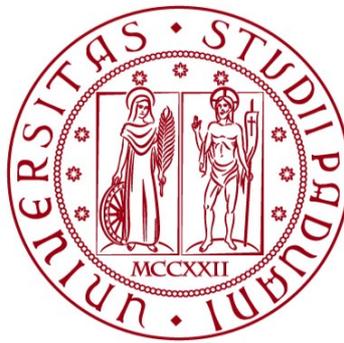


**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE**

*Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering*

Corso di Laurea in Ingegneria Civile



**TESI DI LAUREA**

**IL PROBLEMA DELL'ACQUA ALTA A VENEZIA**

**The Venice's flood problem**

**Relatore: Chiar.mo PROF. ANDREA DEFINA**

**Laureando: BEHNAZ AHMADI**

**ANNO ACCADEMICO 2022-2023**



## Sommario

Capitolo 1: Introduzione .....	1
Capitolo 2: Storia dell'acqua alta a Venezia.....	3
Capitolo 3: Il Progetto MOSE .....	9
Capitolo 4: Analisi Critica del Progetto MOSE.....	17
Capitolo 5: Conclusioni e Raccomandazioni .....	23
Capitolo 6: Bibliografia.....	25

# Capitolo 1: Introduzione

## 1.1 Contestualizzazione

L'acqua alta a Venezia è un problema che affligge questa affascinante città lagunare da molti secoli. Questa tesi si propone di esplorare in profondità il problema dell'acqua alta a Venezia, analizzando sia la sua storia che le soluzioni contemporanee.

Venezia, situata in una laguna nel Mar Adriatico, è nota per la sua bellezza, la sua architettura unica e il suo patrimonio culturale senza pari. Tuttavia, questa posizione geografica la rende particolarmente vulnerabile alle inondazioni dovute alle più alte maree. Nel corso dei secoli, la città ha affrontato ciclicamente il pericolo delle acque alte, ma l'alluvione devastante del 1966 ha messo in evidenza la gravità del problema, causando danni ingenti sia materiali che culturali.

## 1.2 Proposte di soluzione

Negli anni successivi al disastro del 1966, sono state avanzate molte proposte per affrontare il problema dell'acqua alta a Venezia. Da interventi di consolidamento delle infrastrutture a sistemi di prevenzione delle inondazioni, la città ha visto una serie di progetti ambiziosi. Tuttavia, l'ultima di queste proposte, il progetto MOSE (Modulo Sperimentale Elettromeccanico), ha suscitato particolare interesse ed è diventato un punto focale nella difesa della città dalle acque alte. Questa tesi esaminerà il MOSE in dettaglio, esplorando la sua efficacia e le sue implicazioni.

## 1.3 Scopo della tesi

L'obiettivo principale di questa tesi è condurre un'analisi approfondita del problema dell'acqua alta a Venezia, con un'enfasi particolare sulla storia delle acque alte, il funzionamento del progetto MOSE e una valutazione critica delle sue prestazioni. Attraverso la ricerca e l'analisi dei dati disponibili, questa tesi mira a fornire una comprensione chiara e informativa del problema, contribuendo così alla discussione in corso sulla protezione di Venezia dalle acque alte.

## 1.4 Uso delle immagini

Nel corso di questa tesi, saranno inclusi numerosi riferimenti visivi per illustrare il problema dell'acqua alta a Venezia. Le fotografie d'epoca, tra cui quelle dell'alluvione del 1966, mostreranno la portata devastante delle acque alte in passato. Allo stesso tempo, immagini più recenti prese dalla rete permetteranno di evidenziare l'evoluzione del problema e i cambiamenti nella città nel corso degli anni. Queste immagini saranno fondamentali per far emergere il contrasto tra il passato e il presente e per sottolineare l'urgenza di trovare soluzioni efficaci.



## Capitolo 2: Storia dell'acqua alta a Venezia

### 2.1 Eventi storici significativi

L'acqua alta a Venezia è un problema che affonda le sue radici nella storia antica di questa città unica. Sin dai primi insediamenti nella laguna veneziana, i suoi abitanti hanno dovuto fare i conti con il costante pericolo delle maree. Tuttavia, alcuni eventi storici si distinguono per la loro gravità e il loro impatto duraturo sulla città.

Uno degli eventi più significativi nella storia delle acque alte a Venezia è senza dubbio l'alluvione del 1966. In quella tragica giornata del 4 novembre, un'impressionante mareggiata colpì la città, causando danni devastanti. Le acque alte raggiunsero livelli eccezionali, sommergendo Piazza San Marco e molte altre parti della città.

Tuttavia, il 1966 non è stato l'unico momento in cui Venezia ha affrontato le acque alte. Nel corso dei secoli, numerosi altri eventi significativi hanno minacciato la città. Ad esempio, nel 1600, durante la cosiddetta "acqua grande," l'acqua alta raggiunse livelli straordinariamente alti, causando danni ingenti. Questi episodi hanno contribuito a forgiare la consapevolezza della vulnerabilità di Venezia alle inondazioni e hanno stimolato la ricerca di soluzioni.

### 2.2 Impatti storici

Gli eventi di acque alte nella storia di Venezia hanno avuto impatti significativi su diversi livelli. Dal punto di vista delle infrastrutture, le inondazioni hanno causato danni strutturali a edifici storici e monumenti, con conseguenze spesso irreparabili per il patrimonio culturale della città. Inoltre, l'infiltrazione dell'acqua salata nelle fondamenta degli edifici ha accelerato il degrado delle strutture, presentando sfide continue per il restauro e la conservazione.

Sul fronte economico, le acque alte hanno avuto un impatto negativo sull'attività commerciale e turistica di Venezia. Durante gli episodi di inondazioni, molte attività devono chiudere, e il turismo, uno dei principali motori economici della città, subisce pesanti perdite.

Dal punto di vista sociale, gli abitanti di Venezia hanno dovuto adattarsi a vivere con il costante pericolo delle acque alte. Le comunità locali hanno sviluppato competenze e tradizioni legate alla gestione delle inondazioni, come l'uso delle passerelle temporanee. Tuttavia, queste situazioni di emergenza hanno anche causato disagi e stress costanti per la popolazione.

- immagini storiche che mostrino l'alluvione del 1966 a Venezia (Figura 1; Figura 2; Figura 3). Questi eventi sono particolarmente significativi nella storia dell'acqua alta a Venezia e le immagini dell'epoca testimoniano l'entità dei danni e l'impatto sulla città.



*Figura 1*



*Figura 2*



*Figura 3*

- immagini recenti che ritraggono Venezia durante episodi di acque alte. Puoi trovare queste foto online, spesso pubblicate dai media o dai residenti. Mostreranno come il problema persiste ancora oggi (Figura 4;Figura 5;Figura 6;Figura 7).



*Figura 4*



*Figura 5*



*Figura 6*



*Figura 7*



## Capitolo 3: Il Progetto MOSE

### 3.1 Descrizione Tecnica del MOSE

Il Progetto MOSE (Modulo Sperimentale Elettromeccanico) rappresenta un'imponente infrastruttura ingegneristica sviluppata per proteggere la città di Venezia dalle acque alte e dalle inondazioni causate dalle maree eccezionalmente elevate. La sua concezione è avvenuta alla luce delle esperienze drammatiche dell'alluvione del 1966, che rivelò la necessità di una difesa avanzata contro gli eventi di acqua alta.

Il sistema MOSE è composto da una serie di 78 barriere mobili posizionate strategicamente alle tre bocche principali della laguna di Venezia: la bocca di Malamocco, la bocca di Chioggia e la bocca di Porto Marghera. Queste barriere sono costituite da blocchi modulari di cemento armato e acciaio, ciascuno di peso considerevole. Quando si prevede un'acqua alta, le barriere possono essere sollevate o abbassate al fine di creare una barriera fisica contro le acque marine in ingresso (Figura 8;Figura 9;Figura 15;Figura 19).

Il sistema MOSE è dotato di sofisticati sensori e di un sistema di controllo centralizzato che monitora costantemente le condizioni delle maree e le previsioni meteorologiche. Quando le previsioni indicano un'acqua alta imminente, le barriere vengono attivate automaticamente per garantire una chiusura tempestiva e accurata.

### 3.2 Implementazione e Sfide Tecnologiche

L'implementazione del sistema MOSE è stata un'impresa di ingegneria senza precedenti. La costruzione delle barriere mobili ha richiesto la sincronizzazione precisa di operazioni complesse e l'uso di attrezzature specializzate per posizionare con precisione i blocchi di cemento e acciaio.

Una delle sfide principali è stata la necessità di garantire la stabilità delle barriere mobili, specialmente durante l'operazione di sollevamento e abbassamento. È stato necessario sviluppare sistemi di ancoraggio sofisticati per garantire che le barriere rimanessero saldamente posizionate quando erano in funzione.

Un'altra sfida tecnologica è stata la progettazione e la costruzione di un sistema di controllo altamente affidabile. Qualsiasi malfunzionamento o ritardo nell'attivazione delle barriere potrebbe avere conseguenze catastrofiche. Pertanto, sono state implementate misure rigorose di sicurezza e monitoraggio per garantire il corretto funzionamento del sistema.

### 3.3 Efficacia e Valutazione Tecnica

Dopo l'implementazione del MOSE, sono state condotte valutazioni tecniche per determinarne l'efficacia nel contrastare le acque alte. Le misurazioni dettagliate delle maree e delle prestazioni del sistema hanno fornito una panoramica delle sue capacità.

L'efficacia del MOSE è stata variabile a seconda delle circostanze. In alcune situazioni, il sistema ha dimostrato di poter prevenire con successo l'ingresso delle acque alte, proteggendo le zone vulnerabili di Venezia. Tuttavia, in casi di maree eccezionalmente

elevate o di malfunzionamenti tecnici, il sistema potrebbe non essere in grado di evitare completamente le inondazioni.

Questi risultati sottolineano l'importanza di monitorare costantemente le condizioni e di effettuare miglioramenti continui per ottimizzare l'efficacia del MOSE. L'analisi tecnica delle prestazioni è in corso e contribuirà a perfezionare il sistema nel tempo.

Questo sistema sfrutta principi idraulici avanzati per gestire l'acqua e proteggere la città. Di seguito, una descrizione più dettagliata dei componenti e del funzionamento idraulico del MOSE:

- **Barriere mobili:** Il cuore del sistema MOSE sono le barriere mobili, in acciaio, e incernierate su blocchi di cemento armato posti sul fondo. Queste barriere sono posizionate alle tre bocche principali della laguna di Venezia: la bocca di Malamocco, la bocca di Chioggia e la bocca di Porto Marghera. Le barriere sono progettate in modo che possano essere sollevate o abbassate in risposta alle condizioni delle maree (Figura 12;Figura 13;Figura 14;Figura 15).
- **Sensore di marea:** Il MOSE è dotato di un sistema di monitoraggio delle maree, che rileva costantemente l'altezza del livello dell'acqua nelle bocche della laguna. Questi sensori forniscono dati in tempo reale sulle condizioni delle maree e sono fondamentali per attivare le barriere quando è necessario.
- **Controllo automatizzato:** Un sistema di controllo automatizzato centralizzato riceve i dati dai sensori di marea e prende decisioni in tempo reale sull'attivazione delle barriere. Quando si prevede un'acqua alta, il sistema MOSE attiva le barriere mobili in modo da impedire l'ingresso delle acque marine nella laguna di Venezia.
- **Idraulica e meccanica:** Le paratoie inattive restano piene d'acqua e completamente invisibili nei loro alloggiamenti nei fondali dei canali di bocca. In caso di alta marea, viene immessa aria compressa nelle paratoie per svuotarle dall'acqua. Via via che l'acqua esce (in totale 30 minuti), le paratoie, ruotando attorno all'asse delle cerniere, si sollevano fino a emergere e a bloccare il flusso della marea in ingresso in laguna (Figura 10;Figura 11;Figura 17;Figura 18).
- **Tenuta stagna:** Una volta sollevate, le barriere MOSE creano una barriera contro l'acqua. Tra i moduli di acciaio del Progetto MOSE, quando sollevati, si verificano perdite significative di acqua, che costituisce ancora una problematica da affrontare.
- **Discesa delle barriere:** Quando la marea cala, le paratoie vengono di nuovo riempite d'acqua e rientrano nella propria sede (in 15 minuti), senza interferire con il ricambio d'acqua tra mare e laguna.
- **Manutenzione continua:** Il sistema MOSE richiede manutenzione regolare e monitoraggio costante per garantirne il corretto funzionamento. Le componenti idrauliche, meccaniche ed elettroniche vengono ispezionate e mantenute per evitare guasti e garantire l'affidabilità del sistema (Figura 16).

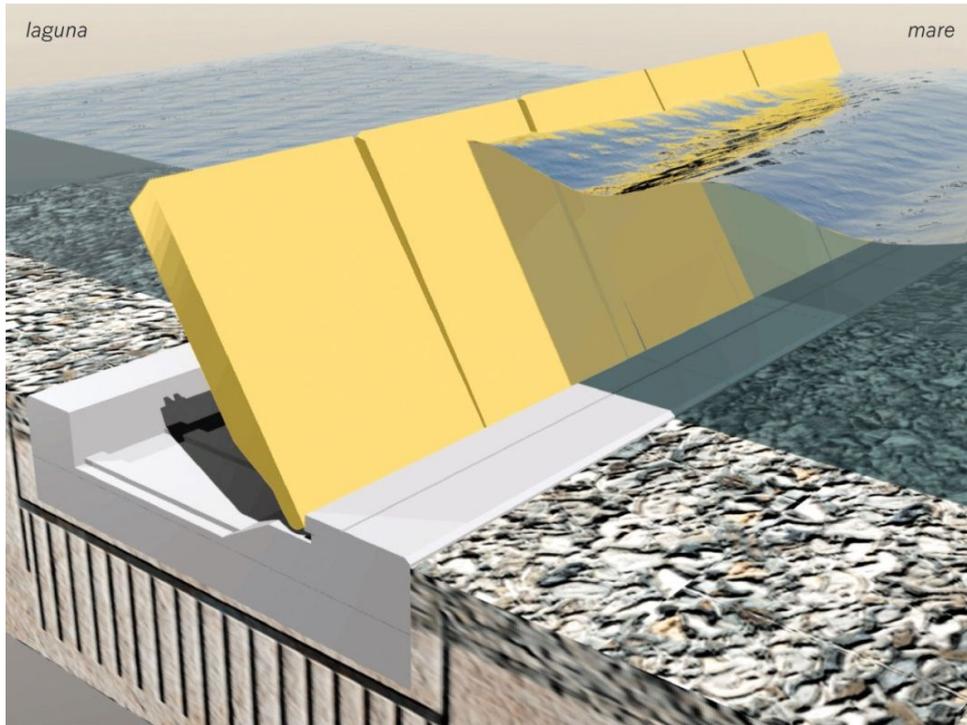


Figura 8



Figura 9

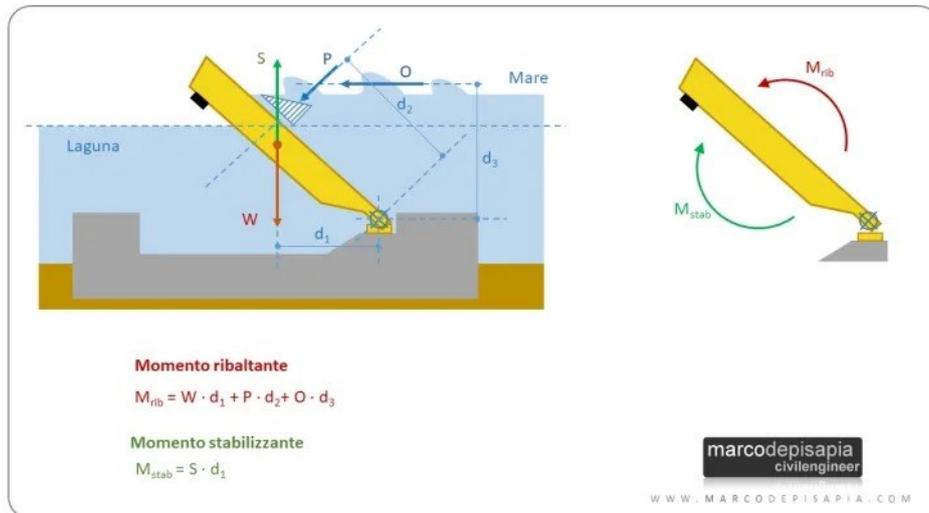


Figura 10

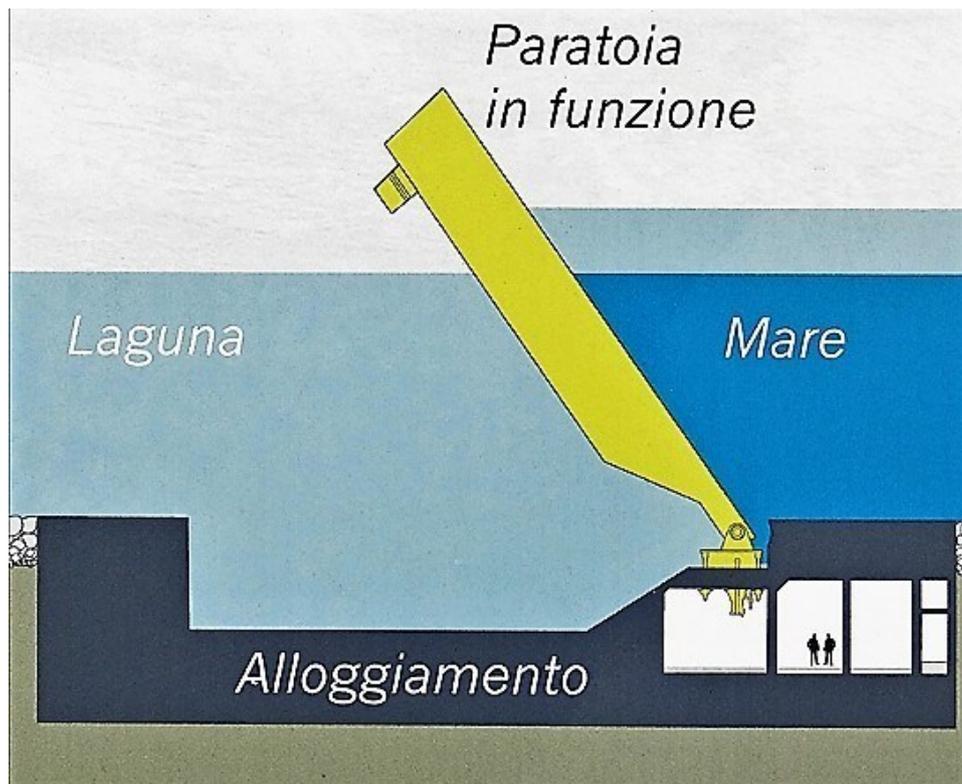


Figura 11



Figura 12



Figura 13

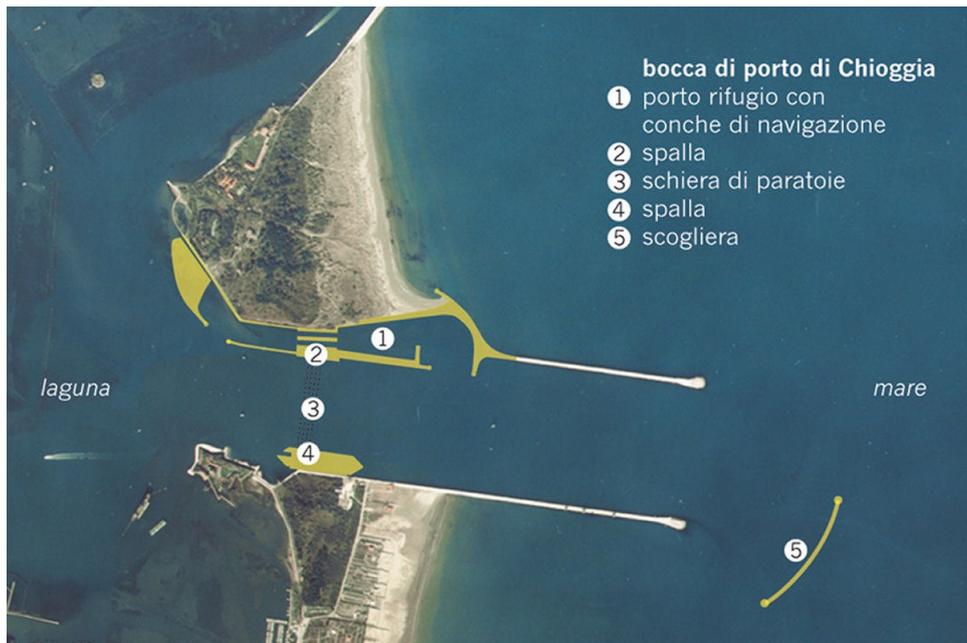


Figura 14

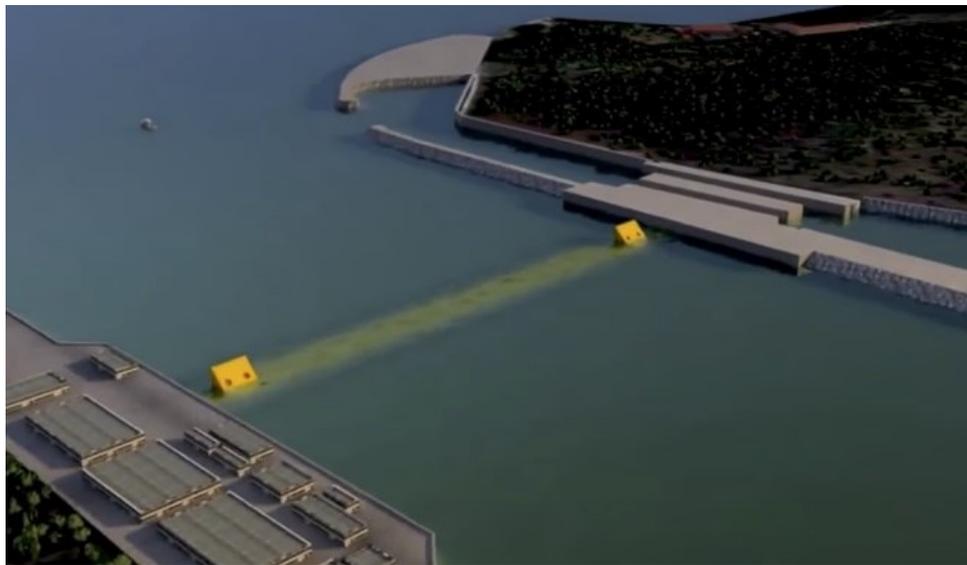


Figura 15



Figura 16

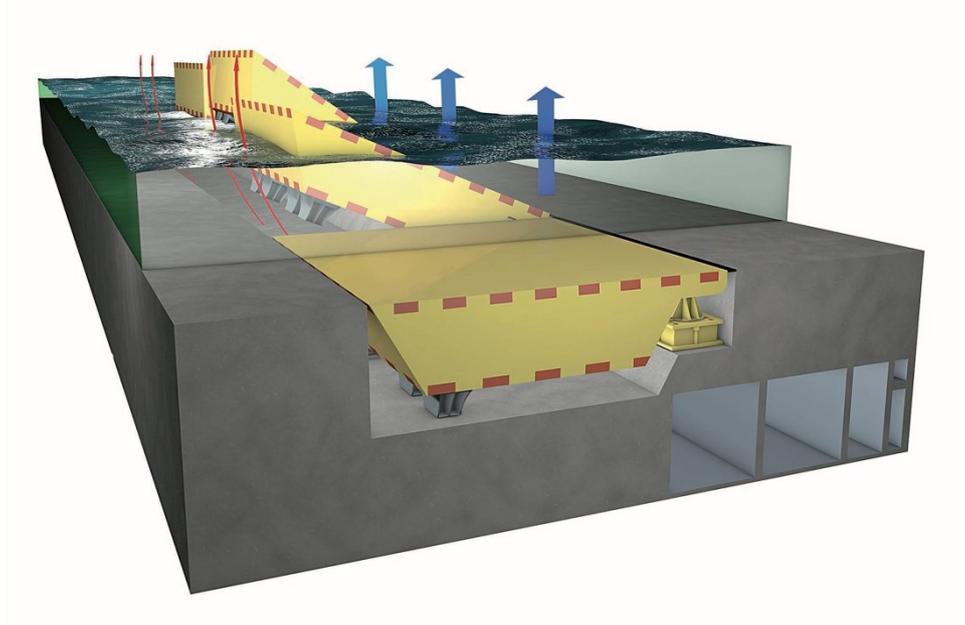
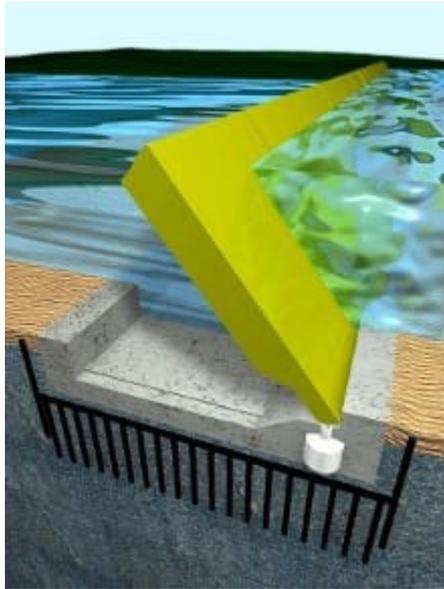


Figura 17



*Figura 18*



*Figura 19*

## Capitolo 4: Analisi Critica del Progetto MOSE

### 4.1 Efficacia del MOSE

L'efficacia del Progetto MOSE nel contrastare le acque alte a Venezia è un argomento di considerevole interesse e dibattito. Mentre il sistema è stato concepito per proteggere la città da eventi di acqua alta eccezionalmente elevata, l'analisi delle sue prestazioni ha rivelato una serie di sfide e considerazioni critiche.

#### 4.1.1 Prestazioni del MOSE in situazioni reali

Le prove del MOSE in situazioni reali hanno dimostrato che il sistema è in grado di prevenire l'ingresso delle acque alte in molte circostanze. Tuttavia, sono stati registrati casi in cui il sistema non è stato in grado di fermare completamente l'acqua, lasciando alcune zone vulnerabili a inondazioni parziali. Questi risultati sollevano domande sull'affidabilità del sistema in situazioni di emergenza e sulla sua capacità di proteggere efficacemente Venezia dalle acque alte.

#### 4.1.2 Costi e manutenzione

Un aspetto critico del MOSE riguarda i costi associati alla sua manutenzione continua. Il sistema richiede una manutenzione regolare e sofisticata per garantirne il corretto funzionamento, il che comporta costi significativi. La sostenibilità economica del MOSE nel lungo termine è un argomento di preoccupazione, e alcuni sostengono che i costi potrebbero superare i benefici ottenuti dalla protezione contro le acque alte.

### 4.2 Impatti Ambientali e Sociali

Oltre all'analisi delle prestazioni tecniche, è importante valutare gli impatti ambientali e sociali del MOSE.

#### 4.2.1 Impatti sull'ecosistema della laguna

Il sistema MOSE ha sollevato preoccupazioni riguardo agli impatti sull'ecosistema fragile della laguna di Venezia. Il sollevamento e l'abbassamento delle barriere mobili possono influenzare il flusso delle correnti marine e la qualità dell'acqua all'interno della laguna. Gli esperti stanno studiando attentamente questi effetti per comprendere le conseguenze a lungo termine (Figura 23).

#### 4.2.2 Impatti sociali

Dal punto di vista sociale, l'impatto delle inondazioni sulla vita quotidiana dei veneziani è una considerazione critica. Mentre il MOSE può proteggere le aree principali, alcune comunità locali potrebbero rimanere vulnerabili alle inondazioni. Inoltre, il disagio

causato dalle chiusure temporanee delle bocche di accesso può avere ripercussioni sulle attività commerciali e turistiche (Figura 21;Figura 22;Figura 24).

#### 4.3 Possibili Miglioramenti e Sviluppi Futuri

Nonostante le sfide e le critiche, il MOSE rimane una parte fondamentale degli sforzi per proteggere Venezia dalle acque alte. Tuttavia, è importante esplorare possibili miglioramenti e sviluppi futuri.

##### 4.3.1 Ottimizzazione tecnica

Gli ingegneri continuano a lavorare per ottimizzare il funzionamento del MOSE, migliorando la tempestività di attivazione delle barriere e riducendo al minimo i possibili malfunzionamenti. Ulteriori sviluppi tecnologici potrebbero aumentare l'efficacia del sistema (Figura 20;Figura 25).

##### 4.3.2 Misure complementari

Alcuni esperti suggeriscono l'implementazione di misure complementari per la protezione di Venezia, come il potenziamento del restauro delle infrastrutture esistenti e l'adozione di pratiche di sviluppo sostenibile per preservare l'ecosistema della laguna.



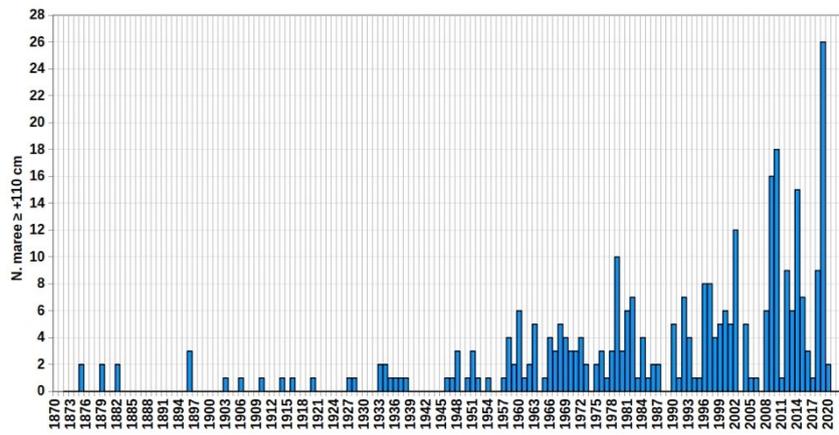
Figura 20



Figura 21



Figura 22



**Distribuzione annuale delle alte maree >= +110 cm registrate a Venezia, dal 1872 al 2022  
(da dicembre 2020 sistema Mose in funzione)**  
*Yearly distribution of high tides >=+110 cm recorded in Venice, from 1872 to 2022  
 (from december 2020 Mose system in operation)*



Figura 23



Figura 24



*Figura 25*



## Capitolo 5: Conclusioni e Raccomandazioni

### 5.1 Sintesi delle Principali Conclusioni

In questo capitolo, vengono riassunti i risultati e le conclusioni chiave emersi dalla ricerca e dall'analisi condotta nel corso di questa tesi sul problema dell'acqua alta a Venezia e sul Progetto MOSE.

#### 5.1.1 Efficacia del MOSE

L'analisi delle prestazioni del Progetto MOSE ha evidenziato che il sistema è in grado di prevenire l'ingresso delle acque alte in molte circostanze. Tuttavia, è stato registrato che in alcune situazioni il sistema non è stato in grado di impedire completamente le inondazioni. La sua efficacia è influenzata da vari fattori, tra cui la precisione delle previsioni delle maree e il funzionamento tecnico delle barriere mobili.

#### 5.1.2 Impatti Ambientali e Sociali

Gli impatti ambientali del MOSE sulla laguna di Venezia sono stati oggetto di preoccupazione. Il sollevamento e l'abbassamento delle barriere possono influenzare l'ecosistema marino e la qualità dell'acqua. È essenziale condurre ulteriori ricerche per valutare l'effetto a lungo termine del sistema sull'ambiente lagunare.

Dal punto di vista sociale, il MOSE ha un impatto significativo sulla vita quotidiana dei veneziani. Le chiusure temporanee delle bocche di accesso possono comportare disagi e ripercussioni sulle attività commerciali e turistiche. È importante considerare misure per mitigare questi effetti negativi.

### 5.2 Raccomandazioni per il Futuro

Basandosi sulle conclusioni raggiunte, è possibile delineare alcune raccomandazioni per il futuro riguardo al problema dell'acqua alta a Venezia e al Progetto MOSE.

#### 5.2.1 Miglioramenti Tecnici

Per ottimizzare l'efficacia del MOSE, è fondamentale investire in miglioramenti tecnici continui. Gli ingegneri devono lavorare per affinare il funzionamento del sistema, migliorare l'attivazione delle barriere e garantire la sua affidabilità in situazioni di emergenza. L'implementazione di nuove tecnologie e il monitoraggio costante sono essenziali.

#### 5.2.2 Valutazione Ambientale Approfondita

Sarà necessario condurre ulteriori studi ambientali approfonditi per valutare gli impatti a lungo termine del MOSE sulla laguna di Venezia. Queste valutazioni dovrebbero essere utilizzate per orientare le decisioni future in merito alla gestione e alla manutenzione del sistema.

#### 5.2.3 Misure Complementari

Oltre al MOSE, potrebbero essere adottate misure complementari per proteggere Venezia dalle acque alte. Queste potrebbero includere il potenziamento del restauro delle infrastrutture storiche, la promozione di pratiche di sviluppo sostenibile e la creazione di piani di emergenza più robusti per affrontare le inondazioni.

#### **5.2.4 Coinvolgimento della Comunità Locale**

È fondamentale coinvolgere attivamente la comunità locale nel processo decisionale riguardo alle misure di protezione contro l'acqua alta. Le voci dei residenti veneziani devono essere ascoltate per garantire che le soluzioni adottate siano culturalmente sensibili e tengano conto delle esigenze delle persone che vivono a Venezia (Figura 26).

### **5.3 Chiusura**

In conclusione, il problema dell'acqua alta a Venezia è una sfida complessa che richiede una visione olistica e un approccio multidisciplinare. Il Progetto MOSE rappresenta un passo importante nella direzione giusta, ma è necessario continuare a lavorare per affinare il sistema e mitigare gli impatti negativi. Con una gestione attenta e una collaborazione a livello locale e internazionale, Venezia può sperare di affrontare in modo efficace il problema delle acque alte e preservare il suo prezioso patrimonio culturale e storico per le generazioni future.



Figura 26

## Capitolo 6: Bibliografia

[Come funziona il Mose, l'opera che deve proteggere Venezia dall'acqua alta | Sky TG24](#)

[Mose, cos'è l'opera che ha protetto Venezia dall'acqua alta | Wired Italia](#)

[Test di sollevamento delle barriere del Mo.S.E. alla Bocca di porto di Malamocco | Comune di Venezia - Live - Le notizie di oggi e i servizi della città](#)

[MOSE Venezia | Control room](#)

[MOSE Venezia | Il Mose in funzione](#)

[Venezia e la sua laguna | Unesco Italia](#)

[Mose, lavori fermi da 5 anni. Lo studio: «Funzionerebbe» \(ilgazzettino.it\)](#)

[Il Mose salva Venezia dalla marea record - Notizie - Ansa.it](#)

Desidero esprimere la mia profonda gratitudine al mio relatore, il Professor Andrea Defina per i suoi preziosi consigli e la sua costante disponibilità. Grazie per avermi fornito spunti fondamentali nella stesura di questo lavoro e per avermi guidato nei momenti di incertezza.

Vorrei inoltre estendere un sentito ringraziamento ai miei genitori e alle mie sorelle Rezvan e Mehrnaz, per il loro incondizionato sostegno e l'ispirazione che mi hanno sempre offerto nel corso di questo percorso accademico. Senza il vostro affetto e incoraggiamento, non avrei potuto raggiungere questo traguardo. Grazie di cuore a tutti Voi.

