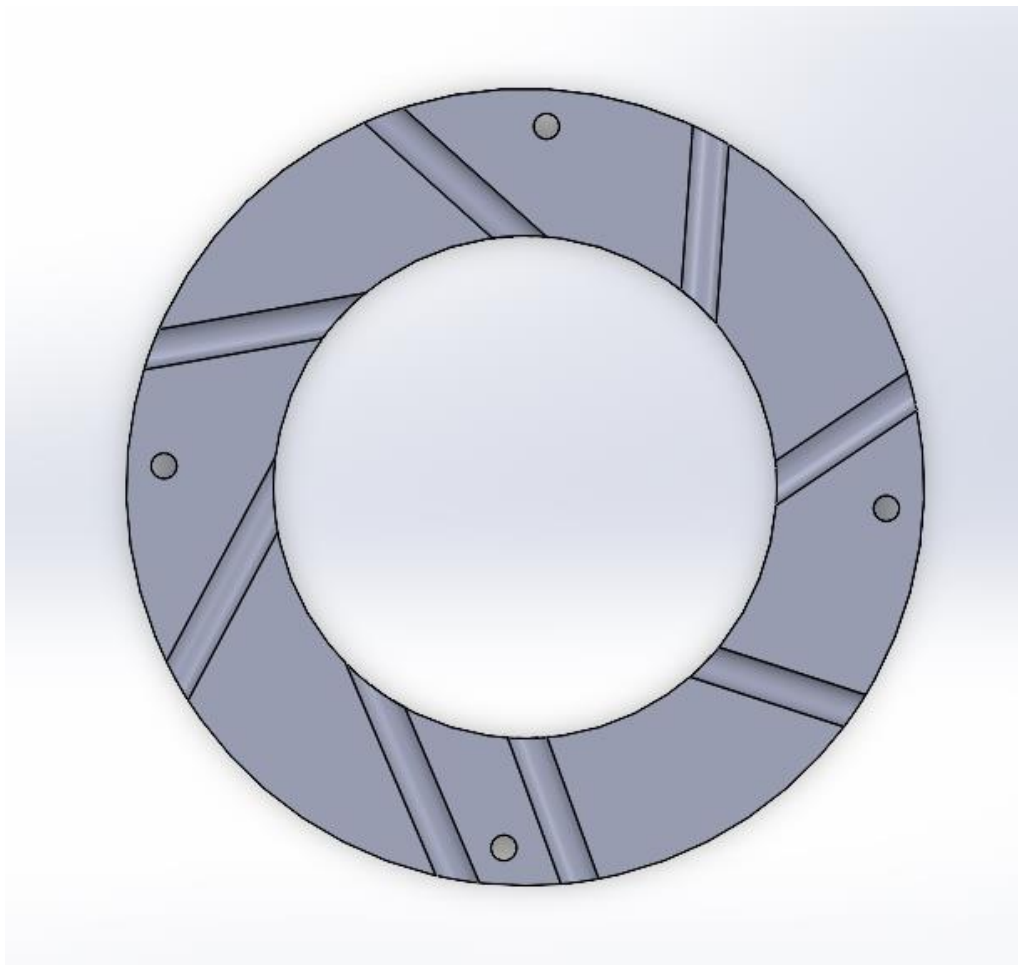


Figura 31 - vista in sezione dall'alto dei diversi canali di distribuzione dell'acqua

La realizzazione di questo anello ha permesso di testare diversi angoli di incidenza del getto d'acqua utilizzando sempre lo stesso imbuto; era sufficiente soltanto, di volta in volta, spostare il tubo all'interno del canale interessato e tappare gli altri per evitare che l'acqua ci passasse attraverso e fuoriuscisse dalle pareti laterali esterne dell'imbuto. In particolare, questo anello di distribuzione è stato realizzato con 8 diversi canali, dove il primo parte con un'inclinazione di  $20^\circ$  e l'ultimo arriva ad avere un'inclinazione di  $69^\circ$ .

Qui di seguito l'immagine del sistema reale formato da imbuto e anello a lui ancorato tramite dei semplici bulloni.

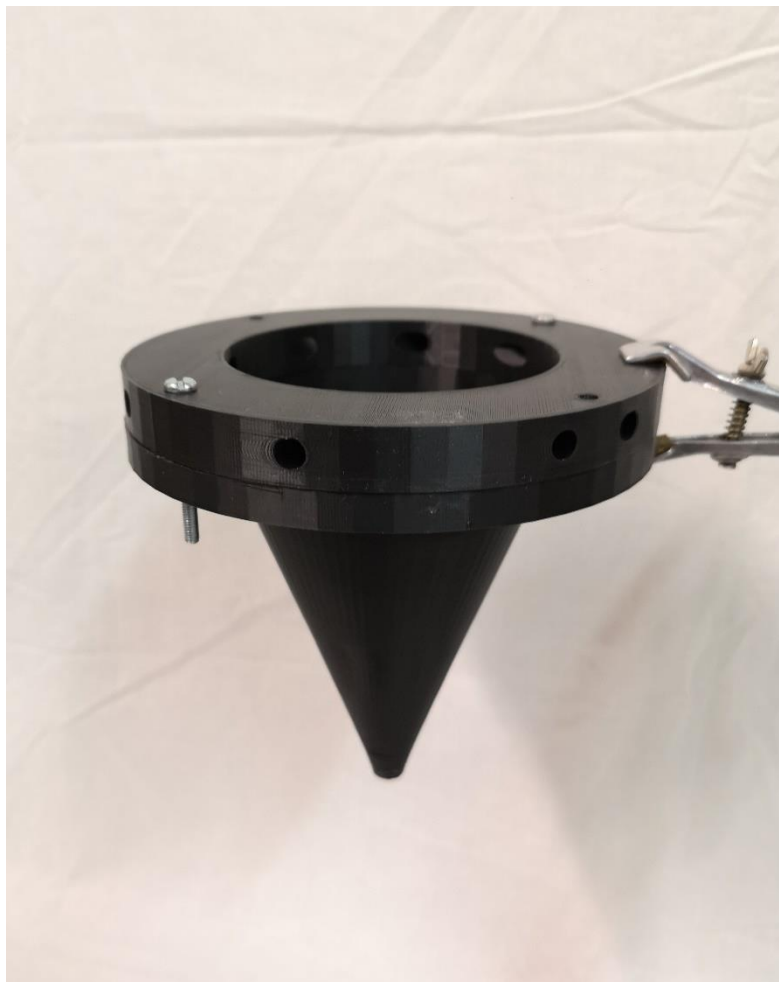


Figura 32 - imbuto con anello di distribuzione dell'acqua

In laboratorio si sono condotte delle prove qualitative in cui si utilizzava un tubo collegato ad un serbatoio d'acqua tramite una pompa e, di volta in volta, lo si inseriva all'interno di un differente canale per testare le varie inclinazioni. I risultati e le considerazioni utili ricavate si possono riassumere in quanto segue:

- In linea di massima è più conveniente avere canali di ingresso con elevati angoli di inclinazione; per formare quell'effetto spirale di cui si accennava in precedenza si dovrebbero avere canali di ingresso il più tangenti possibile al profilo circolare delle pareti dell'imbuto.
- Si è capito che potrebbe essere quasi indispensabile prevedere due o più diversi getti d'acqua in ingresso e non uno solo. Sfruttando un solo getto, questo dovrebbe entrare nell'imbuto e percorrere una traiettoria quasi orizzontale lungo le pareti coniche interne per poi continuare a scendere per gravità lungo le stesse fino all'uscita in basso. Per la configurazione geometrica dell'imbuto ciò richiederebbe ad un unico getto una pressione eccessiva che causerebbe sicuramente schizzi e fuoriuscita d'acqua; mentre potrebbe essere facilmente realizzabile prevedendo due o più getti separati ciascuno ad una minore pressione.
- L'anello di distribuzione stampato in 3D era molto sottile e questo voleva dire che il punto di sbocco dell'acqua era poco più in basso dell'estremità superiore dell'imbuto. Durante le prove è capitato spesso che un po' d'acqua strabordasse al di fuori seppur il getto non avesse una pressione così elevata. Tale problematica si potrebbe facilmente risolvere prevedendo un punto di sbocco dell'acqua leggermente più in basso rispetto al bordo superiore dell'imbuto. Questo equivale ad alzare le pareti laterali della parte cilindrica dell'imbuto, accorgimento che, inoltre, permetterebbe di bloccare meglio eventuali schizzi.

In virtù delle considerazioni fatte si sono voluti concludere i test di pulizia realizzando quello che, perlomeno in teoria, dovrebbe essere il miglior anello possibile per la distribuzione dell'acqua. Come detto, l'acqua dovrebbe sboccare all'interno dell'imbuto con una direzione quanto più tangente possibile alle pareti dello stesso e dovrebbe farlo da più di un punto di ingresso contemporaneamente. Per assicurare tali condizioni si è stampato un nuovo anello da integrare sulla sommità del medesimo imbuto. Nella pagina seguente viene mostrato il modello CAD di questo nuovo anello e una sua vista in sezione che evidenzia il dettaglio dei canali di distribuzione dell'acqua.

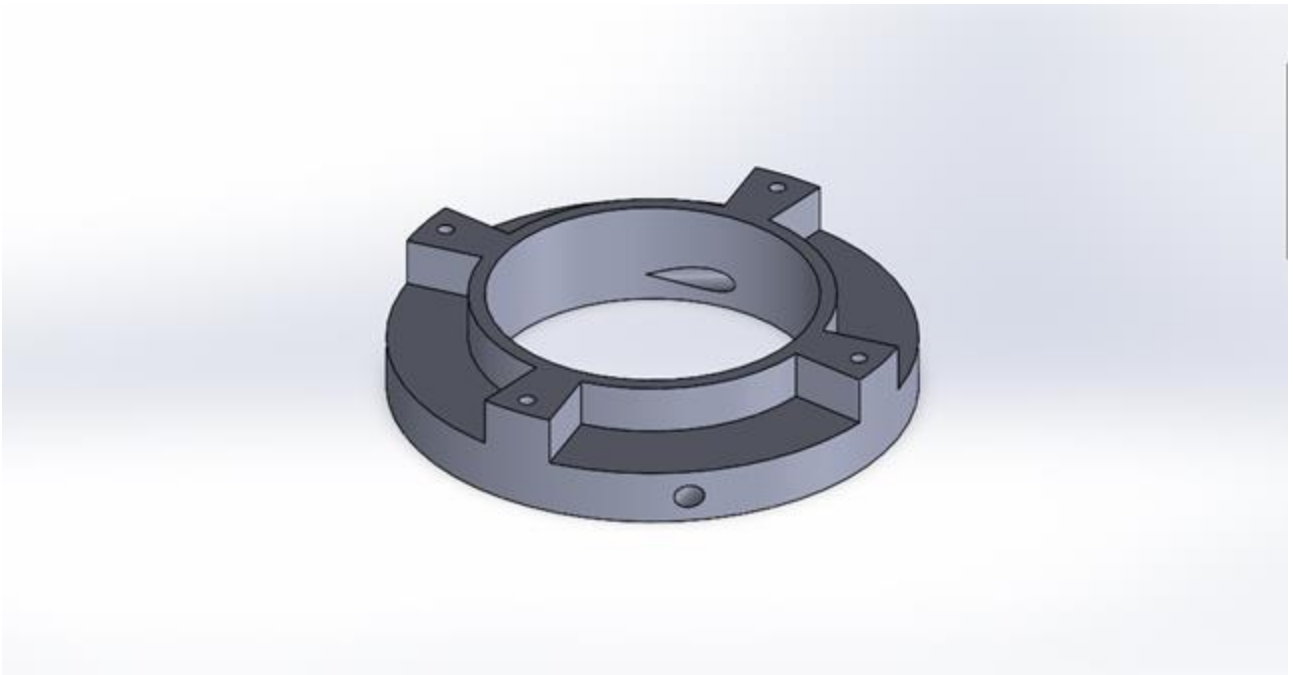


Figura 33 - modello CAD del nuovo anello di distribuzione dell'acqua

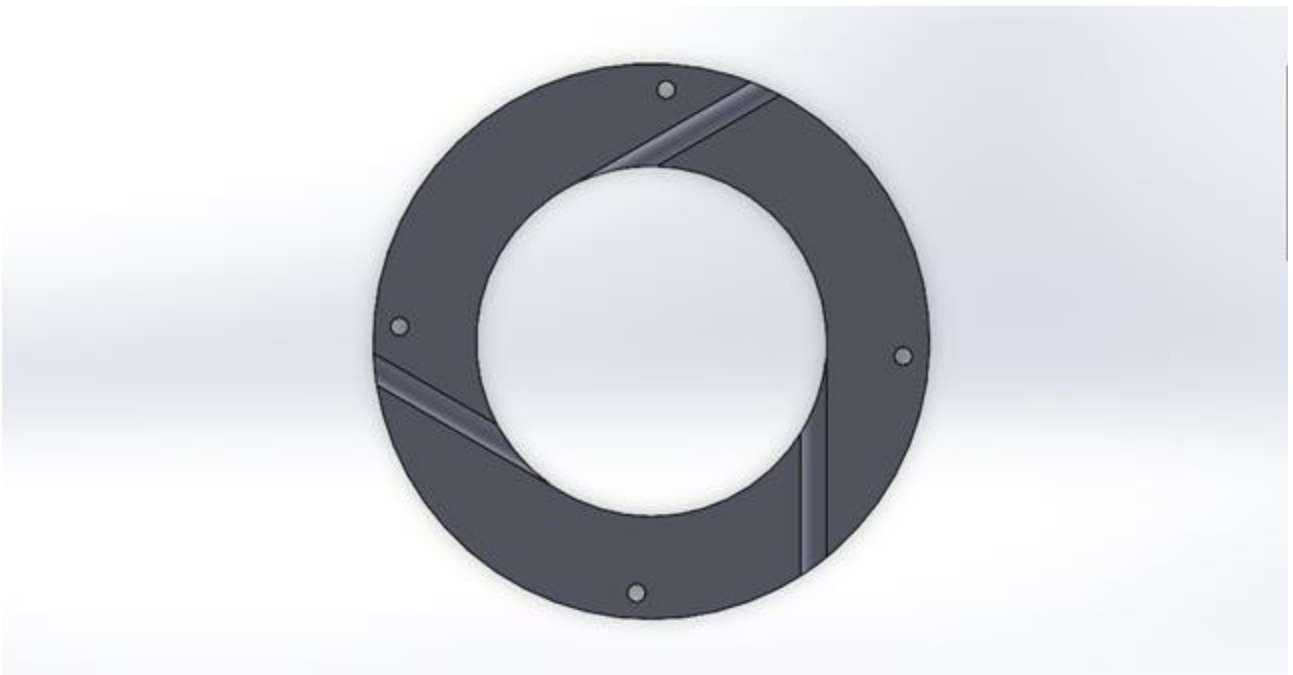


Figura 34 - vista in sezione dall'alto dei canali di distribuzione dell'acqua posti a 90°



Figura 35 - imbuto con nuovo anello di distribuzione dell'acqua

Come si può osservare dalle immagini, si è scelto di realizzare tre canali uguali tutti perfettamente tangenziali rispetto alle pareti interne dell'imbuto e i cui punti di sbocco sono equamente distanziati lungo la circonferenza. Inoltre, si può notare dalla prima immagine che i punti di sbocco dell'acqua si trovano ad una distanza tale dal bordo estremo superiore che permette di evitare lo strabordare dell'acqua e l'eventuale eccessiva fuoriuscita di schizzi.

Dopo qualche prova qualitativa in laboratorio si può affermare che la configurazione dell'anello appena mostrata sia la migliore versione possibile e quella che garantisce la pulizia più efficace. Il getto perfettamente tangenziale alle pareti dell'imbuto favorisce la formazione del desiderato "effetto vortice" che permette di lambire completamente tutta la superficie interna; e il fatto che tale getto possa arrivare da ben tre punti differenti contemporaneamente rende l'operazione estremamente più efficace.

## 3.2 Caratterizzazione pompe

Il circuito idraulico, per il suo regolare funzionamento, deve necessariamente contare su due diverse pompe: una che permetta di scaricare il vino accumulato nell'imbuto e l'altra che permetta la risalita dell'acqua per effettuare la pulizia. La prima pompa deve essere piuttosto precisa per calibrare al meglio la quantità di vino che verrà effettivamente raccolta in provetta e la quantità che invece andrà scartata; mentre la seconda pompa deve poter contare su una buona portata e sulla capacità di pescare acqua e trasportarla anche su medie distanze (mediamente comprese tra 1 e 1,8 metri).

Nei paragrafi successivi vengono presentate le due tipologie di pompe e per ciascuna si cercherà di descriverne al meglio le caratteristiche e il funzionamento.

### 3.2.1 Pompa di scarico

Questa pompa si trova all'uscita dell'imbuto e ha l'obiettivo di smistare i liquidi che si accumulano proprio all'interno di quest'ultimo. La principale peculiarità che si richiede a tale pompa è quella di essere molto precisa in modo da raccogliere esattamente le quantità desiderate di vino (le quali oscillano intorno a 150 ml per i campioni in provetta e circa altrettanti per i dovuti scarti). Perciò, non è assolutamente necessario che essa sia in grado di erogare elevate portate, anzi questo la renderebbe certamente meno accurata nello smistare i relativamente piccoli volumi che il compito richiede. Inoltre, tale pompa lavorerà verosimilmente sempre a favore della gravità e, dunque, non è tenuta a possedere una buona prevalenza, ossia non deve avere per forza la capacità di pescare e spostare acqua sulle medio-lunghe distanze.

Nella figura successiva viene riportato lo schema che vede la pompa di scarico integrata all'uscita dell'imbuto di raccolta.

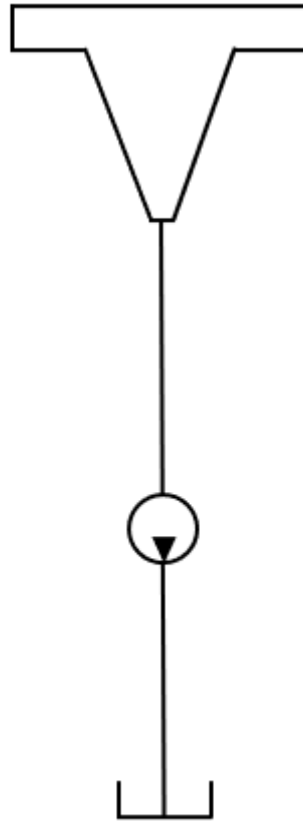


Figura 36 - schema del circuito della pompa di scarico

Sulla base di questo schema, è stata provata in laboratorio una pompa peristaltica [8]. Si è voluto innanzitutto verificare la reale portata della pompa e, in secondo luogo, si sono volute eseguire una serie di prove di scarico per valutare l'effettivo tempo necessario a svuotare tutto il circuito tenendo conto della configurazione dell'intero sistema.

Nella pagina seguente viene mostrata la pompa peristaltica in questione e il circuito realizzato in laboratorio per testarla.





Figura 37 - pompa peristaltica usata per lo scarico dell'imbuto



Figura 38 - circuito per testare la pompa di scarico

Per individuare la reale portata della pompa sono state eseguite delle semplici prove di raccoglimento in cui veniva misurato il volume d'acqua scaricato in un determinato intervallo di tempo. Le prove consistevano nel riempire l'imbutto di raccolta, far partire la pompa di scarico e in contemporanea avviare un cronometro; raggiunto poi un determinato numero di secondi si fermava la pompa e si pesava l'acqua raccolta per poter risalire al suo volume, quest'ultimo si rapportava poi al tempo necessario per raccoglierlo ottenendo così una misura di portata. Tali prove sono state ripetute per sei diversi intervalli di tempo e per ciascuno è stata ripetuta la raccolta per tre volte. Il fine di queste prove non era costruire una vera e propria curva caratteristica di portata al variare di una certa variabile di controllo (come potrebbe essere la tensione di alimentazione) ma l'obiettivo era semplicemente individuare la reale portata della pompa alla sua massima velocità di rotazione. La pompa in questione, infatti, è stata sempre alimentata alla sua massima tensione possibile (ovvero 12V) poiché si tratta di una pompa dalla portata molto bassa e non avrebbe senso farla lavorare in una configurazione diversa dalla sua massima capacità possibile. È importante, inoltre, sottolineare che si è fatto in modo di escludere i tempi transitori, ovvero non si sono considerati i tempi necessari a riempire e poi svuotare i tratti di tubo che portano dall'imbutto alla pompa e poi dalla pompa allo scarico. Per fare ciò è stato sufficiente tenere il circuito sempre pieno d'acqua e dunque fare in modo che l'imbutto non si svuotasse mai completamente.

Nella tabella successiva sono riportati i volumi d'acqua raccolti nei relativi intervalli di tempo e i valori di portata ricavati rapportando i volumi agli intervalli stessi. Per semplicità sono stati ignorati gli errori sia sulle misure di volume che su quelle di tempo, poiché considerati perfettamente trascurabili. Il volume è stato ricavato pesando l'acqua su una bilancia con una risoluzione di 0,01g, mentre l'intervallo di tempo è stato misurato con un cronometro preciso al centesimo di secondo e l'unica fonte di errore potrebbe essere il tempo di reazione umano nello stoppare la pompa non appena veniva visualizzato il numero di secondi desiderato. Infine, viene anche riportato il valore medio della portata e la sua deviazione standard.

Tabella 24 - portata misurata a partire dal volume raccolto in un determinato intervallo di tempo

t (s)	V (ml)	Q (l/min)
30	37,41	0,075
30	37,44	0,075
30	37,73	0,075
60	74,69	0,075
60	74,84	0,075
60	74,55	0,075
90	111,64	0,074
90	112,22	0,075
90	111,72	0,074
120	147,14	0,074
120	148,19	0,074
120	148,11	0,074
150	185,26	0,074
150	185,36	0,074
150	186,69	0,075
180	224,26	0,075
180	224,78	0,075
180	225,36	0,075

Tabella 25 - valore medio di portata e relativa deviazione standard

Q (l/min)	Deviazione standard
0,075	$4,530 \cdot 10^{-4}$

I risultati riportati in tabella evidenziano grande coerenza e un'elevata ripetibilità delle prove, suffragata anche dal bassissimo valore della deviazione standard. La pompa è in grado di scaricare 75 ml ogni minuto; considerando il volume dei campioni di vino, il volume degli scarti e il ciclo di pulizia, ci si dovrà aspettare dei tempi complessivi di raccolta di circa 6-7 minuti.

Individuato il valore di portata della pompa, potrebbe essere utile osservare il comportamento della stessa in una situazione di esercizio reale. Per questo motivo sono state condotte in laboratorio delle prove in cui l'obiettivo è stato misurare il tempo necessario per svuotare completamente l'imbutto a partire da un volume noto al suo interno. A differenza delle precedenti prove di portata, in queste si è tenuto conto anche dei tempi transitori necessari a riempire e poi svuotare i tratti di tubo: le prove consistevano nel riempire l'imbutto con un volume noto di acqua, far partire la pompa e contemporaneamente il cronometro e, infine, stopparlo solo quando l'imbutto e tutto il circuito si erano completamente svuotati. Tali prove si avvicinano di più ad una fase di raccolta reale in cui ovviamente il circuito è inizialmente vuoto e dovrà arrivare ad essere completamente svuotato: i tempi transitori fanno parte del processo di raccolta.

Nella tabella successiva vengono riportati gli intervalli di tempo misurati per scaricare il relativo volume d'acqua; tali risultati sono in realtà stati ottenuti come media di tre prove diverse ma le tre prove hanno fornito esiti perfettamente identici e, dunque, si è scelto per semplicità di riportare un risultato unico. A seguire gli stessi risultati sono stati anche riportati su un grafico.

Tabella 26 - tempo misurato per scaricare un determinato volume d'acqua

V (ml)	t (s)
25	24
50	44
75	64
100	84
125	104
150	124
175	144
200	164
225	184
250	204
275	224
300	244

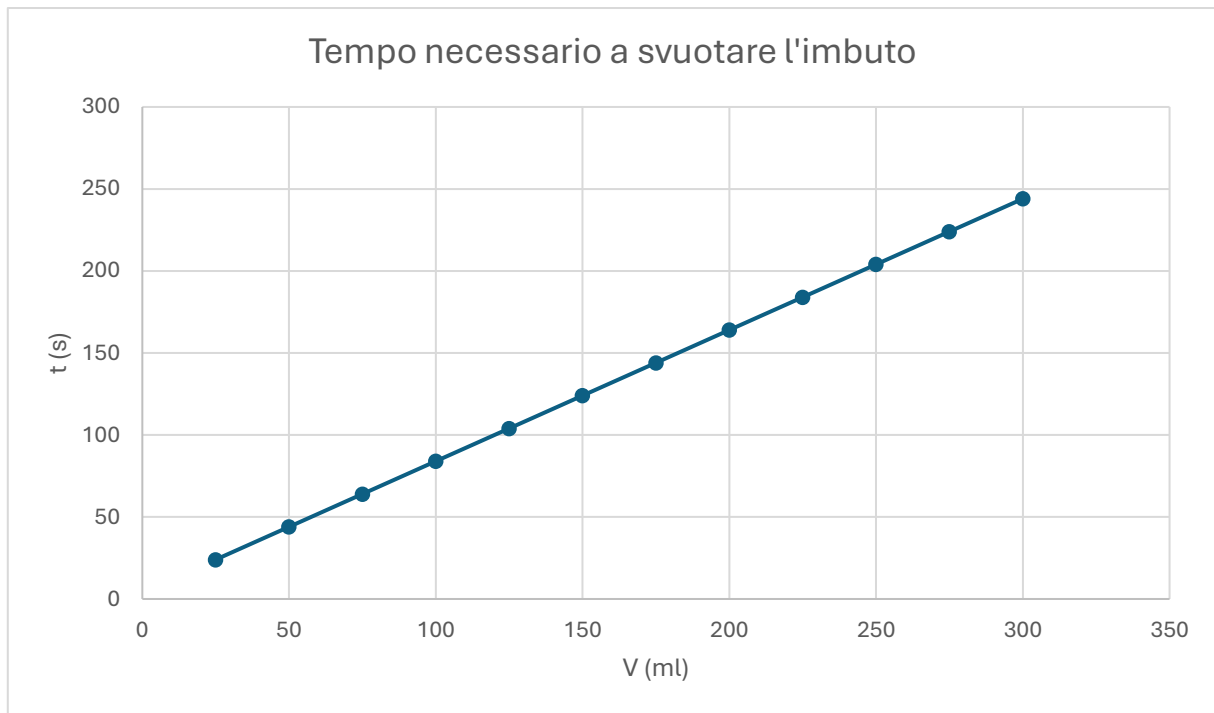


Figura 39 - tempo necessario a scaricare un determinato volume contenuto nell'imbuto

Nel rispetto delle migliori previsioni, il tempo necessario a svuotare completamente l'imbuto cresce in maniera perfettamente lineare con l'aumentare del volume da scaricare.

### 3.2.2 Pompa di mandata dell'acqua pulita

La seconda pompa necessaria al funzionamento dell'intero circuito idraulico è la pompa di mandata dell'acqua pulita. Dalla definizione stessa si intuisce che il compito di tale pompa è quello di pescare acqua pulita da un serbatoio e spingerla fino a sgorgare all'interno dell'imbuto per poi sciacquare tutto il percorso attraversato precedentemente dal vino. A differenza di quella di scarico, la pompa di mandata è opportuno che sia caratterizzata da un'elevata portata e, soprattutto, da una buona prevalenza: l'acqua deve partire da un punto e deve essere fatta risalire fino all'imbuto che verosimilmente si troverà sempre circa 120-150 cm al di sopra della quota del serbatoio.

Nella figura seguente viene schematicamente mostrato il circuito esterno che porta l'acqua dal serbatoio fino all'imbuto.

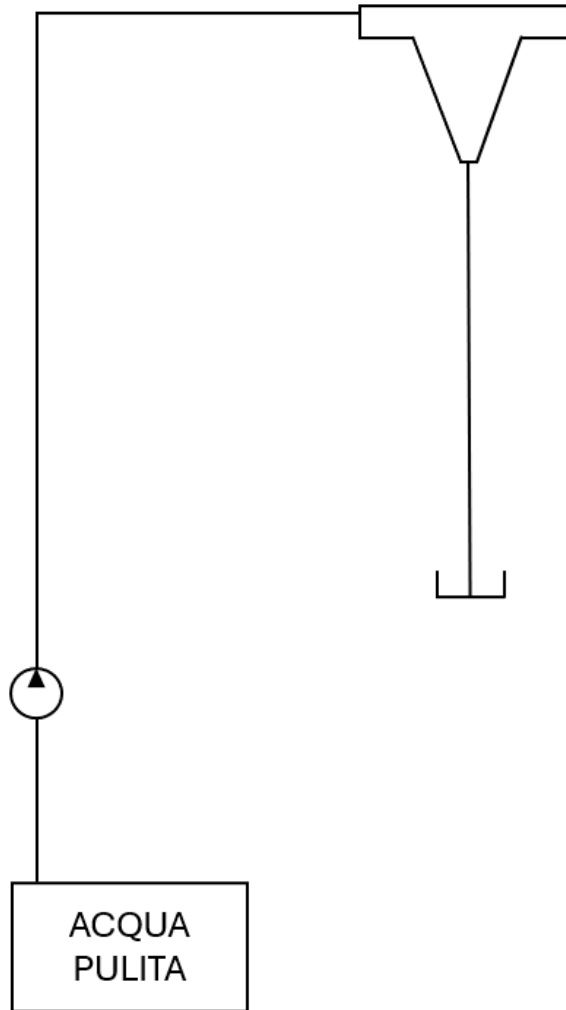


Figura 40 - schema del circuito di mandata dell'acqua pulita

Sulla base di questo schema, è stata provata in laboratorio una pompa a membrana [9]. Rispetto alla pompa peristaltica precedente, questa permetteva una più ampia regolazione della velocità e dunque della portata; per questo motivo si è voluto costruire una sorta di curva caratteristica che legasse la tensione di alimentazione della pompa alla portata erogata dalla stessa. Inoltre, si sono volute condurre delle prove qualitative per individuare quale fosse la configurazione ideale di funzionamento per ottenere una pulizia ottimale in termini di pressione del getto d'acqua e quantità di acqua utilizzata (discorso che era stato lasciato aperto dal capitolo precedente).

Nella pagina successiva viene mostrata la pompa a membrana utilizzata in laboratorio e il circuito realizzato per testarla e ricavarne la curva caratteristica.

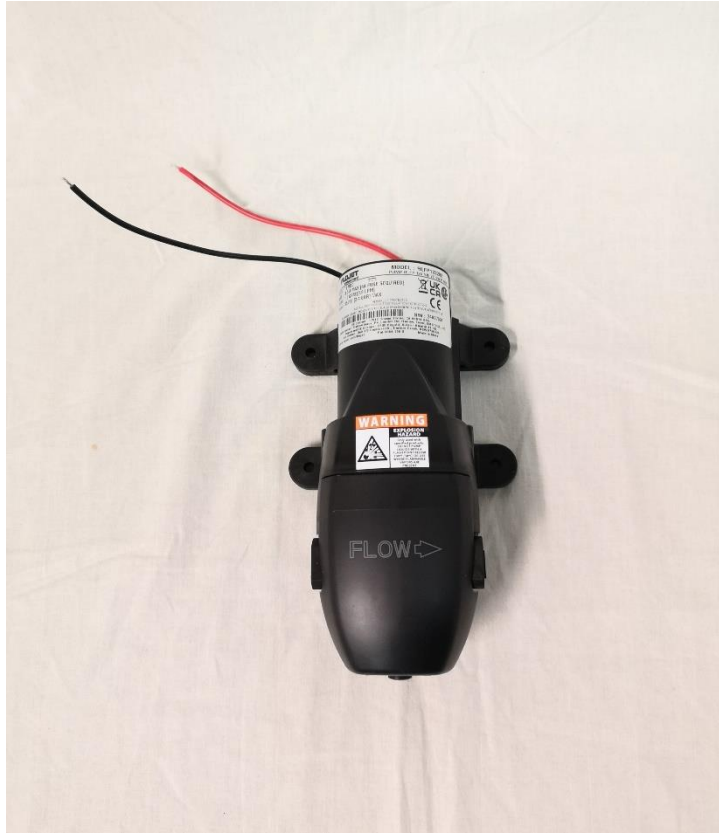


Figura 41 - pompa a membrana per la mandata dell'acqua pulita

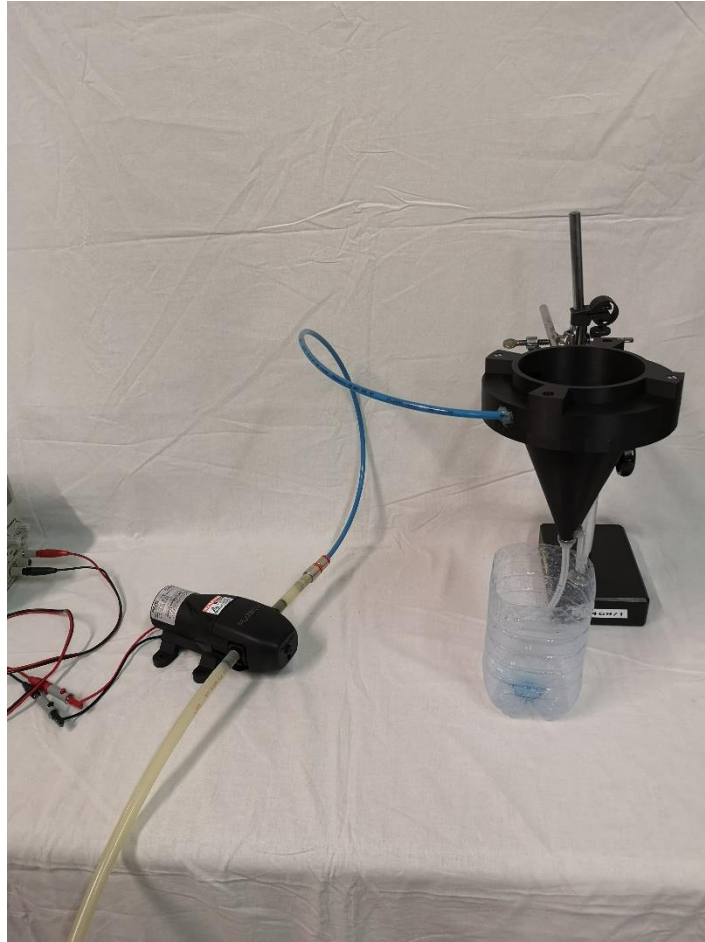


Figura 42 - circuito per testare la pompa di mandata

Per costruire la curva caratteristica di portata di questa pompa sono state eseguite delle semplici prove in cui veniva misurato il volume d'acqua raccolto in un determinato intervallo di tempo e le due misure venivano poi rapportate per ottenere la portata. Le prove consistevano nel far partire la pompa alimentata ad un certo livello di tensione e contemporaneamente avviare un cronometro, l'acqua spinta dalla pompa sgorgava all'interno dell'imbuto e fuoriusciva poi dalla sua base inferiore per essere raccolta in un apposito contenitore; raggiunto un determinato numero di secondi la pompa veniva fermata, si pesava l'acqua raccolta per risalirne al volume e questo lo si rapportava al numero di secondi per ottenere una misura di portata. Tutto questo veniva ripetuto variando la tensione di alimentazione della pompa a step di 0,3V e le medesime prove sono state eseguite per tre volte in modo da ottenere un adeguato campione da analizzare. Anche in questo caso sono stati trascurati gli errori sulle misure di volume e di tempo (sono stati utilizzati gli stessi strumenti utilizzati per le prove con la pompa di scarico, ovvero una bilancia precisa al centesimo di grammo e un cronometro preciso al centesimo di secondo).



Nelle tre tabelle successive vengono riportati tutti i dati raccolti nelle tre differenti prove. Successivamente viene riportata la tabella conclusiva che riporta la portata media ottenuta dalle tre suddette prove accompagnata dal suo errore e, infine, viene graficato l'andamento della portata erogata dalla pompa in funzione della sua tensione di alimentazione.

Tabella 27 - portata ricavata dal volume raccolto in un determinato intervallo di tempo (prova 1)

V (V)	t (s)	Vol (ml)	Q (l/min)	V (V)	t (s)	Vol (ml)	Q (l/min)
0	-	-	0,000	6,3	16	514,28	1,929
0,3	-	-	0,000	6,6	15	495,00	1,980
0,6	-	-	0,000	6,9	15	515,00	2,060
0,9	-	-	0,000	7,2	15	541,17	2,165
1,2	30	33,81	0,068	7,5	15	547,70	2,191
1,5	30	88,15	0,176	7,8	14	533,28	2,285
1,8	30	135,50	0,271	8,1	14	541,45	2,321
2,1	30	187,01	0,374	8,4	14	574,09	2,460
2,4	30	251,71	0,503	8,7	14	577,98	2,477
2,7	26	272,12	0,628	9,0	14	586,68	2,514
3,0	26	309,88	0,715	9,3	14	588,13	2,521
3,3	22	294,30	0,803	9,6	13	587,02	2,709
3,6	22	316,71	0,864	9,9	13	596,51	2,753
3,9	20	315,05	0,945	10,2	13	605,84	2,796
4,2	20	343,47	1,030	10,5	13	617,50	2,850
4,5	20	365,15	1,095	10,8	13	646,36	2,983
4,8	18	352,80	1,176	11,1	13	659,14	3,042
5,1	18	413,92	1,380	11,4	13	661,70	3,054
5,4	18	442,10	1,474	11,7	13	667,43	3,080
5,7	16	409,31	1,535	12,0	13	671,01	3,097
6,0	16	468,99	1,759				

Tabella 28 - portata ricavata dal volume raccolto in un determinato intervallo di tempo (prova 2)

V (V)	t (s)	Vol (ml)	Q (l/min)	V (V)	t (s)	Vol (ml)	Q (l/min)
0	-	-	0,000	6,3	16	506,17	1,898
0,3	-	-	0,000	6,6	15	498,51	1,994
0,6	-	-	0,000	6,9	15	515,90	2,064
0,9	-	-	0,000	7,2	15	530,15	2,121
1,2	30	30,00	0,060	7,5	15	545,71	2,183
1,5	30	91,17	0,182	7,8	14	531,22	2,277
1,8	30	139,74	0,279	8,1	14	551,42	2,363
2,1	30	184,02	0,368	8,4	14	568,81	2,438
2,4	30	253,41	0,507	8,7	14	585,49	2,509
2,7	26	284,09	0,656	9,0	14	585,90	2,511
3,0	26	310,87	0,717	9,3	14	586,37	2,513
3,3	22	291,35	0,795	9,6	13	577,41	2,665
3,6	22	320,20	0,873	9,9	13	593,19	2,738
3,9	20	311,48	0,934	10,2	13	607,95	2,806
4,2	20	344,80	1,034	10,5	13	625,00	2,885
4,5	20	373,16	1,119	10,8	13	650,44	3,002
4,8	18	365,28	1,218	11,1	13	652,56	3,012
5,1	18	410,55	1,369	11,4	13	670,14	3,093
5,4	18	442,49	1,475	11,7	13	676,33	3,122
5,7	16	429,32	1,610	12,0	13	686,11	3,167
6,0	16	474,31	1,779				

Tabella 29 - portata ricavata dal volume raccolto in un determinato intervallo di tempo (prova 3)

V (V)	t (s)	Vol (ml)	Q (l/min)	V (V)	t (s)	Vol (ml)	Q (l/min)
0	-	-	0,000	6,3	16	510,92	1,916
0,3	-	-	0,000	6,6	15	497,48	1,990
0,6	-	-	0,000	6,9	15	518,77	2,075
0,9	-	-	0,000	7,2	15	535,50	2,142
1,2	30	31,72	0,063	7,5	15	546,80	2,187
1,5	30	89,17	0,178	7,8	14	532,33	2,281
1,8	30	138,44	0,277	8,1	14	545,96	2,340
2,1	30	185,60	0,371	8,4	14	570,14	2,443
2,4	30	251,10	0,502	8,7	14	581,01	2,490
2,7	26	279,01	0,644	9,0	14	586,26	2,513
3,0	26	312,72	0,722	9,3	14	589,75	2,528
3,3	22	292,57	0,798	9,6	13	582,40	2,688
3,6	22	318,03	0,867	9,9	13	593,12	2,737
3,9	20	312,99	0,939	10,2	13	607,31	2,803
4,2	20	343,87	1,032	10,5	13	622,07	2,871
4,5	20	370,12	1,110	10,8	13	647,55	2,989
4,8	18	357,24	1,191	11,1	13	656,82	3,031
5,1	18	412,13	1,374	11,4	13	665,98	3,074
5,4	18	444,44	1,481	11,7	13	671,21	3,098
5,7	16	419,37	1,573	12,0	13	677,14	3,125
6,0	16	472,81	1,773				

Tabella 30 - portata in funzione della tensione di alimentazione

V (V)	Q (l/min)	±err (l/min)	V (V)	Q (l/min)	±err (l/min)
0	0,000	0,000	6,3	1,914	0,009
0,3	0,000	0,000	6,6	1,988	0,004
0,6	0,000	0,000	6,9	2,066	0,005
0,9	0,000	0,000	7,2	2,142	0,013
1,2	0,064	0,002	7,5	2,187	0,002
1,5	0,179	0,002	7,8	2,281	0,003
1,8	0,276	0,003	8,1	2,341	0,012
2,1	0,371	0,002	8,4	2,447	0,007
2,4	0,504	0,001	8,7	2,492	0,009
2,7	0,642	0,008	9,0	2,513	0,001
3,0	0,718	0,002	9,3	2,520	0,004
3,3	0,798	0,002	9,6	2,687	0,013
3,6	0,868	0,003	9,9	2,743	0,005
3,9	0,940	0,003	10,2	2,802	0,003
4,2	1,032	0,001	10,5	2,869	0,010
4,5	1,108	0,007	10,8	2,991	0,006
4,8	1,195	0,012	11,1	3,028	0,009
5,1	1,347	0,003	11,4	3,074	0,011
5,4	1,477	0,002	11,7	3,100	0,012
5,7	1,573	0,022	12,0	3,130	0,020
6,0	1,770	0,006			

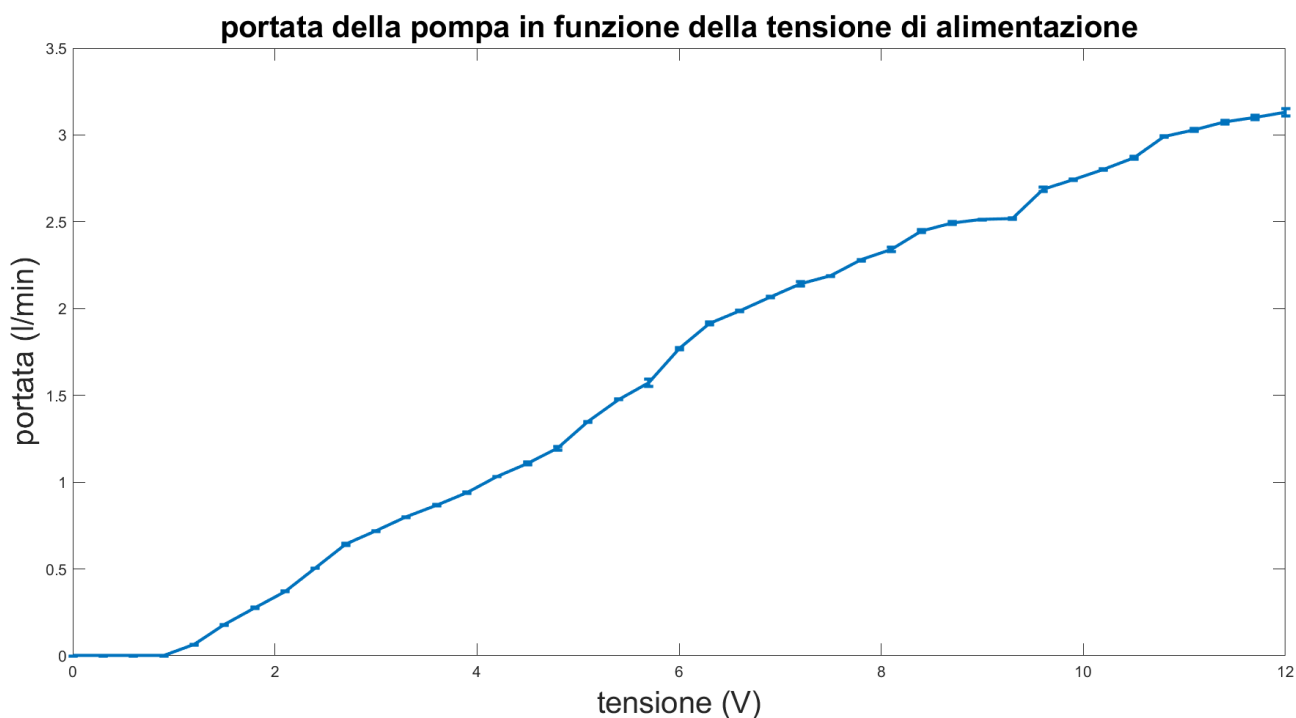


Figura 43 - portata erogata dalla pompa di mandata in funzione della sua tensione di alimentazione

La curva caratteristica risulta esattamente come ce la si poteva aspettare: al di sotto di una determinata tensione la pompa non eroga portata, mentre poi quest'ultima cresce più o meno linearmente con l'aumentare della tensione fino al suo massimo consentito di 12V.

Al di là della curva caratteristica che può senz'altro tornare utile per prevedere e regolare il funzionamento della pompa, sono state eseguite anche una serie di prove prettamente qualitative in modo da individuare quale fosse la migliore configurazione in cui farla lavorare. Nel capitolo riguardante l'imbutto di raccolta e la sua pulizia era stato accennato come fosse fondamentale regolare adeguatamente la pressione del getto d'acqua che entra all'interno dell'imbutto in modo da ottenere una pulizia completa ed efficace ma evitando allo stesso tempo schizzi e problemi di fuoriuscita d'acqua. Chiaramente è facile intuire che più aumenta la tensione con cui si alimenta la pompa e più questa girerà velocemente aumentando non solo la portata ma anche l'intensità del getto erogato; noto questo aspetto, si è voluta individuare quale fosse la tensione di alimentazione limite oltre la quale si otteneva un getto eccessivamente potente e la risposta è stata di circa 8V. Per questo motivo si è stabilito che, per ottenere il miglior compromesso tra efficacia di pulizia e sicurezza dell'ambiente circostante, potrebbe essere buona condotta far lavorare la pompa ad una tensione costante di 7,5V; in questo modo si avrebbe un'elevata portata che garantirebbe un ciclo di

pulizia dalla durata minima e un getto sufficientemente potente da lambire tutte le superfici interessate ma non eccessivo così da evitare schizzi e quant'altro.

Un altro aspetto che si era lasciato in sospeso è la quantità d'acqua necessaria ad ottenere una pulizia completa ed efficace. Un volume pari a 300 ml basterebbe a riempire quasi completamente la parte conica dell'imbuto, ma probabilmente sarebbe persino eccessivo e si rischierebbe di sprecare acqua inutilmente. Dalle varie prove qualitative effettuate sul circuito in laboratorio, volendo sfruttare un adeguato getto d'acqua che lambisca tutte le superfici interessate, è emerso che sarebbe sufficiente un volume compreso tra 150 e 200 ml al massimo. La pompa di mandata, se alimentata a 7,5V, dovrebbe erogare tale quantità d'acqua in circa 5 secondi.

### 3.3 Caratterizzazione sensore di pressione

Un altro elemento essenziale per la raccolta dei campioni di vino è il sensore di pressione integrato sul fondo dell'imbuto.

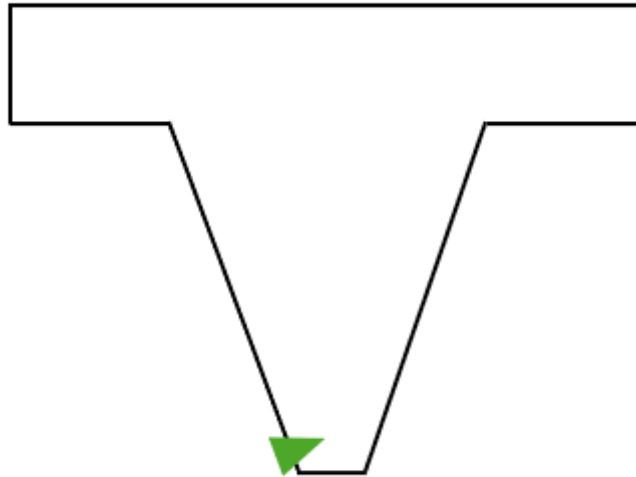


Figura 44 - schema del sensore di pressione integrato sul fondo dell'imbuto

Il sensore, misurando la pressione della colonna d'acqua che si accumula all'interno dell'imbuto, permette di risalire alla sua altezza e, in ultima analisi, conoscendo la geometria dell'imbuto, al suo volume. È chiaro, dunque, come il ruolo di tale sensore sia fondamentale per conoscere in ogni istante quanto vino si è raccolto all'interno dell'imbuto e quanto se ne sta scaricando durante le fasi di accensione della pompa di scarico.

Per testare adeguatamente il circuito ci si è dotati di un piccolo sensore di pressione [10] (mostrato nella figura successiva) adatto ai liquidi. Tale sensore è stato fissato all'interno di un apposito foro ricavato sulla parete laterale dell'imbuto in modo che venga sempre bagnato dall'acqua che si accumula.

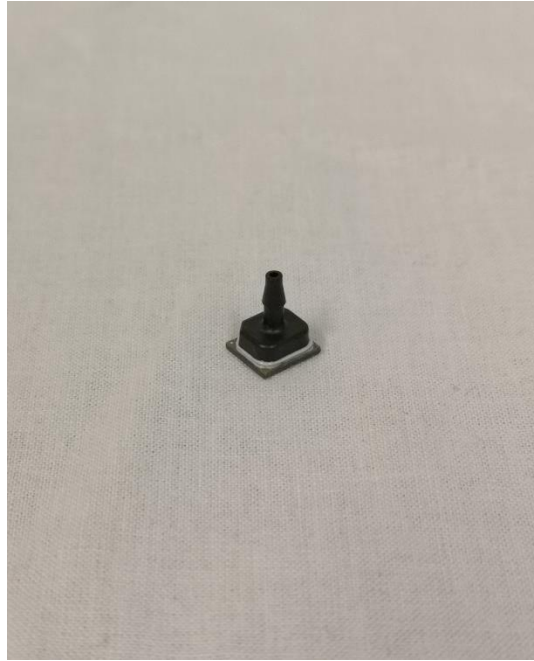


Figura 45 - sensore di pressione

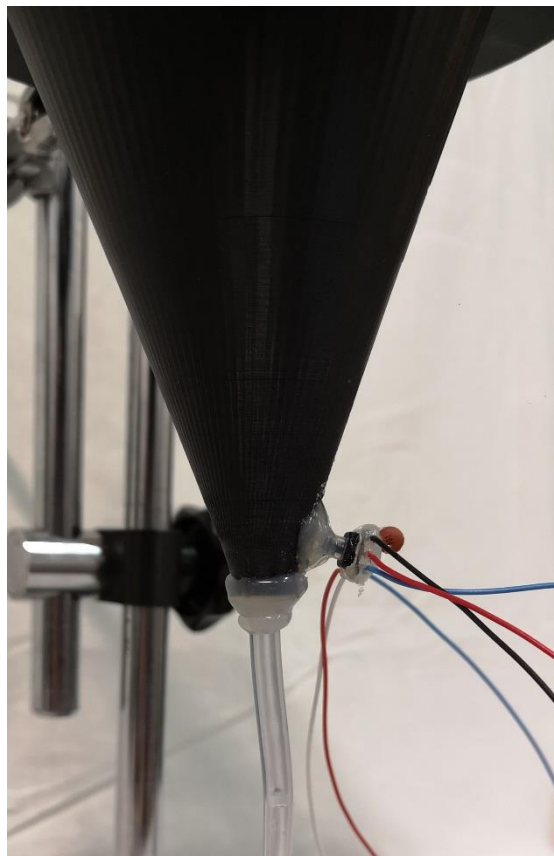


Figura 46 - sensore di pressione integrato all'imbuto



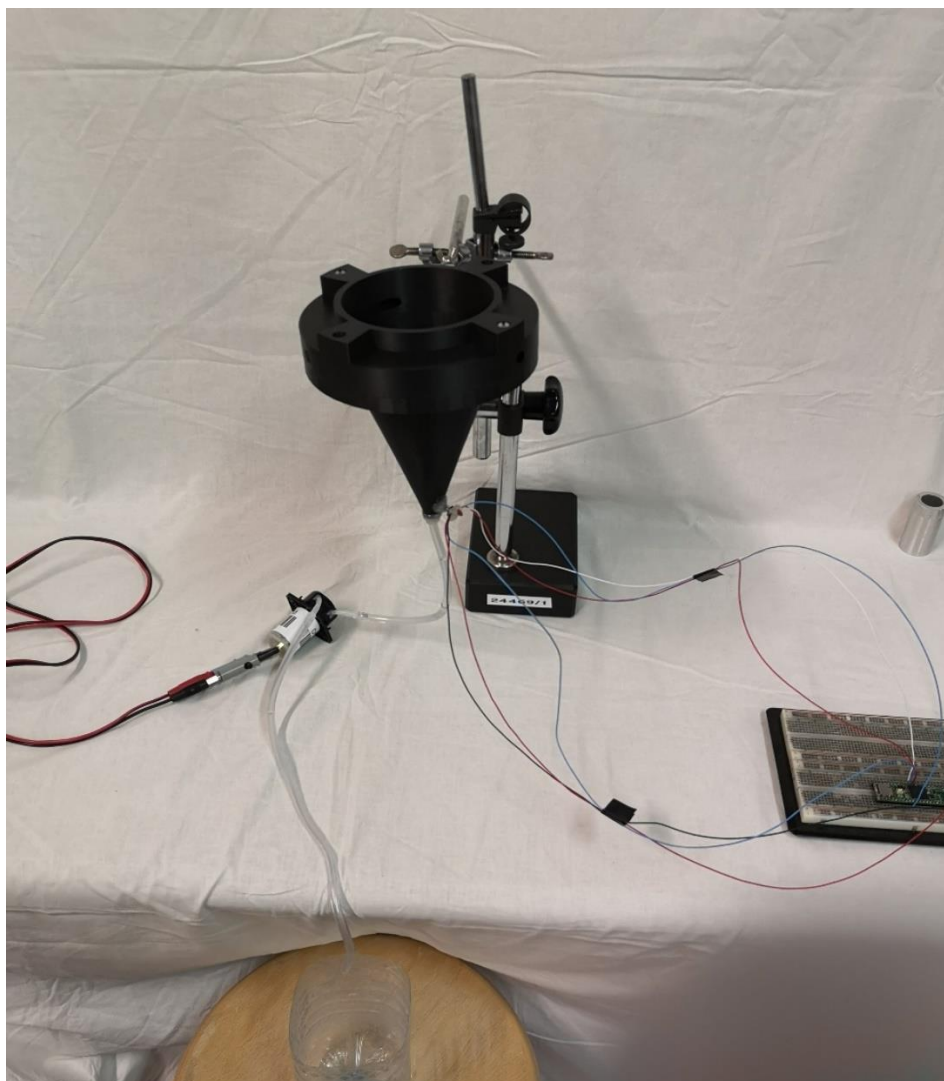


Figura 47 - circuito per testare il sensore di pressione

Sulla base della configurazione mostrata nell'immagine qui sopra, sono state eseguite in laboratorio una serie di prove con l'obiettivo di costruire una curva caratteristica che legasse il volume di liquido raccolto all'interno dell'imbuto con la pressione letta dal sensore. Questa caratteristica sarà essenziale per conoscere sempre, istante per istante, quanto vino si sta raccogliendo o quanto se ne sta scartando; è facile intuire quanto sia importante costruire tale caratteristica con la più alta precisione possibile in modo da poter regolare adeguatamente le raccolte dei campioni. Le prove in questione consistevano molto semplicemente nel riempire l'imbuto con una quantità nota di acqua, leggere il valore di pressione misurato dal sensore ed elaborarlo per ottenere una misura del volume. L'alimentazione del sensore, la sua lettura e l'elaborazione di tutti i dati sono state rese possibili grazie all'utilizzo di una breadboard, di una scheda Teensy e del software Arduino IDE.

Qui di seguito viene presentata una breve disamina dei principali passaggi matematici e geometrici grazie ai quali è possibile passare dalla lettura di pressione del sensore ad una misura di volume.

### Caratteristica p-V

Nella figura seguente viene schematicamente mostrata la geometria dell'imbuto di raccolta (diviso a metà).

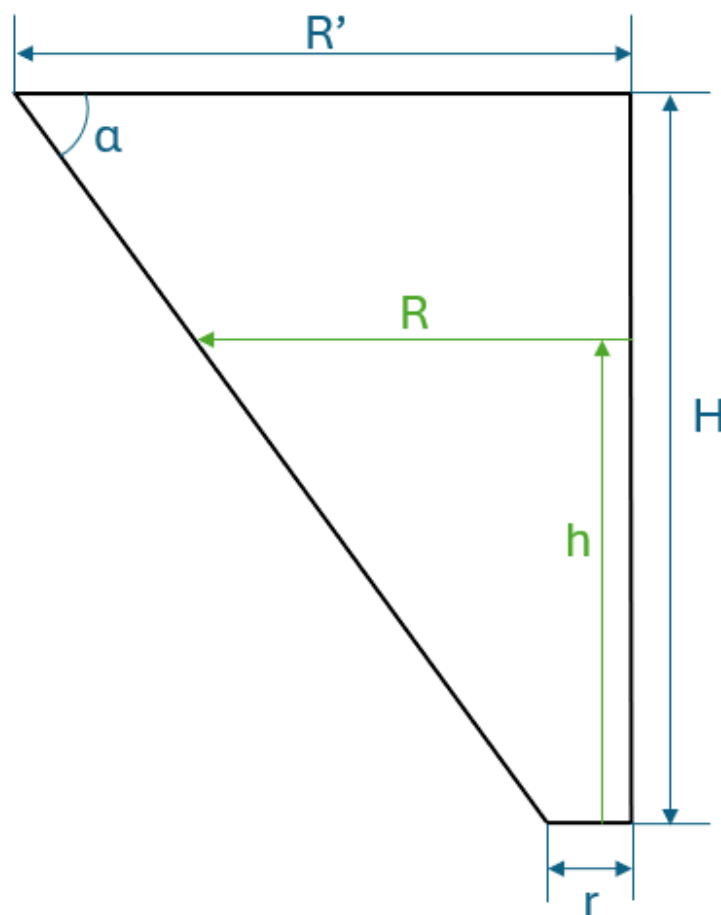


Figura 48 - schema geometrico dell'imbuto di raccolta

L'imbuto è sostanzialmente un tronco di cono con raggio della base maggiore  $R'$ , raggio della base minore  $r$  e altezza  $H$  per un volume complessivo, considerando per l'appunto solo la parte conica, di circa 300 ml.

Osservando una normale fase di riempimento del cono, e considerando dunque altezza  $h$  e raggio  $R$  variabili, il volume di liquido contenuto nell'imbutto può essere espresso dalla seguente equazione (volume del tronco di cono):

$$V = \frac{\pi}{3} h(R^2 + r^2 + Rr)$$

Volendo scrivere tale equazione esclusivamente in funzione di  $h$ , si può riscrivere  $R$  sfruttando la seguente relazione geometrica:

$$R(h) = r + \frac{h}{\tan \alpha}$$

E sapendo che  $\tan \alpha$  è nota grazie alla geometria nota dell'imbutto:

$$\tan \alpha = \frac{H}{R' - r} \quad (\alpha \sim 70^\circ)$$

A questo punto si può effettivamente riscrivere il volume dell'imbutto in funzione della sola altezza della colonna di liquido:

$$V(h) = \frac{\pi}{3} h \left( 3r^2 + \frac{h^2}{\tan^2 \alpha} + \frac{3rh}{\tan \alpha} \right)$$

Sapendo che l'altezza della colonna d'acqua è direttamente legata alla pressione che essa esercita:

$$p = \rho g h \quad \rightarrow \quad h = \frac{p}{\rho g}$$

Si può, infine, scrivere la relazione matematica che lega il volume di liquido raccolto all'interno dell'imbutto con la pressione che lo stesso esercita sul fondo:

$$V(p) = \frac{\pi p}{3 \rho g} \left( 3r^2 + \frac{p^2}{(\rho g \tan \alpha)^2} + \frac{3rp}{\rho g \tan \alpha} \right)$$

Ricavata questa legge, si può facilmente passare dalla pressione letta dal sensore ad una misura che indichi il volume raccolto. In laboratorio sono state eseguite una serie di prove per valutare l'affidabilità di questa legge: come anticipato, le prove consistevano semplicemente nel misurare un volume noto d'acqua e verificare, tramite la lettura del sensore e l'elaborazione del software, che venisse restituita una stima valida di tale volume. Le medesime prove sono state ripetute per tre volte in modo da avere un più ampio campione di dati da poter mediare e su cui poter verificare la ripetibilità dello strumento. Le tabelle successive mostrano i dati raccolti in queste tre prove: la prima colonna contiene il volume reale di acqua accumulata nell'imbutto (pesata appositamente prima con una precisione al centesimo di grammo), la seconda colonna mostra il valore di pressione restituito dal sensore, la terza e quarta colonna contengono rispettivamente il volume calcolato utilizzando il suddetto valore di pressione all'interno dell'equazione ricavata in precedenza e il relativo errore. L'errore sulla misura del volume dipende dalla risoluzione del sensore che è pari a 0,01 mbar; tale errore sul valore di pressione si traduce in un errore di circa 0,1 mm sull'altezza della colonna d'acqua e, di conseguenza, un determinato (piccolo) errore sulla stima del volume.

Tabella 31 - volume misurato dal sensore di pressione (prova 1)

V reale (ml)	$p \pm 0,01$ (mbar)	V misurato (ml)	$\pm$ err (ml)
0	1,23	1,39	0,02
25	4,77	27,59	0,15
50	6,14	52,72	0,22
75	7,10	77,28	0,29
100	7,93	103,82	0,35
125	8,65	131,26	0,41
150	9,26	157,97	0,47
175	9,77	182,90	0,51
200	10,27	209,75	0,56
225	10,65	231,84	0,60
250	11,07	257,99	0,65
275	11,42	281,22	0,68
300	11,70	300,79	0,71

Tabella 32 - volume misurato dal sensore di pressione (prova 2)

V reale (ml)	p±0,01 (mbar)	V misurato (ml)	±err (ml)
0	1,19	1,31	0,02
25	4,72	26,87	0,14
50	6,29	56,15	0,23
75	7,18	79,61	0,30
100	7,77	98,30	0,34
125	8,56	127,59	0,40
150	9,23	156,58	0,46
175	9,77	182,90	0,51
200	10,23	207,51	0,56
225	10,63	230,64	0,60
250	11,06	257,34	0,64
275	11,43	281,91	0,68
300	11,81	308,71	0,73

Tabella 33 - volume misurato dal sensore di pressione (prova 3)

V reale (ml)	p±0,01 (mbar)	V misurato (ml)	±err (ml)
0	1,21	1,35	0,02
25	4,76	27,44	0,15
50	6,24	54,99	0,23
75	7,15	78,73	0,29
100	7,96	104,88	0,35
125	8,58	128,40	0,41
150	9,15	152,91	0,46
175	9,69	178,82	0,51
200	10,10	200,35	0,55
225	10,54	225,29	0,59
250	11,12	261,23	0,65
275	11,44	282,59	0,69
300	11,76	305,09	0,72

Adesso viene riportata la tabella conclusiva con il valore medio di pressione ricavato dalle tre precedenti prove accompagnato dal relativo errore (ricavato come rapporto tra il quadrato della somma degli errori precedenti e il numero di prove effettuate). Su tale valore medio di pressione si è poi calcolato il volume che verrebbe restituito dalla caratteristica matematica p-V accompagnato dall'errore originato dall'incertezza sulla pressione.

Tabella 34 - volume in funzione della lettura di pressione del sensore

<b>p (mbar)</b>	<b>±err (mbar)</b>	<b>V (ml)</b>	<b>±err (ml)</b>
1,21	0,01	1,35	0,01
4,75	0,01	27,30	0,08
6,22	0,01	54,61	0,13
7,14	0,01	78,54	0,17
7,89	0,01	102,31	0,20
8,60	0,01	129,08	0,23
9,21	0,01	155,81	0,27
9,74	0,01	181,53	0,29
10,20	0,01	205,85	0,32
10,61	0,01	229,24	0,34
11,08	0,01	258,85	0,37
11,43	0,01	281,90	0,40
11,76	0,01	304,85	0,42

Sulla base dei dati raccolti in quest'ultima tabella, si può adesso costruire la curva caratteristica del sensore che lega la pressione misurata al volume raccolto.

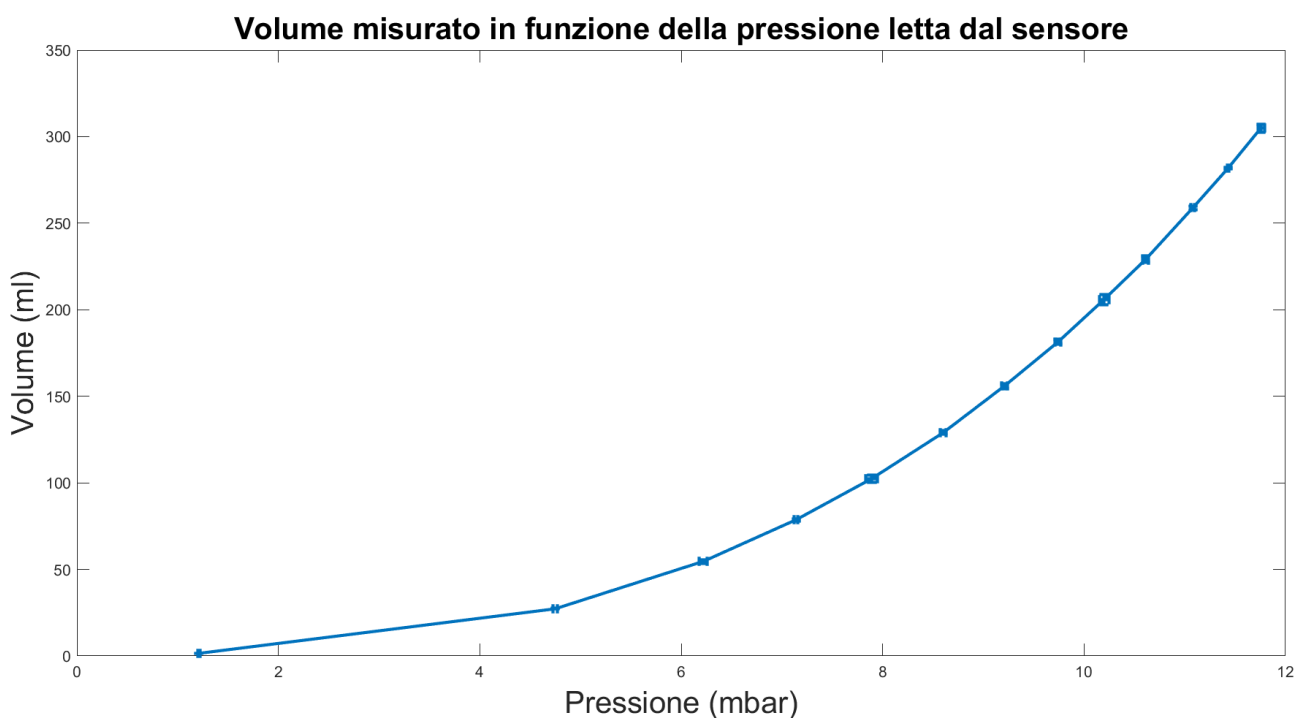


Figura 49 - caratteristica p-V del sensore di pressione integrato all'imbuto

In generale, dai dati raccolti, si può osservare una lieve tendenza del sensore a sovrastimare il volume di liquido contenuto all'interno dell'imbuto, infatti, le tabelle mostrano come il volume ricavato a partire dalla misura di pressione sia sempre leggermente superiore al volume realmente accumulato. Nel caso di imbuto completamente vuoto occorre, invece, fare qualche considerazione aggiuntiva: in primo luogo il sensore possiede di per sé un offset intrinseco che non gli permette mai di misurare uno zero reale e, in secondo luogo, la sua canalina rimane sempre leggermente bagnata e questo fa sì che esso misuri sempre una certa pressione idraulica anche quando l'imbuto è stato completamente svuotato. Ad ogni modo, dopo svariate prove, lo "zero" del sensore sembra restare sempre piuttosto costante e il suo valore di partenza non incide sulla misura durante le fasi di riempimento e svuotamento dell'imbuto.

In conclusione, fatte tutte queste considerazioni, si può comunque affermare che la lettura del sensore e l'elaborazione matematica per ricavare il volume restituiscano un risultato più che accettabile. Per avere un'idea ancora più concreta della bontà del risultato fornito da tali strumenti si può mettere a confronto il volume misurato a partire dalla lettura di pressione del sensore con quello realmente contenuto all'interno dell'imbuto; la differenza tra i due viene mostrata nella tabella alla pagina seguente.

Tabella 35 - differenza tra volume reale e volume ottenuto dalla misura del sensore

V reale (ml)	V misurato (ml)	$\Delta V$ (ml)
0	1,35	1,35
25	27,30	2,30
50	54,61	4,61
75	78,54	3,54
100	102,31	2,31
125	129,08	4,08
150	155,81	5,81
175	181,53	6,53
200	205,85	5,85
225	229,24	4,24
250	258,85	8,85
275	281,91	6,91
300	304,85	4,85

Tabella 36 - differenza media e differenza massima tra volume reale e volume misurato

<b>Errore medio (ml)</b>	4,71
<b>Errore massimo (ml)</b>	8,85

Il confronto mostrato in queste tabelle rende ancora più evidente l'affidabilità del sensore e dell'elaborazione dei dati da esso forniti: il modello commette mediamente un errore di circa 5 ml con un picco di quasi 9 ml. Tali differenze sono del tutto accettabili e rendono la raccolta dei campioni di vino sicura e affidabile.



### 3.4 Prototipo di circuito completo e test sperimentali

Per concludere questo elaborato, si vogliono adesso mettere insieme tutti i singoli componenti finora analizzati e andare a completare quello che è a tutti gli effetti un prototipo funzionante dell'intero circuito di raccolta. Su tale circuito si vogliono condurre delle prove per verificare che esso sia effettivamente in grado di soddisfare la richiesta di raccogliere un preciso volume di liquido senza errori e per verificare che ogni fase della raccolta si susseguia correttamente rispettando ogni step.

Nell'immagine mostrata nella prossima pagina viene riportato lo schema del circuito semplificato che si vuole realizzare in laboratorio. Tale circuito non è l'esatta riproduzione di quello che si pensa possa essere il circuito del sistema finale (dotato di portaprovette e serbatoi vari), ma è una versione semplificata che conta sui pochi componenti deputati alle fasi principali del processo di raccolta. Esso consiste nell'imbuto a cui viene integrato il sensore di pressione, nella linea di mandata dell'acqua pulita (con annessa pompa) e nella linea di scarico (anch'essa con pompa annessa) che termina poi semplicemente in un contenitore di raccolta. Ciò che si vuole testare con questo circuito è, prima di tutto, la capacità di restituire campioni di liquido accurati e, in secondo luogo, il corretto susseguirsi delle varie fasi di raccolta e di pulizia; si vuole verificare che la lettura del sensore faccia accendere e spegnere le varie pompe nel momento giusto e con la giusta alternanza. Per rendere il tutto completamente automatizzato, le due pompe sono entrambe comandate dallo stesso driver, il quale è, a sua volta, collegato alla medesima scheda che elabora anche i dati del sensore. In questo modo si riesce a creare un circuito perfettamente autonomo dove ogni fase si alterna grazie alle letture del sensore che, di volta in volta, permettono di inviare i segnali per accendere o spegnere la pompa indicata sulla base dell'operazione da portare a termine. L'unica operazione che rimane manuale è il primo riempimento dell'imbuto che sostituisce quella che dovrebbe essere l'apertura e la chiusura del rubinetto assaggiavino; da lì in poi tutto dovrebbe susseguirsi in maniera automatica.

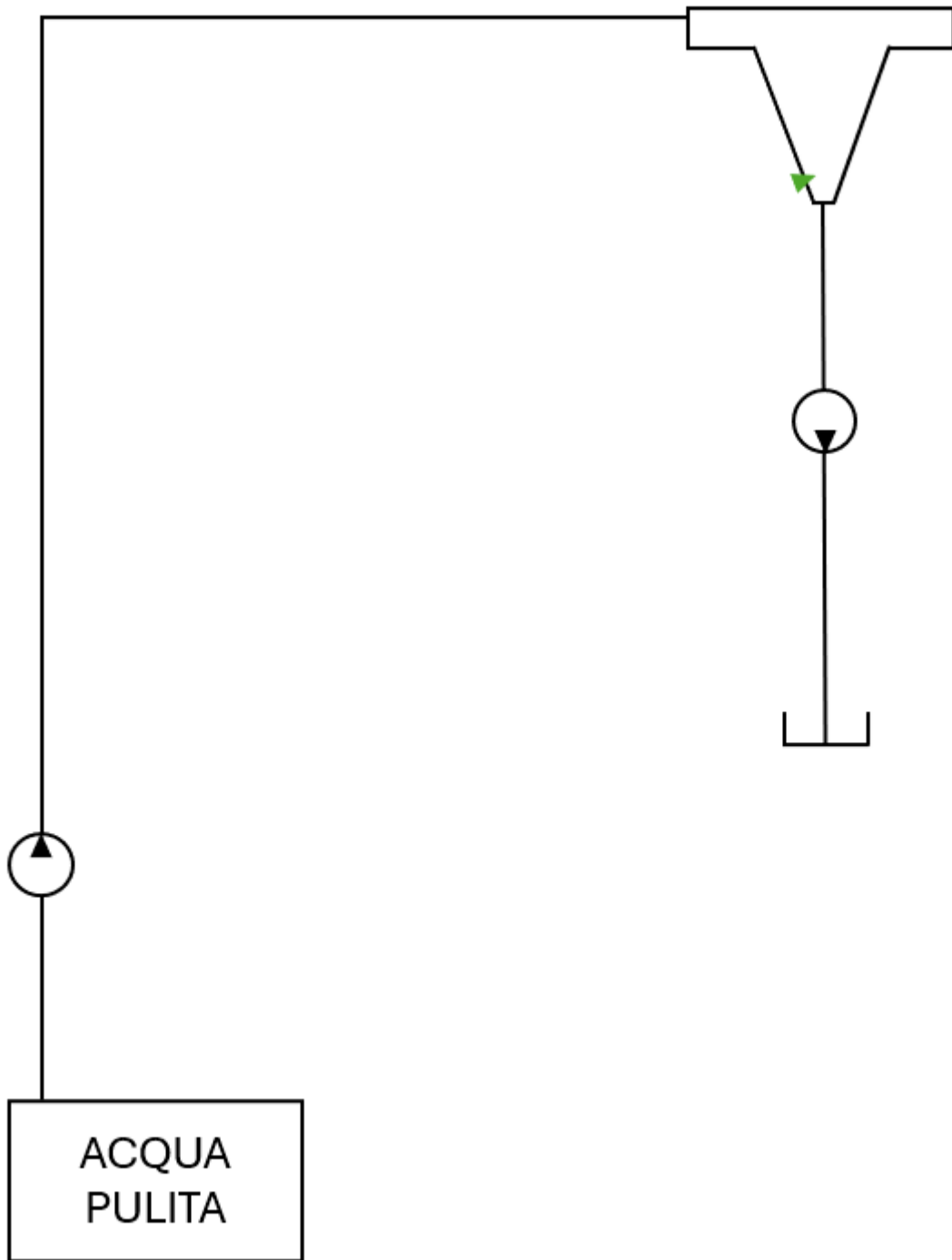


Figura 50 - schema del prototipo di circuito completo

Qui sotto viene mostrato il vero e proprio circuito realizzato in laboratorio dove si possono osservare, oltre all'imbuto e le varie pompe, anche il driver di comando di quest'ultime e la scheda Teensy che collega il tutto.

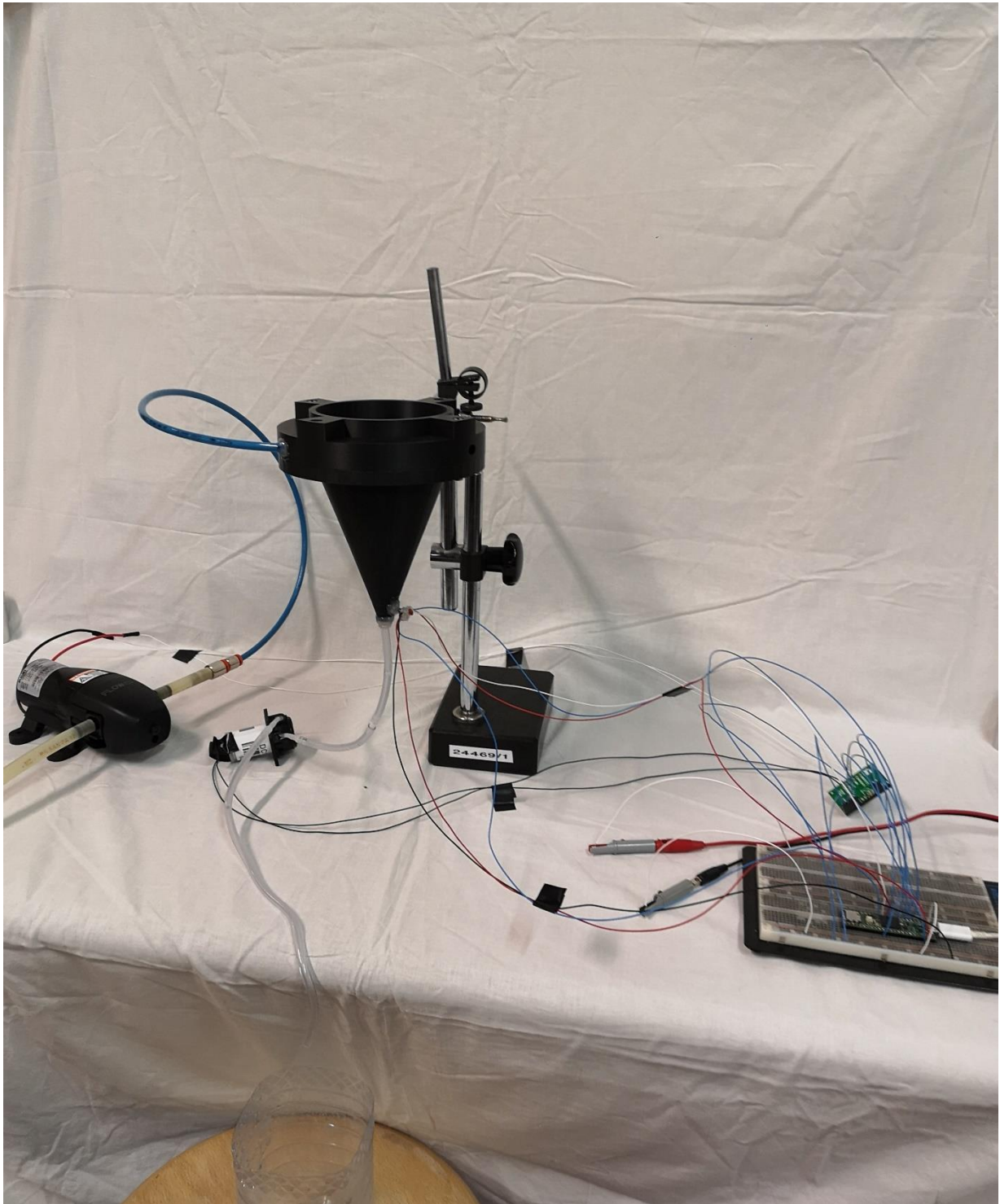


Figura 51 - circuito idraulico completo realizzato in laboratorio

Come anticipato poc'anzi, le prove condotte in laboratorio erano mirate a testare la corretta alternanza di tutte le fasi supportate dal corretto funzionamento di ciascun componente, con l'obiettivo finale di raccogliere l'effettiva quantità di liquido desiderata ed eseguire adeguatamente la fase di pulizia successiva. Tenendo il volume accumulato nell'imbuto costantemente sotto controllo grazie al sensore di pressione, era possibile inviare i segnali per accendere o spegnere la pompa di scarico o quella di mandata in base all'operazione da svolgere (che fosse raccogliere il liquido o pulire il circuito). Il driver che comandava entrambe le pompe permetteva, inoltre, di regolare la tensione di alimentazione di ciascuna di esse; in questo modo si poteva regolare indipendentemente la velocità di ogni pompa e, quindi, la loro portata. Questo aspetto è particolarmente importante poiché permetteva di alimentare tutto il circuito con un solo alimentatore fisso a 12V (tensione massima per entrambe le pompe) ma non necessariamente tale alimentazione veniva direttamente inviata alle pompe stesse. Come si è visto nei paragrafi precedenti, la pompa di scarico funzionava sempre a 12V fissi per girare al massimo della sua velocità, mentre la pompa di mandata necessitava di una regolazione che ne riducesse la velocità per evitare un getto d'acqua eccessivamente potente (nel caso in questione la si alimentava con una tensione pari a 7,5V). Grazie al driver ogni pompa poteva dunque ricevere la tensione di alimentazione più adeguata e funzionare indipendentemente dall'altra.

Le prove condotte in laboratorio sono state svolte secondo le seguenti modalità: si versava manualmente dell'acqua all'interno dell'imbuto fino a quando il sensore non registrava un volume accumulato pari a 150 ml, a questo punto partiva la pompa di scarico fino a che non si era svuotato completamente l'imbuto (ovvero fino a quando il sensore non registrava un volume nullo). Con quest'ultimo nuovamente vuoto si faceva partire la pompa di mandata dell'acqua pulita e la si stoppava quando il sensore segnalava un volume accumulato di 300 ml, quindi si faceva, infine, ripartire la pompa di scarico fino a svuotamento completo. In questo modo si completava una sorta di ciclo che voleva simulare la raccolta di una certa quantità di vino e la conseguente pulizia dell'intero circuito interessato. Le varie fasi erano alternate dall'azione di una o dell'altra pompa, le quali venivano comandate esclusivamente dalle letture del sensore di pressione; si può dire, perciò, che il circuito funzionasse in maniera completamente autonoma ad eccezione del primo riempimento che avveniva manualmente.

Le prove hanno portato risultati positivi: ogni componente ha funzionato correttamente nel suo e nell'insieme del circuito generale, le varie fasi si sono susseguite senza problemi e hanno dimostrato una buona automatizzazione dell'intero processo. Il tutto è stato finalizzato con successo alla raccolta dell'effettiva quantità di liquido desiderata, segnale del fatto che il sensore e le pompe hanno funzionato adeguatamente rispettando le specifiche stimate. Per fornire dei dati concreti che possano suffragare l'affidabilità del circuito realizzato, si sono raccolte una serie di misurazioni sui tempi e sui volumi realmente raccolti e le si sono confrontate con i dati teorici che ci si doveva aspettare dal comportamento di ogni singolo componente.

Nella prima fase di scarico si volevano raccogliere 150 ml d'acqua (che rappresenterebbero il volume target del campione da raccogliere) e, sulla base delle caratteristiche della pompa di scarico, ci si aspettava di farlo in esattamente 124 secondi. Nella pratica, versando l'acqua all'interno dell'imbuto, ci si aspettava che il sensore facesse partire la pompa di scarico nel momento in cui leggeva un volume accumulato di 150 ml e a quel punto, sentendo partire la pompa di scarico, si sarebbe smesso di versare acqua. La successiva fase di pulizia doveva iniziare non appena il sensore percepiva che l'imbuto fosse di nuovo vuoto e doveva far partire la pompa di mandata fino a far sgorgare nell'imbuto 300 ml d'acqua che, alla velocità a cui si era impostata la pompa (7,5V), dovevano essere erogati in circa 8 secondi. Infine, gli stessi 300 ml d'acqua utilizzati per la pulizia dovevano essere teoricamente scaricati in 244 secondi per concludere così l'intero ciclo e ritrovarsi con l'imbuto vuoto pronto ad accogliere un nuovo versamento. Questi appena presentati sono i dati teorici stimati sulla base delle caratteristiche verificate di ciascun componente; durante il funzionamento dell'intero circuito si sono raccolte una serie di misurazioni per andare effettivamente a confermare che i volumi erogati e i tempi necessari per farlo fossero in linea con quelli teorici. I volumi raccolti al termine di ciascuna fase (raccolta scarico e pulizia) sono stati pesati su una bilancia e i tempi sono stati misurati con un cronometro esterno. Il tutto è stato poi confrontato con i dati che teoricamente ci si aspettava.

Nella tabella alla pagina successiva sono mostrati nella colonna di sinistra i volumi e i tempi che ci si aspettava sulla base delle specifiche di ciascun componente (quelli che potremmo definire volumi desiderati o volumi target); nella colonna di destra sono riportati gli stessi volumi e tempi effettivamente misurati durante il reale funzionamento del circuito. Il confronto tra di loro permetterà di stabilire il grado di affidabilità del circuito.

Tabella 37 - confronto dati stimati e dati misurati nelle prove sul circuito completo

<b>Primo scarico</b>	
Volume teorico desiderato (ml)	Volume reale misurato (ml)
150	152
Tempo teorico stimato per lo scarico (s)	Tempo reale misurato (s)
124	126
<b>Pulizia</b>	
Volume teorico desiderato (ml)	Volume reale misurato (ml)
300	296
Tempo teorico stimato per l'erogazione (s)	Tempo reale misurato (s)
8	9
<b>Scarico post-pulizia</b>	
Tempo teorico stimato per lo scarico (s)	Tempo reale misurato (s)
244	248

Per prima cosa si vuole evidenziare il fatto che sono state eseguite diverse prove in successione, ma che hanno tutte fornito risultati altamente ripetibili. Questo da una parte certifica il corretto funzionamento del circuito e la sua affidabilità, dall'altra giustifica il fatto che per comodità sono stati riportati i risultati una volta sola.

Le leggere discrepanze osservabili sulle misure del volume sono dovute a quella lieve tendenza del sensore a sovrastimare la quantità d'acqua raccolta, in poche parole esso potrebbe misurare 150 ml quando in realtà all'interno dell'imbuto ce ne sarebbero leggermente meno, quindi, non deve sorprendere se alla fine dello scarico ci si dovesse effettivamente ritrovare con meno di 150 ml raccolti. Questo fenomeno viene però dall'altra parte compensato dal ritardo di reazione (specialmente umano) tra l'invio del segnale e l'effettiva azione della pompa: ciò è ben evidente durante il primo scarico dove l'imbuto veniva riempito manualmente e quindi, nel momento in cui il sensore raggiungeva i presunti 150 ml e faceva partire la pompa di scarico, la reazione umana poteva risultare non così pronta e poteva dunque capitare di versare qualche millilitro in più di liquido; un fenomeno molto simile, seppur con meno risonanza, potrebbe accadere anche utilizzando un rubinetto, poiché esso continuerebbe ad erogare una minima parte di liquido

nell'intervallo di tempo tra il momento in cui il sensore registra il raggiungimento del volume desiderato e il momento in cui il rubinetto viene effettivamente chiuso e smette di erogare. Dall'altra parte, durante il riempimento ad opera della pompa di mandata, questo ritardo di reazione è molto meno evidente poiché il segnale e la risposta avvengono praticamente in contemporanea senza tempi umani a inficiare sul processo; si può, infatti, osservare che il volume target da erogare era di 300 ml e il sensore ha fermato la pompa quando ha registrato tale volume, tuttavia si è poi verificato che l'effettivo volume erogato dalla pompa di mandata fosse di 296 ml (in questo caso ha giustamente prevalso la sovrastima del sensore piuttosto che l'errore sul tempo di reazione). Lavorando con volumi leggermente diversi da quelli teorici, è normale che anche i tempi necessari alle pompe per scaricare ed erogare siano non perfettamente identici a quelli stimati. Si possono osservare, in generale, tempi lievemente maggiori rispetto a quelli attesi e, in tal senso, interviene probabilmente un discorso legato all'alimentazione delle pompe. Quando si eseguivano le prove di caratterizzazione sui singoli componenti, le pompe erano direttamente alimentate dalla loro unica sorgente dedicata; nel circuito finale, invece, l'alimentazione doveva passare per il driver e quindi è possibile che ci fosse una minima perdita di tensione che faceva sì che le pompe girassero un po' più lente del dovuto.

In definitiva, al di là dei piccoli errori che si possono comunque correggere in qualche modo, si può affermare che il circuito funziona bene e permette di portare a termine i compiti desiderati con precisione e affidabilità. Il sensore e le pompe hanno dimostrato di poter funzionare in maniera congiunta e perfettamente alternata, restituendo il volume target prefissato e facendo seguire un ciclo di pulizia in maniera completamente autonoma. Gli errori rilevati sono quasi del tutto trascurabili rispetto ai parametri considerati accettabili, per giunta una parte di questi errori ha origine umana ed è perciò perfettamente correggibile in un futuro sistema completamente robotizzato. Raccogliere un campione di vino che sia di qualche millilitro più grande o più piccolo rispetto a quello desiderato è più che accettabile a patto che l'errore resti sempre contenuto (nel caso appena presentato si è commesso un errore dell'1,3% in cui ha però avuto un ruolo importante il tempo di reazione umana). Anche un piccolo errore sul volume di acqua erogato è tranquillamente accettabile a patto di evitare sprechi eccessivi e garantire comunque sempre la pulizia. In generale, il circuito mostra ancora dei piccoli margini di miglioramento che saranno sicuramente colmati nel prodotto finale, ma dimostra già adesso un buonissimo funzionamento.





## 4 Conclusioni

L'obiettivo preannunciato di questo elaborato era quello di mettere in luce un processo che potrebbe essere migliorato e reso più efficiente. La raccolta dei campioni di vino nelle cantine è un'attività lunga, noiosa e che non aggiunge alcun valore al risultato finale; togliere all'enologo questa incombenza gli permetterebbe di concentrare il suo lavoro sulle sole mansioni che davvero portano valore aggiunto, ossia gli assaggi e i test sul vino raccolto. L'attività di un esperto enologo dovrebbe focalizzarsi sull'aspetto qualitativo ed egli non dovrebbe disperdere tempo ed energie nel portare a termine una mansione che non eleva in alcun modo la resa del risultato finale. Per questo motivo si è pensato ad un sistema automatizzato che possa, in maniera appunto autonoma, muoversi all'interno di una cantina, raggiungere le varie botti e spillare il vino da portare poi in un luogo adatto ad effettuare le dovute analisi. Questo elaborato, in particolare, si è concentrato sul percorso e sugli step che il vino dovrebbe compiere dopo essere stato spillato dal rubinetto di una botte e prima di essere stoccato al sicuro all'interno di un contenitore (tipo una provetta). Si è dapprima osservato l'ambiente tipico di una cantina e si è concentrata l'attenzione sui rubinetti assaggiavino delle botti che rappresentano l'unica vera e propria interfaccia tra il robot e il vino contenuto nelle vasche. Ci si è dotati di un comune rubinetto e lo si è sottoposto a diverse prove in laboratorio con un duplice obiettivo: da una parte individuare i requisiti fisici di apertura e chiusura che saranno utili a dimensionare gli organi meccanici che entreranno in contatto con esso, dall'altra costruire un modello matematico che descrivesse la portata da esso erogata. Comprese e analizzate le specifiche di un tipico rubinetto assaggiavino si è passati a studiare quello che dovrebbe essere il percorso compiuto dal vino una volta fuoriuscito dal suddetto rubinetto; da qui si è giunti all'idea di un circuito idraulico che parta con un imbuto che raccoglie il vino in caduta e che possa terminare con differenti destinazioni a seconda delle varie fasi da compiere. Le fasi in questione sono fondamentalmente tre e racchiudono un ciclo completo di raccolta: lo scarto del vino non idoneo ad essere analizzato, la raccolta del campione vero e proprio e la necessaria pulizia per mantenere il circuito sempre pulito ed evitare che la raccolta di un campione possa contaminare la raccolta del vino successivo. Il circuito a cui si è pensato parte con un imbuto che raccoglie il vino che esce dal rubinetto e da qui una linea di scarico con annessa pompa che porta il vino ad un portaprovette rotante che, sulla base della sua posizione, stabilisce la destinazione finale di tale vino (serbatoio degli scarti o provetta per le analisi). Oltre a questa linea di scarico, il circuito prevede una seconda

linea esterna che, tramite una pompa, permette la risalita di acqua pulita che sbocca all'interno dell'imbuto e viene poi anch'essa scaricata lungo il medesimo percorso del vino salvo terminare poi in una terza destinazione (il serbatoio di raccolta dell'acqua sporca). Oltre all'imbuto di raccolta che è stato modellato e stampato in 3D, per il funzionamento base del circuito appena descritto sono necessari tre componenti: un sensore di pressione integrato all'imbuto che rilevi la pressione della colonna d'acqua accumulata e permetta di risalire al suo volume, una pompa per lo scarico e una pompa per la mandata dell'acqua pulita. Tutti questi componenti sono stati testati uno ad uno per studiarne le caratteristiche e poterne prevedere il comportamento: si è costruita la curva di portata di entrambe le pompe in funzione della tensione con cui le si alimenta e si è ricavata una curva caratteristica del sensore che lega la pressione letta al volume d'acqua accumulato (passando ovviamente per la geometria nota dell'imbuto di raccolta). Una volta acquisita una panoramica completa di tutte le specifiche dei singoli componenti, questi sono stati integrati tra loro per formare un unico circuito di prova che riuscisse ad eseguire in successione le varie fasi passando per la corretta esecuzione di ogni step deputato ad ogni singolo componente. Questo prototipo di circuito finale non era dotato di un portaprovette rotante e non si è riusciti, dunque, a provare l'interscambio tra le diverse destinazioni che seguirebbero alla linea di scarico; tuttavia, si è testata con successo l'alternanza tra le fasi di raccolta e quelle di pulizia del circuito. Il sensore leggeva correttamente il volume di liquido accumulato all'interno dell'imbuto e permetteva di inviare i segnali di accensione o spegnimento alle varie pompe; queste, dal canto loro, lavoravano molto bene alternativamente l'una all'altra permettendo di gestire correttamente le diverse fasi e raccogliere i volumi desiderati.

Giunti alla conclusione, si può affermare che l'obiettivo della tesi è stato raggiunto: è stata proposta una soluzione efficace per automatizzare e semplificare un processo che richiede tuttora un inutile dispendio di tempo ed energie umane. Si è pensato alla realizzazione di un circuito idraulico che permetta di raccogliere esattamente le quantità desiderate di vino e che sia poi in grado di ripristinare autonomamente la propria integrità provvedendo alla sua stessa pulizia. La soluzione proposta si è dimostrata fattibile e affidabile: è stato messo in piedi un circuito capace di raccogliere un determinato volume target e capace di far susseguire poi una serie di operazioni automatiche che riportavano il sistema al perfetto ripristino delle sue condizioni iniziali per poter iniziare una nuova raccolta. Le prove sui singoli componenti e sul circuito nella sua interezza hanno dimostrato l'affidabilità nel demandare ad un sistema automatico una serie di operazioni che permettano di ritrovarsi infine con un campione di vino perfettamente conservato e che aspetta solo di essere

analizzato. Il sistema robot che si sta progettando potrebbe tranquillamente lavorare in autonomia anche per diverse ore lasciando poi pronte una serie di provette contenenti tutti i campioni di vino da testare; il lavoro dell'enologo si concentrerebbe a quel punto sul solo aspetto qualitativo legato agli assaggi e alle prove necessarie per monitorare i corretti processi di invecchiamento, fermentazione o di qualunque pratica utile ad ottenere il prodotto desiderato dall'azienda vinicola.

Come anticipato fin dall'introduzione, l'obiettivo di questa tesi non è mai stato arrivare a realizzare un prototipo finale dell'intero sistema perfettamente funzionante. Questo elaborato ha voluto porre l'attenzione su una possibile via di miglioramento di un processo lavorativo che esiste e si è mantenuto invariato per centinaia di anni. Il fine era quello di proporre una soluzione efficace e dimostrarne l'affidabilità attraverso l'analisi e la raccolta di dati in laboratorio. Il lavoro mostrato in queste pagine rappresenta una base di appoggio su cui proseguire gli studi e le sperimentazioni con l'auspicio di migliorare e, se possibile, avallare ulteriormente quanto fatto finora. Più di tutto, però, sarà necessaria la nascita di altri progetti che abbiano l'obiettivo di completare tutto il corredo di idee, strumenti e processi con la finalità di arrivare in futuro a realizzare un sistema completo perfettamente funzionante che possa davvero svolgere il suo lavoro all'interno di una reale cantina.



# Bibliografia

- [1] [Online]. Available: <https://www.volentieripellenc.com/semoventi-optimum-multifunzione/>.
- [2] [Online]. Available: <https://www.cme-re.it/prodotti/pigiadiraspatrici/>.
- [3] [Online]. Available: <https://www.gai-it.com/?page=macchine>.
- [4] [Online]. Available: <https://www.eos-solutions.it/it/nawino-gestione-aziende-vitivinicole.html>.
- [5] [Online]. Available: <https://www.marcotedeschi.it/it/azienda-vitivinicola-con-cantina-in-vendita-montepulciano.html>.
- [6] [Online]. Available: <https://www.polsinelli.it/serbatoio-inox-1000-l-da-stoccaggio-fondo-conico-refrigerato-con-portella-P5211.htm>.
- [7] [Online]. Available: <https://www.polsinelli.it/rubinetto-assaggiavino-inox-aisi-304-3-8-m-P3707.htm>.
- [8] [Online]. Available: <https://www.adafruit.com/product/1150>.
- [9] [Online]. Available: <https://it.rs-online.com/web/p/pompe-volumetriche/7059321?srsId=AfmBOoqOCX3nAD3QdJKxvOO9hNOWeli03BEmfa7GO6ppUnywJmzsacbD>.
- [10] [Online]. Available: [https://eu.mouser.com/datasheet/2/187/Honeywell\\_01292021\\_ABP2\\_Series\\_Datasheet\\_\\_\\_Issue\\_C-1991028.pdf](https://eu.mouser.com/datasheet/2/187/Honeywell_01292021_ABP2_Series_Datasheet___Issue_C-1991028.pdf).